



# **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL “SEK”**

Facultad de Ciencias Ambientales

Tesis de Grado previa a la obtención del Título de Ingeniero  
Ambiental

## **Tema:**

Estudio sobre la implantación de un sistema para la  
disposición de ripios de perforación petrolera base agua en  
zonas alteradas físicamente

## **Autor:**

David Alejandro Aguirre Luzuriaga

## **Director de Tesis:**

Dr. Carlos Ordóñez

Quito-Ecuador

2008

## **DEDICATORIA**

A mi papá, por ser mi guía y mí soporte, a través de su sabiduría y tenacidad.

A mi mamita, por ser mi maestra y mi impulso, la cual admiro profundamente por su inmensa fuerza, entrega y cariño que ha demostrado en los buenos y malos momentos.

A mis hermanos, por todas sus enseñanzas y esfuerzos en alcanzar días mejores.

A mis sobrinos Valentina y Rafael.

A Cynthia, por su amor y apoyo incondicional.

A la memoria de mi Chachita querida, que la extraño mucho; a esta gran mujer que me crió y enseñó que la perseverancia y el respeto son las mejores virtudes de un hombre, y que ante todo siempre ver, oír y callar.

Y a la memoria de mi gran amigo David H., el cual me enseñó que la vida es una aventura que nunca hay que desaprovechar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por no abandonarme cuando más lo necesité y por brindarme esta oportunidad que siempre anhelé alcanzar.

Agradezco a mis padres, por todo su apoyo en la consecución de mi carrera.

A toda mi familia, porque de una u otra manera me ayudaron en todas mis necesidades.

A Cynthia, le agradezco por su amor, amistad, y confianza; sobre todo por darle sentido a mi vida.

Mis sinceros agradecimientos a la Unidad Bloque 15, por hacer posible la ejecución de este proyecto; además de la hospitalidad y amabilidad de las cuales siempre se caracterizaron.

A la empresa Qmax Ecuador S.A., por su cooperación y amistad, siendo guías principales de esta realización.

Y agradezco también a la Universidad Internacional Sek, por ser mentores y forjadores de este triunfo; y de manera muy especial al Dr. Carlos Ordoñez, profesor y amigo, al cual le doy gracias por sus conocimientos impartidos, su colaboración en la presente investigación, y en especial por su amistad durante toda la carrera.

## **RESUMEN**

Actualmente las empresas han visto la necesidad de encontrar mejores técnicas de disposición para los rípios de perforación, con el objeto de minimizar los impactos al ambiente, debido a su limitación en la adecuación de nuevas piscinas para albergar los residuos de varias perforaciones.

La presente investigación se llevó a cabo en el pozo Paka Sur de la Unidad Bloque 15 - Petroecuador. Se basa en el conocimiento del fluido de perforación, tomando en cuenta sus características respecto a las secciones del pozo y una caracterización del rípio de perforación generado, para lograr determinar mediante análisis, si el residuo cumple o no con el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH 1215); para luego implementar tratamientos usando distintas enmiendas; procurando obtener un suelo que permita su revegetación y disposición sin impermeabilización. Para lo cual, se dispuso de un área de 10 m<sup>2</sup>, donde se ubicaron cinco parcelas, cada una conteniendo una mezcla de suelo y semillas *Brachiaria*, y determinar cual fue la mejor prueba para su disposición final.

Los resultados determinaron que el rípio de perforación es un residuo libre de contaminación; al cual una mezcla con suelo nativo y suelo orgánico, puede promover vegetación, logrando una restauración de zonas degradadas.

## **DESCRIPTORES**

Perforación, rípio de perforación, lodo de perforación, revegetación, disposición, impermeabilización, metal pesado.

## **SUMMARY**

Today, every company needs better techniques to dispose the drill cuttings in order to avoid the construction of new landfills to put all the waste in there because it represents an environmental impact.

The research took place in the Paka Sur drilling well, located in Bloque 15 Petroleum Company. It is based in knowing the characteristics of the mud in the three different well sections and the characteristics of the drill cuttings so that it can be determined if the drill cutting fulfill with the Environmental Law for Petroleum Operations, so the material can be improved, doing some treatments with some soils, being suitable to revegetation and disposition in landfills without waterproofing. Five plots were done in an area of ten square meters where each plot contained a specific soil mix and *Brachiaria* seeds, and try to find out which was the best treatment to dispose as normal soil.

The results determined that the drill cuttings are not pollutants which under a mix with natural and organic soil can be revegetated in order to restore degraded zones.

## **KEY WORDS**

Drilling, drill cuttings, drill mud, revegetation, disposal, waterproofing, metal

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
<b>CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
2.1 PERFORACIÓN PETROLERA DE LA EMPRESA .....	3
2.1.1 OCCIDENTAL PRODUCTION AND EXPLORATION COMPANY (OXY).....	3
2.1.1.1 Perforación.....	3
2.1.1.2 Lodos y ripios de perforación (2005).....	4
2.1.2 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN Y OPERACIÓN TEMPORAL BLOQUE 15.....	6
2.1.2.1 Creación.....	6
2.1.2.2 Ubicación.....	6
2.1.2.3 Entorno .....	6
2.1.2.4 Reservas de petróleo en los yacimientos del campo .....	7
2.1.2.5 Perforación.....	9
2.2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN .....	11
2.2.1 FUNCIONES .....	11
2.2.2 PROPIEDADES .....	14
2.2.2.1 Densidad del lodo .....	14
2.2.2.2 Reología.....	14
2.2.2.3 Contenido de sólidos.....	15
2.2.3 SELECCIÓN DE FLUIDO.....	16
2.2.4 COMPOSICION DE LOS FLUIDOS EN BASE AGUA.....	17
2.2.4.1 Fases .....	17
2.2.4.2 Composición .....	18
2.2.4.3 Productos utilizados en el fluido.....	20
2.3 SÓLIDOS.....	21
2.3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	21
2.3.2 CONTROL DE SÓLIDOS.....	22
2.3.2.1 Separación de Sólidos .....	23
2.3.2.2 Métodos de eliminación de sólidos.....	23
2.3.2.3 Tamaño de Partícula .....	24
2.4 RIPIOS Y CORTES DE PERFORACIÓN.....	25
2.4.1 CONTEXTO.....	25
2.4.2 ÁREA SUPERFICIAL .....	27
2.4.3 VOLÚMENES .....	28
2.4.4 PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN .....	30

2.4.4.1	Conductividad eléctrica .....	31
2.4.4.2	Potencial de hidrógeno (pH) .....	31
2.4.4.3	Hidrocarburos totales de petróleo (TPH) .....	31
2.4.4.4	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) .....	31
2.4.4.5	Metales pesados .....	32
2.4.5	MACRO Y MICRONUTRIENTES .....	42
2.4.6	TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE CORTES Y RIPIOS DE PERFORACIÓN .....	43
2.4.6.1	Landfarming .....	43
2.4.6.2	Solidificación-estabilización .....	44
2.4.6.3	Incineración .....	45
2.4.6.4	Disposición en piscinas .....	45
2.4.7	MARCO LEGAL .....	46
2.4.7.1	Legislación ambiental aplicable a manejo y disposición de ripios de perforación ....	48

**CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO..... 50**

3.1	PROCEDIMIENTOS DE CAMPO Y LABORATORIO .....	50
3.1.1	LUGAR DE PROYECTO .....	50
3.1.2	UBICACIÓN DE PARCELAS .....	52
3.1.3	PERFIL Y DISEÑO DEL PROYECTO .....	54
3.1.3.1	Diseño y construcción de cubeto .....	54
3.1.3.2	Diseño de parcelas .....	55
3.1.3.3	Construcción de parcelas .....	56
3.1.3.4	Ubicación e identificación de parcelas.....	57
3.1.4	ANÁLISIS DE RIPIOS .....	59
3.1.4.1	Muestreo de ripio .....	59
3.1.4.2	Transporte .....	60
3.1.4.3	Caracterización de ripio .....	60
3.1.4.4	Caracterización de suelos.....	60
3.1.5	TRATAMIENTO EN PARCELAS .....	61
3.1.5.1	Disposición de ripio en parcelas .....	61
3.1.5.2	Neutralización .....	61
3.1.5.3	Mezclas .....	61
3.1.5.4	Homogenización .....	63
3.1.6	ANÁLISIS EN CAMPO.....	63
3.1.6.1	Muestreo en parcelas .....	63
3.1.6.2	Análisis de parámetros críticos .....	63
3.1.7	ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	63
3.1.7.1	Muestreo .....	63
3.1.7.2	Preservación y transporte de muestras .....	64
3.1.7.3	Análisis de muestras en laboratorio .....	64
3.1.8	CONTROL Y SEGUIMIENTO.....	65

3.1.8.1	Control de parcelas .....	65
3.1.8.2	Control de parámetros en campo .....	65
3.1.8.3	Seguimiento de parcelas .....	65
3.1.9	REVEGETACIÓN.....	65
3.1.9.1	Ficha técnica .....	65
3.1.9.2	Siembra.....	66
3.1.9.3	Tiempo de Crecimiento.....	66
3.1.9.4	Seguimiento y control del crecimiento de planta.....	66
3.1.9.5	Muestreo de Plantas .....	66
3.1.9.6	Análisis de Planta.....	67
3.1.10	DISPOSICIÓN FINAL .....	67
3.2	EQUIPOS Y MATERIALES .....	67
3.2.1	EQUIPOS.....	67
3.2.2	MATERIALES .....	67
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>69</b>
4.1.	RESULTADOS.....	69
4.1.1.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS SEGÚN TABLA 7A. DEL RAOH 1215 .....	69
4.1.1.1.	Parámetros críticos: potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (C.E.) ..	69
4.1.1.2.	Análisis estadístico para determinar la probabilidad de ocurrencia (método de Hanssen) de los parámetros: pH y C.E. ....	78
4.1.1.3.	Hidrocarburos totales de petróleo (TPH).....	83
4.1.1.4.	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) .....	83
4.1.1.5.	Metales pesados .....	84
4.1.2.	METALES PESADOS: Concentración total de metales en el ripio .....	89
4.1.3.	TRATAMIENTO DE SUELOS .....	91
4.1.3.1.	Propiedades físicas.....	91
4.1.3.2.	Macro y micronutrientes .....	92
4.1.4.	REVEGETACIÓN.....	100
4.1.4.1.	Siembra.....	100
4.1.4.2.	Crecimiento.....	100
4.1.5.	ABSORCIÓN DE METALES PESADOS POR PLANTAS.....	102
4.1.5.1.	Transferencia suelo-planta .....	105
4.1.6.	MOVILIDAD DE METALES PESADOS EN EL MEDIO .....	106
4.1.7.	DISPOSICIÓN FINAL SIN IMPERMEABILIZACIÓN .....	108
4.1.7.1.	Fases de tratamiento.....	108
4.2.	DISCUSIÓN .....	114
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>117</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	117
5.2.	RECOMENDACIONES .....	119

<b>CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>
<b>APENDICE .....</b>	<b>125</b>
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	125
ANEXOS .....	127
ANEXOS FOTOGRÁFICOS .....	132

### **TABLAS Y CUADROS**

Tabla 1. Resumen de pozos perforados en el complejo Indillana durante el 2005.....	3
Tabla 2. Resumen de pozos perforados en el complejo Edén Yuturi durante el 2005.....	4
Tabla 3. Parámetros analizados a rípios de perforación según la tabla 7b. del RAOH 1215, durante el 2005..	5
Tabla 4. Reservas iniciales y remanentes de petróleo en el bloque 15, reservas (MMBIs) a Dic-31-2006.....	8
Tabla 5. Propiedades del fluido .....	18
Tabla 6. Propiedades del fluido .....	19
Tabla 7. Propiedades del fluido .....	19
Tabla 8. Tamaño de partículas.....	25
Tabla 9. Movilidad de elementos en el suelo dependiendo del pH (Felipó, 1992).....	34
Tabla 10. Interacciones entre nutrientes y metales .....	41
Tabla 11. Niveles críticos de metales en hojas (ppm) .....	41
Tabla 12. Límites permisibles para la disposición final de rípios de perforación.....	50
Tabla 13. Programa de Fluidos.....	52
Tabla 14. Concentración de TPH en el ripio de perforación .....	83
Tabla 15. Concentración de HAP's en el ripio de perforación .....	84
Tabla 16. Concentración de cadmio lixiviado en P1 .....	85
Tabla 17. Concentración de cromo en lixiviado en P1 .....	86
Tabla 18. Concentración de vanadio en lixiviado en P1 .....	87
Tabla 19. Concentración de bario en lixiviado en P1 .....	88
Tabla 20. Cantidad total de cadmio en el suelo al día 120 .....	89
Tabla 21. Cantidad total de cromo en el ripio .....	90
Tabla 22. Cantidad total de vanadio en el ripio .....	90
Tabla 23. Cantidad total de bario en el ripio .....	90
Tabla 24. Niveles óptimos de contenido en suelo .....	93
Tabla 25. Análisis de ripio de perforación (P1).....	94
Tabla 26. Análisis de ripio más suelo nativo (P2).....	94
Tabla 27. Análisis de ripio más suelo orgánico (P3).....	95
Tabla 28. Análisis de ripio más suelo nativo más suelo orgánico (P4) .....	95
Tabla 29. Análisis de suelo agrícola (P5) .....	95
Tabla 30. Cantidad de Cd absorbido por Brachiaria.....	102
Tabla 31. Cantidad de Cr absorbido por Brachiaria .....	103

Tabla 32. Cantidad de V absorbido por Brachiaria .....	104
Tabla 33. Cantidad de Ba absorbido por Brachiaria.....	105
Tabla 34. Cantidad de metal en suelo, planta y lixiviado.....	107
Cuadro 1. Ejemplo de profundidad de un pozo respecto a su diámetro.....	29
Cuadro 2. Especificaciones para Construcción de Cubeto .....	54
Cuadro 3. Materiales para Construcción de Parcelas .....	57
Cuadro 4. Identificación de contenido en parcelas .....	58
Cuadro 5. Proporción de mezcla en parcelas.....	61
Cuadro 6. Parámetros de análisis para cada muestra.....	64
Cuadro 7. Parámetros críticos en ripio únicamente .....	69
Cuadro 8. Parámetros críticos en mezcla de ripio y suelo nativo .....	71
Cuadro 9. Parámetros críticos en mezcla de ripio y suelo orgánico .....	73
Cuadro 10. Parámetros críticos en parcela 4 .....	75
Cuadro 11. Probabilidades de ocurrencia de pH .....	79
Cuadro 12. Probabilidades de ocurrencia de C.E. ....	80
Cuadro 13. Valores persistentes de pH.....	81
Cuadro 14. Valores persistentes de C.E. ....	82
Cuadro 15. Principales propiedades físicas de los suelos.....	91
Cuadro 16. Clase textural de suelos según el departamento de agricultura de Estados Unidos .....	92
Cuadro 17. Tamaño y contenido de Brachiaria a los 60 días.....	100
Cuadro 18. Tamaño y contenido de Brachiaria a los 120 días.....	101
Cuadro 19. Características de Brachiaria.....	102
Cuadro 20. Coeficiente de transferencia suelo-planta de cada metal .....	106

## **FIGURAS Y GRÁFICOS**

Figura 1. Zonas sensibles dentro del bloque.....	7
Figura 2. Distribución de sólidos (9 lbs/gal) .....	24
Figura 3. Volumen vs. Área superficial de un sólido .....	27
Figura 4. Dinámica y movimiento de metales en el suelo .....	34
Figura 5. Bioacumulación de metales pesados en su absorción por las plantas .....	38
Figura 6. Esquema de una piscina para disposición de ripios de perforación .....	46
Figura 7. Mapa de ubicación del pozo Paka Sur.....	50
Figura 8. Locación Paka Sur .....	52
Figura 9. Ubicación de Parcelas .....	53
Figura 10. Diseño de Parcela.....	55
Figura 11. Distribución de Parcelas en Cubeto .....	58
Figura 12. Identificación de Parcelas .....	59
Figura 13. Diagrama de flujo de la metodología de disposición .....	113
Gráfico 1. Variación de pH .....	70

Gráfico 2. Variación de C.E. ....	70
Gráfico 3. Variación de pH .....	72
Gráfico 4. Variación de C.E. ....	72
Gráfico 5. Variación de pH .....	74
Gráfico 6. Variación de C.E. ....	74
Gráfico 7. Variación de pH .....	76
Gráfico 8. Variación de C.E. ....	76
Gráfico 9. Comparación de pH.....	77
Gráfico 10. Comparación de C.E.....	78
Gráfico 11. Persistencia de pH vs. Probabilidad de ocurrencia.....	79
Gráfico 12. Persistencia de C.E. vs. Probabilidad de ocurrencia.....	80
Gráfico 13. Concentración de cadmio en el lixiviado al día 1, 7 y 120.....	85
Gráfico 14. Concentración de cromo en el lixiviado al día 1, 7 y 120 .....	86
Gráfico 15. Concentración de vanadio en el lixiviado al día 1, 7 y 120.....	87
Gráfico 16. Concentración de bario en el lixiviado al día 1, 7 y 120 .....	88
Gráfico 17. Concentración total de cadmio en ripio y planta al día 120.....	103
Gráfico 18. Cantidad total de cromo en el ripio y planta al día 120.....	103
Gráfico 19. Cantidad total de vanadio en el ripio y planta al día 120.....	104
Gráfico 20. Cantidad total de bario en el ripio y planta al día 120.....	105

## **ABREVIATURAS:**

**mg/l:** miligramos por litro (ppm)

**uS/cm:** microsiemens por centímetro

**mg/kg:** miligramos por kilogramo (ppm)

**ug/kg:** microgramos por kilogramo (ppb)

**lbs/gal:** libras por galón

**PHPA:** Poliacrilamida parcialmente hidrolizada.

**PAC:** Polímeros de celulosa polianionicos.

**HAP's:** Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

**TPH:** Hidrocarburos Totales de Petróleo

**RAOH 1215:** Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental para Operaciones

Hidrocarburíferas en el Ecuador

**HGS:** Sólidos de Alta Gravedad

**LGS:** Sólidos de Baja Gravedad

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCION**

Se ha demostrado la importancia de la gestión ambiental dentro de las empresas para disminuir al mínimo los impactos ambientales provocados por las actividades antropogénicas en la región amazónica del país.

Estas actividades se han desarrollado desde hace muchos años sin tomar en cuenta un antecedente vital como es la protección del medio ambiente. Dentro de este contexto el mayor problema en la región lo constituyen las empresas petroleras, que en los últimos años han tenido que implementar soluciones debido al incremento de los niveles de contaminación, contando con un sistema capaz de desarrollar técnicas de tratamiento, manejo, disposición de los contaminantes producidos en cada una de las locaciones de las empresas bajo los reglamentos de legislación ambiental, como es el RAOH 1215, entre otros. La baja en la producción y operación de la empresa a partir de la caducidad del contrato en Mayo del 2006 con la antigua operadora, Occidental Exploration and Production Company (OXY), ha incrementado la necesidad de contar y operar con mayor cantidad de torres de perforación en los últimos tiempos, para así levantar la producción que decreció en unos 15.000 barriles; esto debido a que cuando la antigua operadora dejó las instalaciones, fue llevando consigo toda la tecnología y finalizó todos los contratos que tenía con las empresas de prestación de servicios.

Como consecuencia de esto se incrementa la cantidad de productos que deben ser utilizados, siendo uno de los desechos en las locaciones los rípios de perforación, que continuamente son generados. Dichos rípios son tratados con aditivos orgánicos para neutralizar su efecto y dispuestos luego en piscinas construidas con impermeabilizante para evitar su contacto con el suelo.

Existen investigaciones con respecto a rípios de perforación base aceite que han sido tratados biológicamente (adición de consorcios bacterianos) y dispuestos al ambiente permitiendo recuperar zonas alteradas, pero dichas investigaciones se realizaron en locaciones externas a la empresa.

Es de vital importancia estudiar un tratamiento para el manejo y disposición de los rípios de perforación con el objeto de devolver dicho suelo al ambiente, restaurar zonas alteradas física y biológicamente, disminuir costos para la empresa y evitar construir fosas para su confinamiento; tratando en, lo posible, de que su exposición no represente efectos adversos al medio ambiente; esto aprovechando los avances tecnológicos de los fluidos de perforación influyentes en la calidad de los residuos generados.

