



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
Y AMBIENTALES  
INSTITUTO DE POSTGRADO



MAESTRIA EN  
MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN DERRAMES DE  
HIDROCARBUROS EN BASE A ESTUDIOS DE CASO  
DEL SOTE DESDE LAGO AGRIO A PAPALLACTA

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Grado de  
Magíster en Manejo de Recursos Naturales

Autor: Galo Fernando Albán Soria

Tutor: Fabio Villalba

Ibarra, Septiembre, 2009

## APROBACION DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Grado, presentado por el señor Galo Fernando Albán Soria, para optar por el grado de Magíster en Manejo de Recursos Naturales, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (pública o privada) y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 30 días del mes de septiembre del 2009.

---

Ing. Fabio Villalba Msc.  
C.C.170362927-7

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS  
EN BASE A ESTUDIOS DE CASO EN EL SOTE DESDE LAGO AGRIO A  
PAPALLACTA

Por: Galo Fernando Albán Soria

Trabajo de Grado de Maestría aprobado en nombre de la Universidad  
Técnica del Norte, por el siguiente Jurado, a los 17 días del mes de junio del  
2010

---

Mario Montenegro  
C.C. 050081803-4

---

Oscar Rosales  
C.C. 040093352-9

---

Nelson Gallo Velasco  
C.C. 170248945-9

## **DEDICATORIA**

A todas aquellas personas que sacrificaron tiempo y espacio  
para cumplir mi meta,  
sus nombres están en lo mas profundo de mi ser.

## **RECONOCIMIENTOS**

A la Universidad Técnica del Norte, por la acogida que me brindo  
Al Ingeniero Fabio Villalba, por su valioso soporte técnico  
A los amigos de cerca y a los de lejos, que aportaron con sus ideas y  
comentarios

## INDICE

### **CAPÍTULO 1 MARCO REFERENCIAL**

1.1.	CONTEXTUALIZACION DEL PROBLEMA	1
1.1.1.	Historia de derrames del “SOTE”	1
1.1.2.	Causas de derrames de crudo en el SOTE	5
1.2.	DEFINICION DEL PROBLEMA.	8
1.3.	JUSTIFICACIÓN	9
1.4.	OBJETIVOS	10
1.5.	PREGUNTAS	11

### **CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO**

2.1.	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	12
2.1.1.	Medio Físico	12
2.1.1.1.	Climatología	12
2.1.1.2.	Geología	13
2.1.1.2.1.-	Plataforma del Alto Amazonas (km. 0 - 62)	14
2.1.1.2.2.-	Cordillera Oriental o Real (km. 162 - 220)	15
2.1.1.3.	Suelos	15
2.1.1.3.1.-	Amazonía Periandina	15
2.1.1.3.2.-	Vertientes externas de la Cordillera Real	16
2.1.2.	Vegetación	16
2.1.2.2.	Bosque Andino	17
2.1.2.3.	Bosque Amazónico	19
2.1.3.	Diagnóstico biofísico de sitios de estudio	20
2.1.3.1.	Suelos	20

2.1.3.1.1. El Guango y Quebrada Negra	20
2.1.3.1.2. La Boa	22
2.1.3.2. Cobertura vegetal	23
2.1.3.1.1. El Guango y Quebrada Negra	23
2.1.3.1.2. La Boa	24
2.2. FUNDAMENTACION TEORICA	26
2.2.1. Contaminación por hidrocarburos	26
2.2.1.1. Concentración total de hidrocarburos de petróleo [TPH]	27
2.2.2. Remediación de suelos contaminados por derrames de crudo	28
2.2.2.1. Degradación de hidrocarburos	29
2.2.2.2. Tecnologías de remediación	31
2.2.2.3. Clasificación de tecnologías de remediación	31
2.2.2.3.1. Lugar de realización de remediación	32
2.2.2.3.2. Tipo de tratamiento	32
2.2.2.4. Técnicas biológicas de remediación de suelos	34
2.2.2.4.1. Biodegradación de hidrocarburos	36
2.2.2.5. Tipos de bioremediación	39
2.2.2.5.1. Remediación microbiana	39
2.2.2.5.1.1. Comportamiento microbiano en procesos de degradación de hidrocarburos	41
2.2.2.5.1.2. Funcionamiento de la bioremediación	42
2.2.2.5.1.3. Influencia de los factores ambientales en microorganismos	43
2.2.2.6. Remediación con plantas (fitoremediación)	44
2.2.2.6.1. Tipos de fitoremediación	45
2.2.2.7. Atenuación natural	47
2.2.2.8. Atenuación natural controlada	47
2.2.3. Análisis de biodiversidad	50
2.2.3.1. Cuantificación de la biodiversidad	50
2.2.2.1. Escalas espaciales para medir la biodiversidad	51
2.2.2.2. Índices de biodiversidad	52

2.3. MARCO LEGAL	55
2.3.1. Constitución Política de la República del Ecuador	55
2.3.2. Ley de Gestión Ambiental	56
2.3.3. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria	56
2.3.4. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas	57

### **CAPÍTULO 3**

#### **METODOLOGIA UTILIZADA**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.3. METODOLOGIA PARA EL DIAGNÓSTICO	60
3.3.1. Unidades de investigación	60
3.3.1.1. Cobertura vegetal	60
3.3.1.2. Microflora bacteriana	61
3.3.1.3. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo	61
3.3.2. Muestra	61
3.3.2.1. Cobertura vegetal	62
3.3.2.2. Flora microbiana	63
3.3.2.3. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo	64
3.4. METODOLOGIA PARA LA PROPUESTA	65
3.4.1. Revisión bibliográfica	65
3.4.2. Talleres multidisciplinarios	66
3.4.3. Elaboración de matriz de intervención	66
3.4.3.1. Variables ambientales	66
3.4.3.2. Variables sociales	66
3.4.3.3. Condiciones de degradación <i>in situ</i>	67
3.5. METODOLOGIAS DE TRATAMIENTOS UTILIZADOS POR PETROECUADOR	67



## **CAPÍTULO 5 PROPUESTA**

5.1. INTRODUCCIÓN	97
5.2. DESCRIPCIÓN DE MATRIZ DE CRITICIDAD	97
5.2.1. Variables ambientales	98
5.2.1.1. Cercanía a sitios con alta peligrosidad que magnifiquen el riesgo	98
5.2.1.2. Exposición a contingencias naturales	98
5.3.1.3. Exposición potencial a ecosistemas sensibles	99
5.3.1.4. Cercanías a cuerpos de agua	99
5.3.1.5. Área de suelo afectada	100
5.3.1.6. Eventos de contingencias previos	100
5.3.1.7. Contaminación por hidrocarburos	101
5.2.2. Variables sociales	101
5.2.2.1. Efectos sobre la población local	102
5.2.2.2. Organización social	102
5.2.2.3. Vandalismo	102
5.2.3 Variables de degradación in situ	103
5.2.3.1. Colinias de bacterias con capacidad de degradar hidrocarburos (UFC/g)	103
5.2.3.2. Plantas con capacidad de degradar hidrocarburos	104
5.2.3.3. Textura del suelo	104
5.2.3.4. Humedad del suelo	104
5.3. Evaluación de las variables para su aplicación	105
5.4. Función de jerarquización	106
5.4.1. Evaluación de jerarquización	108

## **CAPÍTULO 6**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

BIBLIOGRAFIA	111
ANEXOS	117
GLOSARIO	147

### **INDICE DE FIGURAS**

1 Perfil del SOTE	2
2. Metabolismo microbiano	40
3. Procesos de biodegradación	42
4. Tipos de fitoremediación	46
5. Índice de Shannon de la cobertura vegetal	81
6. Índice de Shannon de la flora bacteriana	86
7. Diagrama de intervención	96

### **INDICE DE CUADROS**

1. Derrames del SOTE	7
2. Análisis físico-químico de suelos Quebrada Negra y El Guango	21
3. Determinación de la textura en Quebrada Negra y El Guango	21
4. Análisis físico-químico de suelo en La Boa	22
5. Determinación de la textura La Boa	23
6. Atributos de técnicas de remediación	32
7. Descripción de las tecnologías de remediación	33
8. Tipos de fitoremediación	46
9. Atributos de los índices de biodiversidad	54
10. Ubicación de colecta de muestras	62
11. Especies identificadas en El Guango	71
12. Especies identificadas en Quebrada Negra	72

13. Especies identificadas en La Boa	72
14. Cepas bacterianas identificadas en El Guango	73
15. Cepas bacterianas identificadas en Quebrada Negra	74
16. Cepas bacterianas identificadas en La Boa	74
17. Concentración de hidrocarburos totales en El Guango	75
18. Reporte de TPH en el Guango	76
19. Reporte de TPH en Quebrada Negra	76
20. Concentración de TPH en La Boa	77
21. Reporte de TPH en La Boa	77
22. Análisis multitemporal de TPH	78
23. Diversidad de biota	79
24. Bacterias degradadoras de hidrocarburos	83
25. Diversidad de flora microbiana	83
26. Rango de cercanía a sitios con alta peligrosidad	98
27. Rango exposición a contingencias naturales	99
28. Rango exposición potencial a ecosistemas	99
29. Rango cercanías a cuerpos de agua	100
30. Rango del área de suelo afectada	100
31. Rango evento de contingencias previos	101
32. Rango de contaminación	101
33. Rango efecto sobre la población local	102
34. Rango organización social	102
35. Rango vandalismo	103
36. Rango de colonias de bacterias	103
37. Rango de plantas fitorremediadoras	104
38. Rango de textura del suelo	104
39. Rango de humedad del suelo	105
40. Ejemplo de exposiciones por amenazas naturales	106
41. Jerarquización de intervención	107
42. Ejemplo de aplicación	109

## **INDICE DE GRAFICOS**

1. Barriles derramados por año en el SOTE	4
2. Derrames por kilómetros en el trazado del SOTE	4
3. Número de individuos vegetales	79
4. Riqueza de especies vegetales	80
5. Uniformidad o Equitatividad vegetal	80
6. Índice de Simpson para vegetales	81
7. Cepas de bacterias degradadoras de hidrocarburos	82
8. Número de individuos de bacterias	84
9. Uniformidad o Equitatividad de bacterias (E)	85
10. Índice de Simpson de bacterias	85
11. Caracterización de contaminación en El Guango	87
12. Monitoreo de TPH en orillas del río El Guango año 2001	88
13. Monitoreo de TPH en Quebrada Negra años 2001 y 2002	89
14. Monitoreo de TPH en La Boa año 2001	90
15. Comportamiento de uestras simples y compuestas en La Boa	91
16. Análisis multitemporario de TPH	92

## **INDICE DE FOTOGRAFIAS**

1. Vista panorámica del bosque en el valle del río El Guango	18
2. Vista panorámica de bosque tropical lluvioso siempre verde	20
3. Perfil de suelo en El Guango	21
4. Perfil de suelo La Boa	22
5. Reforestación en El Guango (12/2002) con alisos	23
6. Bosque de aliso en el Guango (05/2005)	23
7. Vista panorámica del área intervenida en el Guango	24
8. Vista panorámica de franja de servidumbre en La Boa	25
9. Derrame de crudo del SOTE	27
10. Tratamiento de suelos contaminados con petróleo	35

11. Cuadrante de muestreo	62
12. Caja Petri con cepa bacteriana aislada	64
13. Toma de muestra de suelo con ayuda de barreno manual	65

## LISTA DE SIGLAS

SOTE	Sistema de Oleoducto Transecuatoriano
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
BPPD	Barriles de petróleo de producción por día
API	American Petroleum Institute
OCP	Oleoducto de crudos pesados
PUCE	Pontificia Universidad Católica del Ecuador
TPH	Hidrocarburos totales de petróleo
FDA	Frente de defensa de la amazonía
EPA/USEPA	Environmental Protection Agency
BTEX	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
DDT	Dicloro, difenil, tricloroetano
UTM	Universal transversal de Mercator
RAOH	Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
DINAPA	Dirección Nacional de Protección Ambiental Petrolera
FILBAC	Proyecto de aplicación en el campo de filosilicatos y bacterias en aguas y suelos contaminados por hidrocarburos
PDVSA	Petróleos de Venezuela S.A.
INTEVEP	Instituto tecnológico venezolano de petróleo

# **PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN BASE A ESTUDIOS DE CASO EN EL SOTE DESDE LAGO AGRIO A PAPALLACTA**

Autor: Galo Fernando Albán Soria

Tutor: Fabio Villalba

Año: 2009

## **RESUMEN**

Por más de 30 años el Sistema de Oleoducto Trans-ecuatoriano ha sufrido una serie de derrames de crudo, que han afectado al suelo, agua, biota y población localizada a lo largo del trazado; hasta el año 2004 se han derramado 714.255 barriles de crudo de éste se ha recuperaron hasta el 80% del volumen total; PETROECUADOR posterior al derrame ha procedido a remediar los suelos contaminados mediante lavado y remediación microbiana.

La cobertura vegetal presenta el mayor número de individuos en Quebrada Negra, el mayor índice de riqueza y a mayor diversidad se encuentra en El Guango, la mayor uniformidad se encuentra en La Boa. Se ha identificado seis géneros de bacterias con capacidad de degradar hidrocarburos, el mayor número de individuos de bacterias, la mayor uniformidad y la mayor diversidad de bacterias degradadoras de hidrocarburos se registran en El Guango. Las concentraciones de TPH en los suelos son heterogéneas están en función de la textura del suelo, morfología del lugar, condiciones climáticas y cobertura vegetal; las concentraciones de TPH disminuyen aceleradamente durante los primeros meses del tratamiento para posteriormente disminuir de forma considerable la tasa de degradación.

Cada derrame tiene un tratamiento especial, en algunos casos es necesaria la utilización de dos o más tecnologías de remediación; con el objeto de optimizar los recursos humanos y económicos, y, mitigar los impactos generados por los procesos de remediación, se realiza la propuesta de una matriz de criticidad de intervención en derrames, ésta considera variables ambientales (cercanía a sitios con alta peligrosidad, exposición a contingencias naturales, exposición potencial a ecosistemas sensibles, cercanía a cuerpos de agua, área de suelo afectada, eventos de contingencia previos, afectación al SNAP y TPH); sociales (efectos sobre la población local, nivel de organización social y vandalismo); condiciones propias del lugar impactado (población bacteriana, plantas fitoremediadoras, textura del suelo, humedad).

# **PROPOSITION OF INTERVENTION ON SPILL OF OIL IN BASE TO STUDY OF EVENT ON THE SOTE FRON LAGO AGRIO TO PAPALLACTA**

Author: Galo Fernando Albán Soria

Tutor: Fabio Villalba

Year: 2009

## **ABSTRAC**

For more than 30 years the SOTE had suffered a series of crude oil spills, that had affected the earth, water, ecosystem and the population located around the pipeline; until 2004 had spilt 714.255 barrels of crude oil. Had recovered only the 80% of the total volume of this spills; Petroecuador after the spill had proceeded to fix the lands that had been contaminated because of wash and microbe repair.

The vegetal cover has the major number of individuals in Negra gorge, the biggest rate of riches and in the Guango found the biggest biodiversity; the major uniformity is in La Boa. Had identified six kinds of bacterium able to degrade hydrocarbons, the biggest register of that bacterium is located in the Guango. The THP concentrations in the lands are similar, these are in function of earth texture, morphology of the place, climatic conditions and vegetal cover; the concentrations of THP decrease in a big proportion during the first months of treatment for decrease in a considerable degradation rate.

Each spill has a special treatment, in some cases is necessary the utilization of two or more remediation technologies; with the objective of improve the economics and human resorts and mitigated the impacts generated by the process of remediation is make a proposition of a cast criticism of intervention in spills; this considers environmental variables (near places with high danger, exposition to naturals contingents, exposition to sensible ecosystems, nearness to water, affected áreas of land, previous contingents event, affectation to the SNAP, concentration of heavy metals and THP) and socials (effects over the local population, social organization level and vandalism).

# CAPÍTULO 1

## MARCO REFERENCIAL

### 1.1. CONTEXTUALIZACION DEL PROBLEMA

En el siglo XX el desarrollo científico y tecnológico ha llevado a una industrialización caracterizada por un crecimiento irracional y desordenado. Esto condujo, a su vez a una diversificación sorprendente de los productos de origen orgánico, que desde principios del siglo XX fueron considerados como *hematotóxicos* y *neurotóxicos* por los pioneros de la toxicología industrial.

En nuestras sociedades el petróleo y sus derivados son imprescindibles como fuente de energía y para la fabricación de múltiples productos de la industria química, farmacéutica, alimenticia, etc.

La mayor parte del petróleo se usa en lugares muy alejados de sus puntos de extracción por lo que debe ser transportado por oleoductos a lo largo de muchos kilómetros, lo que provoca espectaculares accidentes de vez en cuando.

#### **1.1.1. Historia de derrames del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano [SOTE]**

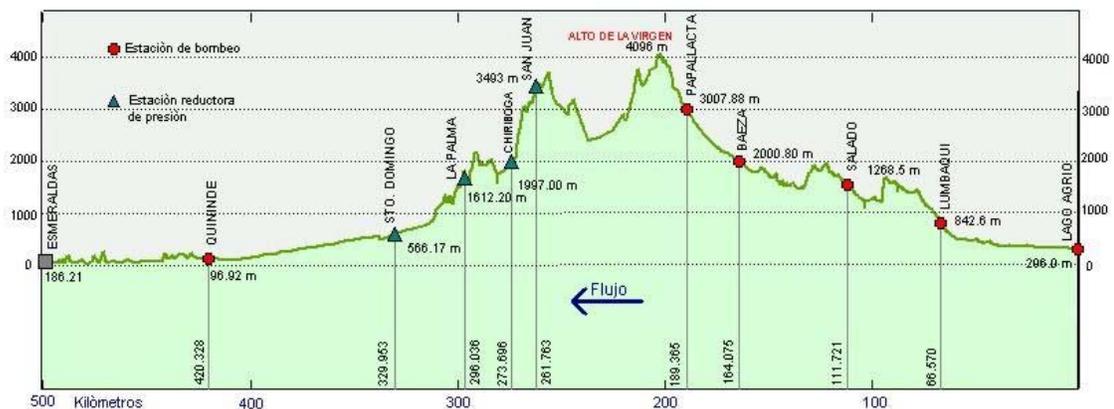
Petroecuador (2002) señala que el SOTE, fue construido en el año 1972, por el consorcio Texaco – Gulf, con una longitud total de 503 km, fue diseñado originalmente para transportar 325.000 BPPD de 29° API.

El SOTE inicia su recorrido en la ciudad de Lago Agrio a una altura de 300 msnm, alcanzando en la Cordillera Real, en el sector La Virgen, una altura

máxima de 4.064 msnm; en la Cordillera Occidental su altura máxima es de 3.760 msnm en el cerro Pailón; para descender y llega al nivel del mar en el puerto de Balao.

Las operaciones del SOTE consisten en transportar el crudo producido en los campos del Distrito Amazónico mediante un conjunto de estaciones de bombeo y reductoras, hasta el Terminal de Balao; con un conjunto de tanques para almacenar el crudo que será entregado a los buques-tanques en las boyas ubicadas en alta mar, frente a las costas de Esmeraldas. De los 503 km de longitud, 429 km son de un diámetro de 26", la longitud restante es de 20" se encuentra entre las estaciones de San Juan y Santo Domingo.

Figura 1. Perfil de Sistema de Oleoducto Transecuatoriano.



Fuente: Gerencia de Oleoducto SOTE (2002)

Durante sus 34 años de operación el SOTE ha sufrido una serie de roturas que han dejado una secuela de impactos socio-ambientales, siendo los recursos más afectados: el suelo, el agua, la vegetación, la fauna y la población asentada a lo largo del trazado del ducto. Según Fundación Acción Ecológica, describe la situación actual del oleoducto.

En el SOTE (Sistema de Oleoducto Transecuatoriano) se han provocado por lo menos 30 derrames mayores con más de 400.000 barriles de petróleo derramado. (Los derrames no registrados suman una cifra por lo menos equivalente a este. La mayoría de estos derrames se han presentado en el Oriente ecuatoriano, en donde el oleoducto no es enterrado.

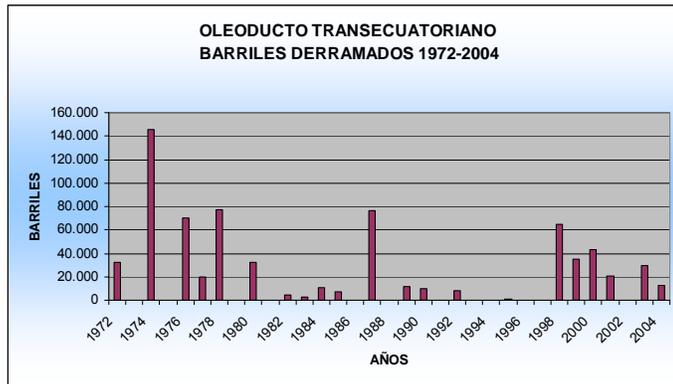
La mayoría de los derrames son provocados por el mal mantenimiento, fallas técnicas y humanas, y actividad sísmica en el país. No existen planes de contingencia adecuados para enfrentar los derrames de petróleo.

Los grandes derrames aumentarán, pues el SOTE sigue envejeciendo (su vida útil estaba calculada en 20 años, y ya tiene 26) y no existe mantenimiento. Según técnicos del Ministerio de Energía y Minas y de Petroecuador, el SOTE podría tener una falla total dentro de la presente década.

Según la Gerencia de Oleoducto de Petroecuador hasta el 11 de marzo de 2004, el volumen de crudo transportado es 3.182'282.643 barriles de crudo, el volumen de crudo derramado es de 714.255 barriles que representa un porcentaje de pérdidas por roturas de 0,022% y el tiempo de reparación en días es de 353,56.

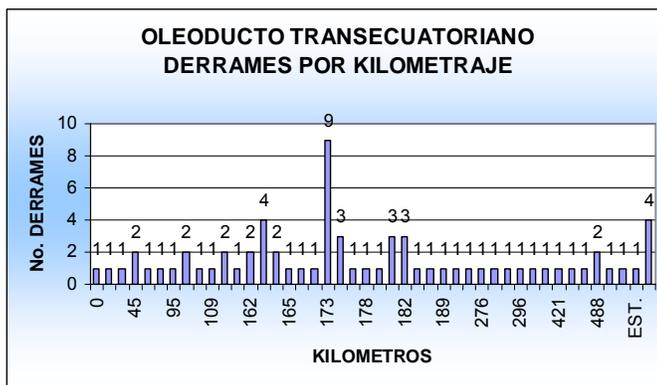
Según la Gerencia de Oleoducto (2004), históricamente los años en los que se ha registrado los mayores volúmenes derramados en el SOTE son los siguientes: 1974 (146.060 bls), 1987 (75.956 bls), 1976 (70.114 bls), 1998 (64.951 bls), 2000 (43.158 bls), 1999 (35.146 bls) y 1980 (32.271 bls). En la siguiente figura se observa los barriles de crudo derramados en el período 1972 y 2004.

Gráfico 1. Barriles derramados por año en el SOTE.



Fuente: Gerencia de Oleoducto del SOTE

Gráfico 2. Derrames por kilómetros en el trazado del SOTE.



Fuente: Gerencia de Oleoducto del SOTE

En los derrames comunes es decir los que no provienen de movimientos telúricos y que pueden tener una respuesta temprana, se han logrado recuperar del 60 al 80 % del petróleo que fluyó hacia el ambiente; e incluso en algunos casos el nivel de recuperación llegó al 100 % (Myrian Lucero, comunicación personal, 20 Abril, 2004).

Partiendo del supuesto de que el 70 % del petróleo derramado fue recuperado y teniendo en cuenta el volumen de crudo derramado, se puede indicar que alrededor de 210.000 barriles de crudo todavía se encuentran en el ambiente.

### **1.1.2. Causas de derrames de crudo en el SOTE**

Las causas que han generado la ruptura del ducto se pueden reducir a:

- i. Naturales, procesos de geodinámica interna y externa
- ii. Antrópicos, atentados y movimiento de tierras
- iii. Operacionales, fatiga del material, corrosión y sobrecarga en línea de flujo

A continuación se presenta un extracto del artículo “Comentarios a los estudios ambientales del OCP” realizados por Acción Ecológica en mayo del 2001.

Todos los suelos que se encuentran a lo largo de la ruta y su área de influencia, en aquella parte que coincide con el SOTE son suelos que han sufrido altos procesos de degradación y de contaminación.

Las principales causas primarias de contaminación son rupturas accidentales -debido a aluviones, corrosión del ducto, etc-, presencia de maquinaria pesada que realiza el mantenimiento del ducto, o rupturas intencionales debido a material explosivo, quema periódica de llantas y otros desechos. Las causas secundarias son alteración del ducto por químicos usados en la agricultura, desechos industriales y urbanos

De acuerdo a los análisis de suelos efectuados, se puede ver que muchas de las muestras han sido contaminadas con hidrocarburos, metales pesados, etc., principalmente debido a deslizamientos de tierras, por sismos, lluvias, el fenómeno del Niño, etc.

El potencial de movimiento de masas aumenta cuando hay altos índices de precipitación y la pendiente. Además si sumamos a esto, un índice de plasticidad alto y si son suelos arcillosos, el riesgo aumenta más aún. (pp. 6,7)

**CORROSION DE DUCTOS DE ACERO**

Los riesgos de corrosión se relacionan con el potencial de conversión química de los iones de hierro en el suelo, lo que puede disolver o corroer el ducto. Los parámetros utilizados son la textura, el drenaje, el nivel freático, la acidez y la conductividad del suelo.

La mayoría de los suelos tiene probabilidades medias de corroer el ducto, aunque en algunos casos, sobretodo en aquellos suelos arcillosos, de drenaje moderado y alta acidez las probabilidades son severas.

Los atentados a las facilidades petroleras, constituyen un grave problema, a continuación se presentan artículos de prensa donde se evidencia lo grave del caso. Según diario Hoy (2000, Diciembre 14), "Alarma en Lago Agrio tras una nueva explosión del oleoducto. A fines del año 2000, el SOTE fue víctima de tres atentados explosivos, presumiblemente perpetrados por grupos interesados en paralizar esta obra de infraestructura, ocasionando la muerte de siete personas. En esa oportunidad se derramaron más de 3,5 mil barriles de petróleo, contaminando las aguas del río Aguarico" (p. B2).

De acuerdo al dato de prensa de la Agencia EFE (2005, Febrero 23) "Investigan atentados contra oleoducto causaron derrame de petróleo", una vez mas se pone en evidencia la vulnerabilidad del SOTE.

El Estado ecuatoriano investiga cuatro atentados ocurridos el pasado fin de semana contra el sistema de oleoducto transecuatoriano (SOTE), que causaron el derrame de 1.017 barriles de petróleo.

Los atentados afectaron a todos los pozos operados por Petroproducción, filial de la estatal Petroecuador, informa hoy el diario "El Comercio". Petroecuador ha solicitado la colaboración de la ciudadanía para que denuncie los atentados que "ponen en riesgo la operación petrolera estatal, provocando ingentes pérdidas económicas al país". (p. A5)

La historia de derrames de crudo en el SOTE, es uno de los mayores problemas que ha afectado el funcionamiento del mismo, las críticas en este sentido han sido múltiples por parte de los diferentes actores sociales; en el siguiente cuadro se muestra una cronología de las roturas del SOTE desde el año de 1984 hasta el 2004, en el tramo Lago Agrio – Papallacta.

Cuadro 1. Derrames del SOTE

<b>No°</b>	<b>Fecha</b>	<b>Localización</b>	<b>Volumen derramado bls</b>	<b>Motivo de rotura</b>
1	marzo 07/84	km. 156+140	10.586	No determinado
2	octubre 09/85	km. 156+140	7.000	No determinado
3	marzo 05/87	km. 95+111	57.161	Movimiento telúrico
4	sept.17/87	km. 101	18.795	Deslaves - río Coca
5	mayo 23/89	km. 176+200	3.874	Deslaves - Cuyuja
6	julio 16/89	km. 160+686	7.563	Creciente río Quijos
7	octubre 12/90	km. 0+000	10.000	Sismo est. Lago Agrio
8	marzo 30/95	km. 163+763	1.071	Rotura - no determinada
9	julio 14/98	km. 185+070	9.092	Deslave - Papallacta
10	mayo 29/2000	km. 173	8.000	Rotura por deslave
11	mayo 31/2000	km. 183	8.211	Rotura por deslave
12	diciembre09/2000	km. 45+800	3.625	Atentado
13	diciembre12/2000	km. 44+310	2.916	Atentado
14	junio 11/2001	km. 182+460	7.181	Rotura por deslave
15	junio 12/2001	km. 181+084	0	Rotura por deslave
16	agosto 15/2001	km. 182+300	11.616	Fisura
17	julio 26/2002	km. 45+150	44	Atentado
18	marzo 5/2003	Est. Baeza	4	Fisura bypass
19	mayo 6/2003	km. 94+680	6.999	Rotura por deslave
20	marzo 11/2004	km. 165+300	12.266	Deslave

Fuente: Gerencia de Oleoducto del SOTE

Según diario El Universo (2006, Octubre 14), en su artículo Destino de Petroecuador, expresa que “la Empresa Estatal de Petróleos del Ecuador en el período comprendido entre 2001 al 2006, ha cancelado \$78.810.00,00 dólares de Norteamérica por concepto de remediación ambiental”. (p. A3)

## 1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA

### Antecedentes

Los ecosistemas ubicados a lo largo de la línea de flujo del SOTE han sido alterados por la ocurrencia de derrames de crudo; el suelo al ser cubierto con petróleo cambiará sus características físicas, químicas, biológicas y paisajísticas.

Petroecuador como responsable del manejo del sistema SOTE, ha procedido a remediar las áreas afectadas utilizando diferentes tecnologías; la empresa estatal ha requerido importantes sumas de dinero para la remediación de las zonas contaminadas.

El SOTE, por estar expuesto a zonas geológicamente inestables, altas precipitaciones lluviosas, posibles atentados, puede presentar en el futuro nuevos derrames de crudo con afectaciones al medio ambiente. La ubicación espacial del área de estudio se presenta en el Anexo 1 “Mapa de ubicación”.

La zona del SOTE con mayor número de derrames históricos, está entre los kilómetros 173 al 182 en este tramo se ha registrado en total 21 derrames, geográficamente corresponde al sector comprendido entre Baeza y Papallacta.

Los derrames de junio y agosto de 2001 suscitados en el sector de El Guango contaminaron los ríos Papallacta, Quijos y Coca en una extensión de 100 kilómetros; con el impacto a los habitantes de Cuyuya, Baeza, Borja, Sardinias, El Chaco, Santa Rosa, El Salado, San Rafael y Puerto Francisco de Orellana (En el Anexo 2.1 se presenta los reportes de Petroecuador), el volumen a remediarse es de 20.000 m<sup>3</sup>. Según la estatal el derrame suscitado en el puente de La Boa ocasionó la contaminación de 7.275 m<sup>2</sup>.

### Situación actual

Los derrames siguen contaminando el suelo y el agua de la franja de servidumbre y micro-cuencas por las que atravieza el SOTE y líneas de flujo de Petroproducción.

La presión de las autoridades y población civil para que Petroecuador realice los trabajos de remediación es permanente.

Las zonas afectadas por derrames de crudo, presentan características particulares de cobertura vegetal, fertilidad de los suelos, micro-flora bacteriana, niveles de concentración de hidrocarburos y metales pesados.

### Situación futura

La probabilidad que se presenten nuevos derrames de hidrocarburos en el SOTE y en las líneas de flujo de Petroproducción es alta, se ha llegado a reportar hasta siete derrames de crudo en los campos operados por la empresa estatal. Los factores que ocasionan los derrames son naturales y antrópicos, entre estos últimos los más representativos son los atentados y el deterioro de los ductos.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Los derrames de hidrocarburos con seguridad se producirán en el futuro, lo que demandará inversiones económicas y desarrollo de tecnológicas para la evaluación, limpieza y remediación de las zonas contaminadas.

Una vez que se definan y validen los criterios de intervención, se dispone de una herramienta técnica, para determinar la(s) tecnología(s) de remediación más idónea en función de las características del derrame.

La aplicación de la matriz de priorización de intervención en derrames, es un aporte para diseñar e implementar un manual de procesos en Petroecuador, y de esta manera objetivamente determinar la(s) tecnologías de remediación. La matriz de intervención es una herramienta para los tomadores de decisiones de Petroecuador, Ministerio de Minas y Petróleos, y, Ministerio del Ambiente.

Una correcta aplicación de las tecnologías de remediación en función del tipo de derrame, contribuye a mejorar la calidad del gasto, recuperar actividades productivas del sector, minimizar los impactos asociados al uso de tecnologías de remediación de alto impacto.

Preservar y restaurar ecosistemas sensibles afectados por derrames de crudo, evitando la aplicación de tecnologías no acordes con la realidad de los ecosistemas.

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **General**

Diseñar los criterios de intervención para derrames de hidrocarburos en base al estudio de caso de los derrames ocurridos en el SOTE en los sectores La Boa, Quebrada Negra y El Guango en el período 2000-2005; para optimizar los recursos económicos, biofísicos y tecnológicos.

##### **Específicos**

- ✓ Analizar, la cobertura vegetal en las áreas contaminadas, para determinar su diversidad biológica

- ✓ Analizar, la flora bacteriana, para determinar su diversidad micro-biológica
- ✓ Analizar, las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), para determinar su concentración en el tiempo
- ✓ Estructurar una matriz de intervención para derrames de hidrocarburos

### **1.5. PREGUNTAS**

- ✓ Cual es la diversidad de la cobertura vegetal en las zonas de estudio?
- ✓ La flora microbiana degradadora de hidrocarburos difiere entre los sectores de análisis?
- ✓ Disminuye la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en el tiempo?
- ✓ Es posible disminuir la subjetividad en la intervención de los suelos contaminados por hidrocarburos?

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.**

El diagnóstico se realiza del componente biofísico en los sectores de Quebrada Negra, El Guango y La Boa.