## **1.1 OBJETIVOS**

### 1.1.1 Objetivo General

- Realizar un estudio sobre la implantación de un sistema adecuado de manejo de rípios de perforación base agua, previo a su disposición en zonas sin impermeabilización, que han sido alteradas físicamente, para su recuperación morfológica y natural.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las características fisicoquímicas de los rípios de perforación base agua, provenientes de las diferentes formaciones, para disponer del análisis de cada uno de los parámetros de interés ambiental; basándose en la normativa ambiental vigente (RAOH-1215).
- Realizar pruebas de tratabilidad para determinar las condiciones operacionales óptimas previas a la disposición de los rípios de perforación.
- Establecer las condiciones óptimas de la mezcla de suelo-rípio-humus, para permitir el crecimiento espontáneo de vegetación.
- Estudiar alternativas operacionales de disposición de rípios tratados en sitios sin impermeabilización en la base, de tal manera de priorizar la reducción de los impactos ambientales causados por el manejo actual de los rípios de perforación.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 PERFORACIÓN PETROLERA DE LA EMPRESA

#### 2.1.1 OCCIDENTAL PRODUCTION AND EXPLORATION COMPANY (OXY)

##### 2.1.1.1 Perforación

Durante el ultimo año de actividad de la empresa, es decir, entre el 2005 y mediados del 2006, se realizaron algunas actividades de perforación. Hasta finales de febrero del 2005, las operaciones de perforación se realizaron con tres taladros americanos (H&P 22, H&P 121, H&P 190). A partir de marzo de 2005 un taladro se desmovilizó y desde entonces las operaciones se realizaron únicamente con dos taladros, uno en el campo indillana y el otro en el campo Eden Yuturi. La tabla 1 y la tabla 2 muestran los pozos perforados en Edén Yuturi e ILYP respectivamente:

**Tabla 1.** Resumen de pozos perforados en el complejo Indillana durante el 2005

No.	Pozo	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	Rig	Profundidad MD	Profundidad TVD	Tipo de Pozo
1	Concordia-3	24-Dic-04	21-Ene-05	H&P 190	12545	9995	Desarrollo
2	Indillana-5	1-Feb-05	27-Feb-05	H&P 190	10858	9794	Desarrollo
3	Indillana-7	10-Mar-05	30-Mar-05	H&P 190	12250	9783	Desarrollo
4	Indillana-8	9-Abr-05	29-Abr-05	H&P 190	10625	9752	Desarrollo
5	Indillana-6	11-May-05	1-Jun-05	H&P 190	11150	9876	Desarrollo
6	Indillana-9	13-Jun-05	2-Jul-05	H&P 190	12383	9661	Desarrollo
7	Indillana-10	10-Jul-05	29-Jul-05	H&P 190	10126	9917	Desarrollo
8	Concordia-5	17-Sep-05	25-Sep-05	H&P 190	11415	10000	Desarrollo
9	Concordia-4	5-Nov-05	9-Dic-05	H&P 190	13900	9961	Desarrollo
10	Concordia-7	10-Dic-05	29-Dic-2005	H&P 190	11460	9982	Desarrollo

Fuente: OXY. Informe anual de actividades. 2005

**Tabla 2.** Resumen de pozos perforados en el complejo Edén Yuturi durante el 2005

No.	Pozo	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	Rig	Profundidad MD	Profundidad TVD	Tipo de Pozo
1	EY G-46st1	22-Dic-04	14-Feb-05	H&P 121	14438	7780	Desarrollo
2	EY B-47	23-Mar-05	10-Abr-05	H&P 121	10710	7718	Desarrollo
3	EY D-49	28-Abr-05	10-May-05	H&P 121	8451	7733	Desarrollo
4	EY D-48H	17-May-05	8-Jun-05	H&P 121	10807	6566	Horizontal
5	EY D-50	12-Jun-05	28-Jun-05	H&P 121	10791	7686	Desarrollo
6	EY B-52	15-Jul-05	30-Jul-05	H&P 121	9900	7688	Desarrollo
7	EY B-51Hst1	5-Ago-05	1-Sep-05	H&P 121	10115	6575	Horizontal
8	EY A-53	18-Sep-05	28-Sep-05	H&P 121	8685	7655	Desarrollo
9	EY A-55	6-Oct-05	16-Oct-05	H&P 121	8290	7680	Desarrollo
10	EY A-56H	21-Oct-05	6-Nov-05	H&P 121	8992	6577	Horizontal
11	EY A-54	11-Nov-05	3-Dic-05	H&P 121	7730	7699	Desarrollo

**Fuente:** OXY. Informe anual de actividades. 2005

### 2.1.1.2 Lodos y rípios de perforación (2005)

Se realizó el análisis y seguimiento respectivo de los rípios de perforación en los diferentes pozos perforados durante el año 2005. Los rípios se dispusieron en piscinas impermeabilizadas construidas para el efecto en cada uno de los pozos perforados.

En la tabla 3 se adjunta los resultados de los análisis efectuados en el periodo 2005:

**Tabla 3.** Parámetros analizados a rípios de perforación según la tabla 7b. del RAOH 1215, durante el 2005

No.	Pozo	Tipo Piscina	pH	Conductividad uS/cm	TPH mg/l	Cadmio mg/l	Cromo total mg/l	Vanadio mg/l	Bario mg/l
1	Concordia 2	Impermeabilizada	9.35	629	0.1	<0.03	<0.10	<1	0.68
2	Concordia 3	Impermeabilizada	9.43	1503	0.7	<0.03	<0.10	<1	1.76
3	Limoncocha 5st1	Impermeabilizada	8.48	1224	0.2	<0.03	<0.10	<1	0.78
4	Limoncocha 9st1	Impermeabilizada	9.16	712	0.3	<0.03	<0.10	<1	1.05
5	Tumali 1	Impermeabilizada	9.72	842	0.5	<0.03	<0.10	<1	<0.50
6	Tumali Este1	Impermeabilizada	9.01	1457	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
7	Indillana 5	Impermeabilizada	8.91	739	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
8	Indillana 6	Impermeabilizada	9.21	608	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
9	Indillana 7	Impermeabilizada	9.08	690	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
10	Indillana 8	Impermeabilizada	9.37	621	0.1	<0.03	<0.10	<1	1.07
11	Indillana 9	Impermeabilizada	10.63	295	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
12	Indillana 10	Impermeabilizada	8.91	920	0.1	<0.03	<0.10	<1	0.606
13	Indillana 11	Impermeabilizada	8.97	859	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
14	EY G-44	Impermeabilizada	10.67	1515	0.2	<0.03	<0.10	<1	2.55
15	EY B-47	Impermeabilizada	9.04	1352	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
16	EY G-46	Impermeabilizada	8.02	133.3	0.8	<0.03	<0.10	<1	1.17
17	EY D-49	Impermeabilizada	9.65	967	0.1	<0.03	<0.10	<1	<0.50
18	EY D-48H	Impermeabilizada	11.97	1468	0.2	<0.03	<0.10	<1	<0.50
19	EY B-52	Impermeabilizada	10.26	1159	0.2	<0.03	<0.10	<1	<0.50
20	EY D-50	Impermeabilizada	10.86	1044	0.9	<0.03	<0.10	<1	<0.50
21	EY B-51H	Impermeabilizada	9.9	781	1.1	<0.03	<0.10	<1	1.32
22	EY A-53	Impermeabilizada	9.79	580	0.2	<0.03	<0.10	<1	<0.50
Límites Permisibles RAOH 1215. Tabla 7b.		Impermeabilizada	4<pH<12	<8000	<50	<0.5	<10	<2	<10

Fuente: OXY. Informe anual de actividades. 2005

## **2.1.2 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN Y OPERACIÓN TEMPORAL BLOQUE 15**

### **2.1.2.1 Creación**

Con Decreto Ejecutivo No. 1546, publicado en Registro Oficial No. 300 del 27 de junio de 2006, se creó la Unidad de Administración y Operación Temporal del Bloque 15 (UB-15) y Campos Unificados Edén-Yuturi y Limoncocha, pertenecientes a la unidad, y que fue adscrita a la Vicepresidencia de PETROPRODUCCION, filial de producción de Petroecuador.

A partir de su creación la UB-15 es la encargada de administrar, controlar, coordinar y resolver sobre los aspectos administrativos, operativos, legales y otros inherentes a la actividad de explotación de hidrocarburos relativos a las áreas revertidas al Estado como consecuencia de la caducidad del Contrato Modificatorio de Prestación de Servicios del Contrato de Participación para la Explotación de Hidrocarburos en el Bloque 15 y de los Convenios de Operación y Explotación Unificada de los Yacimientos Comunes "M1", "M2", "U" y "T" en Edén-Yuturi y Limoncocha, suscritos el 21 de mayo de 1999, entre PETROECUADOR y la compañía Occidental (OXY).<sup>1</sup>

### **2.1.2.2 Ubicación**

El Bloque 15 se encuentra ubicado en el Bosque Húmedo Tropical de las provincias de Orellana y Sucumbios, con una extensión de 200.000 hectáreas, distribuidos en cinco campos de producción: Complejos Indillana y Yanaquincha y los Campos Eden – Yuturi, Limoncocha y Paka.

En el área se encuentran: La Reserva Biológica Limoncocha, un sector de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno, del Parque Nacional Yasuní y del Bosque Protector Pañacochoa.

### **2.1.2.3 Entorno**

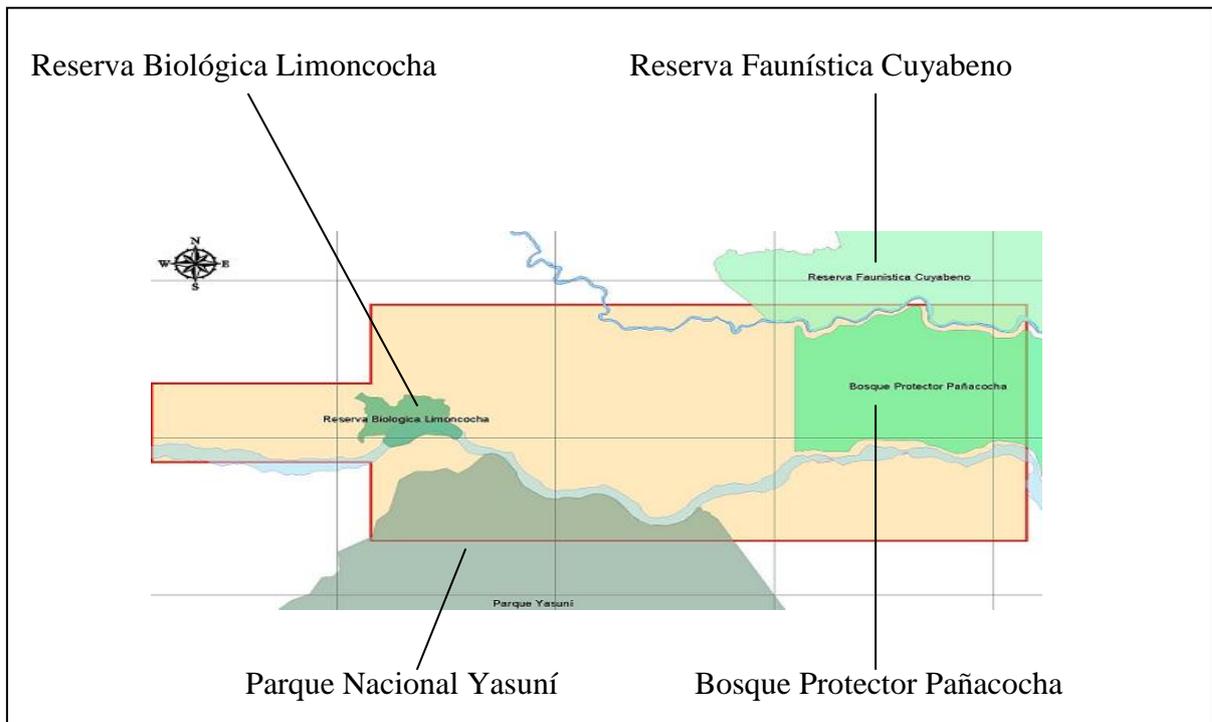
El Bloque 15 se encuentra ubicado en una zona de alta sensibilidad debido a que lo rodean las siguientes reservas ecológicas:

---

<sup>1</sup> [www.bloque15.com.ec](http://www.bloque15.com.ec). Generalidades de la empresa.

- Parque Nacional Yasuní
- Reserva Biológica Limoncocha
- Bosque Protector Pañacocha
- Reserva de Producción Faunística Cuyabeno

**Figura 1.** Zonas sensibles dentro del bloque



Fuente: [www.bloque15.com.ec](http://www.bloque15.com.ec)

#### 2.1.2.4 Reservas de petróleo en los yacimientos del campo

Atendiendo la situación actual de explotación petrolera en el país y el mundo, se promueve cada vez más el descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos con el objeto de incrementar las reservas totales para el beneficio del país. Es por esta razón que es de suma importancia el conocimiento de la cantidad de estas reservas para que la explotación se enmarque dentro de un desarrollo sustentable del recurso, que asegure su producción a futuro y el bienestar del país.

En la tabla 4, se resume a cada yacimiento con la respectiva reserva probada y las reservas que podrían existir.

**Tabla 4.** Reservas iniciales y remanentes de petróleo en el bloque 15, reservas (MMBls) a Dic-31-2006

<b>Campo</b>	<b>Yacimiento</b>	<b>Reservas Probadas Iniciales</b>	<b>Produccion Acumulada Dic/2006</b>	<b>Reservas Remanentes Dic/2006</b>	<b>Reservas Probables</b>	<b>Reservas Totales Iniciales</b>
<b>Eden Yuturi</b>	M1	71.7	16.7	55	1.5	73.2
	M2	0.4	0.2	0.2	0	0.4
	UU	116.4	52.8	63.6	18.3	140
	LU	42.6	10.2	32.5	5.1	47.7
	T	33.8	8	25.8	9.3	43.6
	Subtotal	264.9	87.8	177.1	34.3	305
<b>C. Indillana</b>	U	61.2	45	16.2	1.2	62.4
	T	58.1	38.2	19.9	2	60.1
	H	11.9	5.7	6.2	0	11.9
	Subtotal	131.3	88.9	42.4	3.2	134.4
<b>Limoncocha</b>	U	33.4	21.1	12.3	2.7	36.1
	T	28.5	16.9	11.6	4.5	34.8
	Subtotal	61.9	37.9	24	7.2	70.9
<b>Yanaquincha</b>	MU	0.2	0.2	0	0	0.2
	LU	7.9	2.9	5	14	22.8
	T	10.1	4.3	5.8	19.6	31
	H	0.5	0	0.5	0	0.5
	Subtotal	18.7	7.4	11.3	33.6	54.5
<b>Paka Norte</b>	U	0.7	0.1	0.6	0	0.7
	H	0.3	0	0.3	0	0.3
	Subtotal	1	0.1	0.9	0	1
<b>Paka Sur</b>	U	4.1	0.2	4	0	4.1
	T	4.2	0.2	3.9	0	4.2
	H	1.4	0.1	1.3	0	1.4
	Subtotal	9.7	0.5	9.2	0	9.7
<b>TOTAL UB15</b>	<b>Total</b>	<b>487.6</b>	<b>222.7</b>	<b>264.8</b>	<b>78.2</b>	<b>575.5</b>

**Fuente:** Informe de gerencia de operaciones y desarrollo de la UB-15. 2006

### **2.1.2.5 Perforación**

Al momento cuenta con 4 torres de perforación, 3 de ellas de origen chino, dos de propiedad de la compañía Sinopec y una de la compañía CPEB, y la cuarta torre propiedad de la compañía americana H&P.

Hasta febrero del 2008 se perforaron y puesto en producción 10 pozos. Seis de estos pozos están ubicados en el campo Edén-Yuturi y cuatro en ILYP (Indillana, Limoncocha, Yanaquincha y Paka respectivamente). Unos tres pozos adicionales se perforaron durante los últimos meses. Los objetivos planteados por la empresa hasta ahora han sido cumplidos tanto en plazo como en costo.

#### **a. Perforación mayo-diciembre 2006:**

Desde el 16 de mayo del 2006 hasta el 31 de diciembre del 2006, fue la primera etapa de labores de la UB15, en la cual las operaciones se veían muy disminuidas por la caducidad del contrato con la compañía OXY.

En sus operaciones, OXY, utilizó tres taladros hasta marzo del 2005; posteriormente, hasta mediados del mes de mayo del 2006, las perforaciones se realizaron con dos taladros, disminuyendo sus inversiones en previsión de la caducidad de su contrato, lo que afectó significativamente las actividades de perforación y exploración. Durante ese periodo del 2006 que estuvo la compañía OXY, se perforaron cuatro pozos en Edén-Yuturi. Dada la caducidad del contrato de la compañía con el estado ecuatoriano el 15 de mayo del 2006, esta abandono el país llevando consigo la tecnología y dejó cerrando todo tipo de contrato con empresas de prestación de servicios. Debido a esto, la UAOT Bloque 15 debió satisfacer con urgencia la falta de torres con la contratación de tres taladros de perforación, que por su alta demanda y las demoras en trámites de aprobación por parte de la Procuraduría General del Estado, con lo cual lo único que se logró fue suscribir el contrato, difiriéndose el inicio del programa de perforación para enero del 2007. Con esto, se tenía previsto aumentar las reservas de crudo y mantener la producción compensando la curva natural de declinación.

b. Perforación UB-15 en el 2007:

A lo largo del año 2007, la UB15 logró perforar una cantidad de **24 pozos**, lo que ha constituido la etapa de perforación más satisfactoria en la historia de la actividad petrolera en el Ecuador, y la que ha alcanzado un record siendo la operadora que más cantidad de pozos ha perforado en un solo año. Este record se ha logrado gracias a la operación de cuatro torres de perforación con un promedio anual de 6 pozos perforados por cada torre. Según lo estipulado en el cronograma de perforación propuesto para el 2007, se debía cumplir con una “*perforación total de 26 pozos con los cuatro taladros resumiendo su actividad en lo siguiente:*

*Rig CPEB 50243: 6 pozos de desarrollo Edén Yuturi (1 en Pad J y 5 en Pad D).*

*Rig Sinopec 128: 7 pozos de desarrollo en Limoncocha*

*Rig Sinopec 129: 7 pozos de desarrollo en EY (1 en Pad F y 6 en Pad J).*

*Rig H&P 132: 4 pozos en Yanaquincha (2 en Yan-este y 2 en Yan-oeste)”.*<sup>2</sup>

c. Perforación UB15 en el 2008:

Se estima que en el año 2008 se aumentará la perforación en la unidad, con la incorporación de dos torres con un total de seis torres de perforación en todo el bloque, para llegar al 31 de diciembre a una cantidad de 44 pozos perforados, para lograr incrementar la producción en 15.000 bbls., para alcanzar la meta estimada de 110.000 bppd. Cabe destacar que la mayoría de los pozos a ser perforados se los realizará de forma direccional, una tecnología para minimizar los impactos ambientales.

Aumentar la cantidad de perforación de pozos, aumentaría la cantidad de desechos y residuos generados, específicamente la cantidad de ripios, lo que representaría la construcción de nuevas piscinas para la recepción de estos residuos. Se estima que con la perforación de 44 nuevos pozos dependiendo de su diámetro y profundidad (10500-11000 ft. Promedio) se genere una cantidad promedio aproximada de 22.506m<sup>3</sup> de ripios para el año 2008.

---

<sup>2</sup> UAOT Bloque 15.- Evaluación del plan operativo 2007.

## 2.2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

El fluido de perforación es una “*suspensión coloidal en base a una mezcla de arcillas, agua y productos químicos utilizados en las operaciones de perforación rotatorias*”.<sup>3</sup> Este fluido generalmente se lo denomina como lodo de perforación y es circulado en forma continua hacia abajo por la sarta de perforación (tubería de perforación) y hacia arriba hasta la superficie por el espacio anular que hay entre la sarta de perforación y las paredes del pozo.

### 2.2.1 FUNCIONES

Las funciones más importantes del fluido son:

- **Transportar los ripios de perforación del fondo del hueco hacia la superficie:**

Los cortes hechos por la broca, o en algunos casos, pedazos de la formación provenientes de las paredes del hoyo al ocurrir algún derrumbe, deben ser continuamente evacuados desde el hoyo hasta la superficie. Dicha función dependerá de algunos factores, como:

- Densidad de fluido
- Viscosidad del fluido
- Viscosidad del fluido en el anular
- Velocidad anular
- Densidad de los cortes
- Tamaño de los cortes

En la mayoría de los casos, el mantener una velocidad anular suficiente da como resultado un movimiento hacia arriba de los cortes. “*Cuando la velocidad de precipitación de las partículas es mayor que la velocidad anular, las partículas tienden a asentarse en el hoyo ocasionando múltiples problemas. Para disminuir la velocidad de precipitación de las partículas es necesario aumentar la viscosidad del lodo, reflejándose esto en un aumento de presión de funcionamiento de las bombas para*

---

<sup>3</sup> Dowell Schlumberger Drilling Fluids. Fundamentos teóricos.

*mantener un caudal establecido, lo cual produce una alta contrapresión capaz de ocasionar pérdidas de circulación.”<sup>4</sup>*

Otra forma de disminuir la velocidad de precipitación de las partículas es mediante el incremento de la densidad del fluido, ya que esto trae como consecuencia un efecto de flotación mayor sobre las partículas.

- **Lubricar / enfriar la broca y la sarta de perforación:**

La fricción originada por el contacto de la mecha y de la sarta de perforación con las formaciones genera una cantidad considerable de calor.

*“Los lodos deben tener suficiente capacidad calorífica y conductividad térmica para permitir que el calor sea recogido del fondo del pozo, para transportarlo a la superficie y disiparlo a la atmósfera.”<sup>5</sup>*

*“En menor grado el lodo por sí mismo ayuda a la lubricación. Esta lubricidad es aumentada mediante el uso de emulsificantes, o aditivos especiales que afectan la tensión superficial. La capacidad lubricante es demostrada por la disminución de la torsión de la sarta, aumento de la vida útil de la mecha, reducción de la presión de la bomba, etc.”<sup>6</sup>*

- **Prevenir el derrumbamiento de paredes y controlar las presiones de las formaciones:**

Un buen fluido de perforación debe depositar un revoque que sea liso, delgado, flexible y de baja permeabilidad. Esto ayudará a minimizar los problemas de derrumbes y atascamiento de la tubería, además de consolidar la formación y retardar el paso de fluido hacia la misma, al ejercer una presión sobre las paredes del hoyo abierto.

Normalmente, la densidad del agua más la densidad de los sólidos obtenidos durante la perforación es suficiente para balancear la presión de la formación en las zonas superficiales.

*“La presión de la formación es la presión que tienen los fluidos en el espacio poroso y puede estimarse usando los gradientes de la formación. La misma se calcula mediante la siguiente ecuación:*

---

<sup>4</sup> Dowell. Op. cit.; pag. 1,2.

<sup>5</sup> Dowell. Op. cit.; pag. 2.

<sup>6</sup> Ibidem. Pag. 2

$$PF: \text{Gradiente de formación (psi/pies)} * \text{Profundidad (pies)} \quad (1)$$

Siendo los gradientes normales 0.433 psi / pie para el agua dulce y 0.465 psi/pie para el agua salada.”

La presión hidrostática es la presión debida a la columna de fluido. La ecuación para el cálculo de presión hidrostática esta definida por<sup>7</sup>:

$$PH= 0.052 \text{ (psi / pies-lpg)} * \text{profundidad (pies)} * \text{densidad lodo (lpg)} \quad (2)$$

Cuando la tubería se baja dentro del hoyo, desplaza el fluido de perforación, haciendo que este suba a través del espacio anular entre la sarta de perforación y las paredes del hoyo. El control de las presiones anormales requiere que se agregue al lodo, material de alta gravedad específica; como barita, para aumentar la presión hidrostática.

- **Mantener en suspensión los ripios cuando se interrumpe la circulación:**

Las propiedades tixotrópicas del lodo, deben permitir mantener en suspensión las partículas sólidas cuando se interrumpe la circulación, para luego transportarlas a la superficie cuando esta se reinicia.

- **Soportar parte del peso de la sarta de perforación o del revestidor:**

“Con el incremento de las profundidades perforadas el peso que soporta el equipo de perforación, se hace cada vez mayor. El peso de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento en el lodo, es igual a su peso en el aire multiplicado por el factor de flotación.”<sup>8</sup>

$$PESO TUBERIA= PESO TUBERIA \text{ (aire)} * \text{Factor de flotación} \quad (3)$$

Un aumento de la densidad del lodo conduce a una reducción del peso total que el equipo de superficie debe soportar.

- **Prevenir daños a la formación:**

Además de mantener estabilizada la pared del hoyo para prevenir derrumbes; debe elegirse un sistema de lodo que asegure una alteración mínima sobre las formaciones que se van

---

<sup>7</sup> Dowell. Op. cit.; pag. 2.

<sup>8</sup> Dowell. Op. cit.; pag. 3.

perforando, no sólo para evitar derrumbes u otros problemas, sino también para minimizar el daño de la formación de producción que puede llevar a costosos tratamientos de reparación o pérdidas de producción.

- **Facilitar la máxima obtención de información sobre las formaciones perforadas:**

La calidad del lodo debe permitir la obtención de toda la información necesaria para valorar la capacidad productiva de petróleo de las formaciones perforadas. Las características físico-químicas del lodo deben ser tales que puedan asegurar la información geológica deseada, la obtención de mejores registros y la toma de núcleos.

## **2.2.2 PROPIEDADES**

Las propiedades físico-químicas básicas que debe tener y controlarse en un fluido son:

### **2.2.2.1 Densidad del lodo**

Esta propiedad permite que todos los fluidos contenidos dentro del hoyo se queden en la formación durante la perforación. La densidad máxima del fluido está determinada por el gradiente de presión. *“Para evitar el paso de fluido desde la formación al hoyo, el lodo debe poseer una presión mayor a la presión de los poros. La presión de poro generalmente excede a la presión ejercida por el peso de la tierra sobre la profundidad evaluada, a esta se la conoce como presión de sobrecarga.”*<sup>9</sup>

La capacidad de sostener y transportar los ripios hacia la superficie en un lodo aumenta con la densidad.

### **2.2.2.2 Reología**

Su definición está relacionada con la deformación de los materiales incluido el flujo. Dentro de este contexto, las propiedades de flujo y la viscosidad, son las expresiones más comúnmente utilizadas para describir las cualidades y características de un lodo de perforación. La viscosidad es la resistencia que presentan los fluidos a su movimiento en función de algunos factores como: volumen de sólidos en el lodo; volumen de fluido disperso; número de partículas por unidad de volumen; viscosidad de la fase líquida continua; forma y tamaño de las partículas sólidas; atracción o repulsión entre las partículas sólidas, entre sólido y fase líquida.

---

<sup>9</sup> Dowell. Op. cit.; pag. 4.

- Viscosidad plástica:

Es la resistencia a fluir causada por la fricción mecánica. Esta fricción se produce entre sólidos contenidos en el lodo, entre sólidos y el líquido que los contiene, y debido al esfuerzo cortante del propio líquido. Es decir, que entre mayor es el porcentaje de sólidos en el sistema mayor será la viscosidad plástica.<sup>10</sup>

El control de la viscosidad plástica se puede realizar mediante diluciones o por mecanismos de control de sólidos, los cuales deberán estar en buenas condiciones. Las lecturas de viscosidad plástica se las realiza en un viscosímetro, en el cual el valor se determina mediante la resta de la lectura a 600 r.p.m. menos la lectura a 300 r.p.m.

- Resistencia a la gelatinización:

Es una propiedad reológica que representa la fuerza de floculación bajo condiciones estáticas. Esta fuerza es una medida del esfuerzo de ruptura o resistencia del gel formado después de un periodo de reposo. Si la tasa de gelatinización que se refiere al tiempo necesario para formar el gel es larga, se dice que la tasa es baja; y es alta cuando el tiempo de formación de gel es corto; a esta propiedad se la denomina tixotrópica. Esta propiedad es muy importante conocerla ya que de esta dependerá la buena circulación del lodo en el hoyo.

- Punto cedente (yield point):

Es la resistencia a fluir debida a las fuerzas de atracción electroquímicas entre las partículas sólidas. Estas fuerzas son el resultado de cargas positivas y negativas cerca de las superficies de las partículas. Este punto se debe a contaminantes presentes en el lodo como carbonatos, calcio y sólidos arcillosos de formación; el cual a valores altos puede causar la floculación del lodo, el cual debe controlarse con dispersantes.<sup>11</sup>

### **2.2.2.3 Contenido de sólidos**

Un fluido de perforación se caracteriza por tener sólidos deseables como las arcillas y la barita, e indeseables como ripios y arena; los cuales deben ser eliminados del sistema para que no se presenten problemas.

Es de vital importancia mantener un porcentaje de sólidos específicos en el fluido de perforación dentro de valores correspondientes al peso del lodo. Aunque es imposible

---

<sup>10</sup> QMAX México S.A., Manual de fluidos. Pag. 50.

<sup>11</sup> QMAX México S.A. Op.cit. pag. 51

remover totalmente los sólidos perforados, es posible controlar y remover estos a una cantidad que permita una perforación adecuada y eficiente.

### 2.2.3 SELECCIÓN DE FLUIDO

A partir de los avances tecnológicos que se han venido suscitando en las actividades petroleras, se han desarrollado varias formulas para los fluidos de perforación que cubran las expectativas para diferentes condiciones de superficie del suelo. Es muy indispensable una buena selección del fluido a utilizar para un pozo en específico, porque de esto depende evitar problemas que se puedan presentar así como la disminución de costos.

El fluido a ser empleado en cada perforación dependerá de varios aspectos que serán definidos respecto a las características del pozo. Entre los aspectos más relevantes están:

- Tipo de pozo: Dependerá si el tipo de pozo es exploratorio, de desarrollo o de terminación.
- Tipo de formación que se perforará: Existencia de lutitas hinchables, anhidritas, o de sal.
- Temperaturas elevadas: El efecto de las altas temperaturas reduce la efectividad de los materiales químicos, aumentando el filtrado y creando gelatinosidades altas en fluidos densificados y se agrava el problema si se tiene un contenido de sólidos perforados altos.<sup>12</sup>
- Perdidas de circulación: Cuando los fluidos no tienen los parámetros necesarios para evitar la pérdida de circulación, se pueden presentar problemas y costos más elevados.
- Agua para preparación de fluido: Es indispensable determinar la composición del agua para conocer el contenido de cloruros, calcio y magnesio; así como, la disponibilidad porque de esto depende evitar procesos de dilución deficientes.
- Selección del equipo de perforación: El equipo seleccionado deberá poseer los accesorios adecuados para eliminar los sólidos del sistema y una potencia mínima requerida para circular el fluido adecuadamente.
- Naturaleza de las formaciones productoras: Debe considerarse que el fluido seleccionado cause el mínimo daño a la formación.

---

<sup>12</sup> QMAX México S.A., Manual de fluidos. Pag. 82.

- Programa de tuberías de revestimiento: Los requerimientos de fluidos deberán basarse principalmente en los cambios de litología, presiones de formación, o sobre formaciones problemáticas según el programa de TR.
- Disponibilidad de materiales: El tipo de fluido dependerá de la disponibilidad de los materiales, ya que podría darse el caso de que la perforación se desarrolle en zonas alejadas donde los recursos sean escasos.

## 2.2.4 COMPOSICION DE LOS FLUIDOS EN BASE AGUA

### 2.2.4.1 Fases

La composición del fluido de perforación posee diferencias en cada una de las operaciones de perforación, pero en general son similares. La mayoría de los lodos de perforación son a base de agua y están constituidos básicamente por las siguientes fases:

- Fase líquida

Constituye el elemento de mayor proporción que mantendrá en suspensión los diferentes aditivos que forman las otras fases. Esta fase puede ser agua (dulce o salada), o una emulsión (agua-petróleo).

- Fase coloidal o reactiva

Esta fase está constituida por la arcilla, que será el elemento primario utilizado para darle cuerpo al fluido. Se utilizan dos tipos de arcilla dependiendo de la salinidad del agua.

*“Si el lodo es de agua dulce se utiliza montmorillonita, y para lodos elaborados con agua salada se utiliza una arcilla especial, cuyo mineral principal es la atapulgita.”<sup>13</sup>*

- Fase inerte

Esta fase está constituida por el material densificante (barita), el cual es sulfato de bario pulverizado de alta gravedad específica. Los sólidos no deseables como la arena y sólidos de perforación, también se ubican dentro de esta fase.

---

<sup>13</sup> Dowell. Op. cit.; pag. 4.

- Fase química

Está constituida por iones y sustancias en solución tales como dispersantes, emulsificantes, sólidos disueltos, reductores de filtrado, y otras sustancias químicas, que controlan el comportamiento de las arcillas y se encargan de mantener el fluido según lo requerido.<sup>14</sup>

#### 2.2.4.2 Composición

La perforación de un pozo generalmente se realiza en tres diferentes secciones o formaciones y para ello se realiza tres fluidos diferentes compuestos como son:

- Sección Superficial:

Descripción del fluido: La base de este fluido es bentonita prehidratada para dar una adecuada reología y a su vez ayudar con una buena limpieza del hueco, y polímeros de celulosa polianiónicos para mantener un filtrado bajo.

**Tabla 5.** Propiedades del fluido

<b>PROPIEDAD</b>	<b>RANGO</b>	<b>UNIDAD</b>
Densidad	9.0 – 10.0	lb/gl
Viscosidad	35 – 70	seg/qt
pH	8.0 – 9.0	
Viscosidad plástica (PV)	mínimo posible	cP
YP (yield point)	10 – 30	Lb/100 pie <sup>2</sup>
Arena	< 0.5	%
Sólidos	< 10	%

**Fuente:** Presentación Maxdrill. Qmax Ecuador S.A. 2007

- Sección Intermedia:

Descripción del fluido: Este sistema utiliza un producto en base amina como agente inhibidor de arcillas; es un agente orgánico, catiónico multivalente.

<sup>14</sup> Ibidem. Pag. 4

**Tabla 6.** Propiedades del fluido

<b>PROPIEDAD</b>	<b>RANGO</b>	<b>UNIDAD</b>
Densidad	9.0 – 10.0	lb/gl
Viscosidad	30 – 70	seg/qt
pH	9.0 – 9.5	
PV	mínimo posible	cP
YP	15 – 28	lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado	6.0 – 8.0	ml/ 30 min.
Arena	< 0.5	%
MBT	< 25	lb/bbl
Sólidos	< 10	%

**Fuente:** Presentación Maxdrill. Qmax Ecuador S.A. 2007

- Sección Principal o de Producción:

Descripción del fluido: Esta etapa incluye un fluido compuesto de goma xántica, polímeros de celulosa polianiónicos y carbonato de calcio; fluido libre de sólidos y no dañino, diseñado para perforar zonas productivas.

**Tabla 7.** Propiedades del fluido

<b>PROPIEDAD</b>	<b>RANGO</b>	<b>UNIDAD</b>
Densidad	9.0 – 10.0	lb/gl
Viscosidad	35 – 70	seg/qt
Ph	9.0 – 9.5	
PV	mínimo posible	Cp
YP	15 – 30	lb/ 100 pie <sup>2</sup>
Filtrado	6 – 7	ml/ 30 min.
Arena	< 0.5	%
Sólidos	< 10	%
Calcio	< 250	lb/bbl

**Fuente:** Presentación Maxdrill. Qmax Ecuador S.A. 2007

### 2.2.4.3 Productos utilizados en el fluido

- Bentonita:  
Arcilla plástica coloidal, constituida por montmorillonita sódica, que se usa generalmente como viscosificador y agente reductor de filtrado en fluidos base agua sea esta dulce o salada.
- Barita:  
Es un mineral que químicamente es el sulfato de bario  $BaSO_4$ , el cual incrementa el peso del lodo para controlar las lutitas.
- Sosa cáustica o hidróxido de sodio:  
Se utiliza para el control de pH 9-9.5 para evitar proliferación de bacterias que degradan polímeros rápidamente.
- Goma Xántica (XCD):  
Es un polisacárido de alto peso molecular que actúa como coloide hidrófilo espesando, suspendiendo y estabilizando emulsiones y otros sistemas basados en agua. Su función principal es la de aumentar la viscosidad del lodo.<sup>15</sup>
- Producto en base amina:  
Producto orgánico de baja conductividad utilizado como agente inhibidor de arcillas.
- Poliacrilamida parcialmente hidrolizada (PHPA):  
Son polímeros de alto peso molecular, aniónicos y sintéticos, diseñados para inhibir mediante encapsulación las arcillas problemáticas, propensas a hidratarse; reduciendo la estabilidad del hoyo.
- Almidones:  
Utilizados como agentes reductores de filtrado.
- Antiespumantes:  
Agente que detiene la formación de espuma cuando el lodo está en fase de mezclado o durante su movimiento.
- Bactericidas:  
Se utilizan para evitar la proliferación de bacterias termófilas 20rcillositas de polímeros.
- Lubricantes:

---

<sup>15</sup> [www.quiminet.com.mx](http://www.quiminet.com.mx). Uso y aplicaciones de productos químicos en industrias.

Se utilizan en el mantenimiento de broca y tubería porque están sometidos a altas fricción.

- Agente puenteante:

Producto utilizado en el taponamiento de los poros de las paredes del pozo para evitar derrumbes.

- Carbonato de calcio:

Aumenta peso y actúa como agente puenteante (Segunda y tercera sección).

- Polímeros de celulosa polianiónicos (PAC):

Son utilizados para elevar el punto de cedencia y resistencia de geles, así como para la reducción de pérdida de filtrado.<sup>16</sup>

- Cáscara de nuez:

Producto orgánico usado en la remoción de arcillas cuando estas se pegan a la tubería o la broca.

## 2.3 SÓLIDOS

### 2.3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Los cortes que son arrastrados desde los fondos del hoyo continuamente perforados son característicos de diferentes formaciones como (ver anexo):

Sección Superficial: **Mioceno y Plioceno** (0´ - 4800´): Formaciones indiferenciadas conglomerados, arenisca, limo, arcilla. **Oligoceno:** Carbón, Orteguaza Shale (4900´ - 5200´), Orteguaza Sandstone (5200´ - 5700´).

Sección Intermedia: **Oligoceno – Eoceno:** Tiyuyacu conglomerado superior (5700` - 6300`);

Tiyuyacu conglomerado inferior (6300` - 7200`); **Paleoceno:** Tena (7200´ - 7800´); Basal Tena (7800´ - 8000´).

Sección Principal: **Cretáceo:** Napo (8000´ - 9500´); Hollín (9500´ - 10000´)

- Cretácico-Paleógeno

---

<sup>16</sup> Dowell Schlumberger Drilling Fluids. Fundamentos teóricos.

Las formaciones cretáceas constituyen las de mayor importancia en cuanto a su interés económico y tiempo de perforación; desde este punto es de donde se da la producción actual.

- Formaciones Hollín-Napo

Las más importantes son la *Arenisca "T"* compuesta de areniscas cuarzosas de grano muy fino a fino de color claro, y con presencia de hidrocarburo; la *Arenisca "U" Inferior* conformada por areniscas cuarzosas de color claro, y con alta presencia de hidrocarburos; la *Arenisca "M2"*, compuesta de arenas cuarzosas de grano fino claro, friable, y tiene una considerable presencia de hidrocarburos; y la *Arenisca "M1"*, compuesta por cuarzo, de grano fino y friable; con poca presencia de hidrocarburos.<sup>17</sup>

- Terciario

Conformado por tres formaciones principales: Tiyuyacu, donde se puede encontrar un conglomerado con clastos de *chert* (sílice) y cuarzo lechoso, areniscas de grano grueso, 22rcillositas rojas suaves a moderadamente duras no calcáreas y limolitas de color rojo ladrillo moderadamente calcáreas; la formación Orteguzza, constituida de una serie marina somera conformada por areniscas grises, lutitas, 22rcillositas y limolitas de colores rojizos; y la formación Chalcana, conformada por arcillas y limolitas de color rojizo con espesores de hasta 1300 pies.<sup>18</sup>

- Cuaternario Indiferenciado

Compuesto de capas rojas continentales con espesores que oscilan entre 3200 y 3600 pies correspondientes a las formaciones Arajuno y Chambira.

### 2.3.2 CONTROL DE SÓLIDOS

Durante la perforación de un pozo, hay que retirar los sólidos del sistema para continuar reutilizando los fluidos; caso contrario se incrementa el peso del lodo llegando al extremo de parar la perforación.

El tipo y cantidad de sólidos contenidos en el sistema de lodo son de vital importancia y determinan en la mayoría de los casos la densidad del lodo, viscosidad, resistencia al

---

<sup>17</sup> Jaillard Etienne. Síntesis estratigráfica de la Cuenca Oriente del Ecuador. 1997.

<sup>18</sup> Tania Castro. Evaluación geológica de la arenisca "M2" en la cuenca oriente ecuatoriana. Pag. 24

filtrado, y demás propiedades físico-químicas; a la vez, que pueden representar costos altos en el caso de que se presenten problemas por la no remoción de los sólidos del sistema.

### 2.3.2.1 Separación de Sólidos

Los sólidos contenidos en el sistema pueden ser separados en base a dos categorías:

- a) *Alta gravedad o high gravity solids (HGS)*. Poseen una gravedad específica igual a 4.2
- b) *Baja gravedad o low gravity solids (LGS)* = Poseen una gravedad específica igual a 2.6

- **HGS:** Sólidos comerciales como la barita o hematina, los cuales se usan para llegar hasta densidades altas mayores de 10 lb/gal.
- **LGS:** Sólidos perforados, arcillas y otros aditivos entran dentro de esta categoría, y son usados para alcanzar densidades de hasta 10 lb/gal.<sup>19</sup>

### 2.3.2.2 Métodos de eliminación de sólidos

Hay dos opciones para mantener el porcentaje total de sólidos en el fluido:

- *Dilución:* Incrementa el volumen, con el respectivo incremento en los costos de fluidos y disposición final de los desechos.
- *Equipos de control de sólidos:* Disminuye el monto de dilución, dependiendo de la selección de los equipos; permite manejar el lodo con mayor estabilidad, y hace menos daño a las bombas por que el fluido es siempre limpio; y a la vez permite disponer los desechos (ripios) en una forma mas seca, facilitando la disposición final del mismo.<sup>20</sup>

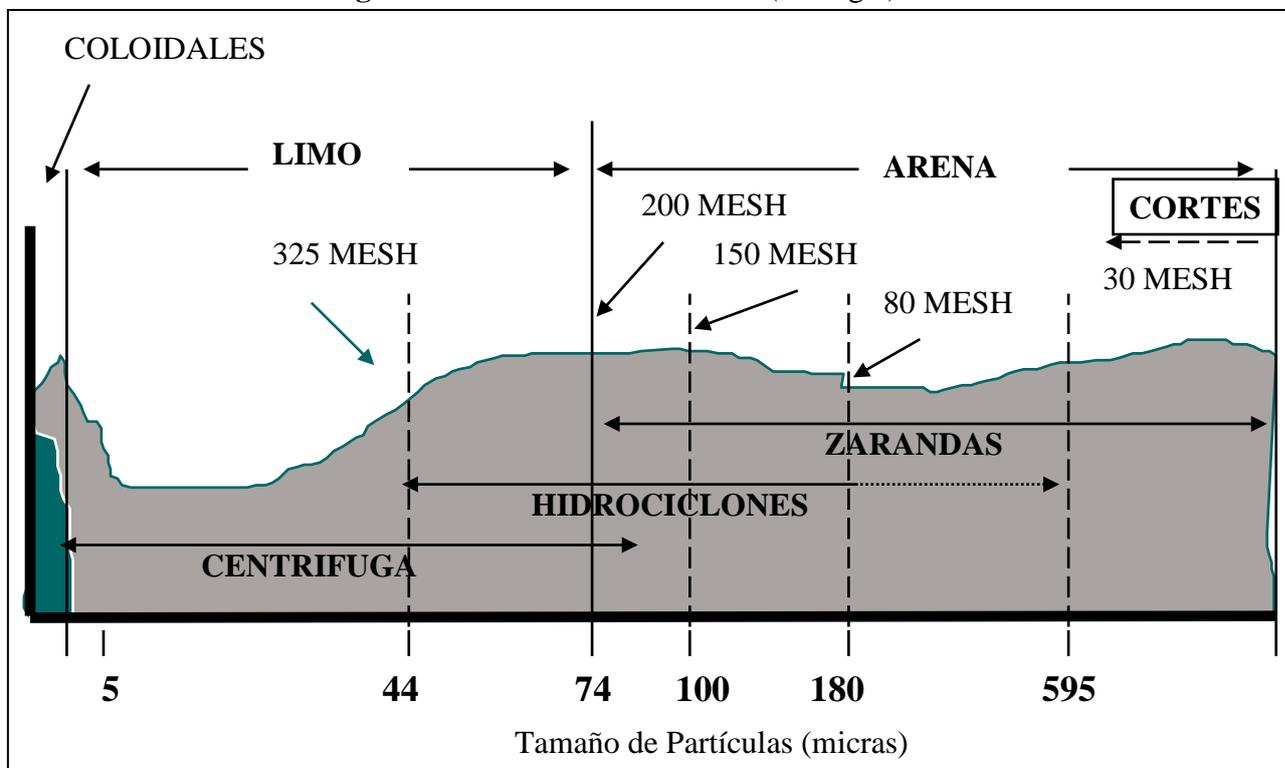
A continuación se muestra una gráfica, la cual involucra la distribución de los sólidos y los equipos capaces de remover los diferentes tamaños de partícula, como son las centrifugas, hidrociclones y zarandas, las cuales separan las partículas de las más pequeñas a las más grandes respectivamente:

---

<sup>19</sup> Cristina Ballesteros. Evaluación de diferentes sistemas para tratamiento de residuos de perforación.