##### **2.1.1. Medio Físico**

Para el Diagnóstico Ambiental de las zonas de estudio, se describe los aspectos relacionados con clima, geología y suelos.

##### **2.1.1.1. Climatología**

Para la caracterización del clima, se ha dividido en dos regiones Sierra (Quebrada Negra y El Guango) y Amazonía (La Boa).

La región Sierra según Hofstede señala que tiene un clima muy variado según la altitud, la zona en estudio corresponde a la cuenca del río Papallacta

Las partes altas de la Cordillera de Los Andes y el callejón interandino tienen un régimen de precipitación ecuatorial del hemisferio Sur. Significa que se presentan dos picos de precipitación (uno de febrero hasta mayo y el segundo en octubre hasta diciembre), provocados por el movimiento de la “zona de convergencia intertropical” sobre el país. La principal estación seca se presenta desde junio hasta agosto, que coincide con el “invierno austral”; el segundo período menos lluvioso se presenta a fines de diciembre-enero llamado “veranillo del Niño”.

De acuerdo a la clasificación climática realizada por Pourrut en 1983, la zona en estudio se encuentra en el clima “Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo a Húmedo”, se presenta bajo los 3200 msnm; la precipitación anual fluctúa entre 500 a 2000 mm, distribuida en dos estaciones. Las temperaturas medias anuales se sitúan entre 12°C a 20°C y la duración de la insolación entre 1000 y 2000 horas anuales. (pp. 18 y ss)

La Amazonia, es una zona un tanto ondulada, que se extiende desde el declive oriental de Los Andes a partir de los 800 y 1.000 msnm., las partes bajas no superan los 200 metros de altitud.

De acuerdo al Plan Integral de Manejo Ambiental de la actividad hidrocarburífera Tomo II realizado por la Asociación ESEN Cía Ltda. y AMBIENTEC (1990) la zona del puente La Boa y río Jivino se clasifica dentro de la región bioclimática *Húmedo Tropical* correspondiente a la zona ecológica *Bosque Húmedo-Selva*, con las siguientes características temperatura media anual de 25°C, una temperatura máxima absoluta de 36°C y una temperatura mínima absoluta de 16°C, la humedad relativa anual es 90%, la heliofanía alcanza las 1.000 horas/año, la nubosidad 6/8; la precipitación media anual 3.302 milímetros, los meses más lluviosos son marzo, abril y mayo en los cuales precipita el 30% de las lluvias anuales.

#### **2.1.1.2. Geología**

Los procesos tectónicos que afectan al Ecuador, han sido explicados a través de la Tectónica de Placas, según esta teoría la corteza terrestre está dividida en zonas móviles denominadas placas, la placa continental Sudamericana se moviliza en sentido este-oeste choca contra las placas de Nazca y Cocos que forman parte del fondo marino del Pacífico Sur la que se mueve en sentido oeste-este. La contemporaneidad y vigencia de la

tectónica de placas en nuestro país se manifiesta con volcanismo activo y alta actividad sísmica.

La geodinámica de placas ha definido la geografía del país en tres regiones naturales Costa, Sierra y Amazonía, y la formación de la cadena montañosa de Los Andes constituye el límite natural entre las regiones.

Las unidades geológicas de las zonas de estudio se han agrupado considerando los cambios litológicos, la interrelación estructural y los paleo ambientes geológicos, éstas se localizan en las siguientes macro divisiones estructurales:

#### **2.1.1.2.1.- Plataforma del Alto Amazonas (km. 0 - 62)**

La Cuenca Oriental ecuatoriana forma parte del conjunto de cuencas sedimentarias “back arc” o “trasarco” que se extiende desde Venezuela hasta Argentina y que separa el cinturón orogénico Andino del Cratón Sudamericano, la cuenca tiene una extensión aproximada de 100.000 km<sup>2</sup>; el sustrato rocoso está constituido por rocas sedimentarias Plio-Cuaternarias de la formación Mera, interrumpidas en las partes mas bajas por aluviales actuales asociados a los cauces del río Aguarico; de acuerdo con ESEN Cía Ltda (1990) la distribución lítica es la siguiente “Aluviales de arcilla-grava 59%, arcillolitas 18%, conglomerados 16% y 8% de limonitas”. A pesar de tener una tectónica Plio-Cuaternaria ocasionada por el levantamiento Napo, la plataforma es considerada una zona estable tectónicamente y morfodinámicamente”. (p. II-98)

### **2.1.1.2.2.- Cordillera Oriental o Real (km. 162 - 220)**

La zona inicia con un cambio brusco de pendiente (km 165) coincidente con el inicio de los afloramientos de rocas metamórficas representada por esquistos verdes y gneis. La zona está dominada en su núcleo y lado oriental por rocas metamórficas sobre las cuales y en orden cronológico sobreyacen volcánicos indiferenciados antiguos, lavas andesíticas recientes y depósitos coluviales.

En la zona de Cuyuja (km. 162-175) el ducto atraviesa en los cortes de las rocas metamórficas que en si no representan gran inestabilidad, la inestabilidad se incrementa al atravesar los derrubios rocosos (coluviales y conos de deyección).

En el subsector que comprende el tramo desde el kilómetro 175 hasta el kilómetro 184, se localizan conos de deyección muy activos entre los que se pueden mencionar: río Blanco, Quebrada Negra y El Guango, el subsector es considerado como una zona muy inestable, lo que ha provocado una serie de rupturas del ducto.

### **2.1.1.3. Suelos**

Para la caracterización de los suelos se han dividido las áreas en sectores de acuerdo a la geomorfología y edafología. En las zonas de estudio se tienen las siguientes unidades:

#### **2.1.1.3.1.-Amazonía Periandina**

De acuerdo con Winckell (1997), en la Amazonía Periandina, predominan suelos asociados a conjuntos de colinas con pendientes moderadas. Se les

ha clasificado taxonómicamente dentro del Orden: *Inceptisol* Grupo *Dystropepts*.

#### **2.1.1.3.2.- Vertientes Externas de la Cordillera Real**

ESINGECO (2005) señala que los suelos depositados en grandes vertientes con pendientes superiores al 45% en el valle del río Quijos zonas con alta humedad, la cobertura pedológica contiene suelos más o menos desarrollados, evolucionados, erosionados o removidos. Taxonómicamente corresponde a suelos del Orden *Andisoles* y del grupo *Hydrandepts*.

#### **2.1.2. Vegetación**

Hofstede (1998), respecto a la historia de la vegetación *Neotropical* señala que empieza hace 100 millones de años, cuando se separaron los continentes originarios del supercontinente Gondwana. América del Sur permaneció aislada hasta que se formó el istmo de Panamá en el Mioceno Superior (hace aproximadamente 10 millones de años), que conectó las dos Américas. El Mioceno fue muy importante para el desarrollo de la flora andina porque empezó la introducción de especies del hemisferio norte, mientras que también empezó lentamente la elevación de Los Andes. Hace unos cuatro millones de años (Plioceno Medio) empezó a desarrollarse la composición florística de Los Andes como lo conocemos hoy día.

Durante el Pleistoceno (1.800.000 - 10.000 años) los trópicos experimentaron substanciales cambios climáticos y los cinturones de vegetación sufrieron numerosos desplazamientos verticales durante los varios períodos glaciales e interglaciales. Durante el último glacial (hace 13.000 años) el límite del bosque se encontró a menos de 2.000 msnm, 1.500 metros más bajo que

actualmente, y en estos glaciales hubo mayor intercambio de especies. De acuerdo a Hofstede el Holoceno se caracteriza por

Al principio del Holoceno parece que hubo un período húmedo en que los bosques estuvieron dominados por *Agnus* y *Weinmannia*. Desde hace 5700 años el clima se volvió más seco y se produjo un incremento masivo de polen de *Cyperaceae*, que terminó con otro período húmedo con la presencia de polen de *Rumex* y *Dodonea*; esta época húmeda, que demoró hasta hace 800 años, favoreció el desarrollo de las culturas humanas. Sin embargo, hace unos 300 años empezó un retroceso del límite del bosque que se atribuye a la presión del ser humano por nuevas tierras de cultivo. (pp. 35, 36)

#### **2.1.2.2. Bosque Andino**

La Sierra Andina Ecuatoriana según Guevara es una zona muy diversa en cuanto a ecosistemas, por su topografía inclinada, y, su gran rango altitudinal y latitudinal, se puede distinguir en ella una gran variedad de zonas de vida. Esta región puede considerarse formada por dos subregiones: la *Tropical* que se extiende hasta los 1.600 msnm y desde esta altura hasta los 3.000 msnm corresponde a la subregión *Subtropical*. Desde los 2.000 msnm hasta los 2.600 msnm la flora Subtropical llega a su desarrollo típico, predominando varias especies de cascarilla, helechos arbóreos y guarumos de hoja plateada. A medida que se asciende hacia la montaña, los árboles pierden altura y grosor, y, el bosque toma aspecto completamente diferente presentando un aspecto menos tupido, sombrío, con predominio de gran cantidad de arbolitos y arbustos de *fucsias*, *miconias*, *solanaceas*, *gesneraceas*, *lobeliaceas* y *chasqueas*.



Foto 1. Vista panorámica del bosque en el valle del río El Guango

La vegetación se caracteriza por la presencia de árboles medianos, que alcanzan entre 8 y 25 metros de altura, cuyos troncos están cubiertos por una densa vegetación epífita de briofitas, bromelias, helechos, hepáticas, licopodios, líquenes, musgos y orquídeas.

La alta humedad dentro del bosque da un microclima ideal para *epífitas*, porque éstas viven totalmente independientes del suelo y dependen tanto para su agua como para sus nutrientes de la lluvia y la niebla.

De acuerdo a Ulloa y Jorgensen (1995) el origen de la flora de los bosques andinos “es más tropical que de los páramos. El 62% de todos los géneros son de origen neotropical y 19 % pantropical o americano-africano” (p. 329).

La Casa de la Cultura [CCE] (2005), señala que el clima de los valles intramontañosos es templado, en su recorrido los ríos abren en la cordillera brechas por donde circulan los vientos cálidos y la humedad de los trópicos hacia los valles, que se convierten en lugares de tránsito de especies vegetales y animales.

### 2.1.2.3. Bosque Amazónico

De acuerdo a la CCE, la vegetación dominante en la amazonía ecuatoriana es la Siempre Verde Selva Tropical Lluviosa, que desciende desde las estribaciones de Los Andes y fluye hacia las planicies de las tierras bajas del gran río Amazonas.

En el Ecuador, este ecosistema forma una vasta llanura, existen sitios que en invierno se inundan formando pantanos a los que se les da el nombre de bosques aluviales; en otros lugares, la presencia de pequeñas colinas no permite la acumulación de agua de lluvia, estos lugares reciben el nombre de Bosques Colmados.

El Movimiento Mundial por los bosques tropicales (2004, 4), señala que la deforestación y la degradación del bosque se ha venido acelerando desde la década de los años setenta, sobre todo por la explotación de yacimientos petroleros, a la vez que han adquirido mayor impulso las plantaciones de monocultivos industriales especialmente palma africana.

Algunos de los factores que influyen en la diversidad biológica de la Amazonia están relacionados con el efecto de los niveles oceánicos en el pasado (erosión y sedimentación), la formación de Los Andes, las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno, los ríos (cuencas hidrográficas) y la posición de la gran cuenca en la región tropical. El tipo de vegetación encontrado en la Amazonia occidental (Ecuador, Perú, Colombia) es el Bosque Tropical Lluvioso Siempre Verde. Los troncos de los árboles son habitualmente cilíndricos, las raíces son frecuentemente tabulares, la *cauliflora* (frutos y flores localizados en el tronco) y *ramiflora* (frutos y flores posicionados en ramas) son aspectos típicos de este tipo de bosque lluvioso. Es frecuente encontrar, además, plantas *epifitas* o aéreas, lianas o bejucos y

palmas. Los suelos en este tipo de bosques son pobres en nutrientes, ácidos y se erosionan con facilidad (Manate9 Amazon Explorer, 2004, Introducción, 3).



Foto 2. Vista panorámica de bosque tropical lluvioso siempre verde.

“La riqueza de los bosques tropicales lluviosos certifica la capacidad del suelo para sostener una vegetación prolífica. Sin embargo, existe mucha controversia acerca de su potencial para la agricultura, crianza de ganado u otros usos permanentes” (Landázuri, 2001, p. 56).

### **2.1.3. Diagnóstico biofísico de sitios de estudio**

Se describe los aspectos más relevantes de las áreas estudiadas en la presente investigación.

#### **2.1.3.1. Suelos**

Los suelos de El Guango y Quebrada Negra son del orden de los *Andisoles*, los suelos del puente La Boa son del orden *Inceptisol*.

##### **2.1.3.1.1. El Guango y Quebrada Negra**

Suelos negros franco a franco limosos, poco profundos, con buen drenaje, muy pedregosos, la fertilidad es moderada, con ligero nivel de aluminio tóxico.

Foto 3. Perfil de suelo en El Guango.



1. Horizonte A (0-30 cm); color marrón oscuro 7.5YR4/2 en húmedo, textura franco arenoso, friable, drenaje alto, abundantes raíces, guijarros angulosos, pedregosidad moderada
2. Bloque de roca andesítica
3. Horizonte A

Se colectó muestras simples en los sitios de Quebrada Negra (829.166E y 9.955.523N) y en El Guango (825.884E y 9.958.725N), el compendio de los resultados (Ver Anexo 4) de los análisis efectuados a las mismas se presentan en los siguientes cuadros.

Cuadro 2. Análisis físico-químico de suelos en Quebrada Negra y El Guango

Sitio	Parámetro	pH	Materia Orgánica %	N Total %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha	Conductividad Eléctrica μS/m
Quebrada Negra	Valor	4,7	4,48	0,22	41	169	66
	Interpretación	Muy ácido	Medio	Medio	Bajo	Muy bajo	Bajo
El Guango	Valor	6,3	2,59	0,13	41	182	73
	Interpretación	Lig. ácido	Bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Bajo

Fuente: Reporte Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas 2005  
Elaboración: Albán Galo

Cuadro 3. Determinación de la textura en Quebrada Negra y El Guango.

Sitio	% Arena	% Limo	% Arcilla	Nombre Textural
Quebrada Negra	68	26	6	Franco Arenoso
El Guango	70	27	3	Franco Arenoso

Fuente: Reporte Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas 2005.  
Elaboración: Albán Galo.

### 2.1.3.1.2. La Boa

Los suelos se caracterizan por ser de color rojo a pardo amarillento, con una textura predominantemente franco, moderadamente profundos, presencia de aluminio tóxico en nivel medio a alto, con un drenaje moderado, la fertilidad de estos suelos es baja, el nivel freático es fluctuante de acuerdo a la presencia de las lluvias.

Foto 4. Perfil de suelo en La Boa



Horizonte O (0-8cm); color gris muy oscuro 7.5YR3/0, tejidos vegetales y humus, abundante actividad biológica

Horizonte A (>10cm); color café rojizo 7.5YR6/6 en húmedo, textura franco, moderadamente friable, poros finos, drenaje moderado, raíces abundantes medias y finas, presencia de actividad biológica, límite gradual horizontal.

Se colectó una muestra simple en las coordenadas 248.188E y 10.008.709N, el compendio de los resultados del análisis (Ver Anexo 4) se encuentran en las siguientes tablas.

Cuadro 4. Análisis físico-químico de suelo en La Boa.

Parámetro	pH	Materia Orgánica %	N Total %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha	Conductividad Eléctrica μS/m
Valor	3,9	2,00	0,10	62	226	53
Interpretación	Muy ácido	Bajo	Muy bajo	Medio	Muy bajo	Bajo

Fuente: Reporte Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas 2005  
Elaboración: Albán Galo

### Cuadro 5. Determinación de la textura La Boa.

% Arena	% Limo	% Arcilla	Nombre Textural
44	36	20	Franco

Fuente: Reporte Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas 2005  
Elaboración: Albán Galo

#### 2.1.3.2. Cobertura Vegetal

A continuación se detalla la cobertura vegetal de los sitios de análisis

##### 2.1.3.1.1. El Guango y Quebrada Negra

El trazado del SOTE en este sector atraviesa el valle del río Quijos, en el área de influencia directa se observa un bosque de alisos; en el área de influencia indirecta en zonas con pendientes inferiores a 45° se ha talado el bosque para la introducción de pastos, y en zonas con pendientes superiores al ángulo mencionado se conserva el bosque aunque se observa tala selectiva de especies maderables.



Foto 5. El Guango diciembre de 2002, reforestación en área de derrame con alisos -*Alnus acuminata*-.



Foto 6. El Guango mayo de 2005, desarrollo del bosque plantado de aliso.

En el área de influencia indirecta del SOTE el uso actual del suelo es de dos tipos:

Pastos. Entre los colonos este sistema de producción es muy frecuente; entre el pasto generalmente se dejan unos pocos árboles para sombra del ganado.

Áreas Desmontadas. Esta unidad está conformada por *purmas* que están siendo nuevamente integradas a la producción. En este caso la vegetación proveniente del bosque secundario incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo, con lo que se restablece la fertilidad, para iniciar un nuevo ciclo de aprovechamiento del suelo. En el proceso de desmonte generalmente se dejan especies forestales de valor, como laurel, cedro y otras.



Foto 7. Vista panorámica del área intervenida, en primer plano pastos, árboles aislados y remanentes de bosque en bordes de cauces y colinas con pendientes superiores a 45°. Al fondo cicatriz de deslizamiento

#### **2.1.3.1.2. La Boa**

Es una zona en la cual se observa el proceso de colonización agresivo y la segmentación de remanentes de bosque por el paso del SOTE, Oleoducto de Crudos Pesados [OCP], Poliducto Shushufindi-Quito y vía Quito-Lago Agrio.



Foto 8. Vista panorámica de la franja de servidumbre del SOTE y áreas contiguas con remanente de vegetación nativa.

Dentro del área de estudio se distinguen las siguientes formaciones vegetales:

Relieves ondulados y planicies correspondiente a la formación vegetal: *Bosque siempreverde de tierras bajas*, y, Terrazas sobre los suelos planos del río, formación vegetal: *Bosque siempreverde de tierras bajas inundables por aguas blancas*.

En el área de influencia indirecta se tiene dos sistemas principales de usos del suelo:

Sistemas Agroforestales de producción. Este sistema combina árboles provenientes del bosque y de regeneración naturales, con cultivos productivos, en dos estratos, donde los árboles están cubriendo el piso superior y el cultivo el estrato inferior. En algunos casos se encuentra cobertura herbácea en el estrato inferior. En esta condición predominan las ingas (guabas) en estrato superior, y, café, yuca, plátano y cacao en el inferior.

Bosques + Pastos. Este sistema es un mosaico de bosques secundarios en proceso de *purma*. Los suelos debido a la compactación y a la pérdida de fertilidad están en pleno proceso de degeneración; por esta razón se deja que el bosque secundario se establezca y crezca, para, transcurridos de 8 a

10 años, volverlos a integrar al proceso productivo. En la amazonía, este método de rotación es ampliamente utilizado para recuperar la fertilidad de las tierras.

## **2.2. FUNDAMENTACION TEORICA**

En este subcapítulo se describen los siguientes temas: contaminación por hidrocarburos, remediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos y análisis de la biodiversidad.

### **2.2.1. Contaminación por hidrocarburos**

La contaminación ambiental siempre ha existido, pues es parte inherente a las actividades del ser humano. De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud [OPS], “en años recientes se ha debido prestar cada vez mayor atención, ya que ha aumentado la frecuencia y gravedad de los incidentes de contaminación en todo el mundo y cada día hay más pruebas de sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud, aunque hasta hace relativamente poco se consideraba que éstos no existían por carecer de pruebas suficientes” (p. 37).

Los efectos más graves de la contaminación ocurren cuando la entrada de sustancias (naturales o sintéticas) al ambiente rebasa la capacidad de los ecosistemas para asimilarlas y/o degradarlas.

La OPS define a la contaminación como “la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos por un tiempo suficiente, y bajo condiciones tales, que esas sustancias interfieren con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona” (p. 40).



Foto 9. Derrame de crudo del SOTE y trabajos de recolección de crudo.

En general, se puede decir que la evolución y comportamiento de los compuestos orgánicos e inorgánicos en el suelo, vienen determinados por los siguientes factores:

- i. Características del suelo;
- ii. Propiedades de los compuestos;
- iii. Factores ambientales como temperatura y precipitación.

La combinación de ellos puede hacer que el compuesto siga diferentes vías, como lixiviación a la fase acuosa, biodegradación, volatilización al aire, unión a las fases sólidas del suelo y transferencia a organismos.

“El petróleo crudo está compuesto de miles de compuestos químicos, los cuales pueden ser clasificados en líneas generales como: i) hidrocarburos, consistentes en compuestos orgánicos aromáticos y alifáticos y ii) no hidrocarburos, que consisten en compuestos de nitrógeno, azufre y oxígeno (NSO – por sus siglas en inglés), trazas de metales y asfáltenos” (Martin, Moreno, et al., 2004, Tratamiento de suelos contaminados con hongos, 4).

#### **2.2.1.1. Concentración total de hidrocarburos de petróleo**

El término “hidrocarburos totales de petróleo [abreviados TPH en inglés], se usa para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos

originados de petróleo crudo; éste es usado para manufacturar productos de petróleo, los que pueden contaminar el ambiente” (Universidad de Antofagasta, 2005, Contaminación por hidrocarburos en la zona costera de la ciudad de Antofagasta, 3).

Debido a que existen varios productos químicos diferentes asociados en el petróleo crudo e industrializado, no es práctico medir cada uno en forma separada, siendo útil medir la cantidad total de TPH en un sitio. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua, estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo, cada fracción contiene muchos productos químicos individuales.

Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH incluyen a hexano, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina, y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina. Sin embargo, es probable que muestras de TPH contengan solamente algunas o una mezcla de estas sustancias químicas.

Todos los petróleos crudos contienen concentraciones bajas de metales pesados de origen natural, los metales son componentes naturales de las rocas de formación y que han sido incorporados en el petróleo durante la formación del mismo, en la forma de moléculas orgánicas que contienen metales.

### **2.2.2. Remediación de suelos contaminados por derrames de crudo**

El crecimiento de la población y el avance de las actividades industriales a partir del siglo XIX trajeron aparejados serios problemas de contaminación ambiental. Desde entonces, los países generan más desperdicios, muchos

de ellos no biodegradables o que se degradan muy lentamente en la naturaleza, lo que provoca su acumulación en el ambiente sin tener un destino seguro o un tratamiento adecuado. De este modo, en lugares donde no existe control sobre la emisión y el tratamiento de los desechos, es factible encontrar una amplia gama de contaminantes.

Habitualmente, los casos de contaminación que reciben mayor atención en la prensa son los derrames de petróleo. Pero, en el mundo constantemente están sucediendo acontecimientos de impacto negativo sobre el medio ambiente, incluso en el entorno directo, generados por un gran abanico de agentes contaminantes que son liberados al ambiente. Un ejemplo lo constituyen algunas industrias químicas que producen compuestos cuya estructura química difiere de los compuestos naturales, y que son utilizados como refrigerantes, disolventes, plaguicidas, plásticos y detergentes. El problema principal de estos compuestos es que son resistentes a la biodegradación, por lo cual se acumulan y persisten en el ambiente, perjudicando a los seres vivos, entre ellos al hombre.

#### **2.2.2.1. Degradación de hidrocarburos**

La degradación del petróleo es el resultado de la combinación de procesos físicos y biológicos que incluyen volatilización, disolución dentro del agua, adsorción hacia los suelos, degradación microbiana (o biodegradación), y foto-oxidación. Los procesos antes mencionados ocurren de manera colectiva en el ambiente natural provocando que el hidrocarburo cambie rápida e irreversiblemente hasta resultar en una mezcla asfáltica.

Como señala Galan (2004), el proceso de degradación del petróleo y la velocidad de su degradación está influenciada por varios factores como son: luz, temperatura, tipo y número de sustancias nutrientes e inorgánicas que

contiene el medio y las condiciones climáticas. Estos factores afectan a la degradación microbiana, a la evaporación, a la disolución, a la dispersión y a los procesos de sedimentación. Las fracciones más tóxicas son generalmente las menos susceptibles a la degradación microbiana.

Ewies (1999) señala que, los asfaltos y resinas son compuestos de alto peso molecular que contienen nitrógeno, azufre y oxígeno; tienen una estructura compleja compuesta de cadenas de hidrocarburos, nitrógeno, azufre, y átomos de oxígeno ligados a ramificaciones de policíclicos aromáticos los cuales incluyen níquel y vanadio. Los compuestos de estos dos grupos son recalcitrantes debido a su insolubilidad y la presencia de grupos funcionales que los protegen de ataques microbianos por las extensivas estructuras de anillos aromáticos.

El proceso de degradación de crudo en la Amazonía ecuatoriana, es sujeto de varias interpretaciones de acuerdo a la orientación que se la quiera dar, en el caso del juicio que se sigue el Frente de Defensa de la Amazonia [FDA] a la compañía TEXACO, el perito Baca (2005) expone lo siguiente.

Las condiciones ambientales de la Región Oriente (temperatura, precipitación, humedad relativa, condiciones del suelo, etc) favorecen la volatilización de los compuestos ligeros del petróleo crudo (BTEX) que son los responsables de la mayor toxicidad. En el caso del crudo presente en el campo Sacha, se sabe que la fracción de componentes ligeros representa un 30% de la masa total que debido al clima de la región se volatilizan en un período corto.

Los procesos de biodegradación siguen un orden lógico, en donde las bacterias primero consumen los compuestos orgánicos fácilmente digeribles (es decir, los compuestos cinéticamente favorables y ricos en energía, tales como los alcanos normales), seguidos de los compuestos menos digeribles (es decir, los compuestos recalcitrantes y menos ricos en energía, tales como, los terpenos tricíclicos). Con

el paso del tiempo, el efecto de este proceso de biodegradación es consumir los hidrocarburos ligeros y los componentes medios, reduciendo la masa del petróleo crudo y convirtiendo el petróleo en una forma menos móvil y menos tóxica. (p.23)

#### **2.2.2.2. Tecnologías de remediación**

Según la Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica [EPA] (1996) se refiere al término tecnología de tratamiento implica aplicar cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que altere la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado.

Las tecnologías de remediación representan una alternativa a la disposición de desechos peligrosos que no han sido tratados o no han sido confinados adecuadamente. El uso de una tecnología de remediación depende entre otros de los siguientes factores:

- i. Características bióticas y abióticas del sitio contaminado
- ii. Propiedades físico-químicas del contaminante
- iii. De la disponibilidad de las fracciones del contaminante
- iv. De la confiabilidad del método a utilizar
- v. Volumen de material a ser tratado
- vi. Costo

#### **2.2.2.3. Clasificación de tecnologías de remediación**

Según Sepulveda (2002), “las tecnologías de remediación se clasifican de acuerdo a los siguientes criterios:

- i. Lugar en que se realiza el proceso de remediación
- ii. Tipo de tratamiento” (p. 27).

### 2.2.2.3.1. Lugar de realización de remediación

Se distingue dos tipos:

*In situ*: los tratamientos se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación, sin necesidad de excavar el sitio.

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

Cuadro 6. Atributos de técnicas de remediación

Atributos	<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>
Ventajas	Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar. Potencial disminución de costos	Menor tiempo de tratamiento Más seguro en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente.
Desventajas	Mayor tiempo de tratamiento. Heterogeneidad en las características del suelo. Dificultad para verificar la eficacia del proceso	Necesidad de excavar el suelo. Aumento en costos e ingeniería para equipos. Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante.

Fuente: Sepúlveda Tania *et. al.*

### 2.2.2.3.2 Tipo de tratamiento

Los criterios corresponden Sepúlveda (2002), la clasificación se basa en el principio de la tecnología de remediación y se divide en tres tipos de tratamientos.

Tratamientos biológicos (bioremediación). Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos.

Tratamientos físico-químicos. Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los

contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.

Tratamientos térmicos. Utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes en un suelo. (p. 28)

En el siguiente cuadro se resumen las ventajas y desventajas de los tratamientos.

Cuadro 7. Descripción de las tecnologías de remediación

Tratamientos	Técnicas	Ventajas	Desventajas
Biológicos	Remediación microbiana	Son efectivos en cuanto a costos Son tecnologías más benéficas para el ambiente Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior Se utilizan microorganismos Se logra la transformación de contaminantes Puede adaptarse a las necesidades de cada sitio El suelo puede reutilizarse	Requieren mayores tiempos de tratamiento Es necesario verificar la toxicidad de intermedios y/o productos No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano Difícilmente funciona cuando los contaminantes están absorbidos en el material geológico o la zona es de baja permeabilidad Requiere de mucho tiempo Existe riesgo de inhibición de los microorganismos
	Remediación con plantas	Bajo costo Estabiliza las condiciones del suelo Reduce los lixiviados Contribuye a la restitución del paisaje	Requiere de tiempos relativamente altos Desconocimiento de las bondades de la técnica El material vegetativo ocasionalmente puede ser consumido
Físico-químicos	Extracción (Lavado de suelo -Soil Washing-)	Se logra la extracción de sustancias contaminantes Costo de mercado es bajo	Se utilizan solventes orgánicos Existe un alto riesgo de explosión Los aditivos pueden complicar los tratamientos posteriores del suelo y del agua No es muy efectivo en

			suelos arcillosos Los contaminantes no se destruyen, por lo que se combinan con otras tecnologías para completar la remediación
	Fijación y/o encapsulamiento.	Se reduce la generación de lixiviados Es útil para tratar contaminantes que no pueden ser destruidos ni transformados	No funciona para suelos contaminados con grasas y aceites El suelo pierde algunas de sus propiedades originales El monitoreo debe efectuarse por períodos largos Es una tecnología costosa
Térmicos	Incineración	Permiten tiempos rápidos de limpieza Sirve para la destrucción de residuos peligrosos y contaminantes en grandes concentraciones	Es el grupo de tratamientos más costoso Los costos aumentan en función del empleo de energía y equipo Intensivos en mano de obra y capital Uso limitado para sustancias orgánicas Requiere de confinamiento para las cenizas

Fuente: Sepúlveda Tania et. al.

#### 2.2.2.4. Técnicas biológicas de remediación de suelos

En las últimas décadas, entre las técnicas empleadas para contrarrestar los efectos de los contaminantes, se comenzó a utilizar una práctica llamada bioremediación. El término bioremediación fue acuñado a principios de la década de los años 80, y proviene del concepto de *remediación*, que hace referencia a la aplicación de estrategias físico-químicas para evitar el daño y la contaminación en suelos. Los científicos se dieron cuenta que era posible aplicar estrategias de remediación que fuesen biológicas (microorganismos y plantas), basadas esencialmente en la observación de la capacidad de los microorganismos de degradar en forma natural ciertos compuestos

contaminantes (Argenbio, 2004, Bioremediación: organismos que limpian el ambiente, 2,3,4,5).

En la actualidad, se motiva la utilización de este tipo de técnicas, ya que no producen en general agresiones en el entorno, aunque la dimensión de la contaminación y el tiempo requerido para el desarrollo del proceso de descontaminación no las hacen adecuadas en todos los casos.

Eweis (1999) señala que, estas degradaciones o cambios ocurren usualmente en la naturaleza, sin embargo, la velocidad de tales cambios es baja, aunque mediante una adecuada manipulación estos sistemas biológicos pueden ser optimizados a fin de aumentar la velocidad de cambio o degradación, y así utilizarlos en sitios con una elevada concentración de contaminantes. Una variedad de contaminantes pueden ser eliminados por bioremediación; a saber, pesticidas, herbicidas, petróleo, gasolina, y metales pesados, entre otros. Ciertos microorganismos (enzimas, levaduras, hongos, o bacterias) pueden digerir sustancias orgánicas peligrosas para los seres humanos, como combustibles o solventes. Los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos en productos inocuos, principalmente en dióxido de carbono y agua.

Los procesos de bioremediación de suelos contaminados pueden realizarse *ex situ*, como los tratamientos de landfarming, biofiltros o biorreactores y compostaje; así como *in situ*, que fundamentalmente se centran en la bioestimulación o bioaumentación mediante la utilización de enzimas y bacterias.



Foto 10. Tratamiento de suelos contaminados con petróleo, utilizando técnicas de landfarming

La EPA (1996) señala que, las tecnologías biológicas, son consideradas como tratamientos innovadores que se aplican a desechos peligrosos o materiales contaminados para alterar su estado en forma permanente por medios químicos, biológicos o físicos. Las técnicas han sido ensayadas, seleccionadas o utilizadas, aunque todavía no se dispone de datos bien documentados sobre su costo y resultado en diversas condiciones de aplicación.

#### **2.2.2.4.1. Biodegradación de hidrocarburos**

Friend (1990) manifiesta que, “las bacterias son los principales desintegradores de casi todos los ecosistemas. No sólo degradan los restos muertos de organismos mucho más grandes, sino además liberan las moléculas y los átomos constituyentes de estos para dejarlos a disposición de otros miembros de la comunidad” (p. 362).

Según Ewais (1999), algunos microorganismos atacan específicamente ciertos hidrocarburos que incluso un solo carbono de diferencia en su estructura puede volverlo resistente. Este fenómeno es más notable en los alcanos de cadena corta.

En general, los hidrocarburos de petróleo son compuestos intermedios entre altamente biodegradables y difícilmente biodegradables. Los compuestos del petróleo han penetrado a la biosfera a través de la filtración y erosión durante millones de años y han desarrollado rutas para su degradación.

Los hidrocarburos del crudo están clasificados como los alcanos (normal e iso), cicloalcanos, aromáticos, policíclicos aromáticos, asfaltinas y resinas. Los alquenos generalmente no se encuentran en el crudo pero pueden estar presentes en pequeñas cantidades en productos de refinado del petróleo debido a los procesos de craqueo. La biodegradabilidad de estos compuestos está afectada en gran medida por su estado físico y toxicidad. Puesto que el petróleo es una mezcla compleja, su degradación se favorece por una población variada de microorganismos con amplia capacidad enzimática. Además, la degradación inicial de hidrocarburos del petróleo frecuentemente requiere la acción de enzimas oxigenasas y esto depende de la presencia de oxígeno molecular (Atlas, 1991). Por consiguiente las condiciones aerobias son necesarias para romper inicialmente los hidrocarburos. En subsecuentes etapas, los nitratos y sulfuros pueden servir como aceptores terminales de electrones pero el oxígeno es el que se utiliza más comúnmente.