<sup>20</sup> Teoría de control de sólidos. Qmax S.A.

**Figura 2.** Distribución de sólidos (9 lbs/gal)



**Fuente:** Presentación Teoría de Control de Sólidos. Brandt Company. 2005

El área disponible de retención de sólidos en cada equipo depende del diámetro del alambre; es así entonces que para un tamaño de partícula más grande se necesita una malla que sea de menor MESH como se muestra en la grafica anterior. Por ejemplo, en la grafica anterior, para separar limo se necesita un MESH de 325, es decir 325 huecos en una pulgada lineal donde el tamaño del hueco es mucho más pequeño para este que para una arena o un corte, el cual necesita de una malla de 30 MESH para ser separado, porque su tamaño es mucho más grande que el limo.

### 2.3.2.3 Tamaño de Partícula

Al finalizar la perforación, el lodo es capaz de presentar tamaños diferentes de partículas, que se deben eliminar del lodo mediante un control de sólidos, para que no se presente ninguna complicación en el sistema. A continuación se presenta una tabla donde se

muestra el tipo de partícula, su tamaño y que productos utilizados en la perforación son característicos de cada uno de estas categorías:<sup>21</sup>

**Tabla 8.** Tamaño de partículas

<b>CATEGORIA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>EJEMPLO</b>
COLOIDE (COLOIDAL)	< 2 $\mu$	Bentonita, arcillas, sólidos ultrafinos.
LIMO (SILT)	2-74 $\mu$	Barita, limo y sólidos finos.
ARENA (SAND)	74-2.000 $\mu$	Arena y sólidos.
<b><u>RIPIO</u></b> <b><u>(GRAVEL)</u></b>	> 2.000 $\mu$	Sólidos, ripios, carbón.

Fuente : Solids Control Management. Qmax S.A.

## 2.4 **RIPIOS Y CORTES DE PERFORACIÓN**

### 2.4.1 CONTEXTO

Los ripios de perforación son producto de los procesos de perforación de pozos petroleros; y que se forman de todos los sólidos contenidos en el fluido de perforación agregados para mantener las propiedades físico-químicas del fluido, más todos los cortes o partículas que se desprenden de la formación al perforar y que son arrastrados a la superficie por la fuerza ejercida del lodo en el hueco.<sup>22</sup>

A lo largo de la sarta de perforación se hace circular una gran variedad de fluidos, los cuales regresan a la superficie durante la perforación. A pesar de que el propósito principal es hacer regresar los cortes de perforación a la superficie, los lodos de perforación son útiles para otras funciones: como enfriar y lubricar la broca, controlar la presión, reducir la fricción, etc. Cuando el lodo de perforación vuelve a la superficie, se retiran los cortes y se realiza un pre-tratamiento y recirculación del lodo hacia la parte inferior del pozo. Luego de que termina la perforación, se debe eliminar el lodo y los desechos acumulados en el sumidero de perforación como agua, bentonita (arcilla) y cortes de perforación. Sin

<sup>21</sup> Solids Control Management. Qmax S.A.

<sup>22</sup> www.minem.gob.pe. Guía ambiental para la disposición de desechos de perforación.

embargo, durante la perforación se utilizan muchos productos químicos adicionales para controlar las propiedades de los fluidos.

Los fluidos de perforación y los aditivos químicos también reaccionan con los constituyentes de las formaciones en las que se está realizando la perforación. Debido a que no es posible predecir todos los diversos elementos presentes en los cortes de perforación, no es posible saber exactamente las reacciones químicas que se producirán. Los fluidos del sumidero y el lodo resultantes por lo tanto forman una mezcla muy compleja.

Resulta necesario contar con mayor cantidad de análisis para evaluar los constituyentes de los fluidos, los sólidos y su toxicidad antes de su disposición. Es por ello que las pruebas de toxicidad son bastante necesarias. Una vez que se ha reunido y evaluado esta información, se procederá a un método de disposición al ambiente pero previamente tratado y neutralizado de manera efectiva los fluidos antes de seleccionar las opciones de disposición.

Muchos programas de lodos son simplemente bentonitas o sistemas de bentonita y productos químicos que no contienen productos químicos altamente tóxicos. Estos dos tipos de fluidos de perforación son los de más fácil tratamiento químico.

Existen algunas prácticas de disposición recomendadas para un ripio de perforación convencional base agua, como:

- Se recomienda la disposición de fluidos al ambiente si el volumen total es menor de 1000 m<sup>3</sup>.
- El desecho cumple con los criterios de prueba y son muy pocas las probabilidades de migración.
- El volumen es un volumen máximo de desecho que puede ser realmente confinado en la zona y no desbordarse en el terreno circundante o que tiene la posibilidad de ingresar y contaminar alguna fuente de agua dulce.
- Los criterios de prueba para estos volúmenes, en los que se contendrán los fluidos, podrían modificarse siempre y cuando los fluidos no sean tóxicos.

Los ripios de acuerdo a su disposición final pueden denominarse residuos de perforación en el caso de que puedan ser recuperados, reciclados, reutilizados, o reducidos; o desechos

de perforación, en el caso que no se pueda realizar ninguna de las actividades antes descritas.

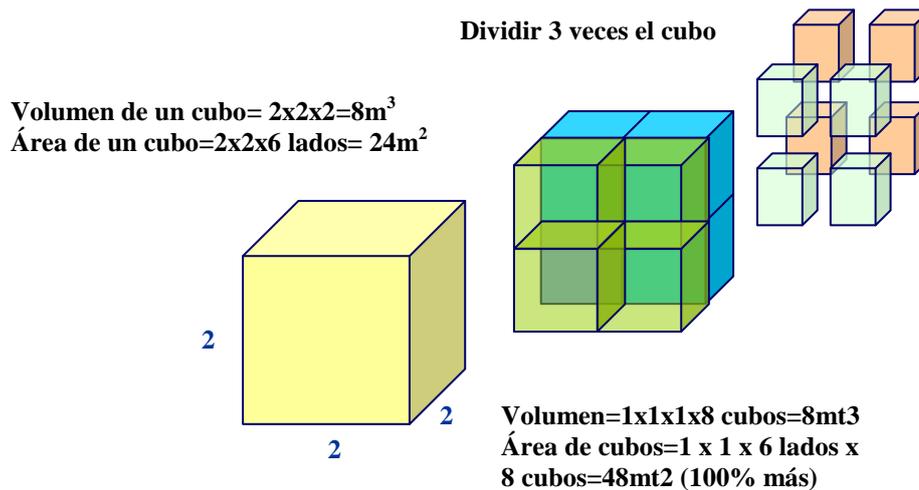
#### 2.4.2 ÁREA SUPERFICIAL

Durante el transcurso del viaje de un corte desde su desprendimiento hasta su llegada a la superficie, este pierde sus características físico-químicas, porque sufre una reducción en su tamaño debido a la abrasión entre las partículas y la trituración que ejerce la tubería de perforación sobre las paredes del pozo. La abrasión del material sólido está determinada por la forma de la partícula y su dureza. Para ser destructivas, las partículas tienen que tener una forma y dureza mayor que el material que van a hacer contacto. Generalmente el cuerpo principal de la partícula se vuelve menos abrasivo en comparación con las esquinas o lados de la misma partícula porque estos lugares están en mayor contacto con otras partículas, por ejemplo, las partículas de barita, las cuales no son tan fuertes como la mayoría de cortes, son generalmente menos abrasivas que algunas partículas muy similares a esta como la hematita; es por este motivo que el área superficial se incrementa en forma exponencial, debido a la continua degradación de las partículas formando más partículas. Entre más pequeña es la partícula, más área superficial por unidad de volumen habrá, por lo que requiere más fluido para cubrirlos. Por consiguiente entre más área de superficie, la viscosidad es mayor; debido a que existen partículas coloidales menores a 2 micras que muy difícilmente son extraíbles y que están presentes debido a la recirculación del fluido de perforación, por lo que la absorción de líquido por partículas crece, aumentando la viscosidad del lodo y la dilución. (Figura 1.)<sup>23</sup>

**Figura 3.** Volumen vs. Área superficial de un sólido



<sup>23</sup> Teoría de control de sólidos. Brandt S.A.



**Fuente:** Presentación teoría de control de sólidos. Brandt Company. 2005

### 2.4.3 VOLÚMENES

Para cada pozo se define una cierta cantidad de fluido dependiendo del volumen del hueco; pero esto no quiere decir que el volumen del fluido será igual al volumen del hueco, ya que se debe manejar mucha más cantidad de fluido para cubrir todas las expectativas del pozo. De igual manera, el volumen total de ripios producidos no es igual al volumen del hueco, pero si se hace referencia del volumen del hueco para calcular la cantidad de fluido a producir y de ripio producido. En esencia, el volumen del fluido y del ripio es aproximadamente de 3 a 30 y de 1.5 a 3 veces el volumen del hueco respectivamente. El volumen de un pozo cualquiera, se puede obtener teóricamente mediante ecuaciones expresada en barriles, y que se detalla a continuación:

$$\left\langle \left\{ \left[ \frac{[(radio, (pu\lg)^2) \times (0.0519)] \pi}{42} \right] \right\} \{profundidad(ft.)\} \right\rangle = x [bbls.] \quad (4)$$

$$\left\langle \pi \times \left\{ \frac{(Diámetro \cdot del \cdot hoyo \times 0.0254)}{2} \right\}^2 \left[ \left( \frac{(prof. final - prof. inicial) \times 0.3048}{0.1589} \right) \right] \right\rangle = x [bbls.] \quad (5)$$

Ejemplo:

Se tiene previsto perforar el pozo Yanaquincha Oeste A6, pero se necesita saber algunos datos desconocidos para los procesos de perforación. A partir de los datos detallados a continuación, calcular:

- a) Volumen total del hoyo.
- b) Volumen total de fluido que se necesita elaborar.
- c) Volumen total de ripios producto de la perforación.

**Cuadro 1.** Ejemplo de profundidad de un pozo respecto a su diámetro

Sección	Diámetro del hoyo (pulg.)	Profundidad (pies.)
1	16	5947
2	12 1/4	10207
3	8 1/2	10784

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

$$\text{Primera sección: } \left\langle \left\{ \left[ \frac{(8'')^2 \times (0.0519)}{42} \right] \pi \right\} \{5947 \text{ ft.}\} \right\rangle = 1478 \text{ bbls.}$$

$$\text{Segunda sección: } \left\langle \left\{ \left[ \frac{(6.125'')^2 \times (0.0519)}{42} \right] \pi \right\} \{10207 - 5947 \text{ ft.}\} \right\rangle = 621 \text{ bbls.}$$

$$\text{Tercera sección: } \left\langle \left\{ \left[ \frac{(4.25'')^2 \times (0.0519)}{42} \right] \pi \right\} \{10784 - 10207 \text{ ft.}\} \right\rangle = 41 \text{ bbls.}$$

a) Volumen total del hoyo=1478+621+41=2140 bbls.

b) Volumen total fluido= 3 veces V. hoyo

$$V_{\text{fluido}} = (2140 \times 3) = 6420 \text{ bbls.}$$

Para el cálculo del volumen real se debe tomar en cuenta ciertos factores adicionales (sólidos) que se producen además de lo especificado en el volumen del hoyo. Dentro de este contexto, los parámetros más representativos que deben ser tomados en cuenta y aportan una estimación real de cuantos sólidos se producen son el washout y la tendencia de los sólidos a expandirse. El *washout* se presenta a lo largo de la perforación, es decir se da en el momento que la broca perfora la formación. Generalmente, la broca junto con la sarta de perforación no están fijas, por lo contrario tiende hacer un movimiento oscilatorio

en la formación, es decir, nunca perforan totalmente vertical, sino que siempre se mueve para un lado y otro, por lo que se perfora un diámetro mayor a lo estimado; dando como resultado la generación de mayor cantidad de sólidos. Otro factor es la tendencia de los sólidos a expandirse, es decir, que por la disgregación de los sólidos, estos tienden a absorber mayor cantidad de fluido, como ya se explico anteriormente, por lo que su volumen se verá incrementado; por ende, mayor cantidad de sólidos habrá.

Con todo lo expresado anteriormente, se debe expresar un factor en porcentaje que se suma al volumen total del hoyo, para determinar el volumen real de cortes producidos:

Washout factor= 20%

Factor de expansión= 1%

c) Volumen total de ripios y cortes:

Primera sección:  $1478bbls. + 20\% + 1\% = 1791bbls.$

Segunda sección:  $621bbls. + 20\% + 1\% = 753bbls.$

Tercera sección:  $41bbls. + 20\% + 1\% = 50bbls.$

*Volumen total de cortes producidos:  $1791+753+50=2594$  bbls.*

De todos los procesos de perforación, también se producen volúmenes extras de líquido y sólidos por procesos de cementación, completación, píldoras (aditivos al lodo), lavados de equipos de control de sólidos; por lo que es recomendable que para hacer las piscinas de disposición, sea considerados los volúmenes extras.

#### **2.4.4 PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN**

Durante la perforación, el lodo es contaminado por la incorporación de diferentes clases de sólidos tanto los provenientes del hoyo (cortes) como los coloidales generados por la degradación de los aditivos añadidos; sin embargo, la contaminación más alta descrita anteriormente la representan los sólidos que han sido perforados durante el proceso. Las compañías encargadas de los fluidos de perforación y del control de sólidos han ido desarrollando nuevas técnicas más limpias y con mejor tecnología que anteriores, incentivando el uso de productos biodegradables en sus fluidos con el objetivo de minimizar los impactos ambientales, problemas y costos operacionales.

Entre los parámetros más importantes que determinan la contaminación de los rípios de perforación están:

#### **2.4.4.1 Conductividad eléctrica**

La capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí se la conoce como conductividad eléctrica; esta varía con la temperatura. En el caso de los fluidos de perforación, se solía añadir cloruro de potasio a este como agente inhibidor de arcillas, el cual no constituía un producto ambientalmente amigable porque generaba conductividades eléctricas muy altas, se habla de valores por encima de los 10.000 uS/cm, constituyéndose en un foco de contaminación en el rípio de perforación. Para dar solución a dicho problema, se utiliza actualmente un producto biodegradable en el ambiente; un agente base amina, orgánico, catiónico multivalente; del cual la conductividad eléctrica es baja con respecto al cloruro de potasio, siendo los valores menores a 4.000 uS/cm, por lo que en la mayoría de países cumple con los límites permisibles en la ley.

#### **2.4.4.2 Potencial de hidrógeno (pH)**

Los ácidos o bases pueden alterar el pH pudiendo causar problemas a plantas y animales si es que estos son dispuestos al ambiente sin previo tratamiento. El desecho inapropiado de efluentes líquidos o sólidos con valores de pH fuera de parámetros puede alterar significativamente cualquier ecosistema; por lo que un control y neutralización a valores más recomendables de pH podría ser una solución previa a su disposición.

#### **2.4.4.3 Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)**

Los TPH, son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono; no están muy presentes dentro de las propiedades de un fluido base agua, primeramente por que su líquido principal es agua y no aceite; segundo porque en los procesos de perforación raramente el fluido se mezcla con hidrocarburo; es por este motivo que regularmente los rípios generados no presentan valores altos de TPH's, lo que hace de este rípio un residuo no peligroso.

#### **2.4.4.4 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)**

Los HAP's, son sustancias liposolubles que se forman como productos de la combustión del petróleo y residuos del procesamiento del carbón; siendo un grupo de hidrocarburos que consisten en moléculas que contienen dos o más anillos aromáticos de 6 carbonos fusionados.

#### 2.4.4.5 Metales pesados

Los metales pesados presentes en algunos de los aditivos químicos y en algunas de las formaciones tienden a reaccionar con los sólidos y arcillas del sistema; los cuales son muy difícilmente biodegradables por lo que pueden bioacumularse pudiendo pasar a la cadena alimenticia pudiendo causar serios problemas. Entre los metales pesados más representativos y que pudieran causar un impacto significativo son el bario, cromo, cadmio, y vanadio; del cual el bario es el que más atención prestaría por el alto uso de barita en el fluido de perforación como producto densificante. Estos metales son difícilmente movibles en el ambiente por lo que se desconoce un tratamiento efectivo que permita su eliminación. Existen tratamientos para eliminación de metales pesados que representan costos muy altos por lo que se realizan tratamientos únicamente para neutralizar e inhibir su toxicidad y efecto en el ambiente.

*Los metales pesados son aquellos cuyo número atómico es mayor de 20 o su peso específico es mayor de 5 g/cm<sup>3</sup>, excluyendo los metales alcalinos y alcalinotérreos.<sup>24</sup>*

Se puede considerar varios grupos de metales pesados, siendo el primer grupo el Fe, Mn, Cu, Zn y Mo, conocido como elementos esenciales; el grupo formado por Ni, Cr, V y Ti, por encontrarlos en bajas concentraciones en condiciones normales en suelos, plantas y organismos vivos se les denomina metales traza; y por último los elementos innecesarios para los seres vivos llamados metales no esenciales o tóxicos. Si es que cualquiera de los metales sobrepasa una determinada concentración límite se engloban en la categoría de metales tóxicos.

##### o Origen

Los metales pesados se encuentran en las rocas o material originario del suelo de forma natural; ciertos de estos pueden ser liberados al medio ambiente por distintos factores, entre los que destacan los procesos edafogénicos de formación de los suelos y las diversas acciones contaminantes, tanto naturales como antropogénicas. Dentro de las fuentes naturales de contaminación están la meteorización del material originario, erupciones volcánicas, entre otras.

Dentro de la contaminación antropogénica se pueden identificar al menos cinco grandes grupos de entrada de metales pesados al suelo<sup>25</sup>:

---

<sup>24</sup> M. Juárez, J. Sánchez. Química del suelo y medio ambiente. Pag. 678

<sup>25</sup> M. Juárez, J. Sánchez. Química del suelo y medio ambiente. Pag. 679

- Minería y fundiciones: Lavado de minerales (As, Cd, Hg, Pb); Transporte de menas (As, Cd, Hg, Pb); Industria del acero y hierro (Cu, Ni, Pb).
- Industria: Plástico (Co, Cr, Cd, Hg); Textiles (Zn, Al, Ti, Sn); Refinerías (Pb, Ni, Cr).
- Deposition atmosférica: Fuentes urbanas e industriales (Cd, Cu, Pb, Sn, Hg, V); Gases de automóviles (Mo, Pb, V); Combustión de combustibles fósiles (As, Pb, Sb, Se, U, V, Zn, Cd).
- Agricultura: Fertilizantes (As, Cd, Mn, U, V y Zn); Estiercol (As, Mn y Cu); Encalado (As, Pb); Plaguicidas (Cu, Mn, As, Pb y Zn).
- Aplicación de desechos al suelo: *Lodos* (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn); Lixiviados (As, Cd, Fe, Pb); Escombreras (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn), etc...

Se ha comparado las cantidades de metales pesados emitidas a la atmosfera de forma natural y antropogénica y se encuentra que por actividad humana se emiten 15 veces más de Cd, 100 veces más de Pb, y 13 veces más de Cu (Campbell et al., 1983).

o Dinámica y movilidad de metales en suelos

Los elementos se pueden encontrar disponibles en el suelo en distintas formas físico-químicas, a pesar de que los vegetales solo absorben la fracción del elemento que se encuentra disponible, es decir la soluble y la intercambiable. Los metales pesados en el suelo pueden seguir cuatro vías diferentes:

1. Pueden quedar retenidos en el suelo de forma:

*Solubles:* Como iones libres, o en forma de complejos solubles unidos a ligandos inorgánicos ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) y orgánicos.

*Intercambiables:* Retenidos por el complejo de cambio de los suelos, y pueden ser desplazados isotópicamente por otros cationes presentes en la disolución del suelo.

*Adsorbidos a las superficies inorgánicas y orgánicas de los suelos,* los cuales son liberados más lentamente que los cambiables, y no son fácilmente reemplazables por cationes mayoritarios<sup>26</sup>.