### **Alcanos**

Los alcanos lineales son los hidrocarburos del petróleo más biodegradables. Sin embargo los alcanos con número de carbono entre  $C_5$  y  $C_{10}$  a altas concentraciones inhiben la degradación de muchos hidrocarburos porque como solventes rompen la membrana lipídica. Los alcanos con número de carbono de  $C_{20}$  a  $C_{40}$  (tales como las ceras) son sólidos hidrófobos; su baja solubilidad interfiere con su biodegradabilidad. En general, la degradación de alcanos produce productos oxidados los cuales son menos volátiles que los compuestos que los preceden. Sin embargo, estos alcanos inicialmente son altamente volátiles y pueden ser removidos primeramente del suelo a través de arrastre por aire bajo condiciones aerobias.

## **Cicloalcanos**

Los cicloalcanos (hidrocarburos cíclicos) son menos degradables que sus isómeros de cadena lineal pero más degradables que los aromáticos policíclicos (HPA) (Trudgill, 1984; Pitter y Chudoba, 1990). La biodegradabilidad de los cicloalcanos tiende a decrecer con el número de anillos en su estructura, como es el caso de los HPA. Frecuentemente una molécula compleja será particularmente degradada pero una porción de la molécula puede ser recalcitrante.

## **Aromáticos**

Los compuestos aromáticos tienen estructuras basadas en la molécula de benceno. Dichos compuestos aromáticos están presentes en el petróleo, constituyendo compuestos de uno a cinco anillos y aromáticos alquil-sustituidos. Los compuestos aromáticos son más estables que otros compuestos cíclicos debido a la compartición de electrones deslocalizados por los enlaces  $\pi$ , los BTEX están entre los más solubles en el agua y son los componentes más móviles de la gasolina convencional. La biodegradación de una molécula de aromática involucra dos etapas: activación del anillo y rotura del anillo. La activación involucra la incorporación de oxígeno molecular dentro del anillo, esto es, deshidroxilación del núcleo aromático. Esta etapa es llevada a cabo por enzimas conocidas como oxigenasas y luego los microorganismos producen la rotura de los anillos.

## **Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos [HPA]**

Los hidrocarburos policíclicos aromáticos se degradan, un anillo cada vez, por mecanismos similares a los que se utilizan para compuestos aromáticos. La biodegradación de HPA tiende a disminuir con el incremento del número de anillos y con el incremento del número de sustituyentes alquilos. La degradación de HPA por hongos es ambientalmente importante debido a que algunos de los productos están involucrados como formadores de toxinas en organismos superiores mostrando un incremento en la volatilidad de ciertos HAP (naftaleno y 1-metilnaftaleno) como resultado de la biodegradación en compuestos de bajo peso molecular.

## **Asfaltos y resinas**

Los asfaltos y resinas son compuestos de alto peso molecular que contienen nitrógeno, azufre y oxígeno. Los compuestos de estos dos grupos son recalcitrantes debido a su insolubilidad y la presencia de grupos funcionales que los protegen de ataques microbianos por las extensas estructuras de anillos aromáticos (Atlas, 1991). Cantidades relativas y a veces absolutas de asfalto tienden a incrementarse durante la biodegradación de hidrocarburos de petróleo debido a su resistencia a la degradación. (pp. 132-137)

Gran número de microorganismos tales como bacterias, hongos y levaduras son capaces de utilizar hidrocarburos como fuente de carbono y de energía. La tasa de utilización varía ampliamente; los n-alcenos líquidos se utilizan rápidamente, mientras que algunos aromáticos pueden persistir por largo tiempo debido a que existen menos organismos capaces de atacarlos.

### **2.2.2.5. Tipos de bioremediación**

En la actualidad existen varias técnicas de bioremediación que priorizan el empleo de microorganismos y/o plantas capaces de degradar o acumular sustancias contaminantes. Básicamente los procesos de bioremediación son de tres tipos: degradación enzimática, remediación microbiana y fitoremediación.

#### **2.2.2.5.1. Remediación microbiana**

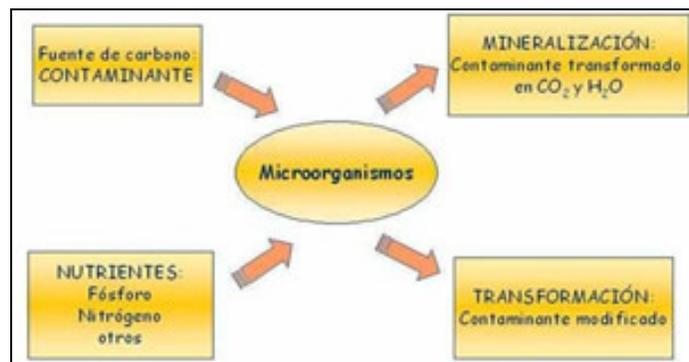
Eweis (1999) se refiere a que este tipo de remediación se usan microorganismos directamente en el foco de la contaminación; los microorganismos utilizados en bioremediación pueden ser los ya existentes “*autóctonos*” en el sitio contaminado o pueden provenir de otros ecosistemas “*alóctonos*”. La descontaminación se produce debido a la capacidad natural

que tienen ciertos organismos de transformar moléculas orgánicas en sustancias más pequeñas, que resultan menos tóxicas.

Existen bacterias y hongos que pueden degradar con relativa facilidad petróleo y sus derivados, los metales pesados como uranio, cadmio y mercurio no son biodegradables, pero las bacterias tienen la capacidad de concentrarlos de tal manera que puedan ser eliminados más fácilmente con ayuda de plantas.

De acuerdo con Argenbio (2004, 6) Los microorganismos ingieren contaminantes como fuente de carbono y algunos macro-nutrientes como fósforo y nitrógeno, la digestión de estos compuestos en sustancias más simples como parte del metabolismo del microorganismo, resulta en la degradación del compuesto en forma parcial (transformación) o total a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Figura 2. Metabolismo microbiano.



Fuente: ARGENBIO, bioremediación: organismos que limpian el ambiente (2004).

Ewais (1999) "Una vez degradados los contaminantes, la población de microorganismos se reduce porque ha agotado su fuente de alimentos. Las poblaciones pequeñas de microorganismos sin alimentos o los muertos no presentan riesgos de contaminación, ya que se quedan en el suelo y forman parte de la materia orgánica". (p.131)

### 2.2.2.5.1.1. Comportamiento microbiano en procesos de degradación de hidrocarburos

El término *biodegradación* hace referencia a la transformación de contaminantes por microorganismos vivos, cualquiera sea el medio en que se encuentren los microorganismos del suelo, tienen un importante rol en la atenuación del impacto ambiental de esos compuestos reduciendo la concentración de los mismos. Según Ercoli (2003), “La transformación de los contaminantes químicos por los microorganismos que derive en algún beneficio nutricional, utilizando al compuesto como fuente de carbono y energía o algún otro nutriente, se denomina *metabolismo*. El metabolismo, con frecuencia resulta en mineralización completa del contaminante, en otras palabras, su conversión a dióxido de carbono, agua e iones inorgánico”. (p. 132).

Las vías metabólicas consisten en una serie de reacciones secuenciales de transformación cuyo propósito es convertir el compuesto *xenobiótico*<sup>1</sup> en moléculas naturales que pueden ser procesadas por el metabolismo central y periférico y sostener el crecimiento. Las enzimas que participan en los pasos iniciales de la transformación son inducidas por el sustrato contaminante. En contraste, la transformación del contaminante sin un beneficio nutricional aparente del microorganismo, es llamada *cometabolismo*; las reacciones cometabólicas no sostienen el crecimiento de la biomasa degradadora pero suelen ser usadas como mecanismos de *detoxificación*<sup>2</sup>.

Los contaminantes producto de hidrocarburos pueden ser mineralizados por un solo tipo de microorganismos o consorcios de ellos; la degradación completa de un compuesto puede requerir una comunidad de

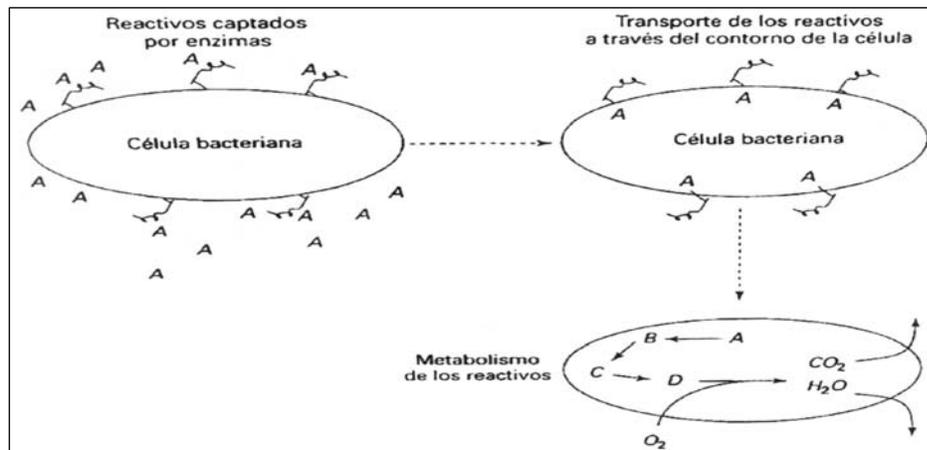
---

1 Compuestos cuya estructura química en la naturaleza es poco frecuente o inexistente debido a que son compuestos sintetizados por el hombre en el laboratorio

2 Técnicas de limpieza indicadas para desordenes moderados a severos

microorganismos que secuencialmente intercambian y luego excretan metabolitos a medida que la molécula es gradualmente desintegrada.

Figura 3. Procesos de biodegradación



Fuente: Eweis, Principios de Biorrecuperación (1999)

#### 2.2.2.5.1.2. Funcionamiento de la bioremediación

Flores (2004, 6) señala que, los microorganismos deben estar activos y saludables para poder desempeñar su tarea correctiva. Se facilita el crecimiento de los microorganismos y aumenta la población microbiana creando condiciones ambientales óptimas para disminuir la toxicidad de la mayor cantidad posible de contaminantes. El tipo de bioremediación que se use dependerá de varios factores; entre ellos, el tipo de microorganismos presentes, las condiciones del lugar, la cantidad y toxicidad de los productos químicos contaminantes. Hay diversos microorganismos que degradan distintos tipos de compuestos y sobreviven en condiciones diferentes.

Los microorganismos *autóctonos*, para estimular su crecimiento, tal vez sea necesario proporcionarles una temperatura apropiada del suelo, oxígeno y nutrientes. Si la actividad biológica que se necesita para degradar un contaminante en particular no está presente en el suelo del lugar, se pueden

añadir al suelo afectado microorganismos de otros sitios cuya eficacia se haya comprobado, estos son microorganismos *exógenos*. Es posible que sea necesario modificar las condiciones (físicas, químicas y mecánicas) del suelo, para que éstos proliferen.

La bioremediación puede aplicarse en condiciones *aerobias* y *anaerobias*. En las aerobias, los microorganismos usan el oxígeno disponible en la atmósfera para funcionar; con suficiente oxígeno convertirán muchos contaminantes orgánicos en dióxido de carbono y agua. En condiciones anaerobias, la actividad biológica tiene lugar en ausencia de oxígeno, de modo que los microorganismos descomponen compuestos químicos del suelo para liberar la energía que necesitan. A veces, en los procesos aerobios y anaerobios de descomposición de los contaminantes originales se crean productos intermedios de toxicidad menor, igual o mayor.

#### **2.2.2.5.1.3. Influencia de los factores ambientales en microorganismos**

Las actividades de los microorganismos se ven afectadas por las condiciones físicas-químicas-mecánicas que presenta el sustrato, en algunos casos favoreciendo la reproducción y en otros limitando la misma. Las condiciones que se presentan en la naturaleza no pueden ser controladas, de modo que varias especies coexisten simultáneamente. Se detalla los parámetros más relevantes que tienen influencia en los procesos de bioremediación, según Martin (1980) son los que se describen a continuación.

Temperatura. Afecta a la proliferación y supervivencia de los microorganismos, para cada uno de éstos existen las temperaturas cardinales las cuales limitan sus reacciones, así con temperaturas mínimas y máximas no existe proliferación, pero con temperatura óptima favorece el crecimiento microbiano.

Nutrientes. Para el desarrollo de los seres vivos se necesita nutrientes en diferente proporción, los macronutrientes constituyen el nitrógeno y fósforo, nutrientes entre los que se puede mencionar azufre, calcio, magnesio, hierro, sodio, potasio, carbono, y, micronutrientes boro, manganeso, entre otros.

Humedad. La disponibilidad de agua es importante para que se puedan reproducir los microorganismos.

Oxígeno. De acuerdo a la presencia o ausencia de oxígeno se clasifican los microorganismos en aerobios los primeros y anaerobios los segundos.

Potencial hidrogeno. Cada microorganismo tiene un pH óptimo para su desarrollo y un rango dentro del cual es posible su supervivencia, las condiciones naturales oscilan en valores de pH entre 5 y 9, por lo que la gran mayoría de los seres vivientes tienen un pH óptimo cercano a la neutralidad. En las regiones tropicales con alta humedad se observa una acidez elevada, esto se debe a la pérdida de las bases por lixiviación, siendo éstas sustituidas por el hidrógeno lo cual produce el carácter ácido a los suelos.

#### **2.2.2.6. Remediación con plantas (fitoremediación)**

De acuerdo con Argenbio (2004), la fitoremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos.

Las plantas adecuadas para llevar a cabo acciones de este tipo deben cumplir algunas características como tolerancia al metal que se deba eliminar, que la acumulación se produzca fundamentalmente en la parte aérea de la planta, que presenten rápido crecimiento y alta producción de biomasa en la parte aérea; en el caso de especies de ciclo corto se cosecha

la biomasa y se procede a incinerar o como material de compostaje, para evitar que los contaminantes acumulados en las plantas se transfieran a través de las redes alimentarias a otros organismos.

A manera de ejemplo se menciona la capacidad para hiper-acumular metales por parte de determinadas plantas, tomado de ARGENBIO (2004, 5-10).

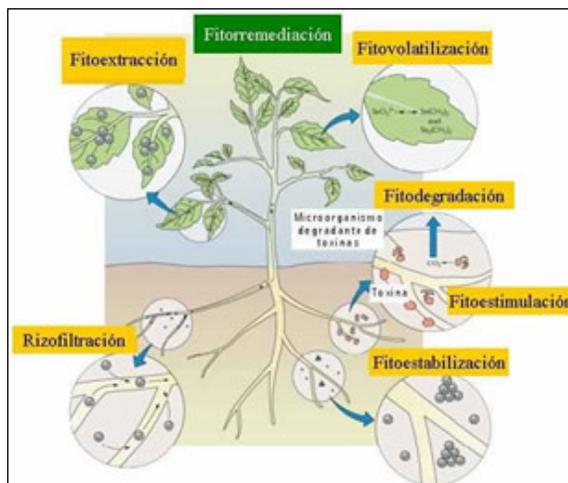
Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. En la mayoría de los casos, no se trata de especies raras, sino de cultivos conocidos. Así, el girasol (*Heliantus annuus*) es capaz de absorber en grandes cantidades el uranio depositado en el suelo. Los álamos (género *Populus*) absorben selectivamente níquel, cadmio y zinc. También la pequeña planta *Arabidopsis thaliana* de gran utilidad para los biólogos es capaz de hiper-acumular cobre y zinc.

Otras plantas comunes que se han ensayado con éxito como posibles especies fitorremediadoras en el futuro inmediato son el girasol, la alfalfa, la mostaza, el tomate, la calabaza, el esparto, el sauce y el bambú. Incluso existen especies vegetales capaces de eliminar la alta salinidad del suelo, gracias a su capacidad para acumular el cloruro de sodio.

#### **2.2.2.6.1. Tipos de fitoremediación**

Según la planta y el agente contaminante, la fitoremediación puede producirse por: acumulación del contaminante en las partes aéreas de la planta; absorción, precipitación y concentración del contaminante en raíces; reducción de la movilidad del contaminante para impedir la contaminación de aguas subterráneas o del aire; desarrollo de bacterias y hongos que crecen en las raíces y degradan contaminantes; captación y modificación del contaminante para luego liberarlo a la atmósfera con la transpiración, y, degradación del contaminante para originar compuestos menos tóxicos.

Figura 4. Tipos de fitoremediación



Fuente: ARGENBIO, bioremediación: organismos que limpian el ambiente (2004)

En el siguiente cuadro se detallan las características de los principales tipos de fitoremediación y su potencial aplicación

Cuadro 8. Tipos de fitoremediación

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, 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, selenio, zinc, isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar la contaminación a napas subterráneas de agua	Lagunas de desechos de yacimientos mineros, compuestos fenólicos y clorados
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados de petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina
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 (tetracloroetano y triclorometano)
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos	Explosivos (nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados y fenoles

Fuente: ARGENBIO, Bioremediación: organismos que limpian el ambiente (2004)

La fitoremediación ofrece ventajas y desventajas, las cuales se describen por ARGENBIO (2004, 15)

Ventajas:

1. Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas.
2. Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
3. Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

Limitaciones:

1. El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
2. Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
3. La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.

#### **2.2.2.7. Atenuación natural**

La atenuación natural según Martin, C. Gonzáles, A. Blanco, M. (2004) se puede definir como el “conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, que espontáneamente ocurren en un espacio determinado, con posterioridad a la aparición de la contaminación” (120). La atenuación natural, aunque no esta considerada como una técnica de descontaminación propiamente dicha, esta englobada dentro de las técnicas de remediación in-situ de muy bajo coste, su característica principal es la utilización de los procesos físico-químicos de interacción contaminante-suelo y los procesos de biodegradación que tienen lugar de forma natural en el medio, estos procesos se conocen como procesos de Biotransformación Natural.

Cuando el medio ambiente se halla contaminado con sustancias químicas, la naturaleza las elimina por cuatro vías, según explica Maroto, M., Quesada, R., Gecisal, J. (2003).

1. Acción bacteriana: las bacterias que viven en el suelo y en las aguas subterráneas utilizan algunas sustancias químicas como alimento. Cuando las sustancias químicas están completamente digeridas, las transforman en agua y en gases inofensivos.
2. Sorción: Las sustancias químicas se pegan o sorben al suelo, que las fija al lugar. De ese modo no se eliminan las sustancias químicas pero sí se impide que contaminen las aguas subterráneas y que escapen del lugar, al menos mientras las condiciones físico-químicas del suelo permanezcan estables.
3. Mezcla y dilución: Al pasar las aguas subterráneas a través del suelo, la contaminación se puede mezclar con el agua limpia. De ese modo se diluye la contaminación.
4. Evaporación: Algunas sustancias químicas, como el petróleo y los solventes, se evaporan, lo que significa que se convierten de líquidos a gases dentro del suelo. Además, si esos gases escapan al aire en la superficie del terreno, la luz del sol puede destruirlos. p. 75

La atenuación natural en la región amazónica ecuatoriana, la menciona Baca (2005) en el informe del pozo Sacha 56 del juicio contra la empresa TEXACO “Las condiciones ambientales de la Región Oriente (temperatura, precipitación, humedad relativa, condiciones del suelo, etc) favorecen la volatilización de los compuestos ligeros del petróleo crudo (BTEX) que son los responsables de la mayor toxicidad. En el caso del crudo presente en el campo Sacha, se sabe que la fracción de componentes ligeros representa un 30% de la masa total que debido al clima de la región se volatilizan en un período corto” (pp. 23,43,44).

#### **2.2.2.8. Atenuación natural controlada**

La United State Environmental Protection Agency [USEPA] (2000, Technology Innovation Office, 3-8), se refiere a la atenuación natural controlada como, el aprovechamiento y potenciación de los procesos naturales para eliminar o reducir la contaminación en los suelos y las aguas subterráneas. La atenuación natural tiene lugar en la mayoría de las áreas contaminadas, pero para que se produzca a ritmo suficiente como para que se pueda considerar un mecanismo efectivo de descontaminación deben darse las condiciones adecuadas en el subsuelo para que se produzca la descontaminación de forma efectiva. De no ser así, la eliminación de la contaminación no será ni lo suficientemente rápida ni completa.

La atenuación natural funciona con mayor eficacia en los sitios donde se ha eliminado previamente la fuente de contaminación. Con posterioridad, los procesos naturales se deshacen de la pequeña cantidad de contaminación que queda en el suelo y en las aguas subterráneas.

La USEPA (2000, 23), refiere que, según el área, la atenuación natural controlada puede dar los mismos resultados, con casi la misma rapidez, que otros métodos. Dado que ésta se realiza bajo tierra no es necesario excavar ni construir infraestructura, permite a los trabajadores evitar el contacto con la contaminación, requiere menos equipamiento que la mayoría de los otros métodos y por lo tanto resulta más económica. Puede que la supervisión durante años sea costosa, pero el costo sigue siendo menor que el de otros métodos.

### **2.2.3. Análisis de biodiversidad**

El concepto de diversidad es ampliamente utilizado en el ámbito de la ecología, aunque actualmente los especialistas distinguen varios tipos de diversidad biológica. El enfoque más común y simple suele asociarse al estudio del número de especies biológicas presentes en un determinado ecosistema (inventario y conservación de las especies biológicas); aunque cada vez se habla más de la diversidad de los recursos genéticos, para algunos autores, la diversidad parece aumentar en muchos casos conforme transcurre la sucesión ecológica hacia sus estados más maduros, antiguamente llamados "climax". Adicionalmente, la diversidad suele ser usada como un descriptor de la estructura de los ecosistemas, por cuanto se piensa que es el resultado de la interacción entre sus especies. Aunque el concepto de diversidad parece claro e intuitivo, en la práctica su cuantificación ofrece problemas. (Ibáñez, 2006, edafodiversidad y biodiversidad 8: sobre los índices de diversidad, 2.-6).

Carranza (2003, 4) refiere que, una visión hacia las políticas actuales de los países permite medir el nivel de importancia que ha cobrado la ecología en la actualidad; por una parte la riqueza en plantas y animales tiene un valor incalculable, es el patrimonio natural de un país.

#### **2.2.3.1. Cuantificación de la biodiversidad**

Se define por Diversidad "la medida de la riqueza en especies"; las medidas frecuentemente aparecen como indicadores del funcionamiento de los ecosistemas, existe una gran cantidad de índices los cuales varían en el peso relativo que dan a la riqueza y uniformidad de las especies.

Los índices de riqueza nos dicen "aproximadamente" el número de objetos de diferentes clases que se presentan. Los modelos de abundancia informan de las propiedades estadísticas de la abundancia (número de individuos, biomasa, extensión) de cada uno de los objetos discernibles. Finalmente, los denominados índices de diversidad, hacen uso de la riqueza y abundancia para dar un valor concreto de lo que se denomina diversidad *sensu stricto*.

Los índices de diversidad, discernen dos componentes claramente dispares: riqueza y equitabilidad. Esta subdivisión es bastante lógica, por cuanto para dos unidades espaciales con el mismo tamaño e idéntica riqueza, la más diversa es aquella en donde la distribución de objetos distintos es equiprobable (todos los objetos distintos o *taxa* tendrían el mismo número de elementos o estos ocupan la misma extensión). Cuanto menos equiprobable sea la distribución de abundancias, menor será la diversidad del sistema analizado.

### **2.2.2.1. Escalas espaciales para medir la biodiversidad**

Si aceptamos que la diversidad es una propiedad de los seres vivos y por tanto, algo más que el número de especies en un tiempo y lugar, hemos de plantearnos cómo medirla. Es indudable que sin una cuantificación de la diversidad biológica no podremos movilizar una ciencia seria y rigurosa de la Biodiversidad. Además, a menudo necesitamos diferentes aproximaciones metodológicas (medidas) para resolver problemas de distinta índole. No es lo mismo medir la diversidad a escala local que la diversidad a escala regional o continental, por lo tanto un modelo conceptual bastante utilizado consiste en desglosar la diversidad en tres componentes: Diversidad Alfa (Diversidad Local), Diversidad Beta (Tasa a la que se acumulan nuevas especies en una región) y Diversidad Gama (Diversidad global de una región) (Berry, 2001).

De acuerdo con Bouza (2005, 6) a lo largo de las últimas cuatro décadas se han registrado avances importantes en los estudios ecológicos y particularmente de estadística en la ecología, ejemplos de ello son las contribuciones al estudio de las distribuciones espaciales de organismos y los diseños de estudios ecológicos.

#### **2.2.2.2. Índices de biodiversidad**

Rodríguez (2004, 7), respecto al índice de biodiversidad, expresa que, utilizar la diversidad como medida de desarrollo en cualquier sistema presupone delimitar una unidad constitutiva, que agrupada con otras semejantes debido a un indicio convencional cualquiera forma un grupo funcional o clase, cuyo número es la base de la riqueza y la abundancia relativa de la unidad constitutiva por clase es la componente de uniformidad.

En el sentido ecológico más estricto la diversidad es una medida de la heterogeneidad del sistema, es decir, de la cantidad y proporción de los diferentes elementos que contiene. Además del significado que en sí misma tiene la diversidad, es también un parámetro muy útil en el estudio, descripción y comparación de las comunidades ecológicas. Dado que la diversidad en una comunidad es una expresión del reparto de recursos y energía, su estudio es una de las aproximaciones más útiles en el análisis comparado de las comunidades, o incluso de regiones naturales (Halffter & Ezcurra, 1992).

De todos los índices descritos en la literatura, los dos más clásicos son los índices de Simpson y de Shanon-Wiener.

Se realiza algunas conceptualizaciones que son importantes tener en cuenta:

Número de especies (N). Se define como el número total de especies presentes en un área.

Riqueza de especies (S). Se define como el número de especies en un área determinada.

Equitatividad o Uniformidad (E). Se define como el número de individuos iguales en cada especie.

Rodríguez (2004, 12), respecto a los índices refiere que, la expresión de Shannon está más influenciada por la riqueza y la de Simpson por la uniformidad. Desde el punto de vista interpretativo, ello quiere decir que el incremento en una o pocas clases o grupos conceptuales en el mapa produce un “salto” apreciable en el valor de índice de Shannon (H') y casi ningún cambio en el índice de Simpson (D'), mientras que un cambio en la distribución de la magnitud de importancia, sobre todo en los grupos más abundantes, producirá el efecto contrario.

Bouza (2005, 14), refiere que un índice debe reunir las siguientes características:

- i. La riqueza de especies, es decir, el número de especies.
- ii. La uniformidad, es decir, en qué medida las especies son abundantes

Para el definir los índices de diversidad se utilizo el paquete informático creado por Soluciones Informáticas Franja (1993), el cual nos permite calcular:

- i. Riqueza de especies
- ii. Uniformidad
- iii. Índice de Shannon
- iv. Índice de Simpson
- v. Alfa (distribución logarítmica)

A continuación se presenta una tabla-resumen del comportamiento y características de la serie de datos estadísticos de diversidad.

Cuadro 9. Atributos de los índices de biodiversidad.

Atributo	Riqueza	Shannon	Simpon	Alfa
Capacidad discriminatoria	Buena	Pobre	Media	Buena
Sensibilidad al tamaño de la muestra	Alta	Media	Baja	Baja
Dominancia/riqueza uniformidad	Riqueza	Riqueza	Dominancia	Riqueza
Amplitud de uso	Si	Si	Si	Si

Fuente: Soluciones Informáticas Franja

El Índice de Shannon, se calcula utilizando la expresión:

$$H' = -\sum pi * \ln pi$$

Donde:

H'= índice de Shannon

pi= relación del número de individuos de la especie i sobre el número total de individuos

$$pi = \frac{ni}{N}$$

Donde:

ni= número de individuos de la especie i

N= número total de individuos

La Equitatividad E, se calcula mediante la expresión matemática:

$$E = H'/H_{max}$$

Donde:

H'= Índice de Shannon

Hmax: lnN

El índice de Simpson D se calcula utilizando la expresión:

$$D = 1 - \sum (pi)^2$$

Donde:

D= Índice de Simpson

pi= número de individuos de la especie i

## **2.3. MARCO LEGAL**

La legislación ecuatoriana concede importancia al derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de igual forma la normativa del sector hidrocarburífero regula las fases de esta industria y los parámetros técnicos de cumplimiento obligatorio.

### **2.3.1. Constitución Política de la República del Ecuador**

#### **Capítulo segundo: Derechos del buen vivir**

##### **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.

#### **Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza**

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tiene 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.

### **2.3.2. Ley de Gestión Ambiental**

Ley No. 37. RO/245 de 30 de julio de 1999

Titulo IV

De la protección de los derechos ambientales

Art. 41.- Con el fin de proteger los derechos ambientales individuales o colectivos, concédese acción pública a las personas naturales, jurídicas o grupo humano para denunciar la violación de las normas de medio ambiente, sin perjuicios de la acción de amparo constitucional previsto en la Constitución Política de la República.

### **2.3.3. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente**

Decreto No. 3516. Expedido por el 31 de marzo de 2003

**Titulo IV. Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental**

**Libro VI Anexo 2. Normas de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados**

Introducción

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Normas de aplicación general para suelos de distintos usos
- b) Criterios de calidad de un suelo
- c) Criterio de remediación para suelos contaminados
- d) Normas técnicas para la evaluación de la capacidad agrológica del suelo

Objetivo

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso suelo.

El objetivo principal de la presente norma es preservar o conservar la calidad del recurso suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso suelo deberán realizarse en los términos de la presente Norma Técnica Ambiental.

4.1.3.6. Cuando un suelo se encuentre contaminado, el causante o la organización responsable por la contaminación, adoptará los siguientes procedimientos.....

#### 6.- Remediación del Suelo Contaminado

Se deberá evaluar y adoptar el método más idóneo de remediación, actividad que dependerá de la sustancia contaminante presente y que será decisoria en el momento de elegir los criterios técnicos para cada caso en particular.

Entre las opciones de remediación se citan las siguientes:

##### Tratamientos Físicos

Excavación y remoción

Extracción de vapores

Lavado del suelo

Aireación

Estabilización y solidificación

Vitrificación

Tratamiento térmico (incineración, pirolisis, deserción térmica, destrucción térmica, etc.)

##### Tratamientos Químicos

Neutralización

Extracción con solventes

Deshalogenación

Tratamiento químico directo

##### Tratamientos biológicos

4.1.3.7. Independiente del tratamiento que el regulado adopte, los suelos contaminados deberán alcanzar los niveles de concentración establecidos en los criterios de remediación de suelos establecidos (tabla 2) en la presente Norma. Los valores serán aplicados de acuerdo al uso de suelo donde se sitúa el área contaminada

#### **2.3.4. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas**

Decreto No. 1215, publicado en el Registro Oficial No. 265 de 13 de febrero de 2001.

## Art. 16.- Monitoreo de programas de remediación

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 derramados más de cinco barriles de crudo, combustible y otro producto.

## Art. 86.- Parámetros

Los sujetos de control y sus operadoras y afines en la ejecución de sus operaciones, para descargas líquidas, emisiones a la atmósfera y disposición de los desechos sólidos en el ambiente, cumplirán con los límites permisibles que constan en los Anexos No. 1, 2 y 3 de este Reglamento, los cuales constituyen el programa mínimo para el monitoreo ambiental.

**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 las estaciones de servicio.

Parámetro	Expresado en	Unidad <sup>1)</sup>	Uso agrícola <sup>2)</sup>	Uso industrial <sup>3)</sup>	Ecosistemas sensibles <sup>4)</sup>
Hidrocarburos totales	TPH	mg/kg	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/kg	<2	<5	<1
Cadmio	Cd	mg/kg	<2	<10	<1
Níquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

<sup>1)</sup> Expresado en base de sustancia seca (gravimétrico; 105°C, 24 horas)

<sup>2)</sup> Valores límites permisibles enfocados en la protección de suelos y cultivos

<sup>3)</sup> Valores límites permisibles para sitios de uso industrial (construcciones, etc)

<sup>4)</sup> Valores límites permisibles para la protección de ecosistemas sensibles como Patrimonio Nacional de Áreas Naturales y otros identificados en el correspondiente Estudio Ambiental

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA UTILIZADA**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo exploratorio, descriptivo, analítico y propositivo. Exploratoria debido a que no intenta dar explicación respecto del problema que originan los derrames de crudo, sino que recoge e identifica las variables ambientales y ecológicas para evaluar el comportamiento los derrames de hidrocarburos.

Es descriptiva ya que señala las características de los elementos biológicos impactados y de los suelos contaminados con hidrocarburos; analítica por cuanto se utiliza los análisis de cobertura vegetal, población bacteriana y TPH para determinar su comportamiento espacial, y, propositiva ya que el resultado final es el planteamiento de una propuesta de intervención en caso de derrames de hidrocarburos.

#### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En función de la temporalidad, la presente investigación es de carácter transversal ya que se estudian los parámetros simultáneamente en un determinado momento y que pretende evaluar los efectos generados por los derrames de crudo en el SOTE en los sectores El Guango, Quebrada Negra y La Boa, en el tramo Lago Agrio – Papallacta, desde el año 2000 hasta el 2005.

Considerando la condición de la práctica investigativa, es no experimental ya que corresponde a la identificación y diagnóstico de eventos presentados en el pasado y que con seguridad se volverán a presentar en el futuro por las

amenazas morfoclimáticas, sísmicas, volcánicas y antrópicas que afectan al oleoducto.

### **3.3. METODOLOGIA PARA EL DIAGNÓSTICO**

La metodología que ha continuación se describe es la utilizada para analizar las características biofísicas de los tres sitios afectados por los derrames de hidrocarburos.

#### **3.3.1. Unidades de investigación**

Para la investigación se consideran tres grupos de observación, que corresponden a los factores ambientales afectados por los derrames de crudo y de los cuales se recogió la evidencia científica requerida para evidenciar el problema.