2. Pueden ser absorbidos por las plantas y así pasar a las cadenas tróficas.

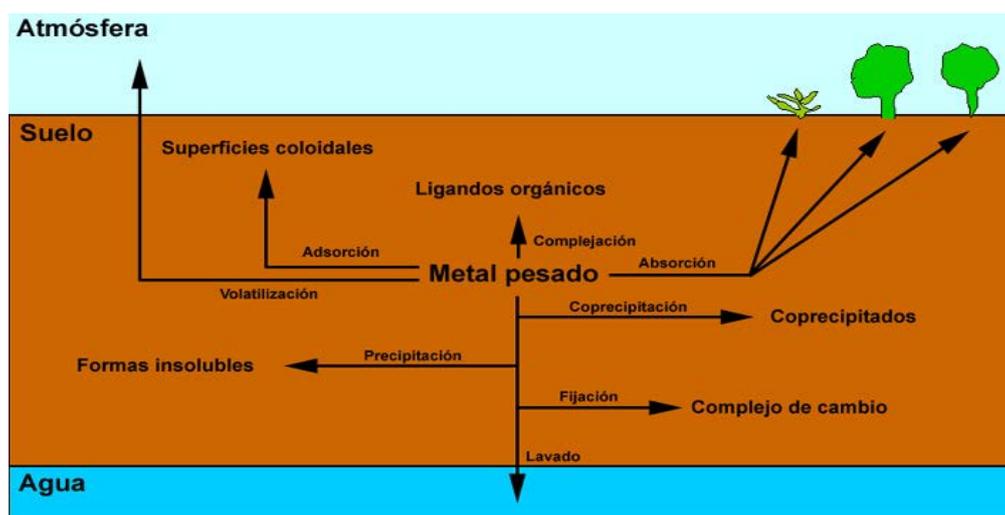
3. Pueden pasar a la atmosfera por volatilización.

4. Pueden lixiviarse y pasar a las aguas superficiales o subterráneas.

---

<sup>26</sup> M. Juarez, J. Sanchez. Química del suelo y medio ambiente. Pag. 690

**Figura 4.** Dinámica y movimiento de metales en el suelo



**Fuente:** Gestión y conservación del suelo. Universidad EX.

La **materia orgánica** presente en el suelo bien puede retener los metales debido a la fijación de estos en las superficies orgánicas de los suelos, o bien puede favorecer su movilidad y disponibilidad para la planta por la acomplejación de metales en la disolución del suelo por ligandos orgánicos disueltos.

Los estudios realizados por *Jin et al., (1996)* indican que los ácidos húmicos en los suelos presentan cinéticas de adsorción similares para los diferentes metales. Las cantidades adsorbidas sigue la secuencia:  $\text{Cr(III)} > \text{Pb(II)} > \text{Cu(II)} > \text{Ag(I)} > \text{Cd(II)} = \text{Co(II)} = \text{Li(I)}$ . Lo que muestra que la presencia de  $\text{Cr(III)}$  disminuye la adsorción del resto de los metales. En cambio, la materia orgánica soluble parece incrementar la movilidad en suelo de cadmio, níquel y zinc; siendo su secuencia  $\text{Cd} < \text{Zn} = \text{Ni} < \text{Co}$  (Anderson y Scarf, 1983).

De todos los factores ambientales, es el pH el que más afecta a la disponibilidad de metales en el suelo. De forma general, la absorción de metales por parte de cualquier cultivo se incrementa con la disminución del pH, por lo que valores de pH muy bajos, producen efectos negativos en el crecimiento vegetal.

En la tabla siguiente se muestra la movilidad de distintos elementos a diferentes pH:

**Tabla 9.** Movilidad de elementos en el suelo dependiendo del pH (Felipó, 1992)

Rango de pH en suelo	Prácticamente inmóviles	Moderadamente móviles	Fácilmente móviles
<5.5	$\text{Mn}^{4+}$	$\text{Pb}^{2+}$ ; $\text{Cr}^{2,6+}$ ; $\text{Ni}^{2,3+}$ ; $\text{V}^{5+}$ ; $\text{As}^{3+}$ ; $\text{Se}^{3+}$ ; $\text{Co}^{2,3+}$	Sr; Ba; Cu; Zn; Cd; Hg; $\text{S}^{6+}$

5.5 - 7.5	Pb	Sr; Ba; Cu; Cd; Cr <sup>3+</sup> ; Ni <sup>2,3+</sup> ; Co <sup>2,3+</sup> ; Mo <sup>4+</sup>	Zn; V <sup>5+</sup> ; As <sup>5+</sup> ; S <sup>6+</sup>
7.5-9.5	Pb, Ba, Co	Zn; Ag; Sr; Cu; Cd	Mo <sup>6+</sup> ; V <sup>5+</sup> ; As <sup>5+</sup> ; S <sup>6+</sup>

**Fuente:** M. Juárez; J. Sánchez. Química del Suelo y Medio Ambiente. 2006. Pág. 692

En general los metales en los suelos ácidos están más solubles, es decir estarán más disponibles que en los suelos neutros y alcalinos; es por ello que un pH elevado supondrá una forma de prevenir el paso de metales pesados a las plantas. Por otro lado, cuanto mayor es el contenido de óxidos de hierro, manganeso, materia orgánica y carbonato cálcico, menos es la disponibilidad de metales, ya que son mayores los fenómenos de adsorción, precipitación en suelo. El cadmio es el elemento más fácilmente absorbible por las plantas, ya que es bastante inmóvil en el suelo por ser fuertemente retenido por la materia orgánica.

o Formas y contenidos

- Cadmio:

El cadmio rara vez se suele encontrar solo en la naturaleza, sino en asociación con minerales de Zn principalmente, o cercano a este. La concentración promedio de Cd en la corteza terrestre está estimada en 0.15 ug./g. de suelo (Weast, 1969); pero es la actividad humana la que más impacto ocasiona al medio por adición de cadmio. En general, la adsorción de Cd por los suelos se ve modificada por la presencia de ciertos iones en el medio, así cationes divalentes como: Ca<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> y Pb<sup>2+</sup>, disminuyen la adsorción de Cd en suelos debido a la competencia entre el cadmio y estos iones por los lugares de adsorción en los suelos; sin embargo, es el fósforo el que ayuda a la retención del ión en suelos.

- Cromo:

La principal fuente de contaminación de cromo (Cr) para el medio ambiente es indudablemente de carácter industrial como efluentes y desechos de fábricas. El Cr en la corteza terrestre es más abundante que algunos elementos esenciales como el Co, Cu, Zn, Mo, Ni, Pb, y Cd; en la cual se estima un valor de 37 ppm de Cr.

Los tres factores que interfieren en el comportamiento del Cr en el suelo en función de su estado de oxidación (+3, +6) son: pH, potencial redox y materia orgánica. El

comportamiento oxidativo del Cr es de gran importancia en el entorno ambiental debido a la toxicidad que cada estado posee para el desarrollo vegetal, manifestándose el Cr<sup>6+</sup> mucho más tóxico que el Cr<sup>3+</sup>.<sup>27</sup>

- Bario:

El bario es un elemento comúnmente conocido en la naturaleza, el cual en la corteza terrestre se encuentra en rangos de 400 a 1200 ppm. En los procesos geoquímicos, el bario está asociado al potasio debido a su similaridad iónica. El bario no es un elemento móvil en el suelo porque es fácilmente precipitado en presencia de sulfatos y carbonatos, y fuertemente adsorbido por arcillas.<sup>28</sup>

- Vanadio:

Este elemento está generalmente en la corteza terrestre en un rango de 100 a 250 ppm. El promedio global de la cantidad de vanadio en suelos ha sido calculado en variaciones de 18 ppm a 115 ppm, siendo Cannon et al., quién reportó una concentración promedio de aproximadamente 100 ppm. A pesar de que no hay existencia o reportes de contaminación en suelos por vanadio, los procesos industriales son los que incrementan la depositación de residuos ricos en vanadio en el suelo.<sup>29</sup>

o Consecuencias ecológicas de la contaminación del suelo por metales pesados

La toxicidad relativa de los metales pesados para los organismos del suelo disminuye en el siguiente orden: Hg>Cd>Cu>Zn>Pb (Ross y Kaye, 1994). Los metales pesados se clasifican en tres categorías según su toxicidad sobre los organismos del suelo:

- Toxicidad extrema: Hg
- Toxicidad media: Cd
- Toxicidad media-baja: Cu, Ni y Zn.

Está demostrado que los organismos del suelo son capaces de acumular metales en sus tejidos, incluso concentraciones altas; como por ejemplo, las cochinillas, que son capaces de acumular Cd a concentraciones 50 veces mayores que las del suelo (Martin y

---

<sup>27</sup> M. Juárez, J. Sánchez. Química del suelo y medio ambiente. Pag. 695-698

<sup>28</sup> Alina Kabata-Pendias, Henryk Pendias. Trace Elements in Soils. Pag. 118-120.

<sup>29</sup> Alina Kabata-Pendias, Henryk Pendias. Trace Elements in Soils. Pag. 211,212.

Coughtrey, 1982). En estudios similares proponen la utilización de lombrices como monitores de la biodisponibilidad de metales en el suelo.

En referencia a los efectos del sistema suelo-planta-animal, se debe saber que a niveles moderados de metales, los suelos actúan como un sistema depurados, por lo que puede no haber efectos relevantes en el comportamiento de los suelos. La transferencia de metales del suelo a la planta depende de la clase de planta, del metal considerado y de las condiciones propias del suelo.

- Valoración del impacto de la contaminación del suelo por metales pesados

La valoración de la contaminación por metales pesados mediante análisis químico puede hacerse mediante tres formas:

- Determinando el grado de contaminación del suelo o planta
- Por determinación de su extensión geográfica
- Por sus efectos en la salud animal y humana

Para determinar su contaminación en el suelo se debe recurrir a distintos métodos, tales como:

Cantidad total de contaminante en el suelo: La carga contaminante del suelo requiere el análisis de las concentraciones totales de un cierto elemento y su comparación con las de un suelo de referencia apropiado.

Toma de metales por las plantas mediante análisis del suelo: Este método supone el empleo de extractantes químicos mediante relaciones estadísticas entre la composición vegetal y la cantidad extraída.

Análisis de plantas: Proporciona una información de la disponibilidad de metales pesados en los suelos así como la carga contaminantes en las plantas, siendo de importancia el conocimiento de la utilidad de la planta para su destino final. La toma de metales puede variar entre los diferentes genotipos vegetales y las cantidades presentes varían con la parte de la planta analizada. En este caso la concentración y adsorción del metal por la planta se verá influenciado directamente por el estado de madurez de la planta, luz, temperatura,

humedad del suelo, profundidad de las raíces y las interacciones del metal con los nutrientes<sup>30</sup>.

o Efecto de la forma química del metal pesado en su toma por las plantas

Según estudios realizados se ha demostrado que la forma química en la que se presentan los metales en el suelo puede afectar a su absorción y acumulación por las plantas y a su transferencia del suelo a la planta. Con el objeto de caracterizar la transferencia suelo-planta, se define un coeficiente de transferencia  $C_T$  como se muestra a continuación<sup>31</sup>:

$$C_T = \text{Concentración planta} / \text{Concentración suelo} \quad (6)$$

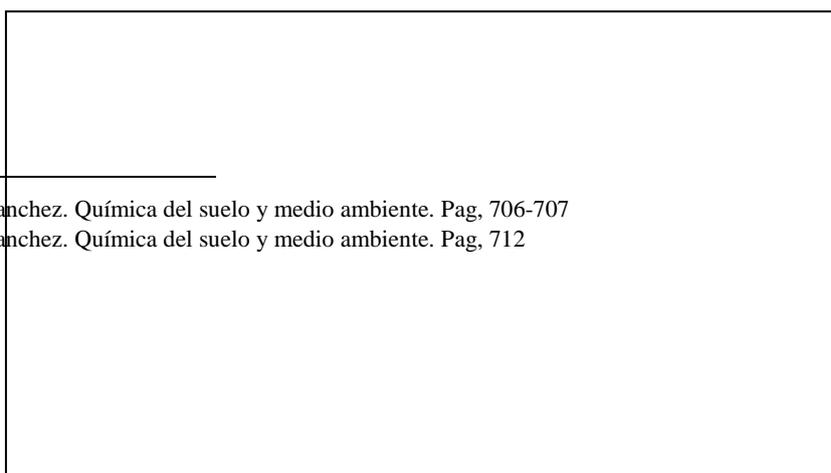
o Absorción de metales pesados por las plantas

En general las plantas absorben las especies de metales que están disueltos en las soluciones del suelo sea estos iónicos, quelatos o complejos. Las plantas pueden absorber los elementos traza del suelo debido a:

- Solo puede absorber los metales presentes a bajas concentraciones en las soluciones
- El grado de absorción depende de la cantidad de hidrógenos presentes.
- La intensidad de absorción varía de acuerdo a la especie de planta y crecimiento
- Los procesos de absorción están limitados por factores como la temperatura, aireación, y potencial redox.
- Las micorrizas juegan un importante rol en la toma entre el medio y la raíz.

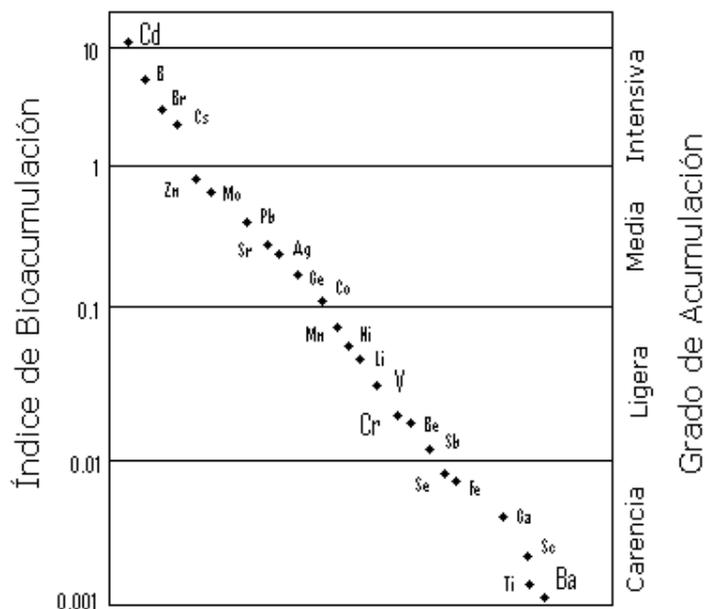
La absorción de cada elemento por las plantas varía entre cada uno de ellos. Algunos elementos como el Cd, B o Cs son fácilmente absorbidos por la planta, mientras que el Ba o Ti están exentos de esta toma por la planta (Figure 6).

**Figura 5.** Bioacumulación de metales pesados en su absorción por las plantas



<sup>30</sup> M. Juárez, J. Sánchez. Química del suelo y medio ambiente. Pag, 706-707

<sup>31</sup> M. Juárez, J. Sánchez. Química del suelo y medio ambiente. Pag, 712



Fuente: Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants.

- Cadmio

A pesar de que el cadmio es considerado como un elemento no esencial, este es fácilmente absorbido por raíces y hojas. En muchos de los casos existe una estrecha relación lineal entre el cadmio en planta y en el suelo, pero existen algunos factores que pueden afectar la absorción de cadmio por la planta. En general es el pH el que controla la toma de cadmio, siendo a pH entre 4.5 y 5.5 donde la movilidad del elemento es mayor. Sin embargo, existen resultados contradictorios que muestran que cuando el Cd es más móvil en suelos alcalinos debido a la formación de complejos o quelatos, la absorción de Cd por la planta es independiente del pH.

La toxicidad del cadmio es resultado de interacciones entre el elemento y diferentes aspectos críticos de la fisiología celular de la planta. Este elemento interfiere con el metabolismo de las plantas. *El cadmio no interfiere en las reacciones fotoquímicas de la planta, pero interfiere con los diferentes etapas del ciclo de Calvin, resultando en el impedimento de la fijación de CO<sub>2</sub> fotosintético (Weigel, 1985). Este elemento tóxico también evita que otros elementos traza sean absorbidos con facilidad por las raíces (Lindberg and Wingstrand, 1985)<sup>32</sup>.*

- Cromo

La baja concentración de Cr que puede ser tomada generalmente por la planta de las fracciones solubles del suelo está relacionada al mecanismo de absorción de las raíces.

<sup>32</sup> Frank Katterman. Environmental injury to plants. Pag. 236,237.

Según Pendas y Kabata-Pendas, la raíz no es capaz de estimular la reducción de  $\text{Cr}^{3+}$  a  $\text{Cr}^{2+}$ , la cual es la clave para la absorción por la planta. Los mecanismos de absorción y translocación de Cr en la planta parece ser igual a la del Fe, la cual refleja ratios estables de Cr/Fe en plantas.

- Vanadio

La absorción de vanadio del suelo es fácilmente realizada por las raíces y algunas especies presentan una gran habilidad a la acumulación del metal, especialmente briofitas (algas) y hongos. La absorción de V del suelo por algunas especies muestra que dicha toma se da más fácilmente a pH neutros y alcalinos, es decir, su absorción es dependiente del pH. Estudios recientes indican que en plantas grandes existen procesos de biotransformación de vanadio de  $\text{VO}^{3-}$  a  $\text{VO}^{2+}$  durante su absorción. Esta reducción del V porque el metal es reconocido como un inhibidor de varias enzimas. Además, no se ha encontrado casos que indiquen una toxicidad del V por condiciones naturales; sin embargo, bajo influencia humana, concentraciones de V mayores a 0.5 ppm en nutrientes, y 140 ppm en suelo podrían ser tóxicos para las plantas.<sup>33</sup>

- Bario

A pesar de que el Ba es común en las plantas, aparentemente no es un componente esencial para las plantas. Según Juárez y Sánchez, en suelos ácidos el Ba es fácilmente absorbido por las plantas, pero existen pocos estudios que indican concentraciones tóxicas de Ba en plantas. Los pocos estudios conocidos en la materia muestran que a concentraciones de 220 ppm de Ba se dice que su toxicidad es moderada. Una posible toxicidad de Ba en plantas puede reducirse mediante la adición de Ca, Mg, y S al medio (suelo). Se ha demostrado que varias especies de plantas son sensibles al bario y su toxicidad es mayor solo si hay una alta deficiencia de calcio.

o Interacciones

Dado que los metales pesados constituyen un constante riesgo para la estabilidad del sistema suelo-planta, existen métodos por los cuales se puede reemplazar o disminuir su concentración en el conjunto. Por medio de interacciones con nutrientes añadidos al medio se puede controlar dicha toxicidad, porque los nutrientes esenciales en el suelo tienen la habilidad de inhibir o estimular la absorción de metales en plantas.

---

<sup>33</sup> Alina Kabata-Pendas, Henryk Pendas. Trace Elements in Soils and Plants. Pag. 212, 214.

Las interacciones pueden ser antagonistas (inhibición) o sinérgicas (estimulación). Antagonismo ocurre cuando la combinación de los efectos de dos o más elementos es menor a la suma de sus efectos independientes; y sinergismo ocurre cuando la combinación de dos o más elementos produce mayor efecto que sus efectos independientes.

**Tabla 10.** Interacciones entre nutrientes y metales

<b>elemento esencial</b>	<b>elemento antagonista</b>
Ca	Al, B, Ba, Cd, Co, Cr, F, Fe
Mg	Al, Ba, Cr, Mn, Zn
P	Al, Cd, Cr, Mo
K	Al, Hg, Cd, Cr, F
S	As, Ba, Fe, Zn

**Fuente:** Kabata-Pendias, A. y Pendias, H. Trace Elements in the biological environment.

- Toxicidad y tolerancia de metales pesados en las plantas

Toxicidad:

La toxicidad en las plantas está representada por la concentración del contaminante en la planta y el medio, y de los efectos que estos podrían ocasionar a la planta. En la tabla 8 se muestra los niveles críticos de los metales problema en los tejidos de las hojas de las plantas (Macnicol y Beckett, 1985).

**Tabla 11.** Niveles críticos de metales en hojas (ppm)

<b>Metal</b>	<b>Rango normal</b>	<b>Rango en exceso o tóxico</b>	<b>Valor tolerante en cultivos</b>
Ba	-	100	-
Cd	0.05 - 0.2	5 - 30	3
Cr	0.1 - 0.5	5 - 30	2
V	0.2 - 1.5	5 - 10	-

**Fuente:** Kabata-Pendias, A. y Pendias, H. Trace Elements in the

biological environment.

Los efectos que los metales puedan presentar en las plantas dependen de la cantidad de contaminante acumulado en los tejidos. Los principales efectos que los metales (Cd, Cr, Ba, V) en los diferentes cultivos son la clorosis, hojas color café y en forma de rizo, y bajo crecimiento de las hojas y raíces.

Tolerancia:

Los desordenes metabólicos en las plantas no son solo efecto de una deficiencia de micronutrientes sino también de los excesos de ellos. En general, las plantas son mucho más resistentes a un incremento de la concentración que a la deficiencia de los elementos.

Las familias de plantas que presentan mayor tolerancia a la absorción y acumulación de los metales pesados son la *Caryophyllaceae*, *Cruciferae*, *Cyperaceae*, *Gramineae*, *Leguminosae*, y *Chenopodiaceae*.

#### **2.4.5 MACRO Y MICRONUTRIENTES**

El suelo es el medio natural para el desarrollo de las plantas y fuente principal de 15 macro y microelementos; los cuales todos constituyen elementos esenciales, pero previo a lograr realizar una revegetación, se debe mejorar el estado del suelo especialmente en cuanto a los elementos deficientes y excesivos, pues la planta depende específicamente de todos los elementos para su desarrollo. Según Kabata-Pendias en su obra “Trace Elements in Soils”, los desordenes metabólicos en las plantas no son solo efecto de una deficiencia de micronutrientes del suelo sino también del exceso de estos; por tanto se tendrá que reacondicionar el ripio con el objeto de que los nutrientes estén en los niveles óptimos aceptables para su desarrollo y vegetación.

Las principales beneficiadas de la disponibilidad de los elementos en el suelo, es la planta; la cual obtiene todos los minerales y materia orgánica del suelo para su desarrollo y ciclo de vida. La planta se alimenta principalmente de macronutrientes divididos en primarios y secundarios, y en micronutrientes.

Los macronutrientes primarios como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), son los más abundantes en el suelo y que la planta los necesita en grandes cantidades para su desarrollo. Los macronutrientes secundarios como calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), son imprescindibles en la alimentación vegetal, pero generalmente se encuentran escasos en el suelo, por lo que son añadidos mediante abonos o fertilizantes. Los microelementos como boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn); que en su conjunto son tomados en pocas cantidades por la planta, pero que son igual de importantes para su ciclo de vida.<sup>34</sup>

#### **2.4.6 TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE CORTES Y RIPIOS DE PERFORACIÓN**

Los rипios y cortes de perforación a menudo presentan diferentes maneras de tratamiento y disposición dependiendo de sus características químicas y su toxicidad. Generalmente los residuos de los procesos de perforación son considerados como no peligrosos para fluidos base agua y peligrosos para fluidos base aceite, por lo que para su tratamiento se debe tener muy en cuenta este factor.

Existen diferentes tipos de tratamientos y disposición de los sólidos y líquidos producto de la perforación entre los cuales se presentan:

- Landfarming (Fluidos base agua y aceite).
- Solidificación y estabilización (fluidos sintéticos).
- Incineración (fluidos sintéticos).
- Disposición en piscinas y celdas (Fluidos base agua).

##### **2.4.6.1 Landfarming**

El landfarming es una tecnología de biorremediación que requiere la aplicación de técnicas para mejorar los suelos contaminados y su disposición sobre una superficie impermeable. El proceso también conocido como tratamiento en tierra, consiste en la aplicación controlada de residuos sobre el suelo, lográndose una degradación biológica y química de los mismos.<sup>35</sup>

Características del área de recepción de rипios:

---

<sup>34</sup> <http://www.mirat.net/fertilizantes/nutricion/alimentplanta.htm>

<sup>35</sup> DESLER Ingeniería y servicios ambientales. Residuos industriales.- [www.desleronline.com](http://www.desleronline.com)

- Se adecua varias camas dependiendo del volumen generado en una perforación, los cuales constan de paredes con arcilla compactada con el fin de reducir la permeabilidad del suelo bajo el lecho del tratamiento. El piso deberá ser cubierto con una capa de bentonita y las paredes revestidas de concreto, y colocar impermeabilizante pero se corre el riesgo de que la maquinaria dañe la geomembrana. El volumen a tratar deberá ser de más o menos 1000 m<sup>3</sup> distribuido en varias camas.
- El área deberá estar en un sitio destinado para el efecto (centros de acopio) con una gran extensión para albergar volúmenes de ripio de más de 2000 m<sup>3</sup>, ya que la disponibilidad de espacio es muy limitada en las mismas locaciones de perforación. Además estos sitios deberán ser de fácil acceso para facilitar la entrada y salida de la maquinaria con el material.
- El área deberá presentar las características adecuadas de infraestructura para garantizar el buen manejo del material así como el control de los lixiviados y aguas lluvias.

#### **2.4.6.2 Solidificación-estabilización**

*Solidificación:* es un proceso en que ciertos materiales se adicionan al residuo para generar un sólido.

*Estabilización:* se refiere a un proceso por el que un residuo se convierte a una forma química más estable. El término comprende la solidificación y el uso de una reacción química para transformar el componente tóxico a nuevos componentes o sustancias no tóxicas.

La técnica de estabilización/solidificación de residuos tóxicos y peligrosos ha sido estudiada y aplicada extensivamente con el fin de reducir la movilidad al medio externo, insolubilizar o bien reducir la peligrosidad de los contaminantes utilizando diferentes agentes aglomerantes que brinden la posibilidad de encapsular físicamente y químicamente dentro de una matriz solidificada aquellos contaminantes que pueden ofrecer un riesgo para la salud.

### **2.4.6.3 Incineración**

Es un tratamiento térmico que tiene como fin la eliminación de los compuestos orgánicos presentes en el residuo peligroso. Consiste en el calentamiento del suelo excavado hasta que se produce la volatilización de los contaminantes y, después, su destrucción.<sup>36</sup>

Durante la eliminación de los compuestos orgánicos del suelo se reduce a su vez el volumen de residuos y se genera considerables concentraciones de CO<sub>2</sub> y vapor de agua, los cuales deben ser controlados periódicamente en los procesos.

Dicho tratamiento generalmente se aplica a residuos de perforación conteniendo productos sintéticos considerados peligrosos.

### **2.4.6.4 Disposición en piscinas**

Es el método usualmente usado en las empresas petroleras para la disposición de todos los ripios procedentes de la perforación. Previo al inicio de la perforación se construyen grandes huecos con una capacidad suficiente para albergar los residuos de la perforación teniendo en cuenta la alta pluviosidad del lugar, diámetro de las secciones del pozo y el tipo de perforación sea vertical, horizontal o direccional. Las piscinas generalmente se diseñan para volúmenes mayores a los 1000 m<sup>3</sup>; algunas de ellas se diseñan lo suficientemente grandes para disponer ripios de 2 o 3 pozos, por el hecho de generar el menor impacto posible al ambiente minimizando el espacio de exposición.

En las piscinas se coloca impermeabilizante (geomembrana) para impedir el contacto de los ripios con el suelo, mediante la infiltración de lixiviados.

Luego de la disposición y llenado de las piscinas con ripios, se tapa esta con el mismo suelo nativo que fue extraído en la construcción, para dejar por cerrada completamente la piscina.

Todas las piscinas deberán poseer una pendiente en el piso para lograr la acumulación y recolección de la porción líquida de la mezcla.

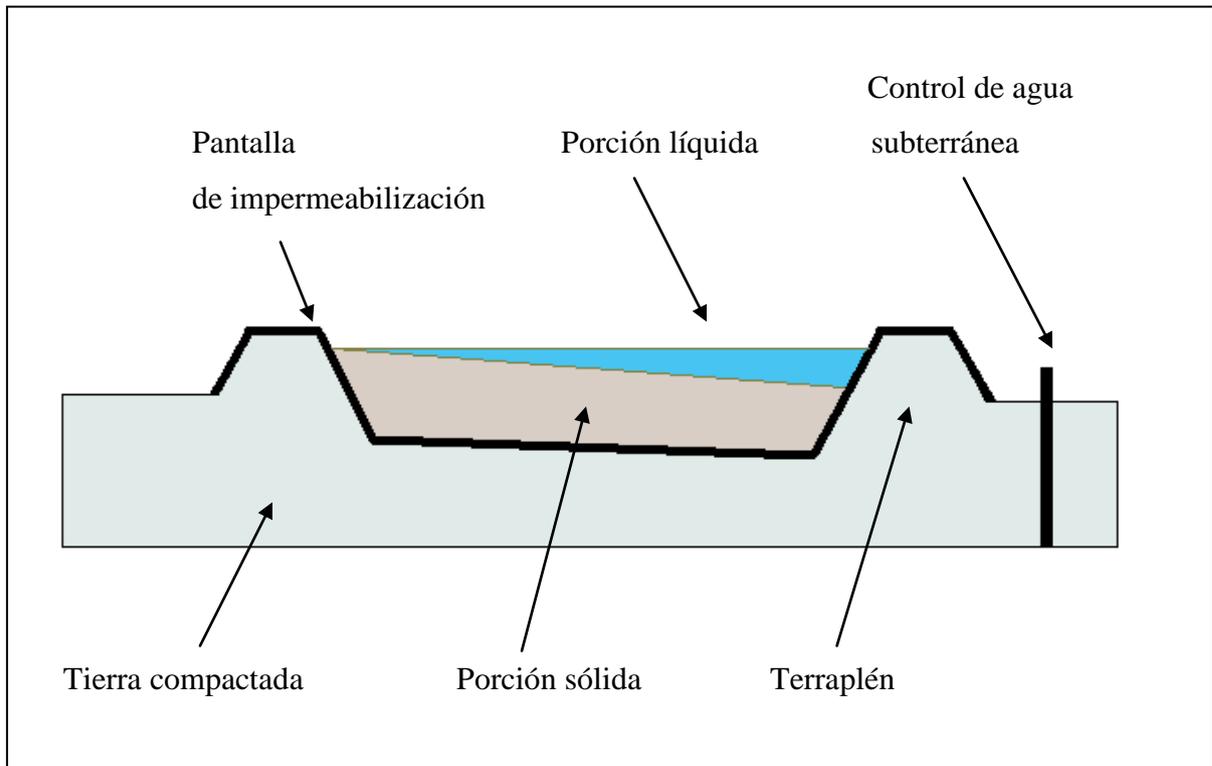
Es importante que se incluyan muros de contención (terraplén) en la construcción de las piscinas para evitar el desbordamiento de los contaminantes por medio del agua lluvia característica del oriente ecuatoriano. De esta manera se evita completamente cualquier riesgo de contaminación que se pueda provocar al ambiente. El grado de inclinación del

---

<sup>36</sup> Recuperación de suelos contaminados. [www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente).

terraplén deberá ser igual o inferior a los 45° para asegurar una mejor estabilidad (Figura 6).

**Figura 6.** Esquema de una piscina para disposición de ripios de perforación



**Fuente:** Realizado por David Aguirre. 2008

#### 2.4.7 MARCO LEGAL

El tratamiento y disposición de cualquier desecho industrial sea este de naturaleza física, química o biológica; de estado líquido o sólido ha representado a lo largo de los años un serio problema para la industria en general, debido a las consecuencias ambientales derivadas del desecho y los procesos de recuperación de los medios afectados. Con el objetivo de dar solución a los conflictos y controlar en gran medida los impactos generados de los procesos industriales, se han establecido normas técnicas legales dirigidas a la regularización de todas las etapas de los procesos, especialmente a la generación, manejo y disposición de cada uno de los desechos industriales para así promover técnicas y procesos más limpios con el menor impacto posible al ambiente.

Es de vital importancia conocer la ley vigente aplicable a los desechos generados en cada una de las operaciones hidrocarbúrficas, especialmente los encaminados al manejo y

disposición de los cortes y rípios de perforación generados en los procesos de perforación petrolera.

En el **Ecuador**, la legislación ambiental se encuentra bajo las normas fundamentales dictadas en la presente *Constitución Política de la República del Ecuador* vigente a partir de su última modificación en el año 1998, en la que se establecen varias normas que amparan los derechos y libertades de cada uno de los ciudadanos dentro de los límites del Estado; del cual según el **Capítulo 2 Art. 23 Numeral 6 de los derechos civiles** dice.- *“que todo ser humano tiene el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación. La ley establecerá las restricciones al ejercicio de determinados derechos y libertades, para proteger el medio ambiente”*.<sup>37</sup>

Que mediante la **Declaración de Río sobre medio ambiente y desarrollo agenda 21** promulgada en **Junio de 1992**, en la cual de conformidad con la ley se establecen las normas tendentes al logro de un desarrollo sostenible desde el punto de vista social, económico y ecológico que cada Estado deberá adoptar y promulgar en bien del ser humano y el Medio Ambiente;

La **ley de hidrocarburos, en su Art. 31, literales s) y t)**, obliga a Petroecuador, sus contratistas o asociados en exploración y explotación, refinación, transporte y comercialización de hidrocarburos, a ejecutar sus labores sin afectar negativamente a la organización económica y social de la población asentada en su área de acción, ni a los recursos naturales renovables y no renovables locales; así como conducir las operaciones petroleras de acuerdo a las leyes y reglamentos de protección del medio ambiente y de seguridad del país;

En el **Art. 12 de la ley de gestión ambiental**, publicado en el **registro oficial No. 245 del 30 de Julio de 1999**, se preceptúa que son obligaciones de las instituciones del Estado del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental en el ejercicio de sus atribuciones y en el ámbito de su competencia aplicar los principios establecidos en dicha Ley y ejecutar las acciones específicas del medio ambiente y de los recursos naturales así como el de regular

---

<sup>37</sup> Constitución de la República del Ecuador. 1998. Capítulo 2 Art. 23 Numeral 6 de los derechos civiles.

y promover la conservación del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales en armonía con el interés social;

La **ley de gestión ambiental**, en su **Art. 33**, se establecen entre otros instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones y evaluaciones de impacto ambiental;

Mediante **decreto ejecutivo No. 2982**, publicado en el **registro oficial No. 766 del 24 de agosto de 1995**, se expidió el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador; y que a partir de dichos antecedentes y tomando en cuenta que es de suma importancia dar mayor interés y control a las disposiciones reglamentarias que norman la gestión ambiental en las operaciones hidrocarburíferas, especialmente a dichos aspectos en los cuales están directamente involucrado el ser humano y aquellos aspectos técnicos que no han sido considerados anteriormente y en ejercicio del **Art. 171. Numeral 5 de la Constitución de la República**; expedir mediante **registro oficial No. 265 del 13 de febrero del 2001 y decreto ejecutivo No. 1215** el *Reglamento sustitutivo al reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOH 1215)*; el cual tiene por objeto regular las actividades hidrocarburíferas de exploración, desarrollo y producción, almacenamiento, transporte, industrialización y comercialización de petróleo y sus afines, susceptibles a producir impactos ambientales significativos, los cuales necesitarán de un estudio ambiental previo a su operación.

#### **2.4.7.1 Legislación ambiental aplicable a manejo y disposición de ripsos de perforación**

Según el Art. 28 del Capítulo III literal c) menciona que se prohíbe la disposición no controlada de cualquier tipo de desecho. Los sitios para la disposición de desechos, tales como, rellenos sanitarios y piscinas de disposición final contarán con un sistema adecuado de canales para el control de lixiviados, así como el tratamiento y monitoreo de estos previo a su descarga.<sup>38</sup>

Según el Art. 29 literal b).- todo efluente líquido, proveniente de las diferentes fases de operación que deba ser descargado al entorno, deberá cumplir antes de la descarga con los límites permisibles establecidos en la Tabla No. 4 del anexo 2 del actual reglamento.

---

<sup>38</sup> RAOH 1215. 2001. Artículo 28, Capítulo 3, Literal C.

Del Capítulo XI Art. 52 sobre normas operativas de perforación exploratoria y de avanzada, en su literal d.2 del tratamiento y disposición final de fluidos y ripios de perforación hace mención a que.-

- Todo sitio de perforación en tierra o costa afuera dispondrá de un sistema de tratamiento y disposición de los fluidos y sólidos que se produzcan durante la perforación.
- Durante la perforación y concluida ésta, los fluidos líquidos tratados a medida de lo posible deberán reciclarse y/o podrán disponerse conforme con lo dispuesto en el artículo 29 de este Reglamento. El monitoreo físico-químico de las descargas al ambiente se realizará diariamente y será documentado y reportado a la Subsecretaría de Protección Ambiental en informes mensuales.
- Durante y después de la perforación, los desechos sólidos, tanto lodos de decantación así como ripios de perforación tratados, podrán disponerse una vez que cumplan los parámetros y límites de la Tabla No. 7 del Anexo 2 de este Reglamento.

Los sujetos de control y sus operadoras y afines en la ejecución de sus operaciones; cumplirán con los límites permisibles de lixiviados para la disposición final de lodos y ripios de perforación en superficie, según lo estipulado en el **Capítulo XII. Art. 86. Anexo 2. Tabla No.7 sobre parámetros de límites permisibles** en la ley.

La Tabla No.7 del anexo 2 del reglamento menciona que, los lodos y ripios de perforación para su disposición final en superficie tienen que, cumplir con los parámetros y límites permisibles indicadas en la tabla, dependiendo si el sitio diseñado para la disposición final cuenta con impermeabilización en la base o simplemente va a estar en contacto directo con el ambiente. Cual sea el caso se realizarán muestreos periódicos de tal manera que se obtengan muestras compuestas representativas en función del volumen total dispuesto en el sitio.

Los sólidos producto de la floculación en el tratamiento de los fluidos de perforación se incluirán en el tratamiento y se dispondrán de igual manera que el resto de residuo.

Se realizarán seguimientos después de la disposición final mediante muestreos y análisis de obligatoriedad según el reglamento al plazo indicado a continuación:

1. Un análisis inicial a la disposición final del residuo.
2. A los siete días de la disposición final.
3. A los 90 días de la disposición final.

4. A los 180 días de la disposición final.

La tabla siguiente corresponde a los límites permisibles correspondientes que deberá tener el ripio de perforación para sitios con impermeabilización y sin ella.

**Tabla 12.** Límites permisibles para la disposición final de ripios de perforación

<b>a) SIN impermeabilización de la base</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible</b>
Potencial hidrógeno	pH	---	6<pH<9
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	4,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.003
Cadmio	Cd	mg/l	<0.05
Cromo total	Cr	mg/l	<1.0
Vanadio	V	mg/l	<0.2
Bario	Ba	mg/l	<5
<b>b) CON impermeabilización de la base</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Expresado en</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor límite permisible</b>
Potencial hidrógeno	pH	---	4<pH<12
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	8,000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	<50
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/l	<0.005
Cadmio	Cd	mg/l	<0.5
Cromo total	Cr	mg/l	<10.0
Vanadio	V	mg/l	<2
Bario	Ba	mg/l	<10

**Fuente:** RAOH 1215. 2001. Capítulo XII. Art. 86. Anexo 2. Tabla No.7

## **CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO**

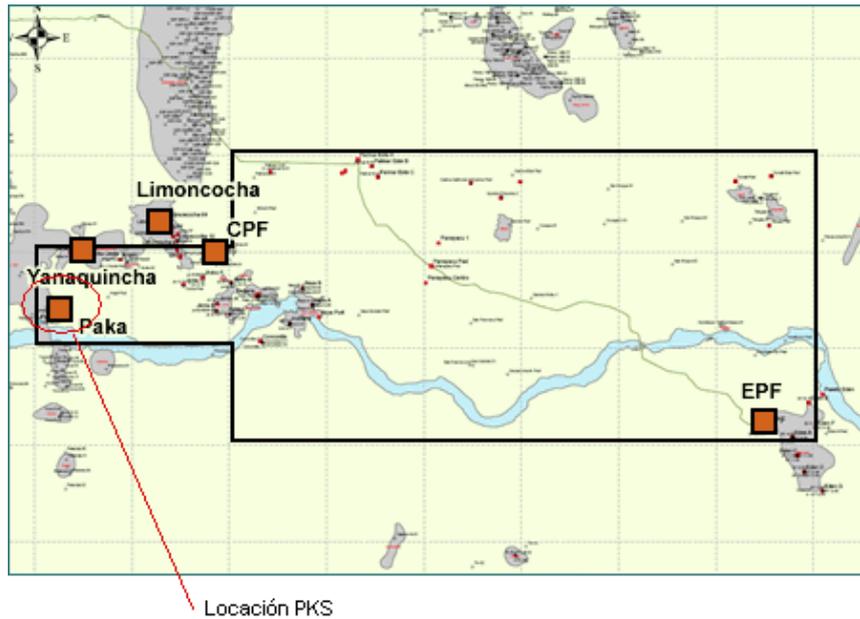
### **3.1 PROCEDIMIENTOS DE CAMPO Y LABORATORIO**

#### **3.1.1 LUGAR DE PROYECTO**

El proyecto se ubicó dentro de las instalaciones de la operadora UB-15, precisamente en la locación Paka Sur; zona en la cual ya se perforaron 5 pozos.

El siguiente mapa ilustra la ubicación exacta de Paka Sur dentro del bloque 15:

**Figura 7.** Mapa de ubicación del pozo Paka Sur



Fuente: [www.bloque15.com.ec](http://www.bloque15.com.ec)

El objetivo de la UB-15 para este año era la de perforar 3 pozos en la locación Paka Sur de los 44 pozos previstos en todo el bloque. El primero de los pozos a perforar fue el PKS-3 cuyas características, coordenadas y datos generales se reseñan a continuación:

**Pad:** Paka Sur

**Pozo:** PKS-3

**Operadora:** UB-15

**Taladro:** H&P 132

**Tipo de pozo:** Direccional

**Elevación del terreno:** 790.24 p.s.n.m.

**Coordenadas de Superficie:** Zona UTM 18 S

**Norte** 9'952.829,550 mN

**Este** 300.444,441 mE

**Latitud** 00° 25' 35,586" S

**Longitud** 76° 47' 34,942" W

**Profundidad vertical Objetivo:** T principal 9.717' TVD

**Profundidad Total:** 10.178' MD / 10.082' TVD

**Tiempo de perforación:** 28 días.

El pozo PKS-3 fue el tercer pozo perforado desde la plataforma PAKA SUR, es un pozo de desarrollo para recuperar reservas remanentes del reservorio MAIN T, U inferior y la formación Hollín, de aproximadamente 1.7 MMBP.