- ✓ Cobertura vegetal
- ✓ Microflora bacteriana
- ✓ Concentración de hidrocarburos totales de petróleo

##### **3.3.1.1. Cobertura Vegetal**

La unidad de observación corresponde a las tres zonas afectadas por los derrames, la extensión de cada sitio es variable, en El Guango la superficie es de aproximada de 5 hectáreas, Quebrada Negra con una superficie aproximada de 2 hectáreas y La Boa con una superficie de 3 hectáreas.

Se recogió evidencia científica que permitió obtener información veraz sobre los siguientes parámetros:

- ✓ Número de individuos
- ✓ Riqueza de especies
- ✓ Uniformidad
- ✓ Diversidad

### **3.3.1.2. Microflora bacteriana**

En este caso la unidad de observación corresponde a las mismas unidades descritas en el párrafo anterior, la profundidad de muestreo de suelo es de 30 centímetros.

Se recogió evidencia científica que permitió obtener información veraz sobre los siguientes parámetros:

- ✓ Número de individuos
- ✓ Riqueza de especies
- ✓ Uniformidad
- ✓ Diversidad

### **3.3.1.3. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo**

La unidad de observación se mantiene, el análisis se basa en los datos históricos obtenidos en la caracterización inicial del derrame, en el proceso de remediación y monitoreo (hasta el año 2005).

### **3.3.2. Muestra**

El esquema de muestreo fue *No Probabilístico Decisional* en cada uno de los sitios en estudio. Para la ubicación de los sitios muestreados se utiliza el

nombre del lugar o sector y sus coordenadas mediante la utilización del Sistema de Posicionamiento Satelital [GPS].

### 3.3.2.1. Cobertura vegetal

En el campo se procedió de la siguiente manera:

- i. Se delimitó un cuadrante “típico” del hábitat de 3m x 3m (9m<sup>2</sup>) utilizando estacas y piola;
- ii. Identificación de especies existentes dentro del cuadrante con los nombres comunes, tomando una muestra de cada de las plantas que no pudieron identificarse en el campo, codificándolas y enviándolas al Herbario Nacional para su identificación (Anexo 6);
- iii. Conteo de individuos de cada especie.

Cuadro 10. Ubicación de colecta de muestras.

Sector	Zona	Coordenada este UTM	Coordenada norte UTM	Altitud m.s.n.m.
El Guango	17	825.870	9.958.730	2.600
Quebrada Negra	17	829.179	9.955.540	2.520
La Boa	18	248.188	10.008.709	433

Elaboración: Albán Galo



Foto 11. Cuadrante de muestreo en el sector de El Guango.

### 3.3.2.2. Flora Microbiana

Para la identificación de los microorganismos presentes en los sectores de estudio, se procedió de la siguiente manera:

i. Muestreo. Se colectó muestras de suelo superficial (0 a 20 cm), con ayuda de una pala de jardinería, el peso en promedio de cada muestra fue de 0,5 kg., la muestra es codificada y preservada.

ii. Métodos analíticos. La identificación de bacterias se realizó en la Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas de la Universidad Central del Ecuador, bajo la supervisión de la Dra. María Eugenia Donoso.

ii.a. El Aislamiento Bacteriano según Collins, C., Lyne, M., (1995), se refiere a la técnica de siembra en estría en caja Petri, siendo el medio de cultivo utilizado agar nutritivo. Una vez desarrollada las técnicas y posterior al crecimiento microbiano se realizó el aislamiento en base a su características morfológicas, el tamaño y color que cada colonia presentaba, debiendo asegurar la obtención de colonias puras a través de la *Coloración Gram*.

ii.b. De acuerdo a lo que establece Merck (1996), la identificación de las bacterias aisladas se realizó fundamentada en la identificación del potencial enzimático bacteriano, usando métodos clásicos y técnicas rápidas del sistema API, así como sistemas tradicionales.

iii.c. Para la clasificación taxonómica se utilizó las características fenotípicas y el esquema propuesto por Holt, J., Kreg, Sneath, Stalym, Williams (1994).



Foto 12.  
Caja Petri con cepa bacteriana aislada.

### 3.3.2.3. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo

i. Muestreo. La colecta de muestras se realizó considerando las reglamentaciones y las pautas vigentes de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA] sobre muestreo del medioambiente (USEPA, 1996a,2002b). La ubicación de las muestras colectadas es la misma de los cuadrantes de cobertura vegetal.

ii. Métodos analíticos. Se efectuó el análisis de acuerdo a lo que estipula el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas [RAOH 1215], en el Anexo 5 “Métodos analíticos“, los cuales se detallan a continuación.

Parámetro	Método	Referencias <sup>#)</sup>
Hidrocarburos totales (TPH) <sup>9)</sup>	Extracción con cloruro de metilo, cromatografía de gases y determinación FID	EPA 413.1; 1664(SGT-HEM) ASTM D3921-96
Cadmio Níquel Plomo	Digestión ácida de la muestra y determinación directa por espectroscopia de absorción atómica	EPA SW'846 Método 3050B, 7130, 7520, 7420.

#) Se aplicarán los métodos de referencia citadas en la tabla o equivalentes, estandarizados y publicados por otras agencias o entidades ambientales.

9) No se admite el parámetro de “aceites y grasas” (EPA 413.1; EPA 1664 HEM).

Las muestras fueron analizadas en los laboratorios de Universidad Central del Ecuador, en la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental y Ciencias Agrícolas.

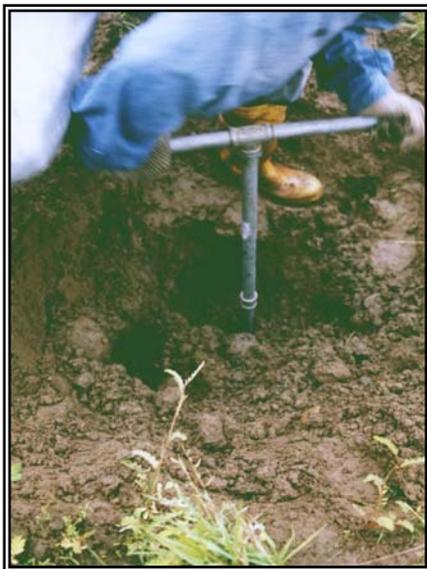


Foto 13.

Toma de muestra de suelo con ayuda de barreno manual.

### **3.4. METODOLOGIA PARA LA PROPUESTA**

Los derrames de hidrocarburos tienen un comportamiento particular en función de sus características físico-químicas y de su dinámica social. Para desarrollar los criterios de intervención se efectuó dos etapas: revisión bibliográfica y taller multidisciplinario.

#### **3.4.1. Revisión bibliográfica.**

Para el presente trabajo de investigación se consideró la siguiente información básica:

Manual, uso de las Matrices de Riesgo, Criticidad y Legal para la Jerarquización de los Pasivos Ambientales, INT-XXXX,2007,PDVSA/INTEVEP;

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS);

Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH) 1215;

Evaluación de riesgos ambientales, U.S. Environmental Protection Agency

### **3.4.2. Talleres multidisciplinarios**

Para definir los pesos ponderados, y los criterios de ponderación se mantuvo una serie de reuniones con la presencia de los siguientes expertos:

Ingeniero Ambiental, Gonzalo Castro

Ingeniero en Petróleos, Jhonny Zambrano

Ingeniero en Geología, Galo Albán

Especialista en Biología, María Eugenia Donoso, Ivan Tapia

Especialista en Ciencias Sociales y Antropológicas, Edwar Chamorro

Especialista en Agronomía, Victor Manuel Llerena

### **3.4.3. Elaboración de matriz de intervención**

Una vez que se recogieron los criterios de los expertos se procedió a construir la matriz considerando las variables ambientales, sociales y características *in situ*.

#### **3.4.3.1. Variables ambientales**

- ✓ Cercanía a sitios con alta peligrosidad que magnifiquen el riesgo
- ✓ Exposición a procesos naturales
- ✓ Exposición potencial de ecosistemas sensibles
- ✓ Cercanía a cuerpos de agua
- ✓ Área de suelo afectada
- ✓ Eventos de contingencia previos
- ✓ Afectación al Sistema Nacional de Áreas Protegidas
- ✓ Concentración de TPH

#### **3.4.3.2. Variables sociales**

- ✓ Efectos sobre la población local
- ✓ Nivel de organización social

- ✓ Vandalismo

#### **3.4.3.3. Condiciones *in-situ***

- ✓ Colonias de bacterias con capacidad de degradar hidrocarburos
- ✓ Plantas con capacidad de degradar los hidrocarburos
- ✓ Textura del suelo
- ✓ Humedad del suelo

### **3.5. METODOLOGIAS DE TRATAMIENTOS UTILIZADOS POR PETROECUADOR**

En caso de un derrame de hidrocarburos la empresa estatal activa el Plan de Contingencia y posteriormente realiza el Programa de Remediación (Ver Anexo 2.2), el cual se fundamenta en la ejecución de los siguientes trabajos:

Raspado Manual y Bioremediación de material impregnado con crudo.

El proceso consiste en el retiro manual del material impregnado, el mismo que será trasladado a zonas aledañas y tratado mediante la aplicación de técnicas de Land Farm, en fosas de tamaño reducido mediante la aplicación de procesos y productos específicos.

Lavado superficial de material impregnado.

Consiste en la aplicación de un producto lavador sobre la capa superficial de suelo de manera que provoque la separación del crudo, el mismo que será transportado por el enjuague y deberá ser recolectado mediante diques, cuellos de ganso, barreras o dispositivos afines. La disposición final del crudo será mediante su entrega a Oleoducto de PETROECUADOR.

Bioremediación de los suelos afectados por contenido de hidrocarburos.

Consiste en la bioremediación del suelo mediante la aplicación de procesos y productos específicos evitando la modificación de las condiciones originales del suelo en cuanto a su ubicación, estructura y disposición.

Revegetación del área afectada en el siniestro.  
Este trabajo consiste en dotar al sitio de condiciones similares en aspectos relacionados con las condiciones originales de la cobertura vegetal. (Petroecuador, 2004, Introducción, 2-7)

### **3.6. MÉTODO**

Para la realización del presente proyecto de tesis se ha empleado el Método Científico, por lo que se ha utilizado índices de biodiversidad y análisis de laboratorio para determinar la contaminación del suelo por hidrocarburos, y de esta manera evidenciar el impacto que han generado los derrames de petróleo y el comportamiento posterior de los agentes contaminantes.

### **3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

Se ha utilizado como técnicas/instrumentos los métodos de evaluación estandarizados para determinar la biodiversidad de las zonas y la concentración de petróleo en los suelos.

Para el efecto, se ha realizado las siguientes etapas:

- i. Revisión bibliográfica de los informes y actas elaborados por Petroecuador, DINAPA para cada uno de los derrames, y de otras instituciones públicas y privadas
- ii. Trabajos de campo, colecta de muestras y levantamiento de información primaria
- iii. Trabajos de laboratorio, con la utilización de métodos estandarizados
- iv. Trabajos de gabinete
- v. Elaboración de documento

### **3.8. PROCESO INVESTIGATIVO**

Para el proceso investigativo se siguieron los pasos del Método Científico, esto es:

- ✓ Identificación del problema
- ✓ Objetivos
- ✓ Ideas a defender
- ✓ Marco teórico
- ✓ Toma de datos
- ✓ Resultados
- ✓ Propuesta.

### **3.9. VALOR PRÁCTICO DE LA INVESTIGACIÓN**

Se ha verificado que los procesos de degradación de hidrocarburos en el suelo continúan en el transcurso del tiempo (una vez que han concluido los procesos de remediación inducidos), lo que se fundamenta en la capacidad de autodepuración de la naturaleza.

Los procesos de remediación cumplen con los límites permisibles estipulados en la legislación ambiental vigente, sin embargo el agente contaminante se mantiene en el medio sólido (suelo); estas fracciones de los elementos contaminantes son degradadas por microorganismos y plantas presentes en el sustrato.

La matriz de intervención, conduce a que la decisión para determinar el tipo(s) de tratamiento de remediación sea en lo posible objetivo, disminuyendo las presiones externas a los tomadores de decisiones institucionales.

Priorizar el uso de tratamientos de remediación de bajo impacto ambiental, no destructivos y mejorando la calidad de gasto.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. PRESENTACION DE RESULTADOS

Los resultados de la cobertura vegetal, micro-flora bacteriana y concentración total de hidrocarburos de petróleo se presenta a continuación.

##### 4.1.1. Cobertura vegetal

Se definió un cuadrante de muestreo de 3\*3 m<sup>2</sup> en el área de influencia directa del SOTE en cada uno de los sectores investigados; a continuación se describe la cobertura vegetal identificada según la familia, nombre científico y nombre común.

#### El Guango

Cuadro 11. Especies identificadas en El Guango

Familia	Nombre Científico	Nombre común	Frecuencia
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	2
Asteraceae	<i>Baccharia palpanta</i>	Chilca	4
Gunneraceae	<i>Gunnera brephogea</i> Linden & Andre	Paraguas	3
Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	5
Coriariaceae	<i>Coriaria ruscifolia</i> L.	Shanshi	1
Melastomataceae	<i>Monochaetum sp.</i>		4
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Supirosa	1
Loasaceae	<i>Klaprothia sp.</i>		1
Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca	1
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i> (Rothm) Rothm.	Orejuela	2
Ericaceae	<i>Psammisia sp.</i>		1
Lamiaceae	<i>Stachys sp.</i>	Tipo - tifo	1
Polydiaceae	<i>Niphidium cf. crassifolium</i> (L.) Lellinger	Helecho	1
Melastomataceae	<i>Monochaetum lineatum</i> (D. Don) Naudin		1
Lamiaceae	<i>Asteracea</i>		1
<b>Total</b>			<b>29</b>

Fuente: Trabajos de campo y reporte del Herbario Nacional  
Elaboración: Albán Galo

## Quebrada Negra

Cuadro 12. Especies identificadas en Quebrada Negra

Quebrada Negra			
Familia	Nombre Científico	Nombre común	Frecuencia
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	3
Cyatheaceae	<i>Adiantum</i>	Helecho	7
Piperaceae	<i>Piper cf. septulinervium</i> (Miq.) C.D.C.		4
Equisetaceae	<i>Equisetum arvense.</i>	Caballo chupa	2
Rubiaceae	<i>Steyerm</i>		2
Polypodiaceae	<i>Niphidium sp.</i>		1
Asteraceae			1
Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	2
Boraginaceae			1
Sellaginellaceae	<i>Sellaginella sp.</i>	Selagenella	3
Pasifloraceae	<i>Tacsonia mollisima</i>	Taxo	1
Bromeliaceae	<i>Vriesia splendens</i>	Guicundos	4
<b>Total</b>			<b>31</b>

Fuente: Trabajos de campo y reporte del Herbario Nacional  
Elaboración: Albán Galo

## La Boa

Cuadro 13. Especies identificadas en La Boa

La Boa			
Familia	Nombre Científico	Nombre común	Frecuencia
Cannaceae	<i>Canna jaeqgeriana</i> Urb	Achira	1
Cyclanthaceae	<i>Carludovica palmata</i>	Paja toquilla	3
Cecropiaceae	<i>Cecropia engleriana</i> Sneathl	Guarumo	1
Araceae	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	Malanga	3
Poaceae	<i>Gynerium sagittatum</i>	Caña brava	2
Poaceae	<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Caña guadua	3
Heliconiaceae	<i>Heliconia chartacea</i>	Platanillo	2
Poaceae	<i>Paspalum paniculatum</i> L	Gramma	3
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i>	Pasto elefante	2
Cyatheaceae	<i>Cyathea caracasana</i>	Helecho	2
<b>Total</b>			<b>22</b>

Fuente: Trabajos de campo y reporte del Herbario Nacional  
Elaboración: Albán Galo

### 4.1.2. Flora Microbiana

Las bacterias desempeñan el papel de mayor importancia en la biodegradación de contaminantes orgánicos en suelos. A continuación se

presentan las tablas con las bacterias identificadas agrupadas por género/especie en cada uno de los sitios muestreados.

El Guango

Cuadro 14. Cepas bacterianas identificadas en El Guango

Muestra M1

No.	Género/Especie	No. cepas
1	<i>Bacillus alvei</i>	1
2	<i>Bacillus cereus</i>	1
3	<i>Bacillus macerans</i>	2
4	<i>Bacillus pumilus</i>	2
5	<i>Bacillus subtilis</i>	1
6	<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	1
7	<i>Enterobacter cloacae</i>	2
8	<i>Listeria ivanovii</i>	1
9	<i>Pseudomona spp.</i>	1
<b>Total</b>		<b>12</b>

Fuente: Universidad Central, Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas, María Eugenia Donoso  
Elaboración: Albán Galo

Muestra M2

No.	Género/Especie	No. cepas
1	<i>Bacillus mycoides</i>	1
2	<i>Bacillus circunlans</i>	1
3	<i>Bacillus cereus</i>	2
4	<i>Bacillus subtilis</i>	1
5	<i>Bacillus sp.</i>	1
6	<i>Samonella typhymarium</i>	1
7	<i>Klepsiela sp.</i>	1
8	<i>Proteus mirabilis</i>	1
9	<i>Aeromona sp.</i>	2
10	<i>Pseudomona aureoginosa</i>	1
<b>Total</b>		<b>12</b>

Fuente: Universidad Central, Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas, María Eugenia Donoso  
Elaboración: Albán Galo

## Quebrada Negra

Cuadro 15. Cepas bacterianas identificadas en Quebrada Negra

### Muestra M3

No.	Género/Especie	No. cepas
1	<i>Bacillus brevis</i>	2
2	<i>Bacillus megaterium</i>	3
3	<i>Bacillus pumillus</i>	1
4	<i>Bacillus firmus</i>	1
5	<i>Bacillus coagulans</i>	1
6	<i>Bacillus sphaericus</i>	1
7	<i>Bacillus sporosarcina</i>	1
8	<i>Escherichia coli</i>	1
<b>Total</b>		<b>11</b>

Fuente: Universidad Central, Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas, María Eugenia Donoso

Elaboración: Albán Galo

### Muestra M4

No.	Género/Especie	No. cepas
1	<i>Bacillus cereus</i>	2
2	<i>Bacillus megaterium</i>	1
3	<i>Bacillus subtilis</i>	1
4	<i>Bacillus macerans</i>	1
5	<i>Escherichia coli</i>	3
<b>Total</b>		<b>8</b>

Fuente: Universidad Central, Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas María Eugenia Donoso

Elaboración: Albán Galo

## La Boa

Cuadro 16. Cepas bacterianas identificadas en La Boa

### Muestra M5

No.	Género/Especie	No. cepas
1	<i>Bacillus cereus</i>	4
2	<i>Bacillus megatherium</i>	2
3	<i>Bacillus mycoides</i>	2
4	<i>Bacillus shaericus</i>	1
5	<i>Pseudomona putida</i>	1
6	<i>Escherichia coli</i>	1
7	<i>Acinetobacter</i>	1
8	<i>Serratia marcences</i>	1
<b>Total</b>		<b>13</b>

Fuente: Universidad Central, Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas, María Eugenia Donoso

Elaboración: Albán Galo

### Muestra M6

No.	Género/Especie	No. cepas
1	<i>Bacillus laterosporus</i>	2
2	<i>Bacillus megaterium</i>	2
3	<i>Pseudomona auriginosa</i>	1
4	<i>Pseudomona spp</i>	1
5	<i>Salmonella choleraesuis</i>	1
6	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	2
<b>Total</b>		<b>9</b>

Fuente: Universidad Central, Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas, María Eugenia Donoso

Elaboración: Albán Galo

#### 4.1.3. Concentración total de hidrocarburos de petróleo

El término “hidrocarburos totales de petróleo” [abreviados TPH en inglés], se usa para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo crudo, los que potencialmente pueden contaminar el ambiente.

##### 4.1.3.1. El Guango

En el diagnóstico y caracterización del derrame de junio de 2001, se procedió por parte de los funcionarios de Petroecuador a dividir el área para la colecta de muestras de suelos de forma selectiva en el área de influencia directa del derrame de crudo.

Cuadro 17. Concentración de hidrocarburos totales en El Guango

Código	TPH (mg/kg)
G1	15.600
G2	31.400
G3	45.600
G4	56.132
G5	55.321
G6	15.600
G7	2.500

Fuente: Informe de cumplimiento de resolución 2001062, caracterización de los derrames “El Guango y Quebrada Negra”, Gerencia de Oleoducto de Petroecuador, 06 septiembre 2001

A continuación se presenta el resultado de los muestreos realizados durante el proceso de remediación.

Cuadro 18. Reporte de TPH en el Guango

Fecha	TPH (mg/kg)	
	Margen Izquierda	Margen Derecha
18-Jun-01	98.412	56.132
18-Jul-01	35.471	22.458
09-Ago-01	21.457	13.478
16-Ago-01	130.714	10.421
20-Sep-01	40.801	7.365
26-Oct-01	27.091	4.321
30-Nov-01	15.712	891
15-Dic-01	6.871	-

Fuente: PUCE, informe “Evolución del TPH”, suscrito por el Dr. Klaus Amen, el 18 de enero de 2002

#### 4.1.3.2. Quebrada Negra

El derrame ocurrido en el sitio de Quebrada Negra, ha sido diagnosticado y caracterizado conjuntamente con el derrame de El Guango por su proximidad en distancia y tiempo en que se produjo la ruptura de la tubería.

Cuadro 19. Reporte de TPH en Quebrada Negra

Código	Fecha	TPH (mg/kg)
181+800 <sup>1</sup>	Junio-2001	2.500
168-167 <sup>2</sup>	4 febrero-2002	162
M-2-211 <sup>3</sup>	21 mayo-2002	237,35

Fuente:

<sup>1</sup> Informe de caracterización de los derrames “El Guango y Quebrada Negra”, Gerencia de Oleoducto de Petroecuador, junio de 2001

<sup>2</sup> Informe de resultados, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 04 de febrero de 2002

<sup>3</sup> Informe de resultados Lab No. 2324, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 21 de mayo de 2005

#### 4.1.3.3. La Boa

Para el monitoreo se consideró tres zonas, las cuales fueron evaluadas en tres fechas distintas en el año 2001.

Cuadro 20. Concentración de TPH sector en La Boa

Muestra	TPH (mg/kg)
Superficial compuesta Zona I 4/02/01	8.975
Superficial compuesta Zona I 4/02/01	2.068
Superficial compuesta Zona I 4/02/01	2.058

Fuente: Informe de resultados, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 7 de febrero de 2001

Cuadro 21. Reporte de TPH en La Boa

Zona	Código	TPH (mg/kg)	
		Fecha	
		05/02/2002 <sup>1</sup>	05/12/2001 <sup>2</sup>
I	A2	1.368	218
I	B1	1.015	115
I	C1	1.907	126
I	C2	1.348	262
I	C3	2.010	297
II	D1	6.218	141
II	E2	2.089	574
II	E3	2.993	125
II	F2	1.477	190
III	G3	3.045	987
III	H1	3.882	218
III	H2	1.709	629

Fuente:

<sup>1</sup> Informe de resultados, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 7 de febrero de 2001

<sup>2</sup> Informe de resultados, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 5 de diciembre de 2001

#### 4.1.3.4. Muestreo Multitemporal

Para el presente análisis se ha considerado los años 2001, 2003 y 2005, las muestras son simples y selectivas.

Cuadro 22. Análisis multitemporal de TPH

Lugar	Año 2001		Año 2003		Año 2005	
	Código	TPH (mg/kg)	Código	TPH (mg/kg)	Código	TPH (mg/kg)
Quebrada Negra	181+800 <sup>1</sup>	2.500	SOTE 6 <sub>2</sub>	6.822,78	Quebrada Negra <sup>3</sup>	583,60
El Guango	G4 <sup>1</sup>	56.132	SOTE 5 <sub>2</sub>	770,95	El Guango <sup>3</sup>	1.328,30
La Boa	Zona I 52 <sup>4</sup>	8.975	SOTE 2 <sub>2</sub>	6.568,83	La Boa <sup>3</sup>	2.268,1

Fuente:

<sup>1</sup> Informe de caracterización de los derrames “El Guango y Quebrada Negra”, Gerencia de Oleoducto de Petroecuador, junio de 2001

<sup>2</sup> Informe de resultados, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 27 de enero de 2003

<sup>3</sup> Informe de resultados, Laboratorio de Análisis Químico y Ambientales Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, INFORME N° 05.0087 fecha 16 de abril de 2005

<sup>4</sup> Informe de resultados, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 7 de febrero de 2001

## 4.2. DISCUSION DE RESULTADOS

Sin pretender realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos, se discute las tendencias de comportamiento de los elementos analizados. Para el análisis se utilizó el paquete informático creado por Soluciones Informáticas Franja (1993), descrito en el capítulo de Marco Teórico.

### 4.2.1. Cobertura vegetal

Se realiza una discusión de los parámetros que fueron considerados para el análisis, a continuación se presentan los resultados que se obtuvieron por sector.

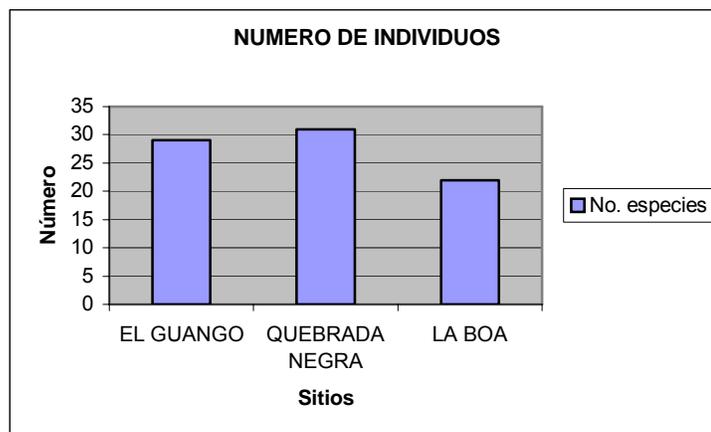
Cuadro 23. Diversidad de biota

Parámetro	Área		
	El Guango	Q. Negra	La Boa
Número de individuos (N)	29	31	22
Riqueza de especies (S)	15	12	10
Uniformidad (E)	92,25	92,16	97,27
Índice de Simpson (D)	0,06650	0,09032	0,06926
Índice de Diversidad Simpson (1-D)	0,93350	0,90968	0,93074
Índice de Shannon	2,4981	2,2900	2,2397

Elaboración: Albán Galo

Para mayor comprensión de los valores obtenidos, se ha graficado cada uno de los parámetros y se procede a describir las conclusiones.

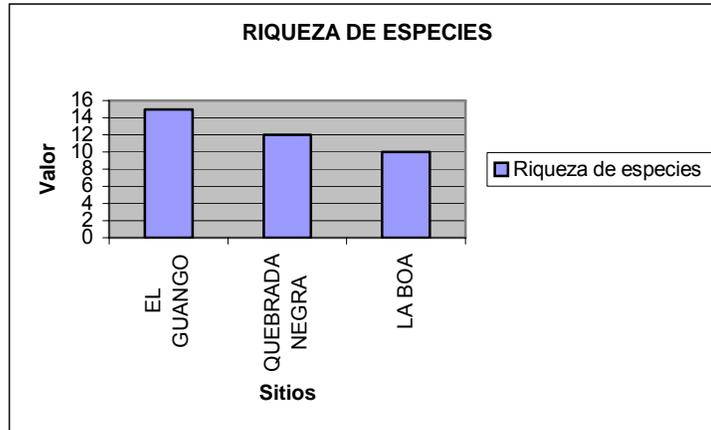
Gráfico 3. Número de individuos vegetales (N)



Elaboración: Albán Galo

El mayor número de individuos se localiza en el sector Quebrada Negra con 31 individuos.

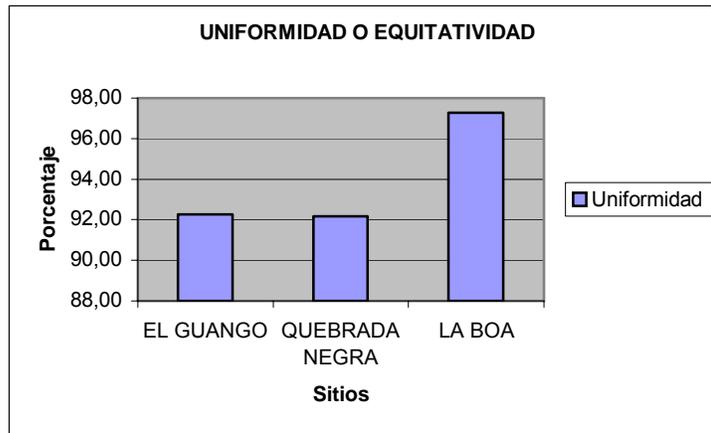
Gráfico 4. Riqueza de especies vegetales (S)



Elaboración: Albán Galo

El mayor índice de riqueza de especies (S) corresponde al sitio de El Guango con 15 especies.

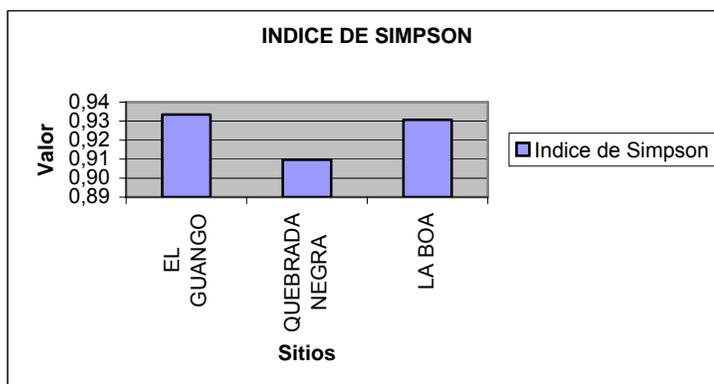
Gráfico 5. Uniformidad o Equitatividad vegetal (E)



Elaboración: Albán Galo

La mayor equitatividad se tiene en el cuadrante localizado en el sector de La Boa, con un porcentaje del 97,27%.

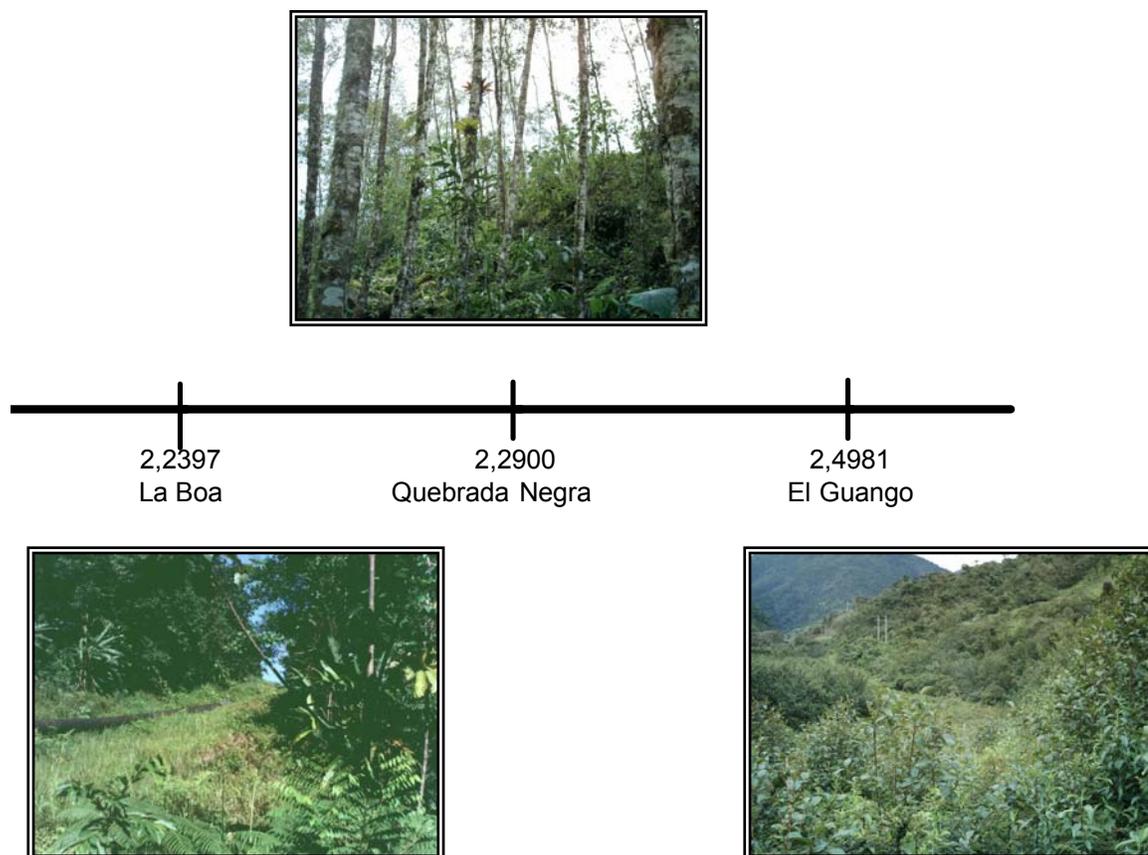
Gráfico 6. Índice de Simpson para vegetales



Elaboración: Albán Galo

El análisis del índice de diversidad de Simpson (1-D) nos demuestra que la mayor diversidad corresponde al sector de El Guango con un valor de 0,9335.

Figura 5. Índice de Shannon de la cobertura vegetal



Indice de Shannon (H'). De este análisis de diversidad, la localidad de El Guango presenta la mayor diversidad (H'=2,4981), seguida de la localidad de Quebrada Negra (H'=2,2900) y finalmente la localidad de La Boa (H'=2,2397).

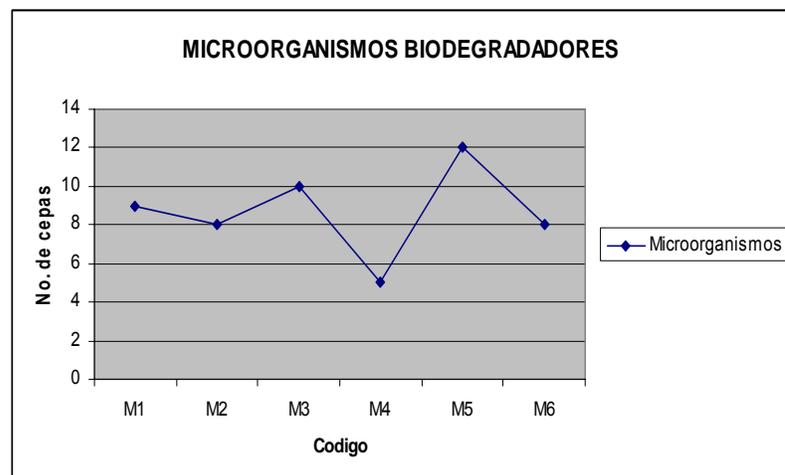
#### 4.2.2. Flora microbiana

De las muestras colectadas, se identificaron siete géneros bacterianas con capacidad de degradar de hidrocarburos, el género común en todas las muestras es el *Bacillus*.

#### 4.2.1. Microorganismos biodegradadores

Según el informe de la Segunda Fase del proyecto Aplicación en el campo filosilicatos y bacterias en aguas y suelos contaminados por hidrocarburos [FILBAC], en lo referente a estos dos géneros de bacterias se manifiesta “Para diseñar un medio de cultivo es importante considerar el tipo de bacteria a ser propagada en este caso las mejores bacterias son: *Bacillus* bacteria anaerobia facultativa y *Pseudomona* bacteria aerobia, las dos bacterias se propagan mejor por procesos aerobios”. En el mismo informe se menciona que los géneros identificados en la amazonía ecuatoriana en su mayoría son: *Bacillus*, *Pseudomona*, *Acinetobacter* y *Bordetella*” (pp. 41, 66).

Gráfico 7. Cepas de bacterias degradadoras de hidrocarburos.



La mayor concentración de microorganismos con capacidad de degradar hidrocarburos se encuentra en la muestra M5 que corresponde al derrame ocurrido en el sector de La Boa.

Cuadro 24. Bacterias degradadoras de hidrocarburos

Código	Género	No. cepas
M1	<i>Bacillus</i>	7
	<i>Corynebacterium</i>	1
	<i>Pseudomona</i>	1
M2	<i>Bacillus</i>	6
	<i>Proteus</i>	1
	<i>Pseudomona</i>	1
M3	<i>Bacillus</i>	10
M4	<i>Bacillus</i>	5
M5	<i>Bacillus</i>	10
	<i>Acinetobacter</i>	1
	<i>Serratia</i>	1
M6	<i>Bacillus</i>	4
	<i>Acinetobacter</i>	2
	<i>Pseudomona</i>	2

Fuente: Universidad Central del Ecuador, investigación de María Eugenia Donoso en la Facultad de Ciencias Químicas  
Elaboración: Albán Galo

#### 4.2.2. Biodiversidad por sectores

Para el presente caso también se utilizó el paquete informático de Soluciones Informáticas Franja (1993), para el cálculo de índices de biodiversidad. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

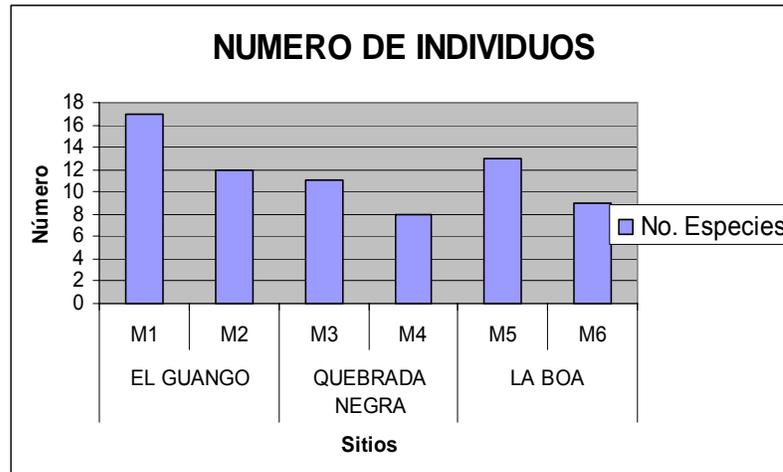
Cuadro 25. Diversidad de flora microbiana

Parámetro	LUGAR DE MUESTREO					
	EL GUANGO		QUEBRADA NEGRA		LA BOA	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Número de individuos (N)	17	12	11	8	13	9
Riqueza de especies (S)	9	10	8	5	8	6
Uniformidad (E)	97,32	97,88	94,85	92,84	92,58	96,84
Índice de Simpson (D)	0,04545	0,03030	0,07273	0,14286	0,10256	0,08333
Índice de biodiversidad Simpson (1-D)	0,95455	0,96970	0,92727	0,85714	0,89744	0,91667
Índice de Shannon (H')	2,1383	2,2539	1,9723	1,4942	1,9251	1,7351
Diversidad Alfa	16,3527	28,2329	13,1936	5,70508	8,8549	7,8671

Elaboración: Albán Galo

Para mayor comprensión, de los valores obtenidos se ha graficado cada uno de los parámetros y se procedió a la discusión de los resultados.

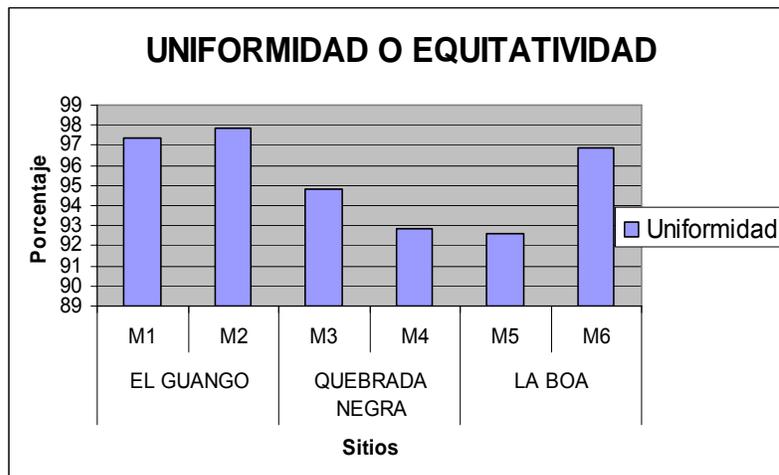
Gráfico 8. Número de individuos de bacterias (N)



Elaboración: Albán Galo

El mayor número de especies microbianas se encuentran en la muestra correspondiente al sector de El Guango identificada como M1 con 17 individuos, le sigue la muestra M5 colectada en el sector de La Boa con 13 individuos, en los dos sitios la Gerencia de Oleducto realizó trabajos de remediación.

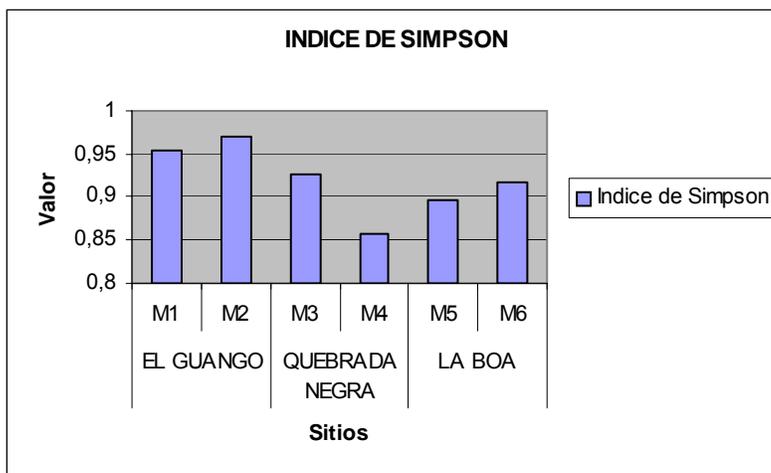
Gráfico 9. Uniformidad o Equitatividad de bacterias (E)



Elaboración: Albán Galo

La mayor uniformidad o equitatividad corresponde a las muestras del sector de El Guango con porcentajes del 97%.

Gráfico 10. Índice de Simpson de bacterias



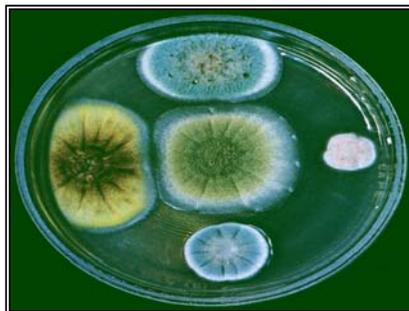
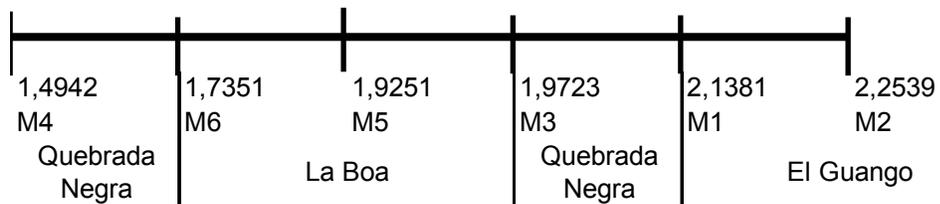
Elaboración: Albán Galo

El índice de diversidad de Simpson (1-D) es mayor para las muestras colectadas en el sector de El Guango.

Figura 6. Índice de Shannon para flora bacteriana



Investigación y Ciencia No. 62



Investigación y Ciencia No. 62

Índice de Shannon; se observa que la mayor diversidad de flora bacteriana se tiene en las muestras del sector El Guango (M2=2,2539 y M1=2,1281), seguida de la muestra M3 con un valor de índice igual a 1,9723 muestra colectada en el sector Quebrada Negra, a continuación se tienen las muestras colectadas en el sector La Boa y finalmente la muestra M4 colectada en el sector de Quebrada Negra.

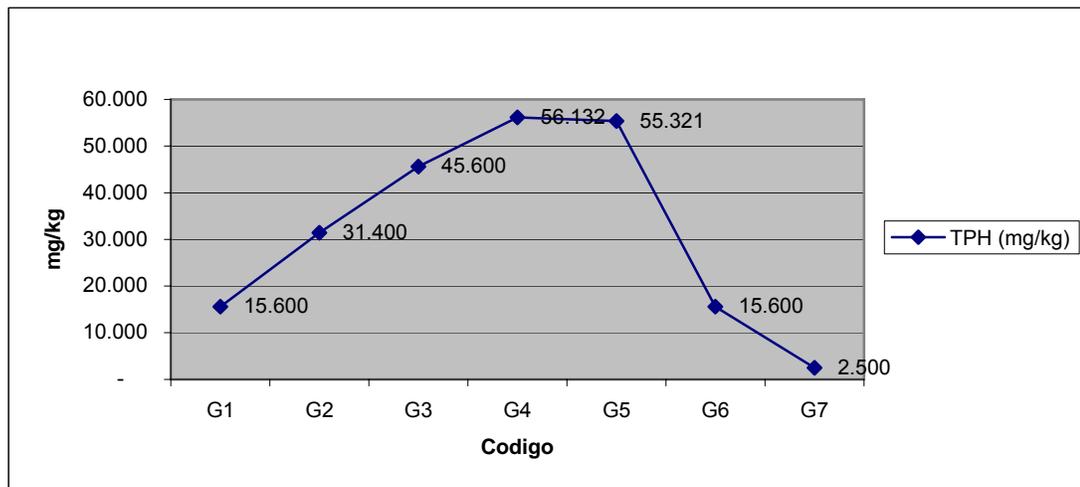
### 4.2.3. Concentración total de hidrocarburos de petróleo

La discusión de resultados se realiza a continuación.

#### 4.2.3.1. El Guango

El área contaminada para la caracterización se dividió en parcelas de muestreo, en ésta se tomaron muestras discretas, los resultados de la caracterización se presentan en el siguiente gráfico.

Gráfico 11. Caracterización de contaminación en El Guango



Fuente: Informe de Diagnóstico y Caracterización de los derrames "El Guango y Quebrada Negra", Gerencia de Oleoducto de Petroecuador, junio de 2001

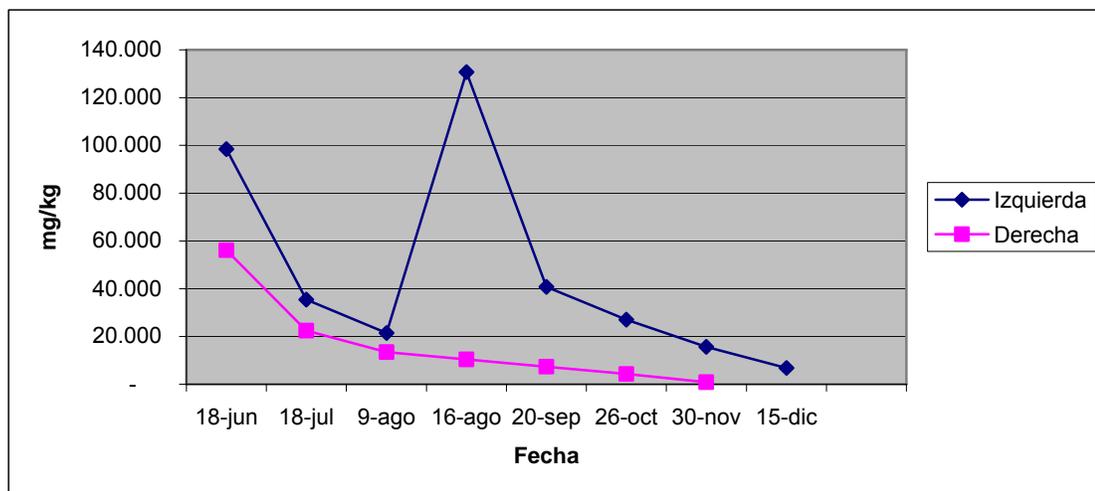
Elaboración: Albán Galo

Los resultados analíticos de la distribución de TPH no son homogéneos en la zona del derrame, ya que existen áreas con mayor concentración de hidrocarburos, por los siguientes factores entre otros:

- i. La estructura y textura del suelo, suelos permeables favorecen la infiltración a niveles inferiores

- ii. La morfología del lugar, las depresiones (cubetas) favorecen la permanencia del crudo, en tanto las zonas con pendientes favorecen la escorrentía del crudo
- iii. Condiciones climáticas
- iv. Tipo de cobertura vegetal
- vi. Dispersión del crudo, en dependencia de distancia de sitio de ruptura del ducto.

Gráfico 12. Monitoreo de TPH en las orillas del río El Guango año 2001



Elaboración: Albán Galo

Del análisis del gráfico, se concluye:

- i. Las concentraciones iniciales de crudo en cada margen del río son diferentes, en correspondencia con la morfología de la cuenca del río Guango.
- ii. El valor de TPH de la margen izquierda del 16 de agosto de 2001 (130.714 mg/kg), es producto de un nuevo derrame ocasionado en el sector el 15 de agosto del mismo año.
- iii. Existe una disminución rápida de la concentración de TPH en los dos primeros meses, debido a que en este período se degradan las fracciones más biodegradables (mono-aromáticos, alcanos en cadena recta y alcanos

bifurcados), a partir de este momento la biodegradación se vuelve lenta por cuanto los microorganismos deben eliminar las fracciones recalcitrantes

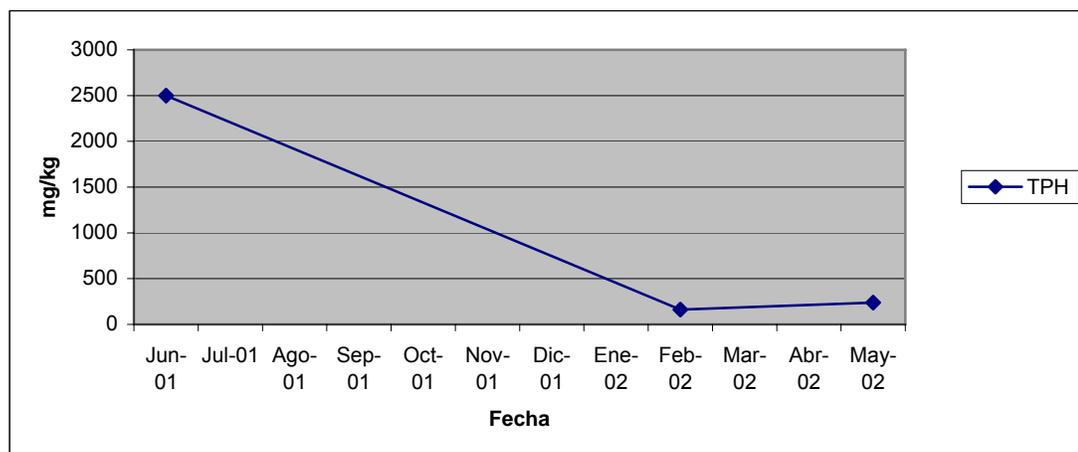
iv. Condiciones climáticas

vi. Altura del espejo de agua.

#### 4.2.3.2. Quebrada Negra

A continuación se presenta la discusión de la concentración de hidrocarburos en el derrame de Quebrada Negra.

Gráfico 13. Monitoreo de TPH en Quebrada Negra años 2001 y 2002



Elaboración: Albán Galo

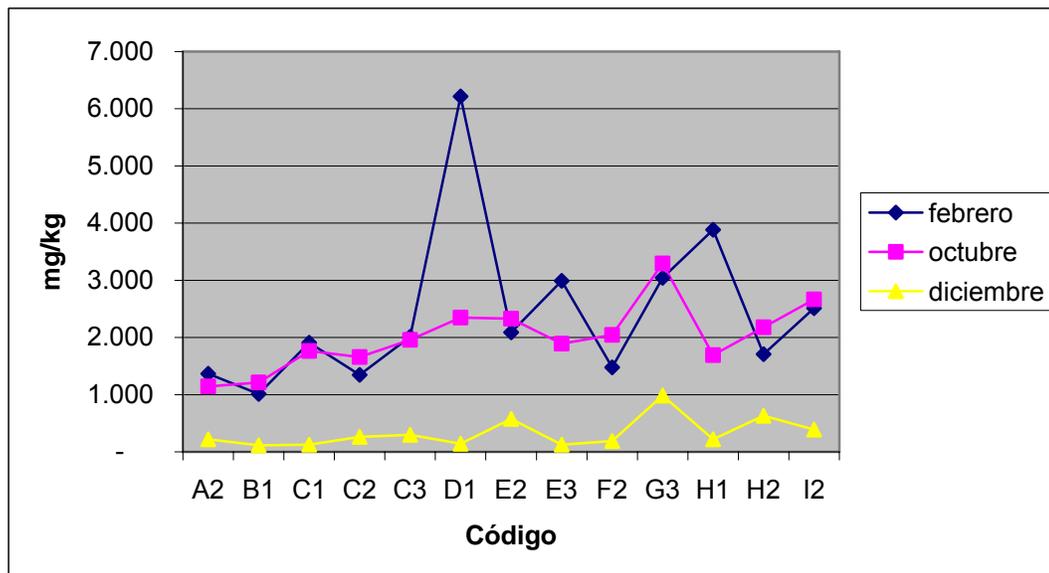
En los 8 primeros meses (junio de 2001 a febrero de 2002), se produce una descontaminación asociada a las fracciones más degradables principalmente por evaporación y atenuación natural; a partir de febrero de 2002 la degradación disminuye (la curva se vuelve asintótica) en razón que en el suelo permanecen las fracciones más recalcitrantes. Es necesario expresar que la Gerencia de Oleoducto ha realizado el monitoreo de la zona.

#### 4.2.3.3. La Boa

La caracterización del derrame y posterior monitoreo se realiza tanto con la

toma de muestras simples<sup>3</sup> y compuestas<sup>4</sup>; a continuación se analiza el proceso de remediación en el año 2001.

Gráfico 14. Monitoreo de TPH en La Boa año 2001



Elaboración: Albán Galo

Las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en los meses de febrero y octubre en términos generales supera la concentración de 1.000 mg/kg; los resultados analíticos en el mes de diciembre muestran un decrecimiento, la concentración no supera los 1.000 mg/kg.

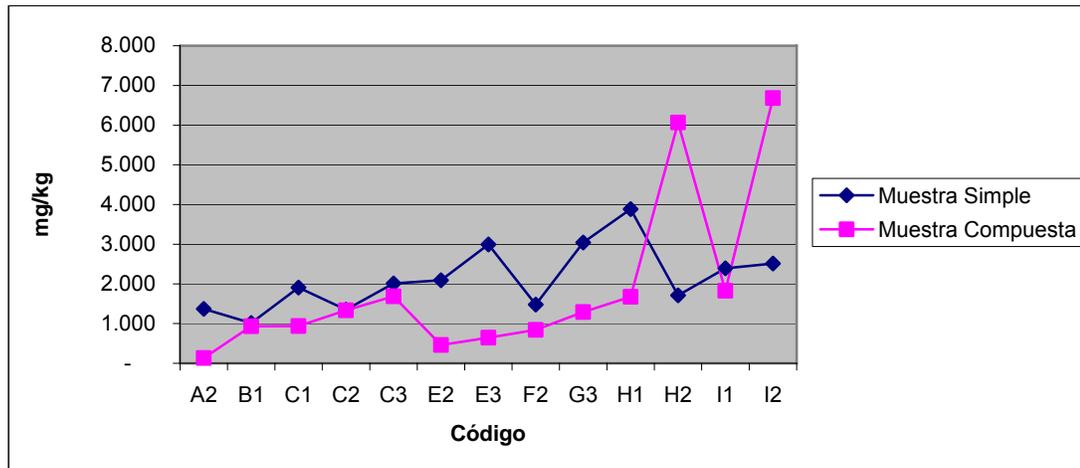
#### Comparación de muestras simples vs. compuestas

La muestra simple representa la contaminación puntual en sentido vertical, en tanto la muestra compuesta en nuestro caso representa la contaminación desde la superficie hasta los 50 centímetros de profundidad.

<sup>3</sup> Son colectas puntuales en sentido horizontal y/o vertical

<sup>4</sup> Son colectas puntuales en sentido horizontal y/o vertical

Gráfico 15. Comportamiento de muestras simples y compuestas en La Boa



Fuente: Informe de resultados, Laboratorio de Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, fecha 7 de febrero de 2001.

Elaboración: Albán Galo

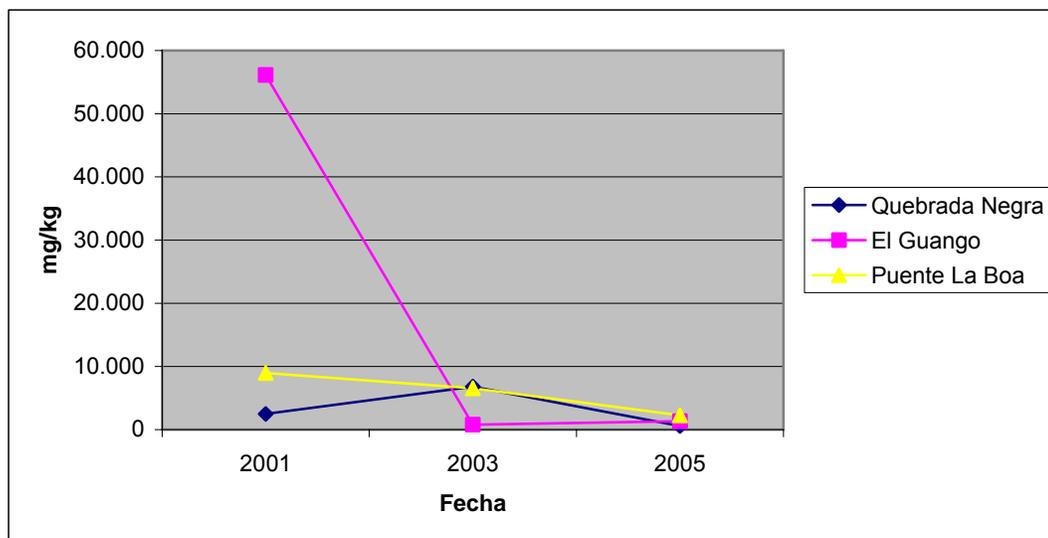
En términos generales existe diferencia entre los resultados analíticos obtenidos entre las muestras simples y compuestas, se puede considerar lo siguiente:

- i. Se produce “dilución” en las muestras compuestas, fenómeno que afecta a las muestras E2, E3, F2, G3, H1, I1; a excepción de las muestras I2 y H2 en las que potencialmente en estratos inferiores existe alta concentración de hidrocarburos
- ii. Las muestras simples son tomadas en superficie (0-20 cm de profundidad), la concentración de hidrocarburos en términos generales no sufre mayor variación por cuando los horizontes son homogéneos en su textura, morfología y cobertura vegetal; la muestra H1 se colectó en una pequeña depresión topográfica que favoreció el atrapamiento del crudo
- iii. No existe diferencia significativa entre muestras simples y compuestas en las signadas con los códigos A2, B1, C1, C2 y C3
- iv. Existe diferencia significativa entre muestras simples y compuestas, en las identificadas como H2 e I2.

#### 4.2.3.4. Análisis multitemporario de TPH

Para el presente análisis se ha considerado los años 2001, 2003 y 2005, las muestras son simples y colectadas de manera selectiva.

Gráfico 16. Análisis multitemporario de TPH.



Fuente: Petroecuador, reporte de laboratorios  
Universidad Central Del Ecuador, informe No. 05.0087  
Elaboración: Albán Galo

La concentración de TPH el año 2001 (fecha de caracterización) es heterogénea para los tres sitios, en los años 2001 y 2002 Petroecuador contrató con empresas privadas la remediación de los sitios contaminados; las empresas realizaron trabajos de lavado y posteriormente de bioremediación, logrando disminuir las concentraciones de hidrocarburos de petróleo hasta los límites permisibles establecidos en el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (Tabla 6 del Anexo 2).

En el año 2003 se realizó la Auditoría Ambiental del SOTE, las muestras fueron colectadas discrecionalmente dentro del área que fue remediada anteriormente, las concentraciones de hidrocarburos de petróleo en

Quebrada Negra y La Boa superan los límites establecidos en el RAOH, la concentración de hidrocarburos en El Guango está bajo los límites permisibles. A partir del año 2003, la degradación de los hidrocarburos se produce mediante mecanismos de atenuación natural.

#### **4.3. CONTRASTACION DE PREGUNTAS CON RESULTADOS**

A continuación se presentan las preguntas formuladas y su respuesta de acuerdo a los resultados obtenidos en el trabajo de investigación.

Cual es la diversidad de la cobertura vegetal en las zonas de estudio?. El mayor número de individuos (N) se registra en Quebrada Negra (31) seguido de El Guango (29) y La Boa (22); según el índice de Shannon (H'), El Guango presenta la mayor diversidad (2,4981), luego Quebrada Negra (2,2900) y finalmente La Boa (2,2397). Es necesario considerar que en Quebrada Negra se suspendieron los trabajos de remoción de material empetrolado, por lo que la cobertura vegetal no fue talada y removida; en el caso de El Guango la PUCE procedio a implementar el programa de reforestación con especies nativas.

La flora microbiana degradadora de hidrocarburos difiere entre los sectores de análisis?. Si difiere la flora microbiana entre los tres sitios de estudio; el mayor número de individuos (17 y 12) e índice de Shannon (2,2539 y 2,1381) corresponden a las muestras colectadas y analizadas de El Guango, el resultado está dentro de la logica, en razón que en este sector la PUCE realizó trabajos de remediación ambiental con la utilización de bacterias degradadoras; caso especial constituye el número de individuos en la muestra M3 de Quebrada Negra que presenta un valor relativamente alto (11), éste se puede deber a los trabajos iniciales de remediación realizados por Gerencia de Oleducto; en el caso de La Boa el número de individuos está

en 13 y 9, en este sector también se procedió con trabajos de remediación posterior al incendio.

Disminuye la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en el tiempo?. El análisis multitemporal determina que la concentración de hidrocarburos disminuye en el tiempo, es así que para el año 2001 los valores de TPH están en el rango de 2.500 mg/kg a 56.132 mg/kg, para el año 2005 los valores de TPH oscilan entre 583,50 mg/kg a 2.268,1 mg/kg. Durante el tiempo transcurrido los componentes del crudo se han lixiviado a la fase acuosa, se han biodegradado por presencia de bacterias y plantas con capacidad de degradar hidrocarburos, se ha volatilizado al aire y se han unido a las fases sólida del suelo mediante adsorción y/o absorción.

Es posible disminuir la subjetividad en la intervención de los suelos contaminados por hidrocarburos?. Si es posible, para lo cual es necesaria la transversalización de la información entre operadora-comunidad-autoridad, cada actor debe asumir su responsabilidad en el proceso y no cambiar de visión de acuerdo a los intereses y presiones particulares.

#### **4.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Del análisis realizado a la cobertura vegetal, microorganismos con capacidad de degradar hidrocarburos y concentración total de hidrocarburos, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

##### **4.4.1. Conclusiones**

Del análisis efectuado a la cobertura vegetal, se determinó que la mayor diversidad se registró en El Guango ( $H' = 2,4981$ ), mientras que el mayor número de especies se reportaron en Quebrada Negra (31). Es evidente que

la mayor diversidad de El Guango se relaciona a que en este sector se procedió a reforestar (bosque plantado de aliso) una vez que se concluyeron los trabajos de remediación; en el caso de Quebrada Negra al no haberse talado el bosque natural por la suspensión de los trabajos de remediación, el número de individuos es mayor.

Respecto a la flora bacteriana, la mayor diversidad y el más alto número de individuos se registra en El Guango ( $H' = 2,2539$ ); respecto a bacterias degradadoras de hidrocarburos en este mismo sector se registraron cuatro géneros (*Bacillus*, *Corynebacterium*, *Pseudomona* y *Proteus*). Para corroborar esta datación es necesario recordar que en este sector la Pontificia Universidad Católica del Ecuador realizó los trabajos experimentales de bioremediación.

La concentración de hidrocarburos totales de petróleo, evidencia que existe diferencias significativas entre fechas de muestreo (el valor más alto reportado en el caso de El Guango en el año 2001 es de 56.132 mg/kg y en el año 2005 el valor es de 583,60 mg/kg); pero no existe diferencias significativas entre las áreas analizadas en el año 2005 (se reporta valores que oscilan entre 2.268,1 mg/kg hasta 583,60 mg/kg). La contaminación por hidrocarburos en el año 2001 supera el límite permisible establecido en el RAOH para suelo agrícola (2.500 mg/kg), en el año 2005 el valor de concentración de hidrocarburos totales es inferior al límite permisible.

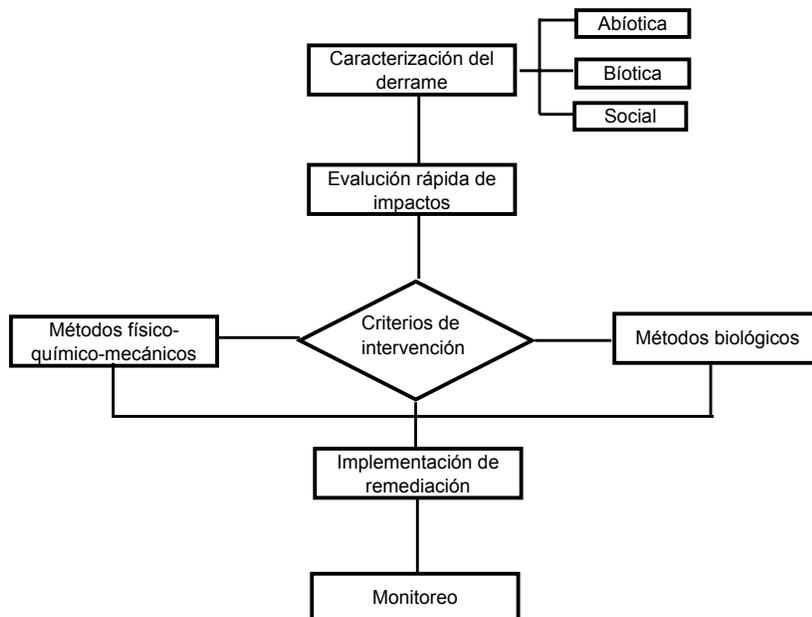
La contaminación por metales pesado es tan o más crítica que la generada por los hidrocarburos, por su naturaleza inorgánica los metales pesado son más difíciles de degradar, altamente contaminantes y su permanencia en el tiempo es mayor que los elementos de origen orgánico.

#### 4.4.2. Recomendaciones

Se recomienda que los centros de educación superior y las instituciones públicas y privadas vinculadas a la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, emprendan en proyectos de investigación con la utilización de especies vegetales que tienen la capacidad de fitoextracción, rizofiltración, fitoestabilización y fitovolatilización de metales pesados, y, fitoestabilización y fitoestimulación para los hidrocarburos derivados de petróleo.

Los derrames de hidrocarburos tienen características particulares físico-químicas, ambientales y sociales; siendo imperioso determinar políticas de intervención que consideren estos aspectos; se presenta en la figura 7 la secuencia lógica de intervención para optimizar los recursos tecnológicos, financieros y humanos, minimizando los impactos al ambiente y promoviendo la regeneración de los ecosistemas.

Figura 7. Diagrama de intervención



Elaboración: Albán Galo

## **CAPÍTULO 5**

### **PROPUESTA**

#### **CRITERIOS PARA INTERVENCIÓN EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS**

##### **5.1. INTRODUCCIÓN**

Debido a la complejidad y diversidad de las circunstancias que rodean a un suelo contaminado, no hay dos casos semejantes y por tanto no hay una solución aplicable de forma general.

Por lo expuesto se considera la necesidad de elaborar un sistema para la jerarquización y planificación de criterios de intervención en los sitios afectados por derrames de hidrocarburos, de ahí que el objetivo del presente documento es describir los procedimientos para la utilización de la matriz de Criticidad, y de esta manera priorizar la gestión de intervención y saneamiento en las diferentes áreas impactadas.