**Tabla 13.** Programa de Fluidos

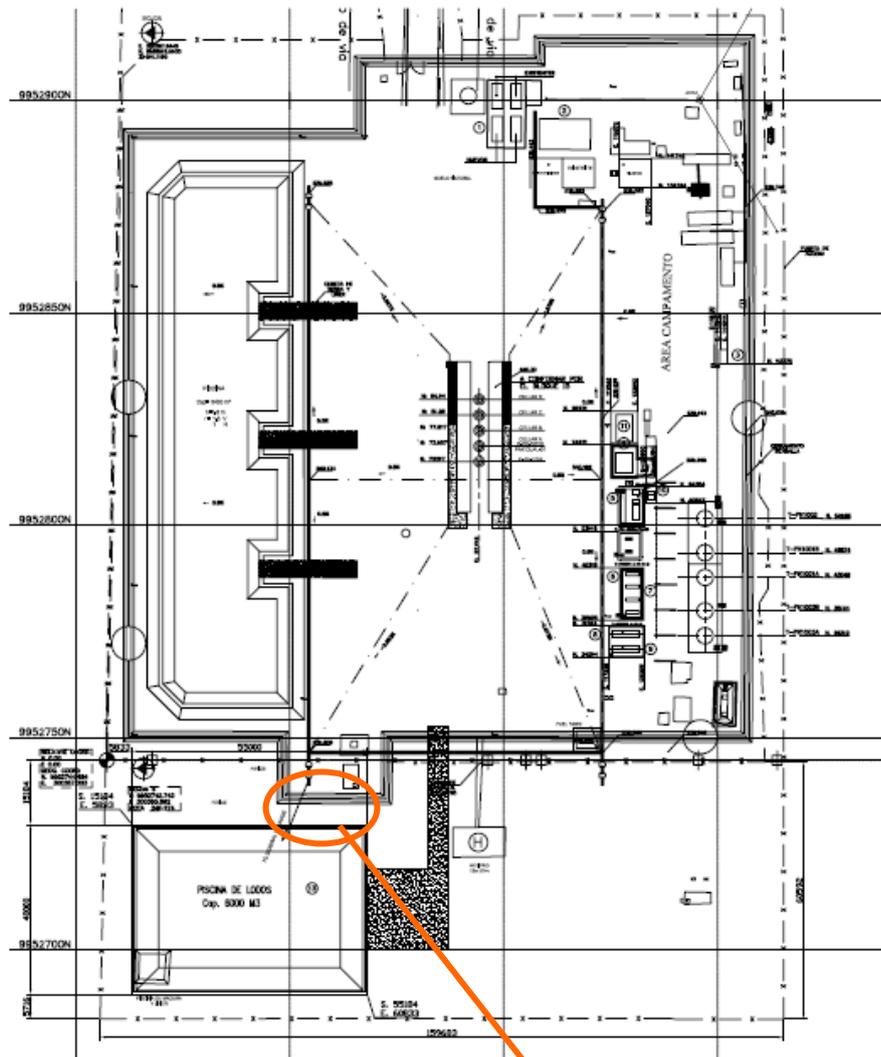
<b>Intervalo del hoyo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Superficial</b>	<b>Intermedio</b>	<b>Producción</b>
Diametro del hoyo	Pulgadas	16	12 1/4	8 1/2
Volumen Estimado	bbls	3510	2600	120
Profundidad MD	Pies	5698	9443	10178
Sistema de fluido	Base agua	Gel -Qpac- Nitrato de Calcio	Maxdrill G+	Maxdrill G+
Densidad	LPG	8.4 - 10.0	9.2 - 10.3	9.0 - 9.2
Viscosidad plástica	cP	<15	<25	<25
Arena	%	<0.5	<0.5	<0.5
pH		8.0 - 9.0	9.0 - 9.5	9.0 - 9.5
MBT	lb./bbl.	20-25	<20	<20
Calcio	ppm	1000 - 2000	<200	<200

Fuente: Secuencia Operacionales PKS-3. Documento pdf.

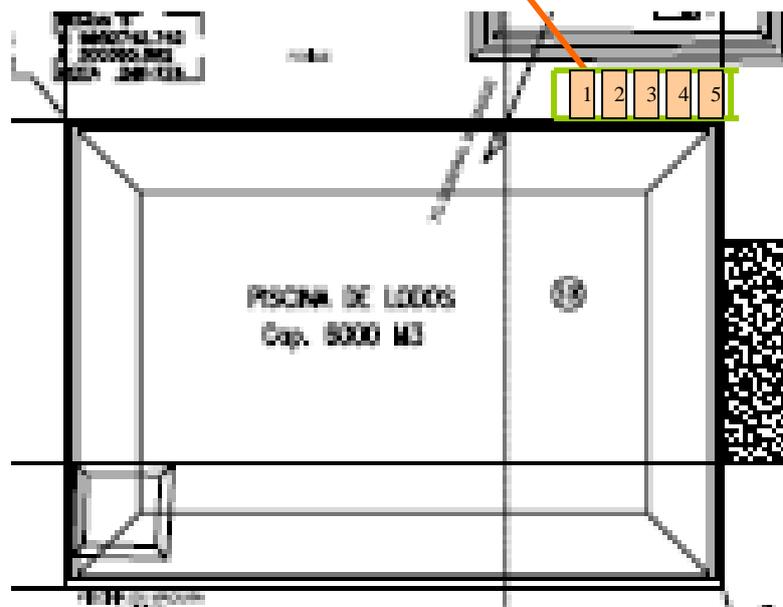
### 3.1.2 UBICACIÓN DE PARCELAS

El área definida se situó dentro de un espacio de 10m<sup>2</sup> en un sector alejado de los trabajos de perforación y ubicado junto a la piscina de recepción de ripios. El área designada no representó ningún obstáculo para las tareas de perforación, además que se eligió esta área por su proximidad a la piscina de cortes y ripios para facilitar el manejo de los trabajos.

**Figura 8.** Locación Paka Sur



**Figura 9.** Ubicación de Parcelas



**Fuente:** Secuencia Operacionales PKS-3. Documento pdf.

### 3.1.3 PERFIL Y DISEÑO DEL PROYECTO

Para la ejecución de las diferentes pruebas de tratabilidad, se realizó algunas adecuaciones y construcciones para que se pueda llevar a cabo los trabajos de una manera que facilite la obtención de resultados confiables; el cual incluyó:

- Diseño y construcción de cubeto
- Diseño de parcelas
- Construcción de parcelas
- Ubicación e identificación de parcelas

#### 3.1.3.1 Diseño y construcción de cubeto

Fue de importancia la colocación de un cubeto que contenga a cada una de las parcelas previo a los trabajos con los ripios, con el objeto de evitar cualquier contaminación al medio; por consiguiente se construyó un cubeto de 10m<sup>2</sup> con unos 80 sacos de yunte, a los cuales se añadió tierra del lugar y se apiló uno por uno formando un cuadrado de dos pisos, logrando una altura de 30 cm desde el suelo, al cual se lo impermeabilizó totalmente con 12m<sup>2</sup> de liner, siguiendo las normas establecidas en el reglamento ambiental para efectuar cualquier disposición de residuos, evitando en lo posible su contacto con el suelo.

**Cuadro 2.** Especificaciones para Construcción de Cubeto

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Utilidad</b>
Sacos de yunte	80	Barrera
Geomembrana (Plástico gris resistente)	10 m	Impermeabilizar área
Tierra	15 kg. / saco	Llenar sacos
Estacas de madera	5	Delimitar área
Cinta de seguridad	15 m	Encerrar área

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

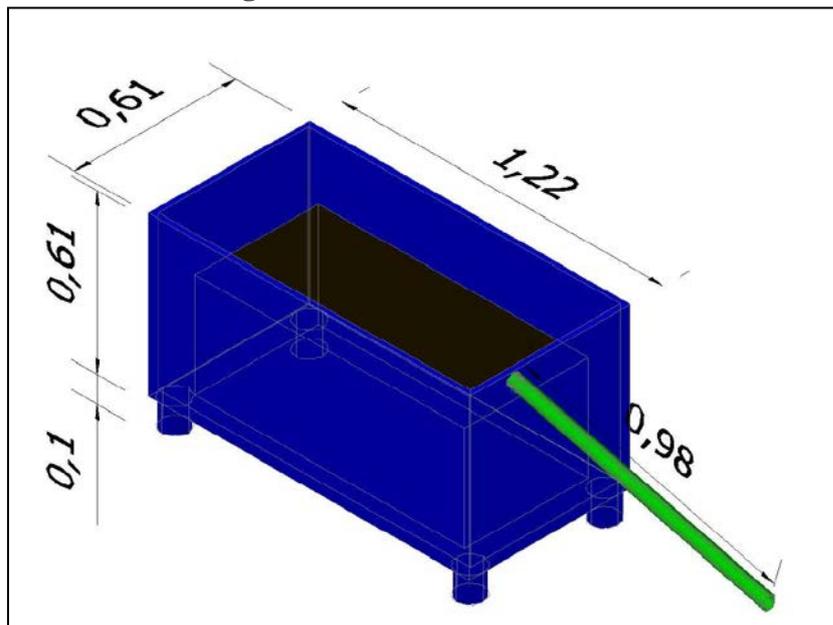
### 3.1.3.2 Diseño de parcelas

Debido al gran peso que representa los lodos ( $d = 20$  lpg) más los sólidos de la perforación, se dificulta el manejo y tratamiento de  $1\text{ m}^3$  de residuo, por lo que se debió adecuar los diseños para  $0.5\text{ m}^3$  de capacidad aproximadamente, siendo esta una cantidad todavía representativa para la obtención de resultados confiables.

Las dimensiones de cada uno de los cajones fueron las detalladas a continuación (Figura 10):

Externo: Largo = 1.22 m	Espacio Interior: Largo = 1.184 m
Ancho = 0.61 m	Ancho = 0.574 m
Altura = 0.61 m	Altura = 0.61 m

**Figura 10.** Diseño de Parcela



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

A partir de estas dimensiones, se determinó el volumen a manejar de cada parcela, el cual fue:

$$V = L \times A \times H \text{ (m}^3\text{)} \quad (7)$$

$$V = 1.184 \times 0.574 \times 0.61 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{(teórico)}} = 0.415 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{(experimental)}} = 0.4 \text{ m}^3$$

Para realizar los tratamientos se necesitó del diseño de cinco cajones, todos de las mismas dimensiones y con las mismas características.

### **3.1.3.3 Construcción de parcelas**

Después de realizado el diseño, se procedió a construir las parcelas en campo, para facilitar el transporte de estas. El material que se utilizó para la construcción fue la madera, ya que este es un material que no acarrea contaminación, fácil de manejar y obtener.

Debido al peso de los lodos y ripios de perforación, se eligió un material capaz de soportar dicho residuo, por lo que la tabla triplex constituyó un buen elemento a utilizar en la construcción de las parcelas. La triplex es un material que se fabrica mediante el prensado de varias láminas de madera hasta obtener un espesor que le brinde la resistencia necesaria para soportar diferentes cargas. El espesor de triplex necesario para la construcción y soporte del material a disponer fue el de 18 mm. Se necesitaron aproximadamente seis planchas triplex de 2.44 x 1.22 (m<sup>2</sup>) para efectuar el trabajo.

Para la construcción de las parcelas se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Realizar cortes transversales en la mitad de la plancha al largo y ancho de esta para obtener los pedazos que se necesitan para cada una de las caras del cajón.
- 2) Obtener mediante cortes con sierra eléctrica pedazos de 1.22 x 0.61 (m<sup>2</sup>) para que sirvan como base del cajón.
- 3) Armar los cajones uniendo cada una de las tablas cortadas con pega blanca y clavos de 2 pulgadas. Dejar secar.
- 4) De un tablón, cortar 2 pedazos de 30 x 15 (cm<sup>2</sup>) y 2 pedazos de 30 x 12 (cm<sup>2</sup>) para utilizarlos como soportes del cajón. Las dos piezas más pequeñas se utilizarán para darle la inclinación necesaria al cajón, para que el lixiviado migre por los orificios.
- 5) Clavar los pedazos de tablón al cajón, utilizando para ello pega blanca y clavos de 2 ½ pulgadas.
- 6) Realizar orificios en una de las esquinas con un taladro en cada uno de los cajones, para que los lixiviados migren por los hoyos y proceder a la recolección de algunas muestras.
- 7) Impermeabilizar totalmente la base y las paredes del cajón con plástico gris para evitar en lo posible la pudrición de la madera por efecto del residuo.

**Cuadro 3.** Materiales para Construcción de Parcelas

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Utilidad</b>
Planchas triplex de 2.44 x 1.22 (m2) y 18 mm de espesor	6	Base cajones
Geomembrana (Plástico gris resistente)	25 m	Impermeabilizar base y paredes
Tablones 30 cm largo x 15 cm de ancho	4 x cajón	Soportes
Clavos 2"	1/2 caja	Asegurar triples
Clavos 2 1/2"	1 lb	Asegurar tablones al cajón
Clavos de 1/2"	2 lb	Asegurar liner
Pegamento PVC	1 galón	Pegar liner

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

#### Eliminación de Agua de las Parcelas:

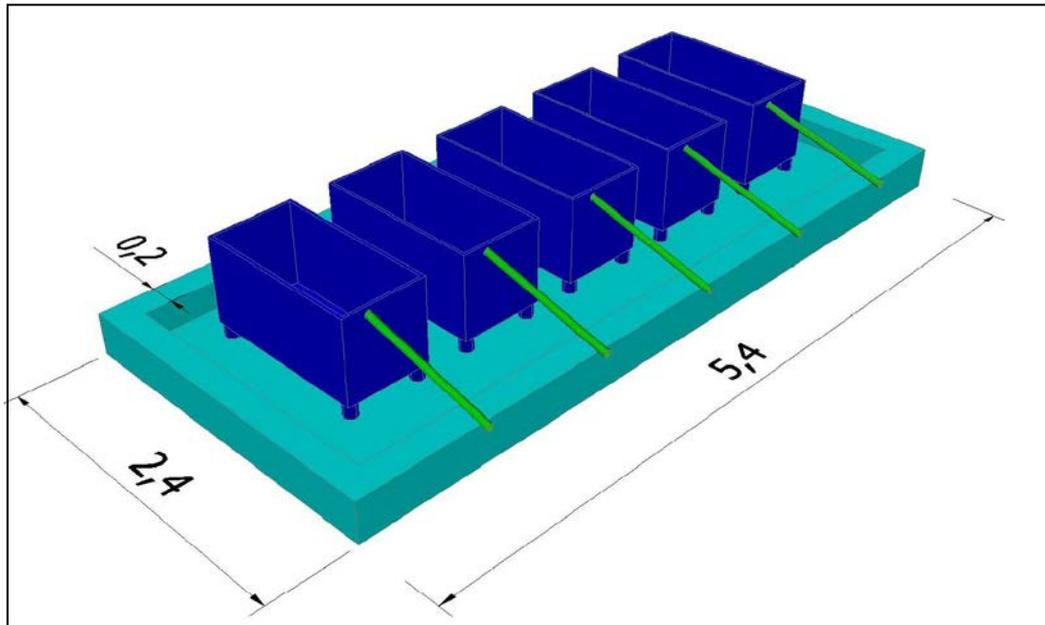
La región amazónica se caracteriza por presentar altos regimenes de pluviosidad, por este motivo, se tuvo que tomar en cuenta la implementación de algún sistema de eliminación del agua de cada parcela, ya que las parcelas fueron expuestas a cielo abierto, especialmente la parcela que tuvo solo ripio por su poca porosidad.

La mejor opción fue colocar un tubo en una esquina de la parcela conectado a la piscina de ripios, que sirva como vía de desfogue del agua, pues se ayudó de la inclinación que se dió a la parcela.

#### **3.1.3.4 Ubicación e identificación de parcelas**

Dentro del cubeto, se colocaron 5 parcelas, cada una de ellas de dimensiones conocidas. En cada una de ellas se dispuso material (ripios) generado en los procesos de perforación petrolera junto con diferentes clases de recuperadores de suelo. Dentro de este contexto se manejaron varias pruebas de tratabilidad, con el objeto de encontrar la prueba idónea para la recuperación del suelo dispuesto. Para ello se siguió un proceso organizado y tipificado a partir de condiciones previamente diseñadas para cada una de la parcelas, como se muestra a continuación:

**Figura 11.** Distribución de Parcelas en Cubeto



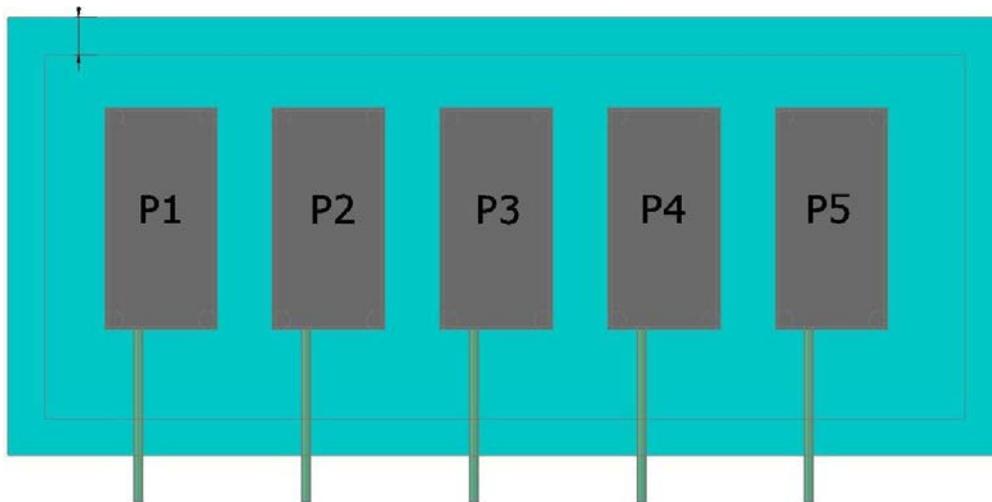
**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Cuadro 4.** Identificación de contenido en parcelas

<b>Parcela</b>	<b>Contenido</b>	<b>Relación</b>	<b>Identificación</b>
1	Ripio únicamente (blanco)	-	P1
2	Ripio + suelo nativo	3:1	P2
3	Ripio + suelo orgánico	3:1	P3
4	Ripio + suelo nativo + suelo orgánico	3:0.5:0.5	P4
5	Suelo agrícola	-	P5

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

**Figura 12.** Identificación de Parcelas



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

### **3.1.4 ANÁLISIS DE RIPIOS**

#### **3.1.4.1 Muestreo de ripio**

Previo a la toma de muestra de ripios de la piscina, se tomó un tanque plástico de 55 gal. con tapa para colocar la cantidad de residuo suficiente en este con el motivo de facilitar a posterior la recolección de muestras para seguimiento conforme al plazo que el presente reglamento ambiental lo determina.

Para tomar la muestra compuesta se debe:

1. Dividir la piscina de ripios de perforación en 4 cuadrantes.
2. Tomar 1 muestra a 50 cm. de profundidad de dos de los cuadrantes opuestos uno del otro, usando una escavadora mecánica o una barrena.
3. Tomar 1 muestra a 1 m de profundidad en los dos cuadrantes que faltaron, usando así mismo una escavadora mecánica o una barrena.
4. Mezclar todas las muestras, procurando que la mezcla sea homogénea.
5. Tomar una submuestra de un 1 kg. y colocarla en una funda ziploc.
6. Etiquetar e identificar la funda.
7. Registrar la información del muestreo en la cadena de custodia.

Cada una de las muestras contó con una etiqueta y con un código específico, donde se escribió la información necesaria concerniente a la muestra siguiendo un protocolo de

muestreo establecido, como se muestra a continuación. **Ver protocolo de muestreo (Anexo 1).**

#### **3.1.4.2 Transporte**

Inmediatamente después de identificadas cada muestra, se colocaron en un recipiente refrigerado para que se mantenga a una temperatura estable y se transportó al laboratorio en Quito lo más pronto posible dependiendo de cual era el parámetro analizar.

#### **3.1.4.3 Caracterización de ripio**

La caracterización de las muestras de ripio se realizó en un laboratorio certificado por el Ministerio del Ambiente, el cual se encargó de analizar dichas muestras conforme a lo establecido en la Tabla 7a. del RAOH 1215 para disposición de rípios de perforación sin impermeabilización, y otro laboratorio para el análisis de las características de los suelos.

#### **3.1.4.4 Caracterización de suelos**

##### Suelo Orgánico:

Es un abono orgánico comúnmente producido por la biodegradación de los desechos orgánicos generados en el complejo ILYP (Indillana-Limoncocha-Yanaquincha-Paka). Esta actividad se la realiza en un relleno sanitario destinado para el efecto. Este abono es producto de un proceso de biodegradación anaerobia en fosas de 3 m de profundidad por un tiempo de 4 a 6 meses.

##### Suelo Nativo:

Es un suelo natural característico de la región amazónica, de tipo arcilloso, color negro y de fertilidad media.

El suelo ha ser usado para los tratamientos será el mismo suelo que se extrajo de la excavación de las piscinas de corte, por lo que este constituirá un buen elemento para ser utilizado en los tratamientos.

##### Suelo Agrícola:

Este suelo será obtenido de los alrededores de la locación específicamente de las comunidades vecinas las cuales utilizan dicho suelo para agricultura. El suelo será utilizado en el estudio como variable comparativa en cuanto al proceso de revegetación.

### 3.1.5 TRATAMIENTO EN PARCELAS

#### 3.1.5.1 Disposición de ripio en parcelas

Previo a la colocación del residuo en cada una de las parcelas se realizó:

- 1) Homogenización mecánica del residuo de la piscina con la ayuda de una retroexcavadora.
- 2) Toma de seis muestras de ripio de la piscina con la maquinaria de puntos previamente identificados.
- 3) Colocación de las seis paladas de la maquinaria en una volqueta, que por su capacidad permitió la homogenización del material.
- 4) Colocación del material homogéneo en las cuatro parcelas, que constituyeron las variables experimentales del estudio.

#### 3.1.5.2 Neutralización

En el caso de que los valores de pH resultaban fuera de rango (RAOH 1215); es decir, que el valor se encontraba por debajo de 6 o por encima de 9, se procedía a la neutralización del material según sea su tendencia. Si el valor resultaba mayor a 9, estado alcalino, se utilizaría un ácido para bajar dicho pH; pero si el valor era menor a 6, se utilizaría un medio básico para subir el pH.