##### **5.2. DESCRIPCIÓN DE MATRIZ DE CRITICIDAD**

Esta matriz toma elementos de la Normativa Ambiental vigente y de los sistemas de Evaluación de Riesgo Ambiental<sup>5</sup>. La matriz determina la

---

<sup>5</sup> Evaluación de Riesgo Ambiental: Metodología utilizada por la U.S. Environmental Protection Agency (US – EPA), mecanismo que estandariza los criterios para diagnosticar problemáticas ambientales ocasionadas por desechos químicos y que al mismo tiempo se encargara de diseñar estrategias para resolverlos. Dicha metodología integra la información de los posibles riesgos que corre el entorno de un sitio contaminado presentando de forma organizada las rutas críticas del peligro potencial a que están sujetos los organismos de un determinado sistema, urbano o natural, ya sea por procesos de emisión de gases a la atmósfera, transporte de contaminantes o lixiviación de sustancias a partir de reservorios

criticidad del material o desecho peligroso considerando las condiciones ambientales, ecológicas y sociales del entorno.

### **5.2.1. Variables Ambientales**

Son las variables relacionadas a la afectación del ambiente, considerando factores bióticos y abióticos.

#### **5.2.1.1. Cercanía a sitios con alta peligrosidad que magnifiquen el riesgo**

La acumulación de materiales petrolizados debe estar separado del almacenamiento de desechos y de otros materiales incompatibles. No debe estar cercano a sitios de energía (generación y/o distribución eléctrica), sustancias inflamables, plantas que operen a altas temperaturas (>60°C) y presiones (>200psi).

Cuadro 26. Rango de cercanía a sitios con alta peligrosidad.

Rango (m)	Valor
> 500	Uno (1)
< 500	Diez (10)

Fuente: PDVESA/INTEVEP

#### **5.2.1.2. Exposición a contingencias naturales**

Se considera las amenazas naturales sísmicas, volcánicas, remoción en masa y meteorológicos; la evaluación se realizara considerando la información histórica y los riesgos geológicos del área; una zona que ha sufrido impactos muy probablemente los volvera a sufrir, y, está potencialmente expuesta a nuevas contingencias.

Cuadro 27. Rango exposición a contingencias naturales

Descripción	Valor
No está expuesto a contingencias naturales	Diez (10)
Si está expuesto a contingencias naturales	Uno (1)

Elaboración: Albán Galo

### 5.3.1.3. Exposición potencial a ecosistemas sensibles

Se refiere a la existencia de ecosistemas potencialmente expuestos dentro de un perímetro de 500m., desde el foco de contaminación, como atenuante se considera la existencia de barreras o zonas de amortiguamiento; se incluye al Sistema Nacional de Áreas Protegidas [SNAP]; la ponderación tiene por objeto conservar, proteger y mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales.

Cuadro 28. Rango exposición potencial a ecosistemas

Descripción	Valor
No existen sistemas naturales localizados dentro de la zona expuesta, hay barreras efectivas y zonas de amortiguamiento	Diez (10)
Existen sistemas naturales localizadas dentro o adyacente a la zona expuesta, no hay barreras o zonas de amortiguamiento	Uno (1)

Fuente: PDVESA/INTEVEP

### 5.3.1.4. Cercanías a cuerpos de agua

Esta variable es una de las más importantes, cuanto más próximo se encuentre el foco del derrame de un cuerpo de agua, mayor es el riesgo ambiental de la zona.

Cuadro 29. Rango cercanías a cuerpos de agua

Rango (m)	Valor
>2.000	Uno (1)
1.000 – 2.000	Dos (2)
500 – 1.000	Cinco (5)
< 500	Diez (10)

Fuente: PDVESA/INTEVEP

### 5.3.1.5. Área de suelo afectada

Se refiere al área de suelo afectada por el derrame de crudo y/o sus derivados; parámetro que determina el gasto económico, el volumen de movimiento de tierras, volumen de suelo transportado, volumen de inoculante a ser requerido, entre otros parámetros.

Cuadro 30. Rango del área de suelo afectada

Rangos (m <sup>2</sup> )	Valor
> 10.000	Uno (1)
10.000 – 5.000	Dos(2)
5.000 – 1.000	Cinco (5)
<1.000	Diez (10)

Fuente: PDVESA/INTEVEP

### 5.3.1.6. Eventos de contingencias previos

El parámetro considera eventos previos en la zona con declaratoria de emergencia por derrames de crudo, se considera los impactos ecológicos, económicos y sociales, sin importar la frecuencia de ocurrencia.

Cuadro 31. Rango evento de contingencias previas

Descripción	Valor
No hay registros y existe bajo potencial de ocurrencia	Diez (10)
Han ocurrido eventos sin afectación a cuerpos de agua, en superficie de suelo < 1ha.	Tres (3)
Han ocurrido eventos con afectación a cuerpos de agua y suelo, superficie > 1 ha.	Uno (1)

Fuente: PDVESA/INTEVEP

### 5.3.1.7. Contaminación por hidrocarburos

Para nuestro caso consideramos la concentración total de hidrocarburos, si la caracterización se realiza con muestras simples se considera el valor máximo absoluto; en tanto si el muestreo es compuesto, el valor considerado es el promedio.

Cuadro 32. Rango de Contaminación

Descripción	Valor	
Concentración de TPH (mg/kg)	<25.000	Uno (1)
	25.00 - 50.000	Cinco (5)
	>50.000	Diez (10)

Elaboración: Albán Galo

### 5.3.2. Variables Sociales

Son las variables relacionadas a la afectación a las comunidades, nivel de organización y vandalismo, para el análisis no se discrimina la población por su origen o nacionalidad.

### 5.3.2.1. Efectos sobre la población local

Se refiere a la existencia histórica de algún tipo de afectación sobre las actividades económicas, productivas y culturales de la población asentada en el área de influencia directa.

Cuadro 33. Rango efecto sobre la población local

Descripción	Valor
No existe ningún efecto sobre las actividades económicas y culturales	Uno (1)
Si existen efectos sobre las actividades económicas y culturales	Diez (10)

Fuente: PDVESA/INTEVEP

### 5.3.2.2. Organización social

Los procesos de negociación para intervenir en la contingencia y posterior remediación, se complican cuando la organización de base es inexistente o débil.

Cuadro 34. Rango organización social.

Descripción	Valor
No existen organizaciones de base	Diez (10)
Si existen organizaciones de base	Uno(1)

Elaboración: Albán Galo

### 5.3.2.3. Vandalismo

Se considera al registro histórico e vandalismo en la zona, no se analiza los motivos de los atentados ni la frecuencia de los mismos, se trata de tener una aproximación a las zonas más vulnerables por peligros antrópicos.

Cuadro 35. Rango vandalismo

Descripción	Valor
No existe vandalismo	Diez (10)
Si existe vandalismo	Uno (1)

Fuente: PDVESA/INTEVEP

### 5.3.3. Variables de degradación *in situ*

Las condiciones naturales que presenta el ecosistema, pueden potencializar o atenuar la remediación de los suelos contaminados por hidrocarburos, estas condiciones deben ser evaluadas para mejorar la eficiencia de remediación.

#### 5.3.3.1. Colonias de bacterias con capacidad de degradar hidrocarburos

Las bacterias en tiempos recientes han sido objeto de investigación para mejorar las técnicas de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, para nuestro análisis consideramos la población bacteriana presente naturalmente en los suelos impactados, la literatura especializada menciona que en la Amazonía ecuatoriana se registran importantes colonias bacterianas de los géneros *Bacillus*, *Pseudomona*, *Salmonella* y *Acinetobacter*.

Cuadro 36. Rango de colonias bacterianas

Descripción	Valor
Colonias de bacterias degradadoras de hidrocarburos >10E+8 (UFC/g)	Uno (1)
Colonias de bacterias degradadoras de hidrocarburos 10E+8-10E+3 (UFC/g)	Cinco (5)
Colonias de bacterias degradadoras de hidrocarburos <10E+3	Diez(10)

Elaboración: Albán Galo

### 5.3.3.2. Plantas con capacidad de degradar hidrocarburos

El uso de plantas para tratar derrames de crudo y contaminación por metales pesados es una tecnología innovadora y de futuro, siendo necesaria la evaluación de población de este tipo de plantas en el área del derrame.

Cuadro 37. Rango de plantas fitorremediadoras

Descripción	Valor
Si existen plantas con capacidad de degradar hidrocarburos	Uno (1)
No existen plantas con capacidad de degradar hidrocarburos	Diez(10)

Elaboración: Albán Galo

### 5.3.3.3. Textura del suelo

La textura del suelo, limita los procesos de remediación físicos y biológicos de suelos contaminados, por factores que se describen a continuación: adsorción del hidrocarburo en las partículas de arcilla, saturación del suelo, disminución de oxígeno disponible, baja movilidad de nutrientes, entre otros potenciales impactos asociados a la textura del suelo.

Cuadro 38. Rango de textura del suelo

Descripción	Valor
Arena	Uno (1)
Limo	Cinco (5)
Arcilla	Diez(10)

Elaboración: Albán Galo

### 5.3.3.3. Humedad del suelo

Para el análisis consideramos la humedad de campo, existe evidentes dificultades en descontaminar estratos saturados de agua y en caso de suelos secos con riego se supera esta limitación.

Cuadro 39. Rango de humedad del suelo

Descripción	Valor
Húmedo	Uno (1)
Seco	Cinco (5)
Saturado	Diez(10)

Elaboración: Albán Galo

#### 5.3.4. Evaluación de las variables para su aplicación

La evaluación y ponderación de las variables estudiadas en la matriz comprende los siguientes pasos:

- i) Determinar el peso específico de cada una de las variables que conforman la matriz, mediante la comparación directa entre ellas; los pesos fueron normalizados a la sumatoria de 100
- ii) Se fijaron los valores en los criterios de ponderación basado en criterios de los documentos de consulta y mediante el consenso del equipo multidisciplinario. Los valores comprenden el rango entre uno (1) como valor mínimo y diez (10) como valor máximo
- iii) El cálculo del puntaje de cada variable es el producto del peso por el valor
- iv) Finalmente, el puntaje final de la matriz es la sumatoria de todas las variables que la comprenden.

A manera de ejemplo se menciona los criterios utilizados para la exposición a amenazas naturales. Se muestra la variable en donde el peso es catorce (14), se han designado los valores en cada uno de los “criterios de ponderación” que comprenden: diez (10) cuando no se registra amenazas naturales –la probabilidad que exista un desastre natural es baja, razón por

la que en caso de producirse un desastre es por causas antrópicas y por lo tanto local-; en tanto se asigna el valor de 1 para las zonas que presentan alta amenazas por procesos naturales –el terremoto del 5 de marzo de 1987 produjo daños en los tanques de almacenamiento y línea de flujo del SOTE entre las estaciones El Salado y Baeza, el desastre es de carácter regional y los sitios afectados por derrames de hidrocarburos son multiple–. Para obtener el puntaje los valores se multiplican por el peso asignado, dando como resultado un puntaje de 140 en caso de que no se registre amenazas por procesos naturales (terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos y derrumbes).

Cuadro 40. Ejemplo de exposiciones por amenazas naturales

Variables ambientales	Peso	Criterios de ponderación	Valor
Amenazas naturales	14	NO se registran amenazas naturales	10
		SI se registran amenazas naturales	1

Elaboración: Albán Galo

Una vez que se llegó a acuerdos sobre las variables ambientales y los pesos ponderados se elaboró la matriz de intervención en caso de derrames de hidrocarburos, el documento se adjunta en el Anexo 5.

### 5.3.5. Función de jerarquización

Cada derrame tiene un tratamiento especial, en algunos casos es necesaria la utilización de dos o más técnicas de remediación. En nuestro caso es una primera aproximación para tener criterios de intervención en derrames de hidrocarburos, la jerarquización es susceptible a cambios con el aporte de expertos y nuevos parámetros de análisis.

Para la jerarquización de los sitios contaminados por derrames de crudo se suma las variables ambientales, sociales y las características intrínsecas del área y del derrame, el valor máximo de la matriz de criticidad es 3.000 y el valor mínimo es 300.

En el siguiente cuadro se presenta los intervalos de jerarquización y las puntuaciones mínimas y máximas para cada nivel, igualmente se describen las acciones a ser tomadas y los tiempos sugeridos para implementar los procesos de remediación.

Cuadro 41. Jerarquización de intervención

Código	Intervalos	Tipo de acción a tomar	Tipo de remediación recomendado	Tiempo (meses)
A	300 - 840	Plan de saneamiento a largo plazo; Justificar ante las autoridades y comunidad de la ventaja del proceso por bajo impacto a los ecosistemas; Trabajos <i>in situ</i>	Atenuación natural y atenuación natural controlada, Fitoremediación	> 36
B	840 – 1.380	Justificar ante autoridades y comunidad ventajas de la tecnología; El movimiento de tierras es mínimo; Trabajos <i>in situ</i>	Remediación microbiana, Remediación con plantas	24 – 36
C	1.380-1.920	Los trabajos de remediación pueden ser <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> , la	Remediación microbiana, Degradación	12 – 24

		evaluación para definir la remediación en función de variables sociales y ambientales.	enzimática, Fitoremediación	
D	1.920 – 2.460	Se requiere implementar programa de remediación a mediano plazo; Los trabajos de remediación emergentes <i>in situ</i> , la remediación de los suelos puede ser <i>ex situ</i> , la evaluación en función de variables sociales y ambientales.	Combinación de técnicas biológicas (bioremediación y bioaumentación) y fisico-químicas (lavado de suelo)	6 – 12
E	2.460 – 3.000	Se requiere con urgencia implementar programa de remediación a fin de evitar la difusión del contaminante y la afectación a los humanos y ecosistemas; Los trabajos de remediación <i>ex situ</i> .	Técnicas fisico-químicas (lavado de suelo, solidificación e incineración), una vez superada la emergencia se puede utilizar técnicas biológicas (bioaumentación).	< 6

Elaboración: Albán Galo

### 5.3.5.1. Evaluación de jerarquización

A continuación se presentan los resultados de los tres casos reales analizados (El Guango, Quebrada Negra y La Boa), y, el derrame ocurrido en la línea de flujo del pozo Cuyabeno 8 a manera de simulación.

Cuadro 42. Ejemplos de aplicación.

Sitio	Puntuación obtenida	Jerarquización	Tipo de acción a tomar
El Guango	2.032	D	Técnicas Biológicas (bioremediación y bioaumentación). Técnicas Físico-químicas (lavado de suelo)
Quebrada Negra	1.191	B	Técnicas biológicas (remediación microbiana y remediación con plantas)
La Boa	1.664	C	Técnicas biológicas (remediación microbiana, fitoremediación y degradación enzimática)
L/F Cuyabeno 8	731	B	Técnicas Biológicas (remediación microbiana, fitoremediación y degradación enzimática)

Elaboración: Albán Galo

De análisis efectuado en los estudios de caso, para El Guango se utilizó el lavado y posteriormente se descontaminó los suelos con técnicas biológicas en este caso landfarming.

Para los derrames de La Boa se utilizó por parte de Petroecuador el lavado y posteriormente técnicas biológicas; en este caso el lavado de los suelos no tuvo razón de efectuarse por cuanto la concentración de hidrocarburos es inferior a 25.000 ppm, no existe presiones externas, y, considerando que el área tiene una alta incidencia de sabotaje.

En Quebrada Negra al suspenderse las actividades de limpieza, la naturaleza se ha encargado progresivamente de disminuir la contaminación de hidrocarburos (atenuación natural), se ajusta a la evaluación realizada a través de la matriz.

En el derrame del pozo Cuyabeno 8, la operadora contrato el servicio de lavado, éste se suspendió por cuestionamientos de la comunidad y de ONGs ambientales, posteriormente y después de superar problemas legales (autorización del Ministerio del Ambiente) y técnicos (diferencias de superficie contaminada) se continuó con el lavado de sedimentos y remoción de suelos para posteriormente trasladarlos fuera del área protegida y proceder con procesos de bioremediación. De acuerdo a la matriz lo recomendable es la remediación con técnicas biológicas, entre las que se menciona bioremediación y fitoremediación. Es necesario considerar que los suelos que presentaban concentraciones de hidrocarburos superiores a 25.000 ppm la operadora actuó acertadamente retirando el suelo contaminado mecánicamente para disminuir el foco de contaminación; sin embargo para los suelos con concentraciones de hidrocarburos inferiores a 25.000 ppm debieron priorizarse técnicas biológicas.

## BIBLIOGRAFIA

- Acción Ecológica. (2001). *Comentarios a los estudios ambientales del OCP* (Informe inédito). Quito: Autor.
- Andocilla, Marcelo. (2003). *Microbiología general y ambiental básica*. Quito: Editorial Universitaria.
- Baca, Ernesto. (2005). *Inspección Judicial del pozo Sacha 53* (Informe inédito). Nueva Loja: Juicio TEXACO-FDA.
- Barragan, Raúl. (1997). *Principios de diseño experimental*. Quito.
- Bravo, E., Donoso E., Tapia I. (2003). *Proyecto de aplicación de filosilicatos y bacterias en el campo es suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos* (Publicación interna). Quito: Universidad Central del Ecuador y Petroecuador.
- Collins, C.H., Lyne, M. (1995). *Microbiological Methods*. (7<sup>a</sup> ed.). Great Britain: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Ercoli, Eduardo. (2003). *Fundamentos de ingeniería bioquímica aplicados a bioremediación de suelos* (Informe inédito). Cuyu: Universidad Nacional de Cuyu.
- Ercoli, Eduardo. (2003). *Bioremediación de suelos contaminados por hidrocarburos* (Informe inédito). Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Eweis, Juana, Sarina Ergas, Daniel Chang y Edgard Schroeder. (1999). *Principios de biorrecuperación [Bioremediation]*. España: McGraw-Hill.
- Foth, Henry. (1992). *Fundamentos de la ciencia del suelo*, México: Compañía Editorial Continental.
- Friend, George. (1990). *Biología* (6<sup>a</sup> ed.). México: Gráficas Futuras.
- Guevara, R.D. *Principios fundamentales de ecología ecuatoriana* (3<sup>a</sup> ed.). Quito: Codislisi.
- Hofstede, Robert, Johanna Lips, Wibold Jongsma y Yan Sevink. (1998). *Geografía ecológica y forestación de la sierra alta del Ecuador*. Quito: Ediciones Abya-Yala.

- Holt John, Kreg, Sneath, Staley, Williams. (1994). *Bergey manual of determinative bacteriology* (9<sup>a</sup> ed.) USA: Williams Wilkins.
- Landazuri, Helena. (1987). *La cuenca amazonica*. Cayambe: Ediciones Abya-Yala.
- Luzuriaga, Carlos. (2001). *Curso de edafología general*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército ESPE.
- Martin, Alexander. (1980). *Microbiología del suelo* (2<sup>a</sup> ed.). México: Libros y editores S.A.
- Maroto, M., Quesada R., Gecisal J. (2003). *Aplicación de sistemas de Bioremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos*. España: GEOCISA.
- Merck (1996). *Sensident. Reference Book*. (Em. Ident E NF). USA: Autor.
- Muñoz R., Muñoz F. (2004). *Nomenclatura de química orgánica*. Quito: Casa del estudiante.
- Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. (1999). *Introducción a la toxicología ambiental*. México: Editora Lilia Albert.
- Petroecuador. (1994). *Glosario de la industria hidrocarburífera*. Quito: Talleres gráficos de Petroecuador.
- Petroecuador, Universidad Central del Ecuador. (2008). *Glosario de términos petroleros y ambientales*. Quito: Talleres gráficos de Petroecuador.
- Petroecuador. (2002). *Hitos de la industria petrolera*. Ecuador: Talleres gráficos de Petroecuador.
- Primavesi, Ana. (1984). *Manejo ecológico del suelo* (5<sup>a</sup> ed.). Argentina: El Ateneo.
- Scientific American. (1981). *Investigación y ciencia*. Barcelona: Prensa Científica.
- Sepulveda, T., Velasco J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Mexico: Instituto Nacional de Ecología.
- Sevilla, R., Holle M. (2004). *Recursos genéticos vegetales*. Perú: Luís León Asociados S.R.L.

- Tamayo y Tamayo, Mario. (2003). *El proceso de la investigación científica* (4ª ed.), México: Noriega Editores (Limusa).
- Ulloa C, Joregensen. (1995). *Arboles y arbustos de los Andes del Ecuador*. Quito: Ediciones Abya-Yala.
- Winckell, A., Claude Z., Sourdat, M. (1997). *Las regiones y paisajes del Ecuador*. Quito: Instituto Geográfico Militar IGM.
- Ecuador, Ministerio de Energía y Minas. (2001). *Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburífera Decreto No. 1215*. Quito: Autor.
- Ecuador, Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*. Quito: Autor
- Ecuador, Ministerio del Ambiente. (2003). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria Decreto No. 3516*. Quito: Autor
- Ecuador, Ministerio del Ambiente. (1999). *Ley de Gestión Ambiental*. Quito: Autor
- Ecuador, Universidad Central del Ecuador. (2000). *Control de derrames de petróleo* (Publicación interna). Quito: Autor.
- Ecuador, ESEN Cía Ltda., AMBIENTEC. (1990). *Plan integral de manejo ambiental de la actividad hidrocarburífera* (volumen II). Quito: Petroecuador.
- Ecuador, CORPCONSUL Cia Ltda. (2003). *Auditoria ambiental al sistema de oleoducto transecuatoriano SOTE 2003*, Quito: Petroecuador.
- Ecuador, ESINGECO. (2005). *Diagnóstico y plan de manejo ambiental del sistema de oleoducto transecuatoriano*. Quito: Petroecuador.
- Ecuador, Gerencia de Oleoducto del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano. (2004). *Informe para presentaciones del sistema*. Quito: Autor
- Perú, Ministerio de Energía y Minas. (2000). *Guía para el muestreo y análisis de suelos*. Lima: Autor
- Venezuela, PDVESA INTEVEP (2008). *Manual INT-M-XXXX* (Publicación interna). Caracas: Autor.

- Rotura del oleoducto ocasiona un derrame de 3685 barriles. (2000, Diciembre 14). HOY.
- Investigan atentados contra oleoducto causaron derrame de petróleo. (2005, Febrero 23). Agencia EFE.
- Destino de Petroecuador. (2006, Octubre 14). El Universo.
- ARGENBIO. (2004). El Cuaderno Por qué Biotecnología No 36. Bioremediación. *Bioremediación: organismos que limpian el ambiente*. Extraído el 18 de Mayo, 2006 de <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>
- Albiano, Nelson. (2007, Febrero 25). *Toxicología - sustancias*. Extraído el 14 de Febrero, 2008 de <http://www.estrucplan.com.ar>
- ATSDR. (2001, Diciembre). *Hidrocarburos totales de petróleos HAPs*. Extraído el 26 de Marzo, 2004 de <http://www.atsdr.cdc.gov>
- ATSDR. (2005, Agosto). *Níquel CAS#7440-02-0*. Extraído el 26 de Junio, 2006 de [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs15.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.pdf).
- Bouza, Carlos. (2005). *Estimación del índice de diversidad de Simpson*. Extraído el 26 de Junio, 2006 de [www.dict.uh.cu/rev\\_io\\_2005\\_no2.asp - 23k](http://www.dict.uh.cu/rev_io_2005_no2.asp-23k)
- Casa de la Cultura del Ecuador CCE. (2005). *Los Ecosistemas*. Extraído el 25 de Junio, 2006 de <http://www.cce.org.ec>
- Camacho, Osvaldo. (2004). *Enfoque Ambiental, Bioremediación de suelos y aguas de montaña*. Extraído el 25 de Junio, 2006 de <http://www.Petroecuador.gov.ec>
- Carranza, Jaime. (2003). *La diversidad biológica de Colombia*. Extraído el 25 de Junio, 2006 de <http://www.monografias.com/trabajos12/ladivbio/ladivbio.shtml> - 139k
- CONAMA. (2004). *Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) son precursores del ozono*. Extraído el 12 de Abril, 2005 de <http://www.conama.cl/rm/568/propertyvalue-991.html> - 17k
- Conserjería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. (2003, Enero). *Contaminación de suelos por compuestos orgánicos*. Extraído el 16 de Mayo, 2005 de <http://www.juntadeandalucia.es>.

- Del Lobo, Maria del Carmen. (2004). *Para llevar a cabo una adecuada selección de la técnica de remediación*. Extraído el 18 de Mayo, 2005 del sitio Web del Instituto Madrileño de Investigación Agraria: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp>.
- EPA. (1996). Guía del Ciudadano. *El lavado del suelo, EPA 542-F-96-018*. Extraído el 16 de Mayo, 2005 de [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- EPA. (1996, Septiembre). *Desechos sólidos y respuestas en situaciones de emergencia* (5102G), EPA 542-F-96. Extraído el 16 de Mayo, 2005 de [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- Fondo Nacional De Ciencia, Tecnología E Innovación. (2004). *Investigación en los Bosques Húmedos Del Amazonas*. Extraído el 16 de Mayo, 2005 de [http:// www.fonacit.gov.ve](http://www.fonacit.gov.ve)
- Flores, A., Torras S., Téllez R. (2004). *Medidas de mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructuras de transporte terrestre* ISSN 0188-7297. Extraído el 16 de Mayo, 2005 del sitio Web del Instituto Mexicano del Transporte: [www.imt.mx](http://www.imt.mx)
- Galan, Patricia. (2004). *Contaminación Petrolera*. Extraído el 16 Mayo, 2005 de <http://www.ambiente-ecologico.com/revist30/contpe30.htm>.
- Ibañez, Juanjo. (2006, Enero). *Edafodiversidad y biodiversidad 8: sobre los índices de diversidad*. Extraído el 25 Septiembre, 2008 de <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2007/02/22/11572.aspx> - 63k
- Instituto Nacional de Ecología de Mexico. (2004). *Muestreo y caracterización de un sitio*. Extraído el 16 Mayo, 2005 de [http:// www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)
- Instituto Nacional de la Salud (2004). *Nacional Library of Medicine Compuestos orgánicos*, U.S., MD 20894,1-888-FIND-NLM, USA. Extraído el 16 Mayo, 2005 de <http://tehip@tehip.nlm.nih.gov>
- Manate9 Amazon Explorer. (2003) *Bosque húmedo tropical*. Extraído el 27 Agosto, 2004 de <http://www.manateeamazonexplores.com>
- Martin, Moreno, Et Al. (2004). *Tratamiento de suelos contaminados con hongos*. Rev Iberoam Micol. 2004; 21: 103-120. Extraído el 27 Mayo, 2005 de <http://www.reviberoammicol.com> /2004-21/103120.PDF
- Martin, C., Gonzáles A., Blanco M. (2004). *Revista Iberoam Micol* 2004; 21:103-120. *Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicación de hongos en tratamientos*

de biorrecuperación. Extraído el 27 Mayo, 2005 de <http://www.reviberoammicol.com/2004-21/1031120.PDF>.

Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. (2004). *Bosque amazónico*. Extraído el 27 Mayo, 2005 de <http://www.wrm.org.uy>.

Petroecuador. (2004). *Bioremediación para recuperar suelos afectados por derrames*. Extraído el 30 Mayo, 2005 de <http://www.Petroecuador.com.ec>.

Petroecuador. (2004). *Plan de contingencia*. Extraído el 30 Mayo, 2005 de <http://www.Petroecuador.com.ec>

Rodriguez, Ricardo. (2004). *Las medidas de cantidad de información en la evaluación*. Extraído el 1 Junio, 2005 del sitio Web de Universidad Pedagógica José Martín. <http://www.rieoei.org/deloslectores/010Vega.PDF>

Samano, Patricia. (2004). *Efectos de los hidrocarburos en el medio ambiente*. Extraído el 1 Junio, 2005 del sitio Web de Universidad de Sonora: <http://www.uson.mx>.

Suarez, Fidel. (2005). *Glosario*. Extraído el 25 Junio, 2006 de <http://www.arroyodebarranquilla.org>

Universidad De Antofagasta. (2005, Abril). Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental *Contaminación por hidrocarburos en la zona costera de la ciudad de Antofagasta*. Extraído el 25 Junio, 2006 de <http://www.uantof>

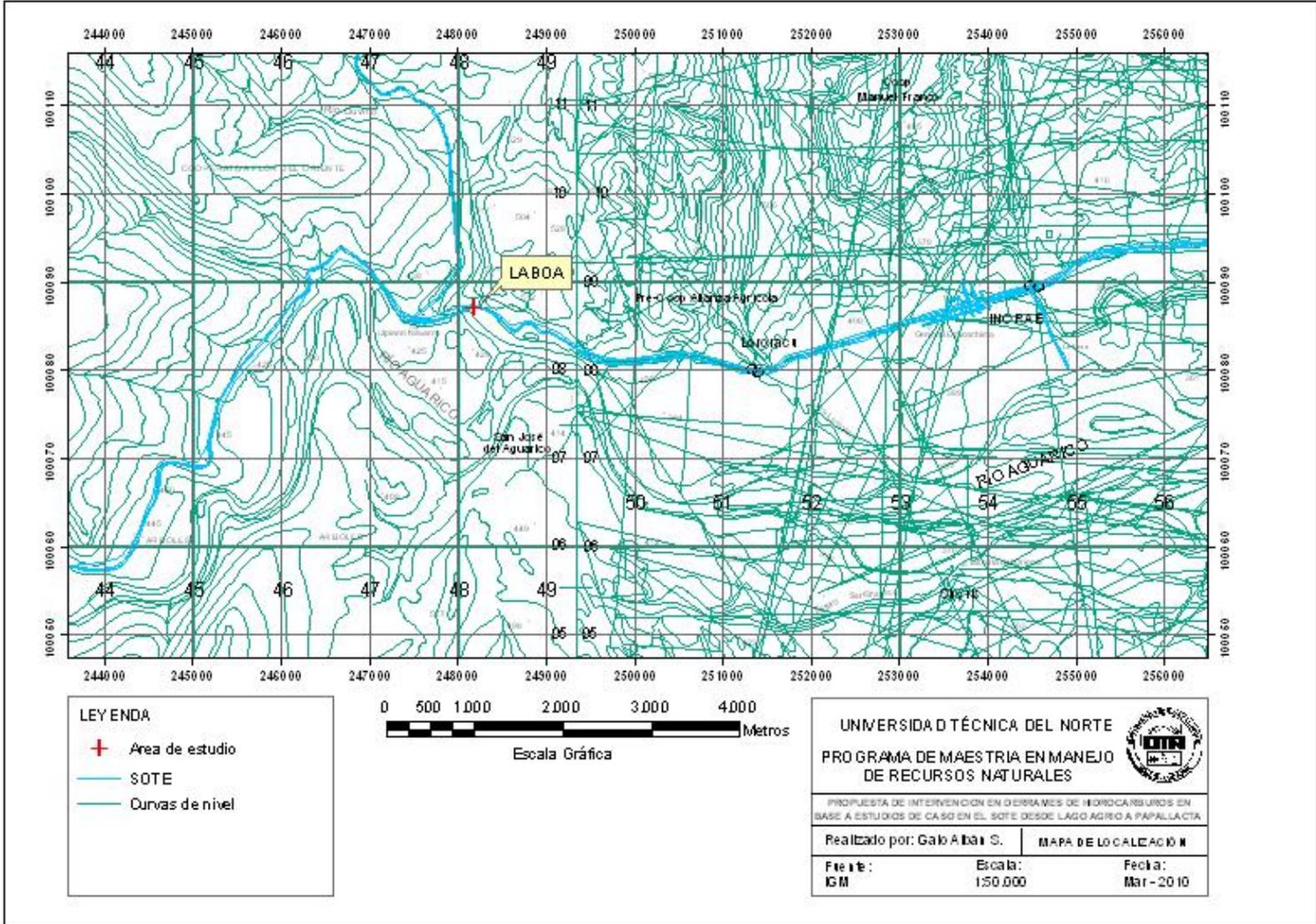
U.S. Environmental Protection Agency. (2000). *SW-846 Test methods for evaluating solid wastes physical-chemical methods*. Extraído el 25 Junio, 2006 de [http://comunidad.ciudad.com.ar/argentina/capital\\_federal/luisehiga/Glosario.PDF](http://comunidad.ciudad.com.ar/argentina/capital_federal/luisehiga/Glosario.PDF)

USEPA. (2000). *Technology Innovation Office. Hazardous waste cleanup information*. Extraído el 25 Junio, 2006 de <http://www.cluin.org>

WIKIPEDIA. (2007, Febrero 13). *Los compuestos orgánicos volátiles*. extraído el 25 Septiembre, 2008 de [http://es.wikipedia.org/wiki/Compuestos\\_organicos\\_volatiles](http://es.wikipedia.org/wiki/Compuestos_organicos_volatiles) - 15k

# ANEXOS

**ANEXO 1.**  
**MAPA DE UBICACION**



**LEYENDA**

- + Area de estudio
- SOTE
- Curvas de nivel



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

PRO GRAMA DE MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PROYECTO DE INTERVENCIÓN EN OBRAS DE HIDROCARBuros EN BASE A ESTUDIOS DE CASO EN EL SOTE DESDE LAGO AGRO A PAPALLACTA

Realizado por: Galo A. Ibañez S.      MAPA DE LOCALIZACIÓN

Fuente: IGM	Escala: 1:50.000	Fecha: Mar - 2010
----------------	---------------------	----------------------



## **ANEXO 2.**

### **HISTORIAL DE DERRAMES POR SECTORES DE ESTUDIO.**

#### **Sectores de El Guango y Quebrada Negra.**

Según el artículo “Bioremediación para recuperar suelos afectados por derrames”, publicado en la página web de Petroecuador, la cronología de los derrames en los sectores de El Guango y Quebrada Negra, es la siguiente:

El pasado 11 de junio, las fuertes lluvias caídas en la Amazonía produjeron varios deslaves de diferente magnitud en la zona montañosa comprendida entre “La Virgen” y Baeza, -vía Quito-Lago Agrio-, que provocaron la muerte de más de treinta personas y el rescate de aproximadamente setecientas que quedaron atrapadas entre los derrumbes.

Los deslizamientos a más de destruir la carretera, puentes y cables del tendido eléctrico, provocaron roturas del oleoducto y poliducto en El Guango; rotura del SOTE, en Quebrada Negra; y, en San Fermín el abollamiento del oleoducto sin llegar a romperse.

#### **El Guango**

El deslave represó temporalmente el río Papallacta. El GLP que se gasificó, se inflamó con las chispas producidas por los cables de energía eléctrica, incendiando parte del petróleo derramado, mientras que una mínima cantidad fluyó por el río Papallacta afectando riberas y playas bajas en ciertas áreas.

Las condiciones naturales del río no solo se afectaron por la presencia del hidrocarburo, sino por el deslave y la crecida del río. Una gran parte del hidrocarburo que se acumuló en el embalse se quemó producto del incendio, mientras que un remanente proveniente de la columna del oleoducto se quedó a un costado del embalse.

#### **Quebrada Negra**

En este sector, se produjo otro deslave que bloqueó la vía y causó la desaparición y muerte de aproximadamente 30 personas y otra rotura del Oleoducto. El petróleo derramado correspondió únicamente al volumen empaquetado en la tubería afectada, que se quedó atrapado entre los escombros del derrumbe. Desde allí se filtró una pequeña cantidad hacia las riberas del Papallacta afectando a pastizales y vegetación de las playas en ciertas áreas. Las condiciones naturales del río también fueron alteradas por el deslave y crecidas de ríos.

La mayor afectación al componente físico es la producida por el derrumbe y no por la presencia del hidrocarburo, pues prácticamente ha cambiado la configuración geomorfológica del sector.

Otro artículo “Enfoque Ambiental, Bioremediación de suelos y aguas de montaña” escrito por el Ing. Oswaldo Camacho, y difundido a través de la página web de la Empresa Estatal de Petróleos del Ecuador (Petroecuador), se narra los acontecimientos de la siguiente manera:

En junio y agosto del 2001 debido a deslaves naturales se produjeron dos roturas del oleoducto en el sitio llamado El Guango localizado entre Papallacta y Baeza. Estos hechos ocasionaron muertes, destrucción de casas, pérdidas de animales y contaminación con petróleo de las tierras y riveras de la zona. Las áreas contaminadas se ubicaron a lo largo de más de 100 kilómetros de los ríos Papallacta, Quijos y Coca, afectando a los habitantes de las zonas de Cuyuja, Baeza, Borja, Sardinias, El Chaco, Santa Rosa, Bombón, El Salado y San Rafael.

En ambas ocasiones la Gerencia de Oleoducto de Petroecuador, comprometida con la conservación del ambiente y enmarcada en su política de respuesta inmediata ante emergencias, contrató los servicios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, (P.U.C.E.) para remediar el impacto de los derrames sobre los sensibles ecosistemas afectados. El programa de Bioremediación de la Universidad Católica aplicó sus tecnologías probadas y desarrolló nuevos métodos de aplicación para remediar las áreas contaminadas a lo largo de los ríos de montaña. Debido a que las dos roturas se produjeron en el mismo sitio, las zonas tratadas

desde junio del 2001 tuvieron que ser atendidas nuevamente luego de la ruptura de agosto.

Según el informe de campo elaborado por funcionarios de la DINAPA y de Gerencia de Protección Ambiental, Unidad de Seguros y Gerencia de Oleoducto de Petroecuador, con fecha 17 de agosto del 2001, se describe el derrame ocurrido en el sector El Guango en el mes de agosto del mencionado año.

El 15 de agosto del 2001, aproximadamente a las 14:05 horas, se produce otra ruptura en el SOTE en el sitio de la desembocadura de la quebrada El Huango en el río Papallacta, en el mismo sitio donde ocurrió el deslave y ruptura del 11 de junio pasado. La Gerencia de Oleoducto, emitió una nueva orden de trabajo el 29 de agosto de 2001, No. 03027 a la PUCE para realizar los trabajos de limpieza y remediación de las zonas afectadas por el nuevo derrame

### **Sectores de puente La Boa y río Due.**

De acuerdo al oficio de Petroecuador No. 1059-PI-OTE-2000, de fecha 15 de diciembre de 2000, se describe el incidente en este sector.

Como es de conocimiento público los días 9 y 12 de diciembre del 2000, se produjeron dos roturas del Oleoducto Transecuatoriano en los Kms 45+800 y 43+500, en los sectores Puente de la Boa y Puente del río Due; en la vía Lago Agrio Lumbaqui, provocando derrames, incendio y contaminación de suelos y aguas circundantes de los lugares.

### **Acciones emprendidas por Petroecuador en los derrames.**

El sistema Petroecuador, a través de la Gerencia de Oleoducto del SOTE, en caso de un derrame implementa el Plan de Contingencias. La información que se menciona a continuación es tomada de la página web de Petroecuador

## **Acciones inmediatas**

Las operaciones de bombeo en los ductos fueron paradas y se activaron los planes de contingencia. v los organismos de socorro en la zona del desastre conformaron el Comité de Emergencia.

Debido a la magnitud del siniestro, fue prioridad la ayuda a los damnificados, heridos y víctimas de la catástrofe natural, los equipos camineros de PETROECUADOR y PETROCOMERCIAL habilitaron accesos para posibilitar el rescate de las víctimas de los deslaves para luego proceder con los trabajos de rehabilitación de la vía y reparación de la tubería, reiniciándose el bombeo tanto del oleoducto como del poliducto el 17 de junio del 2001, 6 días después de producida la contingencia.

Las Gerencias de Oleoducto y Protección Ambiental monitorearon la ruta del Oleoducto y realizaron un seguimiento del derrame a lo largo del río Quijos y Coca encontrándose vestigios únicamente en el puente del río Quijos, en Baeza.

De acuerdo al oficio No. 1059-PI-OTE-2000 de Petroecuador con fecha 15 de diciembre de 2000, se describe los trabajos solicitados y ejecutados en los sitios afectados por derrames.

**Raspado Manual y Bioremediación de material impregnado con crudo.**

El proceso consiste en el retiro manual del material impregnado, el mismo que será trasladado a zonas aledañas y tratado mediante la aplicación de técnicas de Land Farm, en fosas de tamaño reducido mediante la aplicación de procesos y productos específicos.

**Lavado superficial de material impregnado.**

Consiste en la aplicación de un producto lavador sobre la capa superficial de suelo de manera que provoque la separación del crudo, el mismo que será transportado por el enjuague y deberá ser recolectado mediante diques, cuellos de ganso, barreras o dispositivos afines. La disposición final del crudo será mediante su entrega a Oleoducto de PETROECUADOR.

Bioremediación de los suelos afectados por contenido de hidrocarburos.

Consiste en la bioremediación del suelo mediante la aplicación de procesos y productos específicos evitando la modificación de las condiciones originales del suelo en cuanto a su ubicación, estructura y disposición.

Revegetación del área afectada en el siniestro.

Este trabajo consiste en dotar al sitio de condiciones similares en aspectos relacionados con las condiciones originales de la cobertura vegetal.

### **ANEXO 3.**

#### **EVALUACIÓN DE LOS DERRAMES Y TRABAJOS EFECTUADOS**

La evaluación del derrame y de los trabajos efectuados en las áreas de El Guango y Quebrada Negra, se detalla en el “Acta de trabajo, verificación de los trabajos de remediación en el área de los derrames de crudo en el sector de El Huango del SOTE”, suscrita el 1 de noviembre de 2001 en la ciudad de Cuyuya, por los representantes de Gerencia de Protección Ambiental, Seguros de Petroecuador y Gerencia de Oleoducto.

#### **DESCRIPCION DE ACTIVIDADES**

Se procedió a visitar sistemáticamente las áreas afectadas, iniciando la visita en la quebrada El Huango y desde allí aguas abajo por el río Papallacta y Quijos hasta el puente Quijos 2. De lo observado se puede indicar lo siguiente:

1. En el sector de la quebrada El Huango, se ha procedido por parte del personal de la PUCE a remover los suelos contaminados, separándoles del material vegetal y las rocas. Actualmente se encuentra procesada una primera capa de suelo contaminado, que inicialmente tenía una concentración de hasta 39.000 TPH y que de acuerdo a los datos de laboratorio del 4 de octubre de 2001, éstos se sitúan alrededor de 2.000 TPH.
2. Se verificó que se encuentran realizando trabajos de movimientos de tierras en Quebrada Negra por parte de personal de mantenimiento de la Gerencia de Oleoducto.
3. Se recorrieron además sitios considerados como representativos de áreas remediadas y por remediarse, a lo largo de los ríos Papallacta y Quijos. Se observó que los procesos de lavado y remediación en sitios y transportado se han llevado a cabo obteniéndose valores de TPH enmarcados dentro de los límites admisibles previstos en el Reglamento Ambiental (Decreto 1215), detectándose sitios en donde no se han realizado trabajos de descontaminación, encontrándose hasta con crudo libre.

De acuerdo al Memorando No. S/N-2001 de Petroecuador con fecha 04 de diciembre de 2001, se realiza una descripción de la situación del derrame al 27 de noviembre de 2001.

Como se había indicado anteriormente a esta fecha finalizo los trabajos de movimiento de tierras en Quebrada Negra por parte del personal de mantenimiento de la Gerencia de Oleoducto, lo cual ha permitido que quede al descubierto la contaminación que se produjo en la ruptura del 11 de junio, por lo que a su debido tiempo se solicitó instrucciones con el fin de realizar el levantamiento topográfico, cuantificación de la cantidad de obra a realizar y el procedimiento a emplearse para la remediación. Con base en el levantamiento topográfico inicial (junio del 2001) se calcula un movimiento de tierras de aproximadamente 45.000 m<sup>3</sup> y el volumen a remediarse en 20.000 m<sup>3</sup>.

#### La Boa

El área contaminada por el derrame se define en el “Acta de acuerdo sobre áreas de manejo para recuperación ambiental evento: Km 45+800, sector Puente de la Boa”, suscrita en Cascales el 15 de enero de 2001, por representantes de Petroecuador, Seguros y Garner-Gaps.

1) Área de tierra firme afectada (incluido estero lateral):	6.350 m <sup>2</sup>
2) Área de pared y ribera del río:	700 m <sup>2</sup>
3) Área correspondiente al derecho de vía, desde el tubo hasta el área de tierra firme.	225 m <sup>2</sup>
TOTAL	7.275 m <sup>2</sup>

Las anteriores áreas corresponden a las medidas para el cobro del ítem No. 2 “Lavado superficial impregnado en zonas de tierra firme”, las áreas y profundidad para la bioremediación de suelos se establecerán posterior lavado.

En el “Acta de acuerdo sobre áreas de bioremediación para la recuperación ambiental evento: km 45+800, Sector Puente de la Boa”, firmada en Cascales el 20 de marzo de 2001, por representantes de Petroecuador,

Seguros y Garner-Gaps; se determina los volúmenes de bioremediación a ser tratados.

1) Área de puntos de control:	30,12 m <sup>3</sup>
2) Área de 30 a 60 cm de profundidad:	438,75 m <sup>3</sup>
3) Área de 60 a 90 cm de profundidad:	266,99 m <sup>3</sup>
4) Área de 90 a 120 cm de profundidad:	84,37 m <sup>3</sup>
5) Área correspondiente al derecho de vía desde el tubo hasta el área de tierra firme.	101,25 m <sup>3</sup>
TOTAL	921,48 m <sup>3</sup>

## **Descripción de los procesos de remediación implementados por Petroecuador**

### **La tecnología de bioremediación**

Consiste en utilizar microorganismos propios del medio que a través de su metabolismo biodegradante, reducen eficientemente la toxicidad producida por el crudo. Fue desarrollada por la Universidad Católica del Ecuador para la remediación biológica de los suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos en la Amazonía ecuatoriana.

Esta última contingencia estableció que el 80% del crudo derramado se entrampó y quemó en el embalse, formado por el aluvión que rompió la tubería, y el remanente se dispersó en el agua del Río Papallacta. Sin embargo, por la fuerza de la corriente el hidrocarburo fue emulsionado causando un impacto que, de acuerdo a la metodología de evaluación de impactos de Petroecuador, es reversible y recuperable a mediano plazo.

El 20% del petróleo restante que contaminó a las áreas circundantes a la contingencia, está siendo eliminado a través de procesos de bioremediación, que recuperarán alrededor de 5 mil metros de suelo afectado.

Esta metodología ha sido ya utilizada con óptimos resultados en otros campos de la Región Amazónica, entre éstos Cuyabeno, Tetete, Sansahuari y actualmente en Shuara. Este proceso asegura que los suelos sean recuperados y recobren su productividad, sin alterar el ecosistema.

## Los pasos

En primera instancia, se debe determinar las concentraciones de contaminantes presentes en el medio contaminado, tomando muestras de modo sistemático. y previo a iniciar el proceso de biodegradación por "landfarming" (parcelas de cultivo), el suelo contaminado debe ser sometido a un tratamiento para que las concentraciones altas de hidrocarburo, formen complejos que liberen a éstos en forma lenta y homogénea.

El suelo a tratarse tendrá una capa superficial que no exceda los 40 centímetros de espesor para asegurar una óptima oxigenación, factor fundamental de toda biodegradación.

Posteriormente se procede a la siembra de microorganismos endémicos de la zona, con una capacidad comprobada para la degradación de hidrocarburos y sus derivados. Conjuntamente con éstos se colocan nutrientes que aseguran la reproducción de la población microbiana y la biodegradación de los contaminantes.

Es imprescindible que este proceso sea monitoreado constantemente a fin de que los parámetros físico-químicos y microbiológicos constaten el nivel de oxidación necesario para un buen resultado del proceso. Entre los factores que se controlan está la población bacteriana, concentración de nutrientes, enzimas, coenzimas y minerales; disponibilidad de oxígeno, temperatura, contenido de humedad y potencial hidrógeno. La tecnología aplicada se basa en procedimientos biológicos, específicamente en el desarrollo y aplicación de bacterias y productos biodegradables, que a través de un proceso controlado, degradan el petróleo devolviendo al suelo su capacidad de sustentar la diversidad de vida que lo caracteriza.

## Los métodos y tecnologías utilizadas se basaron en los siguientes componentes:

- Construcción de piscinas de contención y trampas de grasa para evitar el flujo del crudo en el río.
- Adsorción del petróleo superficial mediante biomembranas vegetales.
- Limpieza y trituración del material vegetal contaminado y su posterior adición a sitios de tratamiento.
- Limpieza de material pétreo usando productos de excreción biológica, 100% biodegradables a pH fisiológico.

- Elaboración y aplicación de matrices de contención primaria en el suelo contaminado.
- Aplicación de nutrientes, enzimas y factores de crecimiento microbiano en el suelo.
- Inoculación de bacterias endémicas en el suelo contaminado.
- Oxigenación mecánica y química del suelo contaminado.
- Gradual disminución de los hidrocarburos presentes.
- Análisis de laboratorio de los niveles de TPH según el reglamento ambiental vigente para los ecosistemas sensibles (menores a 1000 ppm).

Según la actividad metabólica de las bacterias y el comportamiento de los factores climáticos se repitieron algunos de los pasos descritos según la evolución del proceso y las condiciones ambientales y climáticas.

En el caso de los ríos Papallacta y Quijos se ajustó la metodología a los bajos niveles de oxígeno de la zona, ya que las áreas contaminadas se ubican entre los 1800 y los 2300 metros sobre el nivel del mar y a las bajas temperaturas de las aguas y riveras

La fase final del proceso consistió en la reforestación o revegetación de las zonas biorremediadas con plantas endémicas.

Hasta el momento se han movido 46.000 m<sup>3</sup> de material pétreo, se han remediado 57.000 m<sup>3</sup> de suelos y vegetación contaminados, se desbrozó y se lavó una superficie de 686.000 m<sup>2</sup> de riveras a lo largo de más de 100 kms de los ríos Papallacta, Quijos y Coca.

En el Guango, donde se produjeron las roturas del oleoducto, se han sembrado más de 3.500 plantas de un centenar de especies de pastos, arbustos, musgos, y árboles forestales endémicos recuperados de los bosques circundantes y aclimatados en los invernaderos del proyecto.

Esta recreación de la biodiversidad original incluye una veintena de especies de orquídeas. Las casi tres hectáreas de El Guango que fueron pantanos de lodo y crudo son ahora un jardín botánico en gestación y un ejemplo de la biodiversidad de la zona. La re-vegetación es el aspecto más visible del resurgimiento de formas de vida: la microfauna bacteriana, los

insectos, las aves, pequeños mamíferos, las truchas y barbudos que pueblan nuevamente los ríos.

Tanto la Universidad Católica como los propietarios de las tierras vecinas a El Guango (muchos de ellos parientes de las víctimas del desastre) ya han manifestado su interés en convertir el sitio en un centro didáctico sobre la prevención y remediación ambiental que estimule la investigación y fortalezca el atractivo turístico que ya se evidencia.

En el mismo sentido Petroecuador y Petrocomercial completan el trabajo realizado modificando el trazado del oleoducto y poliducto ahora enterrados y recubiertos para minimizar los riesgos de rupturas. La colaboración de la Universidad Católica y Petroecuador en este esfuerzo de remediación en ríos de alta montaña con métodos y tecnologías desarrolladas en el país, es una experiencia sin precedentes. Por ello documentarlo y divulgarlo contribuirá a la formación de nuevas generaciones de profesionales dedicados a la protección del ambiente y al uso responsable de los recursos naturales.

**ANEXO 4**  
**RESULTADOS DE LABORATORIOS**





**DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO**

% Arena	% Limo	% Arcilla	Nombre Textural
68	26	6	FRANCO ARENOSO

Ing. Concepción Sosa Cobo  
JEFE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA  
AGRÍCOLA Y SUELOS



LABORATORIO DE QUÍMICA  
AGRÍCOLA Y SUELOS

Nuestro teléfono: 2552728 Ext. 108

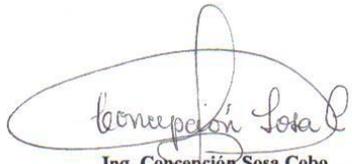






**DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO**

% Arena	% Limo	% Arcilla	Nombre Textural
70	27	3	FRANCO ARENOSO

  
Ing. Concepción Sosa Cobo  
JEFE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA  
AGRÍCOLA Y SUELOS

Nuestro teléfono: 2552728 Ext. 108

  
LABORATORIO DE QUÍMICA  
AGRÍCOLA Y SUELOS





**DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO**

<b>% Arena</b>	<b>% Limo</b>	<b>% Arcilla</b>	<b>Nombre Textural</b>
44	36	20	<b>FRANCO</b>

**Ing. Concepción Sosa Cobo**  
**JEFE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA**  
**AGRÍCOLA Y SUELOS**

Nuestro teléfono: 2552728 Ext. 108



**LABORATORIO DE QUÍMICA**  
**AGRÍCOLA Y SUELOS**

### ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

Análisis	Unidad	Agua # 1	Agua # 2	Reglamento Ambiental
pH	#	6,2	6,2	5<pH<9
Temperatura	°C	15	15	+ 3°C
Conductividad	uS/cm	60	60	<2500
TPH-agua	mg/l	n.d	n.d	<10
Plomo	mg/l	8,81	8,81	<80
Nitrógeno	mg/l	80	75,1	<1700
Cromo	mg/l	n.d	n.d	<5
Cromo(total)	mg/l	nd	n.d	<0,5
Plomo-agua	mg/l	nd	n.d	<0,5
Vanadio	mg/l	n.d	n.d	<1
Nitr. Global	mg/l	nd	n.d	<20
Fenoles	mg/l	nd	n.d	<0,5

I.d. Cadmio= 0,01 I.d. Cromo= 0,01 Plomo= 0,01 n.d= no determinado  
Ba= 0.0

UBICACIÓN	Vía Papallacta - Baeza, río Papallacta
Km	181+100; 181+200; 181+800
TIPO DE MUESTRA	Suelo
PROFUNDIDAD-MUESTREO	0,15 cm y superficial

### DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Contaminación por Lixiviación	Se evidencia contaminación por lixiviación
Comentarios	Muestras tomadas en zonas a las cuales se desbrozó material vegetal contaminado, se hallan en proceso de tratamiento.

### ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

Parámetro	Unidad	181+100	181+200	181+800	Reglamento Ambiental
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	1,500	1,600	2,500	<1,000
Cadmio	mg/kg	n.d	n.d	n.d	<1
Plomo	mg/kg	n.d	n.d	n.d	<80
Níquel	mg/kg	n.d	n.d	n.d	<40

I.d. Cadmio= 0,01 I.d. Cromo= 0,01 Plomo= 0,01 n.d= no determinado  
Ba= 0.0

LOCALIZACIÓN	El Guango
Tipo de muestreo	Muestras compuestas aleatorias, realizadas cada 20 metros
TIPO DE MUESTRA	Suelo
PROFUNDIDAD-MUESTREO	0,50 cm y superficial

### DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Contaminación por Lixiviación	No se evidencia contaminación por lixiviación fuera de la zona del derrumbe, ya que esta está contenida.															
Comentarios	Muestras tomadas en forma aleatoria Con el siguiente esquema de muestreo: <table style="float: right; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: none;">1</td> <td style="border: none;">2</td> <td style="border: none;">3</td> <td style="border: none;">4</td> <td style="border: none;">5</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"> </td> </tr> <tr> <td style="border: none;">6</td> <td style="border: none;">7</td> <td style="border: none;">8</td> <td style="border: none;">9</td> <td style="border: none;">10</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5						6	7	8	9	10
1	2	3	4	5												
6	7	8	9	10												

### ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO

Parámetro	Unidad	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Reglament. Amb.
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	15,600	31,400	45,600	56,132	55,321	15,600	2,500	<1,000
Cadmio	mg/kg	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	<1
Plomo	mg/kg	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	<80
Níquel	mg/kg	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	<40

l.d. Cadmio= 0,01 l.d. Cromo= 0,01 Plomo= 0,01 n.d= no determinado  
Ba= 0.0

## 4.2. COMPONENTE ABIÓTICO

### 4.2.1. CLIMA

Los rangos de altitud y temperatura promedio de esta zona de vida corresponden a los paramos bajos y muy húmedos, como se los encuentran en los paramos del Cayambe y del Antisana. Las precipitaciones oscilan entre los 1000 y 2000 mm. Registra una temperatura media anual entre los 12 a 18 ° C.

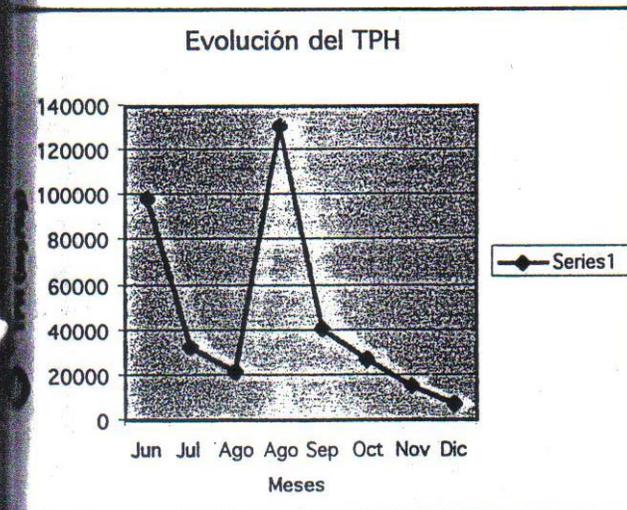
Las características climáticas de esta formación es un fenómeno orográfico de las vertientes de la cordillera Oriental, ocurre en las vertientes expuestas a las masas de

En la tabla No. 2 indica los valores de TPH de la zona que está ubicada en la margen izquierda del río Guango. Se puede apreciar que el valor más alto de la tabla corresponde al provocado por el segundo derrame (130,714).

FECHA	TPH (mg/kg)
18-06-01	98,412
18-07-01	35,471
09-08-01	21,457
16-08-01	130,714
20-09-01	40,801
26-10-01	27,091
30-11-01	15,712
15-12-02	6,871
18-01-02	957

Responsable del análisis

*Klaus Amen*  
Dr. Klaus Amen





FACULTAD DE INGENIERIA EN  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)  
Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIOS  
INFORME DE RESULTADOS

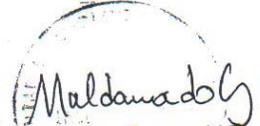
FECHA : 4 de febrero del 2002  
NOMBRE : Ing. Howard Bravo  
PETROECUADOR  
TIPO DE MUESTRA : Suelos  
NÚMERO DE MUESTRAS : Siete ( 7 )  
FECHA DE RECEPCION : 31 de enero del 2002  
IDENTIFICACION : Detallada  
ANÁLISIS SOLICITADO : Detallado

1. RESULTADOS ANALITICOS

MUESTRAS	TPH mg/Kg	Cadmio mg/Kg	Plomo mg/Kg	Niquel mg/Kg
Guango	90	<0,40	4,79	4,80
98-99	77	<0,40	5,33	6,15
111-113-100	124	<0,40	8,28	6,30
123-121	114	<0,40	9,03	7,70
147	94	<0,40	8,20	6,85
166	163	<0,40	9,00	5,48
168-167	162	<0,40	7,28	10,25

2.- RESPONSABLES DEL ANALISIS:

Dra. Mónica Illescas C  
Bloq. Alfredo Maldonado G.

  
m Ing. Nelson Perugachi B.  
DIRECTOR LABORATORIOS



FACULTAD DE INGENIERIA EN  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIOS  
INFORME DE RESULTADOS

Lab No 2324

FECHA : 21 de mayo del 2002  
NOMBRE : Ing. Howard Bravo UPA  
TIPO DE MUESTRA : Suelos  
NUMERO DE MUESTRAS : Veinte (20)  
FECHA DE RECEPCION : 9 de mayo del 2002  
IDENTIFICACION : Detallada  
ANALISIS SOLICITADO : Hidrocarburos Totales del Petróleo

MUESTRAS	TPH	Cadmio	Niquel	Piomo
SUELOS	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
M-2-197	11,08	1,08	17,2	11,75
M-2-201	73,59	1,10	15,25	9,125
M-2-211	237,35	1,18	14,3	26,25
2-199	242,58	<0,4	10,23	18,38
2-201	110,54	<0,4	9,53	11,00
2-202	84,38	<0,4	14,13	16,03
2-205	80,59	<0,4	16,65	16,65
2-233	482,46	<0,4	11,32	14,58
2-187	89,97	<0,4	10,13	<2,0
2-189	121,56	<0,4	10,08	5,18
2-191	203,97	<0,4	11,05	8,53
2-207	56,85	<0,4	10,18	78,35
2-236A	71,74	<0,4	9,78	7,65
2-243	66,40	<0,4	8,13	<2,0
2-248	71,59	<0,4	12,63	10,13
2-256	65,36	<0,4	7,7	<2,0
2-236B	50,83	<0,4	10,7	5,58
2-258	52,91	<0,4	12,13	3,1
2-273	20,74	<0,4	16,53	2,85

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS:

Dra. Mónica Illescas C  
Bióq. Alfredo Maldonado G.

  
Ing. Nelson Patugachi B.  
DIRECTOR LABORATORIOS





FACULTAD DE INGENIERIA EN  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIOS  
INFORME DE RESULTADOS

FECHA : 7 de Febrero del 2001  
NOMBRE : GAPS  
TIPO DE MUESTRA : Suelos  
NUMERO DE MUESTRAS : CINCUENTA Y CUATRO (54)  
FECHA DE RECEPCION : 5 de Febrero del 2001  
IDENTIFICACION : Detallada  
ANALISIS SOLICITADO : TPH

1. RESULTADOS ANALITICOS

MUESTRA	TPH mg/Kg	M Nº
Sector I Muestra A1 superf. 3/02/01	217,0	1
Sector I Muestra A2 superf. 3/02/01	1368	2
Sector I Muestra A2 comp. 50 cm 3/02/01	133	3
Sector I Muestra A3 superf. 3/02/01	79	4
Zona I Muestra B1 superf. 3/02/01	1019	5
Zona I Muestra B1 comp. 50 cm 3/02/01	932	6
Zona I Muestra B2 superf. 3/02/01	1777	7
Zona I Muestra B2 comp. 50 cm 3/02/01	1020	8
Zona I Muestra B3 superf. 3/02/01	69	9
Zona I Muestra C3 superf. 3/02/01	2010	10
Zona I Muestra C3 comp. 50 cm 3/02/01	1685	11
Zona I Muestra C2 superf. 3/02/01	1348	12
Zona I Muestra C2 comp. 50 cm 3/02/01	1334	13
Zona I Muestra C1 superf. 3/02/01	1907	14
Zona I Muestra C1 comp. 50 cm 3/02/01	937	15
Zona II Muestra D1 superf. 3/02/01	6218	16
Zona II Muestra D2 superf. 3/02/01	994	17
Zona II Muestra D2 comp. 50 cm 3/02/01	216	18
Zona II Muestra D3 superf. 3/02/01	122	19
Zona II Muestra E3 superf. 3/02/01	2993	20

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS.

Dra. Mónica Illescas C

Bioq. Alfredo Maldonado G.

Y Inga Nelson Perugachi B.  
DIRECTOR LABORATORIOS

Ciudad Universitaria — Gerónimo Leiton y Av. La Gasca — Casilla 872-A — Telefax 566-738  
Telfs.: 550-588 566-726 — E-mail: iinvest@uio.telconet.net — Quito - Ecuador



FACULTAD DE INGENIERIA EN  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIOS  
INFORME DE RESULTADOS

FECHA : de Febrero del 2001  
NOMBRE : GAPS  
TIPO DE MUESTRA : Suelos  
NUMERO DE MUESTRAS : CINCUENTA Y CUATRO (54)  
FECHA DE RECEPCION : 5 de Febrero del 2001  
IDENTIFICACION : Detallada  
ANALISIS SOLICITADO : TPH

1. RESULTADOS ANALITICOS

MUESTRA	TPH mg/Kg	M N°
Zona II Muestra E3 comp. 50 cm 3/02/01	843.0	21
Zona II Muestra E2 superf. 3/02/01	2089	22
Zona II Muestra E2 comp. 50 cm 3/02/01	462	23
Zona II Muestra E1 superf. 3/02/01	43	24
Zona II Muestra F1 superf. 3/02/01	52	25
Zona II Muestra F2 superf. 3/02/01	1477	26
Zona II Muestra F2 comp. 50 cm 3/02/01	842	27
Zona II Muestra F3 superf. 3/02/01	1657	28
Zona II Muestra F3 comp. 50 cm 3/02/01	1336	29
Zona III Muestra G3 superf. 3/02/01	3045	30
Zona III Muestra G3 comp. 50 cm 3/02/01	1289	31
Zona III Muestra G2 superf. 3/02/01	1723	32
Zona III Muestra G1 superf. 3/02/01	1514	33
Zona III Muestra G1 comp. 3/02/01	2123	34
Zona III Muestra H1 superf. 3/02/01	3882	35
Zona III Muestra H1 comp. 50 cm 3/02/01	1675	36
Zona III Muestra H2 superf. 3/02/01	1709	37
Zona III Muestra H2 comp. 50 cm 3/02/01	6065	38
Zona III Muestra H3 superf. 3/02/01	2167	39
Zona III Muestra H3 comp. 50 cm 3/02/01	824	40

2.- RESPONSABLES DEL ANALISIS:

Dra. Mónica Illescas C  
Bióq. Alfredo Maldonado G.

X ing. Nelson Perugacón  
DIRECTOR LABORATORIOS

Ciudad Universitaria — Gerónimo Leiton y Av. La Gasca — Casilla 872-A — Telefax 566-738  
Telfo.: 550-588 566-726 — E-mail: invest@uio.telconet.net — Quito - Ecuador



INSTITUTO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIOS  
INFORME DE RESULTADOS

FECHA  
NOMBRE  
TIPO DE MUESTRA  
NUMERO DE MUESTRAS  
FECHA DE RECEPCION  
IDENTIFICACION  
ANALISIS SOLICITADO

7 de Febrero del 2001  
GAPS  
Suelos  
CINCUENTA Y CUATRO (54)  
5 de Febrero del 2001  
D:  
TPH

1. RESULTADOS ANALITICOS

MUESTRA	TPH mg/Kg	M N°
Zona IV Muestra I2 superf. 3/02/01	2511	41
Zona IV Muestra I2 comp. 50 cm 3/02/01	6681	42
Zona IV Muestra I2 comp. 50 - 80 cm 3/02/01	1507	43
Zona IV Muestra I1 superf. 3/02/01	2389	44
Zona IV Muestra I1 comp. 50 cm 3/02/01	1827	45
Puntual 1 comp. 0 - 50 cm 3/02/01	1852	46
Puntual 1 comp. 0 - 50 cm 3/02/01	2291	47
Puntual 2 Zona 1 prof. 1.10 - 1.30 m 4/02/01	1903	48
Muestra pto control N°1 sedimento 4/02/01	2321	49
Muestra puntual 2 Zona 1 prof. 1.30-1.50	2041	50
Puntual 4 Zona del estero costado izquierdo golpe de derrame 4/02/01	1585	51
Superficial compuesta Zona I 4/02/01	3975	52
Superficial compuesta Zona II 4/02/01	2068	53
Superficial compuesta Zona III 4/02/01	2058	54

2.- RESPONSABLES DEL ANALISIS.

Dra. Monica Illescas C  
Bioq. Alfredo Maldonado G.

UNIVERSIDAD DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEOS  
DIRECCION  
LABORATORIOS  
*Alfonso Maldonado G.*  
Ing Nelson Perugachi B  
DIRECTOR LABORATORIOS

Ciudad Universitaria — Gerónimo Leiton y Av. La Gasca — Casilla 872-A — Telefax 566-738  
Telfs.: 550-588 566-726 — E-mail: iinvest@uio.telconet.net — Quito - Ecuador



ESCUELA DE INGENIERIA EN  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIOS  
INFORME DE RESULTADOS

FECHA : 5 de diciembre del 2001  
NOMBRE : Ing. Almirar Salazar  
GARNER-GAPS  
TIPO DE MUESTRA : Suelos  
NUMERO DE MUESTRAS : Treinta y tres ( 33 )  
FECHA DE RECEPCION : 30 de noviembre del 2001  
IDENTIFICACION : Km 45+800 Lumbaqui  
ANALISIS SOLICITADO : Hidrocarburos Totales del Petróleo

1. RESULTADOS ANALITICOS

MUESTRAS SUELOS	TPH mg/Kg
1	100.1
2	68.9
3	629.4
4	114.9
5	58.3
6	126.0
7	91.7
8	52.9
9	85.7
10	190.2
11	125.2
12	262.1
13	96.4
14	94.3
15	78.5
16	78.7
17	986.6
18	59.3
19	72.1
20	140.6

MUESTRAS SUELOS	TPH mg/Kg
21	59.3
22	114.4
23	66.5
24	71.7
25	297.2
26	79.6
27	218.2
28	97.4
29	388.5
30	574.1

2.- RESPONSABLES DEL ANALISIS:

Dra. Mónica Illescas C

Bioq. Alfredo Maldonado G

*Mat Perugachi*  
Ing. Nelson Perugachi B.  
DIRECTOR LABORATORIOS



FACULTAD DE INGENIERIA EN  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIOS  
INFORME DE RESULTADOS

FECHA : 27 de Enero del 2003  
NOMBRE : CORPCONSULT  
TIPO DE MUESTRA : SUELOS  
NUMERO DE MUESTRAS : QUINCE (15)  
FECHA DE RECEPCION : 6 de Enero del 2003  
IDENTIFICACION : Detallada  
ANALISIS SOLICITADO : Detallada

1. RESULTADOS ANALITICOS

MUESTRAS	TPH mg/Kg	Cadmio mg/Kg	Niquel mg/Kg	Plomo mg/Kg
SOTE 1	17403,14	<0,079	6,850	0,670
SOTE 2	6568,83	0,407	10,300	3,129
SOTE 3	9479,10	<0,090	6,953	2,958
SOTE 4	454,27	0,109	8,319	0,911
SOTE 5	770,95	0,075	9,216	5,283
SOTE 6	6822,78	0,099	10,598	6,378
OTA S1	1217,89	<0,079	3,355	<0,369
OTA S2	6442,89	0,077	7,088	8,638
Estación Lumbaqui estero	42520,07	0,099	6,607	6,305
Estación Lumbaqui sitio	1540,85	0,081	15,510	5,662
Estación Salado pto sumidero combustible	3229,86	0,085	7,207	33,192
Estación Baeza	6096,06	0,176	29,390	11,626
2 CHS (1)	27851,66	<0,075	3,114	4,057
2 CHS (2)	134,80	<0,067	4,956	0,739
D CHS (1)	95,33	<0,078	4,174	1,974

TPH expresado en base seca.

2.- RESPONSABLES DEL ANALISIS:

Dra. Mónica Illescas C.  
Bioq. Alfredo Maldonado G.





FACULTAD DE INGENIERIA EN  
GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL

**LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICOS Y AMBIENTALES  
INFORME DE RESULTADOS**

NOMBRE: Ing. Galo Albán  
EMPRESA: Ing. Galo Albán  
DIRECCION: Upano E-190  
TELEFONO: 2611-832

INFORME N° : 05.0087  
N° ST: 05.0097

FECHA DE INFORME: 16-03-05  
FECHA DE RECEPCION EN LAB: 01-04-05

NUMERO DE MUESTRAS : 5 Muestras de Suelo  
IDENTIFICACION : Detallada según especificación del cliente

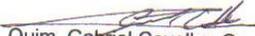
Muestras recibidas en laboratorio, la FIGEMPA se responsabiliza unicamente de los análisis.

**1. RESULTADOS ANALITICOS**

Método aplicado		EPA 418,1 mod
Fecha de ensayo		11-04-05
Identificación de las Muestras	Matriz	TPH mg/kg
El Guango 30-03-05	Suelo	1328,3
Quebrada Negra 30-03-05	Suelo	583,6
KM 46 30-03-05	Suelo	876,7
La Boa 30-03-05	Suelo	2268,1
Lago Agrio 30-03-05	Suelo	2572,0

**2.- RESPONSABLES DEL ANALISIS:**

Ing. Melida Vinuesa  
Quim. Gabriel Cevallos

  
Quim. Gabriel Cevallos G  
SUBDIRECTOR LABORATORIO



## ANEXO 5

### MATRIZ DE INTERVENCION

VARIABLES AMBIENTALES	PESO	CRITERIOS DE PONDERACION	VALOR	PUNTAJE
Cercanía a sitios con alta peligrosidad que magnifiquen el riesgo	3	NO	1	3
		SI	10	30
Exposición a amenazas naturales	14	SI	1	14
		NO	10	140
Exposición potencial a ecosistemas sensibles	10	NO existen sistemas sensibles dentro de la zona expuesta, hay barreras efectivas y zonas de amortiguamiento	10	100
		SI existen sistemas sensibles localizadas dentro o adyacentes a la zona expuesta, no existen barreras o zonas de amortiguamiento	1	10
Cercanía a cuerpos de agua (distancia en m.)	20	> 2.000	1	20
		1.000 - 1.999	2	40
		500 - 999	5	100
		<500	10	200
Area de suelo afectada (m <sup>2</sup> )	21	>10.000	1	21
		10.000 - 5.000	2	42
		5.000 - 1.000	5	105
		<1.000	10	210
Eventos de contingencia previos	9	Han ocurrido eventos con afectación a cuerpos de agua y suelo, recurrencia de eventos c/10 años	1	9
		Han ocurrido eventos sin afectación a cuerpos de agua, en áreas de suelo < 1Ha	3	27
		No hay registro y existe bajo potencial de ocurrencia	10	90
Concentración de TPH (ppm)	23	<25.000	1	23
		25.00 - 50.000	5	115
		>50.000	10	230
TOTAL	100		Min Max	

VARIABLES SOCIALES	PESO	CRITERIOS DE PONDERACION	VALOR	PUNTAJE
Efectos sobre la población local	50	NO existe ningún efecto negativo sobre la actividad económica y culturales de la población local	1	50
		SI existen efectos negativos sobre las actividades económicas y culturales de la población	10	500
Nivel de organización social	30	SI existen organizaciones de base	1	30
		NO existe ninguna organización de base	10	300
Vandalismo	20	SI	1	20
		NO	10	200
TOTAL	100			100

VARIABLES DE DEGRADACION IN-SITU	PESO	CRITERIOS DE PONDERACION	VALOR	PUNTAJE
Colonias de bacterias con capacidad de degradar hidrocarburos (UFC/g)	40	>10E+8	1	40
		10E+8 - 10E+3	5	200
		<10E+3	10	400
Plantas con capacidad de degradar hidrocarburos	30	SI	1	30
		NO	10	300
Textura del suelo	20	Arena	1	20
		Limo	5	100
		Arcilla	10	200
Humedad del suelo	10	Húmedo	1	10
		Seco	5	50
		Saturado	10	100
TOTAL	100			100

## ANEXO 6

### REPORTE DEL HERBARIO NACIONAL

#### HERBARIO NACIONAL DEL ECUADOR

SECCION BOTANICA DEL MUSEO ECUATORIANO DE CIENCIAS NATURALES

Avenida Río Coca E 6- 115 e Isla Fernandina

Casilla postal 17-21-1787

Tel/fax (593-2) 2441-592 / 2921-723

e-mail herbario@qcne.ec

Quito - Ecuador

NOMBRE: Galo Albán

FECHA: 23 de agosto del 2006

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO
Asteraceae	
Asteraceae	
Elaeocarpaceae	
Bromeliaceae	<i>Tillandsia sp.</i>
Polypodiaceae	<i>Niphidium sp.</i>
Polydiaceae	<i>Niphidium cf. crassifolium</i> (L.) Lellinger
Convolvulaceae	<i>Ipomea sp.</i>
Piperaceae	<i>Peperomia sp.</i>
Loasaceae	<i>Klaprothia sp.</i>
Dryopteridaceae	<i>Elaphoglossum sp.</i>
Melastomataceae	<i>Miconia sp.</i>
Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>
Asteraceae	<i>Dasyphyllum sp.</i>
Piperaceae	<i>Piper lanceifolium</i> Kunth
Piperaceae	<i>Piper bollosum</i> C.D.C.
Piperaceae	<i>Piper cf. septulinervium</i> (Miq.) C.D.C.
Coriariaceae	<i>Coriaria ruscifolia</i> L.
Asteraceae	
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.
Rosaceae	<i>Rubus roseus</i> Poir.
Sellaginellaceae	<i>Sellaginella sp.</i>
Rosaceae	<i>Lachemilla orbiculata</i> (Rothm) Rothm.
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum cuatrecazanum</i> Occhioni
Melastomataceae	<i>Monochaetum sp.</i>
Gunneraceae	<i>Gunnera brephogea</i> Linden & Andre
Melastomataceae	<i>Monochaetum lineatum</i> (D. Don) Naudin
Lamiaceae	<i>Stachys sp.</i>
Ericaceae	<i>Psammisia sp.</i>
Actinidaceae	
Dioscoridaceae	
Boraginaceae	
Pteridaceae	<i>Adiantum sp.</i>



## GLOSARIO

**Abiótico.** No formado por procesos biológicos.

**Absorción.** Es el término que se utiliza para describir el fenómeno de transferencia ("penetración") de átomos, iones o moléculas al seno de la masa de un material o sustancia (sólida, líquida o gaseosa).

**Acción de eliminación.** Una acción de eliminación por lo general es un esfuerzo de corto plazo diseñado para estabilizar o limpiar desechos peligrosos de un sitio que plantea un riesgo a la salud humana o al medio ambiente. Acciones de eliminación pueden incluir quitar tanques o bidones de sustancias peligrosas que se encontraron en la superficie y la instalación de controles de drenaje o medidas de seguridad, tal como una cerca en el sitio.

**Acciones remediadoras.** Las acciones remediadoras son acciones tomadas las cuales tratan con la liberación o amenaza de liberación de una sustancia peligrosa para que el riesgo a humanos o al medio ambiente sea menos. El término "acción remediadora" se usa intercambiamente con los términos acción de eliminación, acción responsoria, remediación, remedio, limpieza o acción correctiva.

**Acumulación biológica.** La retención y concentración de una sustancia por un organismo.

**Adsorción.** Adsorción es la adhesión (o el pegado) a una superficie de moléculas de gas, líquido, o sólidos disueltos. Es la retención (fijación) de átomos, iones o moléculas sobre la superficie de otro material o sustancia.

**Aeración.** El proceso de añadir aire al agua. El aire puede ser añadido al agua al pasar al aire por el agua o al pasar el agua por el aire.

**Agencia Protectora del Medio Ambiente** (EPA, por sus siglas en inglés). La agencia que bajo mandato impone leyes ecológicas Federales y regulaciones en los EE.UU., tal como CERCLA y los Decretos de Agua Limpia y Aire Limpio.

**Agente cancerígeno.** Un agente cancerígeno es una sustancia o un agente el cual puede producir o aumentar el riesgo de cáncer.

**Alcanos.** Grupo de hidrocarburos alifáticos lineales saturados que tienen como fórmula general  $C_nH_{2n+2}$ . Pueden ser de cadena recta, ramificados o en anillo. Sinónimo: parafinas.

**Alquenos.** Grupo de hidrocarburos no saturados que tienen como fórmula general  $C_nH_{2n}$ . Son altamente reactivos. Sinónimo: olefinas.

**Alquinos.** Grupo de hidrocarburos no saturados que tienen como fórmula general  $C_nH_{2n-2}$ .

**Aromáticos.** Los aromáticos son compuestos orgánicos que contienen 6-estructuras de argollas de carbono, como creosotar, tolueno, y fenol, los cuales comúnmente se encuentran en sitios de tintorerías y producción de electrónicos.

**Atenuación Natural.** La atenuación natural es un enfoque a limpieza que usa el proceso natural (tal como dilución, biodegradación, y adsorción, entre otros) para reducir el desparramo de contaminación de derrames químicos y de otras Fuentes y para reducir las concentraciones y cantidades de contaminantes en tierra y agua contaminada.

**Bacteria.** Grupo de organismos unicelulares procariontes o procariotas. Es decir que no poseen núcleo.

**Benceno.** Hidrocarburo aromático ampliamente utilizado en diversos procesos industriales de síntesis. Es una sustancia probadamente cancerígena.

**Bifenilo Policlorado (PCB, por sus siglas en inglés)**

**Biodegradabilidad.** Es en términos relativos la capacidad de un compuesto, o mezcla de ellos, para ser descompuesto (alterado) por la acción de microorganismos en determinadas condiciones. Por ejemplo, aunque prácticamente todos los hidrocarburos del petróleo son biodegradables (en condiciones ambientales adecuadas), ésta es altamente variable y dependiente del tipo de hidrocarburo. Así, en general la biodegradabilidad aumenta con el aumento de la solubilidad; siendo ésta a su vez inversamente proporcional a su peso molecular.

**Biodegradación.** Es el proceso por el cual los microorganismos transforman o alteran a través de acciones metabólicas o enzimáticas, la estructura de los compuestos químicos introducidos en el ambiente.

**Biodisponibilidad.** Es la disponibilidad de un compuesto para su biodegradación. Está influenciado por la localización del compuesto relativo a los microorganismos y su capacidad para disolverse en agua.

**Biodiversidad.** El número y la abundancia relativa de las diferentes especies se encuentran dentro de la expresión de Diversidad. Así, los sistemas se pueden caracterizar por la ocurrencia de pocas especies dominantes y otras con comunidades ricas en especies, en donde apenas se puede distinguir la dominancia. Sin embargo, el concepto de diversidad ecológica es mucho más amplio que el tradicional de diversidad. Este concepto abarca diferentes

tipos de diversidad: La Genética, la Específica (de especies), la Estructural, la Ambiental y la Ecosistémica. Además de indicar la riqueza biótica en un espacio y tiempo determinados, dado su significado práctico, también conlleva un componente geopolítico. De esta manera, la **biodiversidad** tiene algunos enfoques que permiten evaluarla en términos: Taxonómicos, Ecológicos, Biogeográficos y hasta Geopolíticos. La pérdida en la "Variedad y abundancia en la vida" (diversidad ecológica) es el resultado de la transformación de los hábitats, la contaminación de origen urbano-industrial, la sobreexplotación de los recursos, la sobregeneración de residuos peligrosos y la pérdida del **equilibrio** original de los **ecosistemas**.

**BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xilene).** Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.

**Cancerígeno.** Sustancia, o grupo de ellas, capaz de iniciar el proceso de la carcinogénesis.

**Capital ecológico (ecosistema).** Conjunto de recursos naturales comunes que proveen un flujo de bienes y servicios renovables y no renovables, comerciables y no comerciables. Poseen un valor relativo que, en función de su creciente escasez tienden a incorporarse o "internalizarse" cada vez más a los circuitos económicos convencionales.

**Caracterización del riesgo.** El componente final de la evaluación de riesgo que incluye integración de los datos y el análisis incluido en la evaluación de peligros, evaluación de reacción a dosis, y la evaluación de exposición humana para determinar la probabilidad de que humanos experimenten cualquier de las varias formas de toxicidad asociadas con una sustancia.

**Compost.** Controlada degradación microbiana de desechos orgánicos la cual fácilmente produce un producto sano para el medio ambiente y con valor potencial como fertilizante de la tierra.

**Compuesto.** Una sustancia compuesta de dos o más elementos cuya composición es constante.

**Compuesto Inorgánico.** Un compuesto inorgánico es un compuesto que generalmente no contiene átomos de carbono orgánico. Algunos ejemplos de compuestos inorgánicos son ácidos, hidróxido potásico, y metales.

**Compuestos Orgánicos.** Los compuestos orgánicos son compuestos basados en carbono [que también contienen oxígeno, hidrogeno, o nitrógeno] por lo general asociados con, o producidos por, organismos vivos - por ejemplo, proteínas, azúcares, celulosa, etc. Sin embargo, se ha expandido la definición, desde que humanos descubrieron como crear compuestos orgánicos no asociados con organismos vivos y que no se encuentran en la naturaleza.

**Comunidad.** Conjunto de poblaciones **animales** y vegetales que conviven en una misma área en un tiempo determinado.

**Concentración.** La concentración es la cantidad relativa de un material dispersado/distribuido/disuelto en una cantidad más grande de otro material.

**Contaminación.** La presencia de cualquier contaminante, incluyendo sustancias peligrosas, sobrepasando niveles reglamentarios en el agua subterránea, agua de superficie, o en la tierra. La presencia en el **ambiente** de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico

**Contaminante.** Una contaminante es un material dañino o peligroso el cual es introducido al medio ambiente y que normalmente no se encuentra allí, o no ocurre naturalmente. Aunque existen sustancias que ocurren naturalmente cuales pueden ser dañinas (arsénico, radón) en este contexto nos referimos solamente a esas sustancias que han sido introducidas al medio ambiente.

**Contaminantes Tóxicos.** Materiales que contaminan el medio ambiente y causan muerte, enfermedad, defectos de nacimiento en organismos que los ingieren o absorben. Las cantidades y la duración de exposición necesarias para causar estos efectos pueden variar ampliamente.

**Crónico.** Que ocurre durante un período de mucho tiempo, continuo o intermitentemente; se usa para describir exposiciones en curso y efectos que se desarrollan solo después de exposición de mucho tiempo.

**Degradación.** Pérdida de las características que le daban valor a algo (devaluación); descomposición, transformación y pérdida del valor original de un recurso.

**Ecosistema.** Unidad funcional utilizada en **ecología** para referirse a todos los seres vivos y sus alrededores, incluyendo las interacciones recíprocas entre los organismos y el medio que los rodea.

**Equilibrio ecológico.** Es la relación de interdependencia que se establece entre los elementos que conforman el ambiente que hace posible la existencia, transformación y desarrollo del **hombre** y demás seres vivos. El **desequilibrio** se refiere a la alteración de estas relaciones de interdependencia.

**Evaporación.** El proceso en cual el agua u otro liquido se convierte en gas (vapor de agua ovapor de amonio). Agua de áreas de tierra, masas de agua, y de otras superficies húmedas se absorben a la atmósfera como vapor.

**Ex Situ.** El término ex situ o “trasladado de su lugar original” quiere decir excavado o

**Exposición.** Una exposición es el estado o acto de tener contacto con una sustancia a través de inhalación, ingestión, o contacto directo con la piel.

**Exposición crónica.** Exposición crónica es la exposición continua o repetida a sustancias

**Exposición grave.** Una exposición grave es una exposición única a material peligroso por un período de poco tiempo.

**Extracción de solventes.** La extracción de solventes es un tratamiento tecnológico innovador que usa solventes para separar o eliminar contaminantes orgánicos peligrosos de desechos tipo aceitosos, tierras, lodos, y sedimentos. La tecnología no destruye los contaminantes, si no que los concentra para que puedan ser reciclados o destruidos mas fácilmente por otra tecnología. Se ha comprobado que la extracción de solventes es efectiva en el tratado de sedimentos, lodos y otras tierras que contienen principalmente contaminantes orgánicos, tal como PCBs, VOCs, compuestos orgánicos halogenados, y desechos de petróleo. Tales contaminantes típicamente con generados del desengrasado de metales, limpieza de tarjetas de circuitos impresos, gasolina, y el proceso de preservación de madera. La extracción de solventes es una tecnología fácil de transportar que se puede llevar al sitio.

**Fenol.** El fenol es uno de un grupo de compuestos orgánicos que son productos secundarios del refinado de petróleo, curtir, teñido de textiles, y manufacturero de resina. Bajas concentraciones de fenoles causan problemas de sabor y olor en el agua; altas concentraciones pueden ser dañinas a la salud humana o al medio ambiente.

**Fitoremedición.** La fitoremedición es una tecnología de limpieza innovadora la cual usa plantas y arboles para limpiar agua y tierra contaminada. Las plantas pueden romper o degradar contaminantes orgánicos o actuando como filtro o trampa contaminantes metálicos. La fitoremedición también se puede usar para limpiar metales, estabilizar metales, pesticidas, solventes, explosivos, aceite crudo, carbonos poliaromáticos y de lixiviados de vertedero. Generalmente su uso es limitado a sitios en cuales las concentraciones de contaminantes son relativamente bajas y la contaminación se encuentra en tierra, arroyos, y aguas subterráneas poco profundas.

**Formación geológica.** - Una masa de estrato (capas) de roca que consiste de ciertos tipos o combinaciones de tipos de roca con las mismas características tal como tamaño de grano o contenido mineral. Por lo general, una formación se puede distinguir de la roca de arriba y de abajo.

**Fuerza capilar.** Las fuerzas moleculares cuales causan el movimiento del agua a través de espacios muy pequeños.

**Gestión ambiental.** Conjunto de actividades humanas que tienen por objeto lograr un ordenamiento del ambiente. Sus componentes principales son la política, el derecho y la administración ambiental.

**Grave.** Que ocurre durante período de poco tiempo, se usa para describir breves exposiciones y efectos que aparecen inmediatamente después de la exposición.

**Horizonte:** capa del suelo paralela a la superficie de la tierra que tienen características distintivas producto de los procesos físicos, químicos y biológicos, de formación del suelo.

Heterótrofo. Organismo que emplea como Fuente de carbono, principalmente carbono orgánico. Por ejemplo: bacterias degradadoras de la materia orgánica.

**Hidrocarburo.** Un hidrocarburo es un compuesto orgánico que contiene solo hidrógeno y carbono, a menudo ocurre en petróleo, gas natural, y hulla (carbón).

**Hidrocarburo Polinuclear Aromático (PAH,** por sus siglas en inglés). Un PAH es un compuesto químico que contiene más de un anillo bencénico fundido. Comúnmente se encuentran en combustibles de petróleo, productos de carbón, y alquitrán.

**Hidrogeología.** La hidrogeología es el estudio de la química y el movimiento del agua subterránea.

**Hidrología.** La hidrología es el estudio de las propiedades, distribución, y efectos del agua en la atmósfera, en la superficie de la Tierra, y en la tierra y rocas.

**Impacto ambiental.** Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza.

**Infiltración.** Infiltración es el movimiento de agua a través de la superficie de la tierra y pasando a través de poros de tierra hasta llegar a una zona no saturada. (Significa lo mismo que “filtración”).

**Ingestión.** Tipo de exposición a través de la boca.

**Inhalación.** Tipo de exposición a través de los pulmones.

**Inyección de aire.** Inyección de aire es una tecnología de tratamiento en cual se inyecta aire a la tierra debajo del área contaminada, formando burbujas las cuales suben llevando

**Lavado de tierra.** El lavado de tierra es una tecnología de tratamiento innovadora la cual usa líquidos (por lo general agua, en veces combinada con aditivos químicos) y un proceso mecánico para fregar tierras, eliminar contaminantes peligrosos, y concentrar los contaminantes a un volumen más chico. La tecnología se usa para eliminar gran variedad de contaminantes, tal como metales, gasolina, aceite de combustible, y pesticidas. El limpiado de tierra es un alternativo de relativamente bajo costo para separar desechos y minimizar el volumen necesario para facilitar tratamientos subsiguientes. Comúnmente se usa en combinación con otras tecnologías de tratamiento. La tecnología se puede traer al sitio, así eliminando la necesidad de transportar desechos peligrosos.

**Liberación.** Una liberación es cualquier derrame, escape, bombeo, verter, emisión, vaciar, desagüe, inyección, lixiviación, descarga, o botar al medio ambiente de un químico peligroso o toxico o sustancia extremadamente peligrosa.

**Límites Reglamentarios (límites permisibles).** Límites reglamentarios son estándares fijados para asegurar que el agua este sana para beber y para otros propósitos. Para agua subterránea, los niveles reglamentarios son los Estándares de Calidad de Agua de

**Limpieza.** Limpieza es en término usado para describir las acciones que se llevan acabo para tratar con la liberación de una sustancia peligrosa la cual puede afectar a humanos y/o al medio ambiente. El termino en veces se usa intercambiamente con los términos remedio, acción de remedición, acción de eliminación, acción de respuesta o acción correctiva.

**Medio.** Un medio es cierto ambiente - aire, agua, o tierra - el cual es el tema de interés y actividades reglamentarias.

**Metal pesado.** El termino metal pesado se refiere a un grupo de materiales tóxicos el cual incluye arsénico, cromo, cobre, plomo, mercurio, plata, y zinc. Metales pesados comúnmente se encuentran en minas, sitios de procesamiento de minerales, y sitios industriales incluyendo reciclado de baterías y actividades de plateado de metal.

**Metano.** El metano es un gas sin color, no venenoso, inflamable que es producido por microorganismos mientras que descomponen compuestos orgánicos tal como los que se encuentran en desechos en vertederos.

**Migración.** La migración es el movimiento de un contaminante en el medio ambiente a través del agua subterránea, en agua de superficie, en el aire, etc.

**Mitigación.** Planeación de actividades que habrán de realizarse para disminuir, suavizar o calmar un impacto, en caso de no poder evitar que se produzcan consecuencias adversas por la realización de una obra o actividad.

**Monitoreo.** Medir las concentraciones de sustancias en el medio ambiente o en humanos o en otros tejidos biológicos.

**Nivel de contaminantes.** El nivel de contaminantes es una medida relativa de la cantidad

**Nivel de fondo.** En el control de sustancias tóxicas, la presencia media de una sustancia en el medio ambiente, originalmente refiriéndose a un fenómeno que ocurre naturalmente.

**Nueva tecnología.** Una nueva tecnología es una tecnología innovadora la cual actualmente se está sometiendo a pruebas de escala de banco. Durante las pruebas de escala de banco, se construye en un laboratorio, una versión pequeña de la tecnología. Si la tecnología resulta exitosa durante las pruebas de escala de banco, entonces se demuestra en escala pequeña en campos de sitios. Si la tecnología es exitosa en las demostraciones de campo, comúnmente se usará en escala completa en sitios de desechos contaminados. La tecnología se mejora continuamente, mientras que se usa y evalúa en diferentes sitios.

**HAP (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)** (Hidrocarburos aromáticos policíclicos). Es un grupo de compuestos orgánicos formados por la unión de anillos aromáticos y que están formados sólo por átomos de carbono e hidrógeno. Por ejemplo: naftaleno, antraceno, pireno, fenantreno y benzo (a) pireno.

**Particulado.** Un sólido muy pequeño suspendido en agua el cual puede ser muy variado en tamaño, forma, densidad, y carga eléctrica. Particulosos coloidales y dispersados se juntan artificialmente por el proceso de coagulación y floculación.

**PCB's (polychlorinated biphenyls)** (Bifenilos policlorados). Grupo de compuestos orgánicos clorados sintéticos, que debido a sus propiedades de alta estabilidad fisicoquímica son empleados principalmente como fluidos dieléctricos y refrigerantes en transformadores y condensadores. Debido a que se ha comprobado su riesgo potencial sobre los seres humanos y el ambiente, en algunos países ha sido prohibida su fabricación.

**Percolación.** Percolación es el movimiento de agua hacia abajo (bajo la fuerza de la gravedad) radialmente a través de las capas de tierra debajo de la superficie hasta llegar a la capa freática. Un ejemplo del uso de una prueba de percolación es la instalación de una fosa séptica.

**Permeabilidad.** Permeabilidad es el grado al cual el agua subterránea se puede mover libremente a través de las rocas y la tierra de un acuífero. La permeabilidad se mide por el grado que los poros y las fracturas en las rocas están actualmente conectadas.

**pH.** Es una expresión de la intensidad de la condición ácida o básica de un líquido. Matemáticamente, pH es un logaritmo (base 10) del recíproco la concentración del ion de hidrógeno,  $[H^+]$ .  $pH = \text{Log} (1/[H^+])$  El pH puede variar de 0 a 14, en donde 0 es más ácido, 14 más básico, y 7 es neutral. Aguas naturales por lo general tienen un pH de entre 6.5 a 8.5.

**Pluma de contaminación.** Un penacho describe la porción del agua subterránea en un acuífero la cual está contaminada. Por lo general se determina por los datos juntados de los pozos de control.

**Población.** Grupo natural de organismos animales o vegetales de una misma especie con un material genético común.

**Porosidad.** La porosidad es la porción entre las aberturas (vacíos, poros) en rocas o tierra al volumen total. Es una medida de la habilidad del material de tierra/roca de almacenar agua. Entre mas aberturas, mas agua se puede almacenar, y más porosidad existe en la tierra/roca.

**ppm:** partes por millón. 1 ppm equivale a 1 mg/L.

**Prevención.** Conjunto de disposiciones y actividades anticipadas que se realizan con el fin de evitar daños ambientales. Es de naturaleza "Pro-activa" y surge por iniciativa de las mismas empresas por "autorregularse" quizá con el fin de evitar pérdidas y daños ambientales o con propósitos de certificación. Es una **actitud** mas madura de una **cultura organizacional** que intenta lograr permanentemente las 0 pérdidas y 0 daños.

**Protección.** Conjunto de políticas y medidas de seguridad utilizadas para cuidar el ambiente y evitar su deterioro. Es generalmente de caracter "reactivo" como respuesta a políticas coercitivas del **gobierno** sobre empresas, conocidas como de "mando-control"

**Remediación biológica.** Remedición Biológica se refiere al proceso de tratamiento que usa microorganismos (por lo general que ocurren naturalmente) tal como la bacteria, levadura, u hongos para descomponer sustancias peligrosas y contaminantes. La remediación biológica se puede usar para limpiar el agua y la tierra contaminada.

**Residuo peligroso.** Será considerado peligroso, todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general.

**Respiración aerobia:** Es la respiración donde el aceptor de electrones es el oxígeno.

**Respiración anaerobia:** Es la respiración donde los aceptores de electrones pueden ser, generalmente, los nitratos, sulfatos y carbonatos.

**Restauración.** Actividades correctivas tendientes a recuperar o rehabilitar: lugares dañados por la sobre-explotación de un recurso (bosques), obras con un deterioro excesivo (monumentos históricos) o remediar sitios contaminados (cuerpos de agua y suelo), donde la disposición inadecuada y posterior actividad de los residuos peligrosos acumulados constituye una Fuente de riesgo muy alta para la salud y seguridad de una **población**.

**Sitio.** El sitio es las fronteras geológicas (dos dimensiones, horizontal) del medio contaminado (agua subterránea, tierra, ríos, lagos). Un sitio puede ser un solo deposito de almacenaje subterráneo con una fuga y el área asociada o un sitio Superfondo que abarca muchas millas.

**Sólidos suspendidos.** - 1) Sólidos que flotan en la superficie o son suspendidos en el agua u otros líquidos (cualquiera de los dos), y la mayoría pueden ser eliminados por filtración de laboratorio. 2) La cantidad de material eliminado del agua en una prueba de laboratorio, como es descrita en métodos estándares para examinación de agua y agua de desperdicio.

**Solución.** Una mezcla líquida de sustancias disueltas. En una solución es imposible ver todas las distintas partes.

**Solvente.** Los solventes son productos químicos, típicamente líquidos, que se usan para disolver o dispersar otras sustancias /compuestos. PCE es un solvente común que se usa en el proceso de limpieza en seco y para limpiar partes de autos y aviones.

**Suelo.** Se define como el conjunto de cuerpos naturales originados a partir de materiales minerales y orgánicos que contienen materia viva, y que pueden soportar vegetación en forma natural. Se pueden considerar tres etapas de formación de un suelo, primero, las rocas quedan expuestas al ambiente y se inicia un proceso de desintegración (intemperismo físico), segundo, ocurre un proceso de descomposición (intemperismo químico) y, finalmente, se inicia la invasión de vegetación (intemperismo bioquímico).

**Sustancia tóxica.** Una sustancia tóxica es un químico o una mezcla que puede presentar un riesgo irrazonable de causar daño a la salud humana o al medio ambiente.

**Tecnologías de tratamiento.** Tecnologías de tratamiento son los procesos aplicados a desechos peligrosos o materiales contaminados, para permanentemente cambiar los desechos a través de métodos químicos, biológicos, o físicos. El tratamiento reduce o elimina el daño de los desechos a humanos o al medio ambiente.

**Tecnologías establecidas.** - Una tecnología establecida es una tecnología de la cual toda información en cuanto a los costos y funcionamiento esta disponible porque se ha usado y documentado completamente en varios sitios. Las tecnologías establecidas usadas mas frecuentemente son las tecnologías de bombeo y tratamiento de agua, solidificación y

**Textura de suelo:** sensación que da al tacto el suelo húmedo como resultado de la mezcla de las partículas minerales (arcillas, limos y arenas)

presentes en el suelo. Dependiendo del tipo de partícula predominante, en términos generales, puede describirse el suelo como arcilloso, limoso o arenoso, o una mezcla de estos tipos de textura.

**Toxicidad.** La toxicidad es una cuantificación del grado de daño que presenta una sustancia a la vida humana, animal o vegetal.

**Toxico.** Una sustancia la cual es venenosa para un organismo.

**Tratamiento.** Es la acción de transformar los residuos o sus propiedades con el fin de eliminar o evitar los riesgos no deseados a la salud del hombre y al equilibrio de los ecosistemas. Involucra actividades de limpieza, degradación, (combustión parcial), incineración (combustión total), neutralización, inmovilización y encapsulado.

**Vertedero “Landfill”.** Un vertedero es un local en tierra en cual se colocan desechos para recolección permanente.

**Viscosidad.** Es una medida de la resistencia al flujo de un fluido, y ésta está directamente relacionada con la fricción interna del fluido. Cuanto mayor es la viscosidad, mayor es esta fricción interna. En los líquidos, la viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura. En cambio, en los gases la viscosidad absoluta aumenta con la temperatura, siendo prácticamente independiente de la presión.

**Vitrificación en el sitio.** La vitrificación en el sitio es una tecnología de tratamiento de tierra que estabiliza metales y otros contaminantes inorgánicos en su lugar a temperaturas de aproximadamente 3000 grados Fahrenheit. Tierras y lodos se funden hasta formar un vidrio estable y estructura cristalina con características de muy poca lixiviación.

**VOC's (Volatile Organic Compounds):** Compuestos orgánicos volátiles. Son un grupo de compuestos orgánicos que tienen como propiedad una elevada tensión de vapor, siendo por ello fácilmente volátiles. Algunos de estos compuestos son: dicloroetano, acetona, etc.

**Volatilización.** La volatilización es el proceso del cambio de un químico de líquido a forma gaseosa.

**Xileno.** Compuestos que típicamente se encuentran en productos de petróleo como la gasolina y combustible de diesel.