#### 3.1.5.3 Mezclas

Antes de añadir los suelos en las parcelas, se realizaron cálculos para conocer la cantidad exacta necesaria que se debía añadir a cada parcela, realizando las siguientes relaciones:

**Cuadro 5.** Proporción de mezcla en parcelas

<b>Parcela</b>	<b>Cantidad total</b>	<b>Ripio</b>	<b>Suelo nativo</b>	<b>Suelo orgánico</b>
P2	0.4	0.3	0.1	-
P3	0.4	0.3	-	0.1
P4	0.4	0.3	0.05	0.05

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

Parcela 1:

Densidad del ripio= 14 lb/gal.

$$14 \frac{lb}{gal} \left| \frac{1gal}{3.785l} \right| \left| \frac{1kg}{2.2lb} \right| \left| \frac{1000l}{1m^3} \right| \left| \frac{0.4m^3}{1} \right| = 672.5kg$$

Peso total= **672.5 kg.**

Parcela 2:

Volumen de ripio= 0.3 m<sup>3</sup>

Volumen de suelo nativo= 0.1 m<sup>3</sup>

Densidad del suelo nativo= 10 lb/gal.

$$14 \frac{lb}{gal} \left| \frac{1gal}{3.785l} \right| \left| \frac{1kg}{2.2lb} \right| \left| \frac{1000l}{1m^3} \right| \left| \frac{0.3m^3}{1} \right| = 504.4kg$$

$$10 \frac{lb}{gal} \left| \frac{1gal}{3.785l} \right| \left| \frac{1kg}{2.2lb} \right| \left| \frac{1000l}{1m^3} \right| \left| \frac{0.1m^3}{1} \right| = 120kg$$

Peso total= 504.4 + 120= **624.4 kg**

Parcela 3:

Volumen de ripio= 0.3 m<sup>3</sup>

Volumen de suelo orgánico= 0.1 m<sup>3</sup>

Densidad del suelo orgánico= 12 lb/gal.

$$14 \frac{lb}{gal} \left| \frac{1gal}{3.785l} \right| \left| \frac{1kg}{2.2lb} \right| \left| \frac{1000l}{1m^3} \right| \left| \frac{0.3m^3}{1} \right| = 504.4kg$$

$$12 \frac{lb}{gal} \left| \frac{1gal}{3.785l} \right| \left| \frac{1kg}{2.2lb} \right| \left| \frac{1000l}{1m^3} \right| \left| \frac{0.1m^3}{1} \right| = 144.1kg$$

Peso total= 504.4 + 144.1 = **648.5 kg**

Parcela 4:

Volumen de ripio= 0.3 m<sup>3</sup>

Volumen de suelo orgánico= 0.05 m<sup>3</sup>

Volumen de suelo nativo= 0.05 m<sup>3</sup>

Peso total= 504.4 + (144.1 / 2) + (120 / 2)= **636.45 kg.**

### Parcela 5:

Volumen de suelo nativo=  $0.4 \text{ m}^3$

Densidad del suelo nativo=  $10 \text{ lb/gal}$ .

$$10 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \left| \frac{1 \text{ gal}}{3.785 \text{ l}} \right| \left| \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}} \right| \left| \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \right| \left| \frac{0.4 \text{ m}^3}{1} \right| = 480.4 \text{ kg}$$

Peso total= **480.4 kg**

### **3.1.5.4 Homogenización**

Se homogenizó diariamente cada parcela por un periodo de 2 semanas a partir de la disposición para lograr la oxigenación del material y para que los parámetros sean representativos para cada parcela.

### **3.1.6 ANÁLISIS EN CAMPO**

#### **3.1.6.1 Muestreo en parcelas**

Se realizó un muestreo simple en cada una de las parcelas cada día previamente un homogenizado de aproximadamente 200 g. para posteriormente analizar los parámetros críticos en un laboratorio localizado en la misma locación.

#### **3.1.6.2 Análisis de parámetros críticos**

Diariamente se hicieron mediciones de los parámetros considerados críticos como en este caso el pH y conductividad eléctrica, siguiendo el programa de análisis para el manejo de rios estipulados en el RAOH 1215.

### **3.1.7 ANÁLISIS EN LABORATORIO**

#### **3.1.7.1 Muestreo**

Se realizaron un total de 12 muestreos compuestos en todas las parcelas previamente homogenizado de aproximadamente 1 kg cada uno. Cada una de las muestras se colocó en una funda hermética para su preservación, etiquetada e identificada correctamente y almacenada en un recipiente refrigerado para su transporte a la ciudad.

Cada uno de los muestreos para análisis externo se registró en una cadena de custodia para tener presente cada uno de los detalles del muestreo para su resumen posterior (**Ver cadena de custodia- Anexo 2**).

### 3.1.7.2 Preservación y transporte de muestras

Se dio mayor énfasis al transporte y preservación de las muestras que debieron analizarse ex –situ, ya que el sitio de la toma de las muestras se encontraba en la región amazónica y se dificultaba su traslado a la ciudad de Quito inmediatamente después de tomada la muestra. Es por este motivo, que tomaron algunas consideraciones según el tipo de muestra hasta que esta pueda ser transportada a un laboratorio certificado; por lo que se debió:

Suelo:

- Almacenar en una funda hermética identificada previamente mediante un protocolo de muestreo.
- Colocar todas las muestras en un recipiente refrigerado y se mantendrá las condiciones de este con hielo y una solución salina.
- Colocar el recipiente refrigerado en un lugar en el cual no pueda ser manipulado y que se encuentre a temperaturas que no excedan los 16°C.

### 3.1.7.3 Análisis de muestras en laboratorio

Se realizó el análisis de las muestras problema en un laboratorio certificado previamente determinado, en el cual se analizaron las muestras de solamente la primera parcela por tratarse de la muestra blanco conteniendo ripio únicamente. Para esto se recolectaron muestras de un kilogramo de la disposición final, otra a los 7 días de la disposición y la última a los 120 días de la disposición; es decir que se analizaron tres muestras en total de acuerdo a los parámetros descritos en la tabla 7a del RAOH 1215.

Los parámetros analizados en cada muestra se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 6.** Parámetros de análisis para cada muestra

<b>Muestra</b>	<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Parámetros</b>
1	18/03/2008	TPH, HAP's, Cadmio, Cromo, Vanadio, y Bario
2	25/03/2008	Cadmio, Cromo, Vanadio, y Bario
3	18/07/2008	Cadmio, Cromo, Vanadio, y Bario

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

### **3.1.8 CONTROL Y SEGUIMIENTO**

#### **3.1.8.1 Control de parcelas**

Se realizaron controles en las parcelas, en el sentido de que estas no sufrieran alteraciones de ningún tipo con respecto a que se vean afectadas por daños, desprendimientos de tablas o contaminación por lixiviados.

#### **3.1.8.2 Control de parámetros en campo**

Cada día en laboratorio se dio seguimiento y control a parámetros como el pH y la conductividad, bajo los parámetros que dicta el RAOH 1215 tabla 7a; como indicadores del estado del material y para comprobar si el material de cada parcela presentaba diferencias significativas con respecto al resto de parcelas.

#### **3.1.8.3 Seguimiento de parcelas**

El seguimiento de las parcelas se hizo cada mes hasta tomar la última muestra a los 90 días de la disposición del material. En cada seguimiento se realizó el análisis de los parámetros críticos en campo (pH y C.E.), mantenimiento del cubeto y las parcelas, observación del estado del pasto sembrado, muestreos del pasto y suelo para su traslado al laboratorio en la ciudad de Quito.

Como el trabajo se encontraba en la región Amazónica, las entradas al lugar del proyecto cada mes estaban sujetas a la disponibilidad de tiempo del ejecutor y a las aprobaciones de acceso por parte de la empresa.

### **3.1.9 REVEGETACIÓN**

Inmediatamente después de realizado el muestreo de las parcelas a los siete días de disposición del material, se procedió a la revegetación de cada parcela con semillas *Brachiaria*, una especie de pasto para climas cálidos y medios. Este tipo de planta fue de gran utilidad por su rápida y adecuada adaptación a zonas tropicales como la región amazónica ecuatoriana.

#### **3.1.9.1 Ficha técnica**

Nombre científico	<i>Brachiaria brizantha</i>
Nombre común	Marandú
Crecimiento	Macolla semirecta

### Propiedades:

Adaptación	0-2000 m.s.n.m / 800-3500 mm/año precipitación
Uso	Patoreo o corte
Producción	90-100 toneladas de forraje verde/Ha./año
Establecimiento	150 días

### Características:

- Resistente al “salivazo” (plaga)
- Baja tolerancia a encharcamiento
- Mediana tolerancia al frío y la sequía
- Pastoreo moderado
- Mejor en suelos de mediana a alta fertilidad

#### **3.1.9.2 Siembra**

Se realizó un tipo de cuadrícula en cada parcela con el objeto de definir los puntos donde se colocó la semilla. En este caso la cuadrícula resultó de 28 puntos (7 largo x 4 ancho) donde se colocaron una cantidad de 1 g aproximadamente de semillas en cada agujero a una distancia de 7 cm entre puntos y una profundidad de 6 a 8 cm.

#### **3.1.9.3 Tiempo de Crecimiento**

Según las especificaciones del producto, se estimó un tiempo de 2 a 3 meses que necesitaba la planta para lograr su mayor crecimiento dependiendo de los factores ambientales imperantes en la zona.

#### **3.1.9.4 Seguimiento y control del crecimiento de planta**

Al igual que con el ripio, se dio continuo seguimiento al crecimiento y desarrollo de la especie sembrada en cada una de las parcelas, principalmente en cuanto a tamaño de la planta, color, textura, etc... En el caso de que el desarrollo y crecimiento de la planta se veía afectada por cualquier factor, se tenía que tomar las medidas necesarias para acondicionar la parcela de modo que su crecimiento se vea beneficiado.

#### **3.1.9.5 Muestreo de Plantas**

A los tres meses de realizada la siembra, se realizaron muestreos de la planta en cada parcela seleccionando las que estén en mejores condiciones y en su etapa de mayor crecimiento para su análisis respectivo. Dichas muestras fueron colocadas en fundas herméticas para su posterior traslado a la ciudad.

### **3.1.9.6 Análisis de Planta**

Se realizó un análisis de metales pesados (Cd, Cr, V, Ba) a la planta extraída de P1, por ser la base experimental (blanco) del estudio. Con estos resultados se logró cuantificar la cantidad de metales absorbidos por la planta para su posterior balance. El análisis fue realizado en el mismo laboratorio donde se realizaron los análisis de metales en el ripio.

### **3.1.10 DISPOSICIÓN FINAL**

Identificados y analizados los resultados obtenidos en los trabajos de campo y laboratorio, se conoció si es que se permite la disposición de los ripios de perforación estableciendo el mejor método de acuerdo a factores económicos, ambientales y sociales.

## **3.2 EQUIPOS Y MATERIALES**

### **3.2.1 EQUIPOS**

- Cierre eléctrica, taladro, martillo.
- Pico, palas, carretilla.
- Potenciómetro
- Conductivímetro
- Volqueta
- Retroexcavadora
- Digestor
- Diales

### **3.2.2 MATERIALES**

- Planchas triples de 2.44 x 1.22 (m) x 18 mm.
- Brocha
- Pegamento para liner (PVC)
- 25 m de geomembrana (cajones)
- 12 m<sup>2</sup> de geomembrana (cubeto)
- Tablones (soportes)
- Clavos de 2'' y 2 ½''
- Sacos de yunte (100)
- Tubería PVC
- Semillas *Brachyaria brizantha*
- Abono orgánico – 8 sacos de 25 kg. c/u (Relleno sanitario CPF)

- Suelo nativo–8 sacos de 25 kg. c/u.
- Suelo agrícola (5 carretillas)
- Envases plásticos
- Ácido sulfúrico/fosfórico
- Ácido Nítrico
- Ácido clorhídrico
- Reactivos Bario, Cadmio, Cromo, Vanadio.
- Diales (análisis DQO por digestión)
- Guantes de laboratorio
- Fundas Herméticas.
- Agua Destilada.
- Recipiente refrigerado (Cooler)

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS SEGÚN TABLA 7A. DEL RAOH 1215

##### 4.1.1.1. Parámetros críticos: potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (C.E.)

Se realizó el análisis de pH y C.E. en campo durante los siete primeros días luego de la disposición para las parcelas 1 y 2, y de cinco días para la 3 y 4; esto con el objeto de continuar con el seguimiento y control respectivo a los trabajos (**Ver hoja de análisis de pH y C.E. Anexos 3 y 4**).

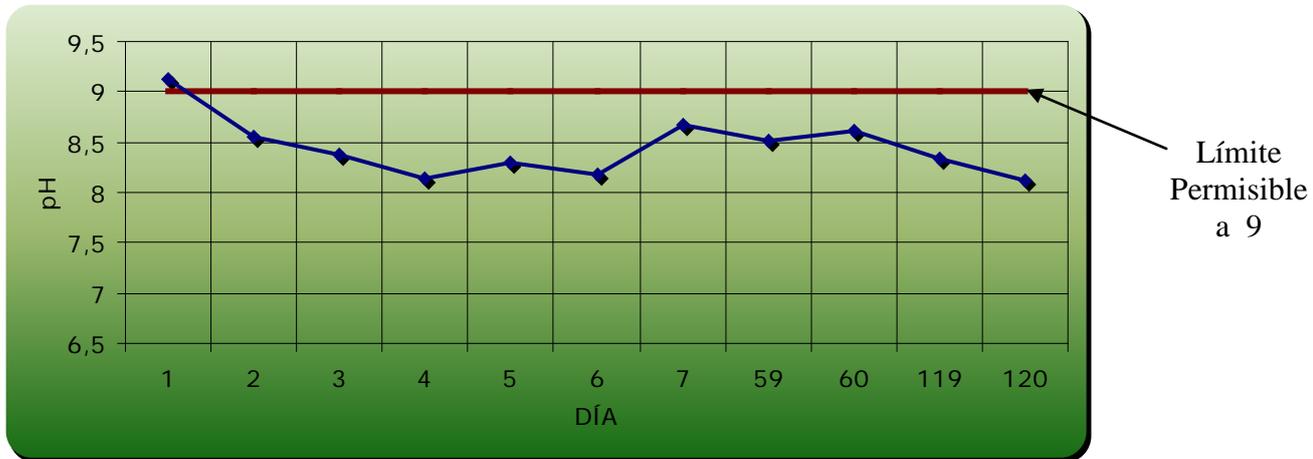
- Análisis de parcela 1

**Cuadro 7.** Parámetros críticos en ripio únicamente

Día	Fecha	pH	C.E. (uS/cm)
1	18/03/2008	<b>9,13</b>	2050
2	19/03/2008	8,55	1530
3	21/03/2008	8,38	1312
4	22/03/2008	8,14	1697
5	23/03/2008	8,3	1546
6	24/03/2008	8,18	1649
7	25/03/2008	8,68	1089
59	17/05/2008	8,52	1070
60	18/05/2008	8,61	1023
119	17/07/2008	8,34	658
120	18/07/2008	8,12	741

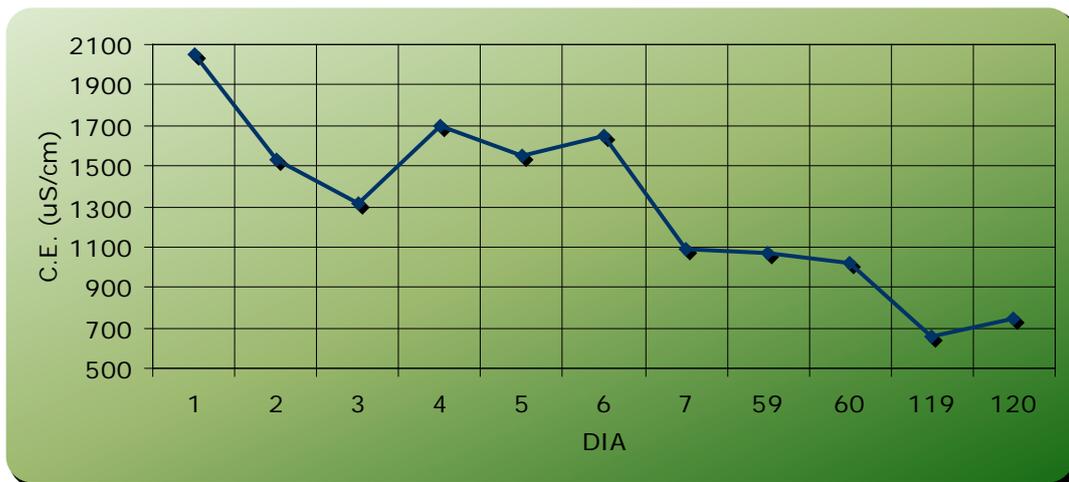
**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Gráfico 1. Variación de pH**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Gráfico 2. Variación de C.E.**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

En la primera parcela, descrita como blanco del estudio por su contenido neto de ripio de perforación, los valores de pH y conductividad eléctrica en su mayoría cumplen con la legislación aplicable, encontrándose la mayoría por debajo de los límites permisibles con excepción del primer valor de pH representado en el cuadro 7. Este valor puede ser confiable como no, debido a su porcentaje de error; y además que, no es un valor muy alto y constante en el tiempo, pues como se muestra en el gráfico 1 los valores de pH tienden a su disminución conforme el tiempo pasa. El pH a los 120 días de la disposición nota una disminución sustancial con respecto al valor del primer día, y que la C.E. muestra una

disminución mucho mayor del último valor con respecto al primero. En el caso de la conductividad (gráfico 2), los valores tienden a disminuir paulatinamente conforme pasa el tiempo, debido tal vez a la presencia de agua lluvia contribuyendo al lavado de los suelos. Como los valores de la parcela 1 cumplieron con la legislación ambiental aplicable, la realización de mezclas como tratamiento al ripio servirá como un ensayo para realizar un mejoramiento eficaz del residuo para su posterior disposición en espacios sin impermeabilización.

o Análisis de parcela 2

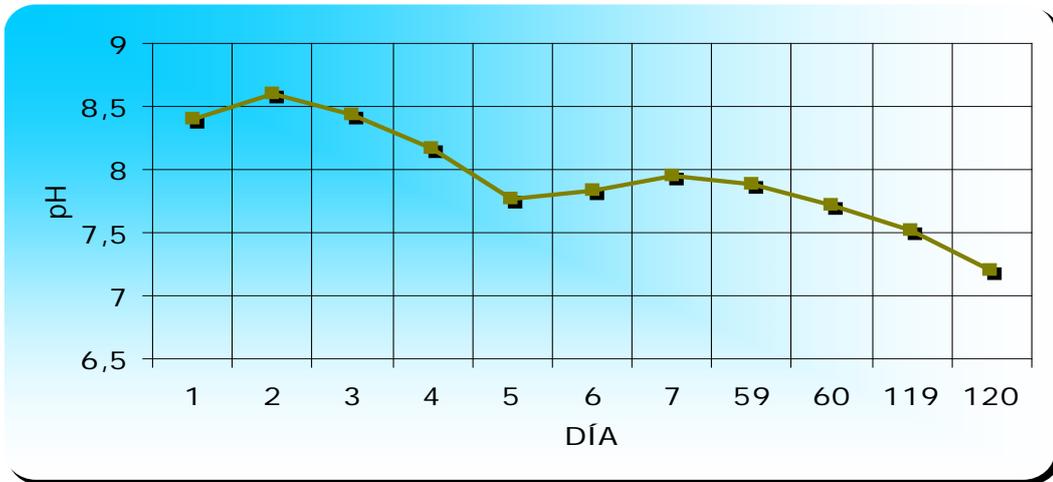
En la parcela 2 (ripio + suelo nativo), los valores de pH y C.E. son aún más bajos que la primera parcela, debido a la dilución efectuada con suelo nativo. Los valores de pH al igual que los C.E. muestran una baja considerable mientras transcurren los días (gráficos 3 y 4).

**Cuadro 8.** Parámetros críticos en mezcla de ripio y suelo nativo

Día	Fecha	pH	C.E. (uS/cm)
1	18/03/2008	8,4	1786
2	19/03/2008	8,6	1426
3	20/03/2008	8,43	872
4	21/03/2008	8,16	900
5	22/03/2008	7,77	1230
6	24/03/2008	7,83	1033
7	25/03/2008	7,95	1103
59	17/05/2008	7,88	952
60	18/05/2008	7,71	935
119	17/07/2008	7,52	588
120	18/07/2008	7,2	622

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Gráfico 3. Variación de pH**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Gráfico 4. Variación de C.E.**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

En el gráfico 3 se puede mostrar como el pH experimenta una disminución casi constante, comenzando en valores bordeando el 8,5 en los primeros días de disposición llegando a los 4 meses a valores casi neutros, lo que en comparación con la primera parcela la mezcla contribuyó a un disminución de aproximadamente una unidad de pH; esto debido a la existencia de especies ácidas en el suelo nativo (iones hidrógeno  $H^+$ ), como ácidos húmicos y fúlvicos.

En el caso de la C.E., el gráfico 4 muestra valores no salinos menores a 2000 uS/cm a partir del cual se consideran salinos los suelos. Este tipo de mezcla en comparación con la parcela 1 resultó en una disminución considerable en los tres primeros días, pues su disminución se vio reflejada a partir del primer día, presentando una constancia hasta el segundo mes, llegando a valores inferiores a los 700 uS/cm, lo que significa que a lo largo del proceso la mezcla totalizó una disminución de aproximadamente 1000 uS/cm.

o Análisis de parcela 3

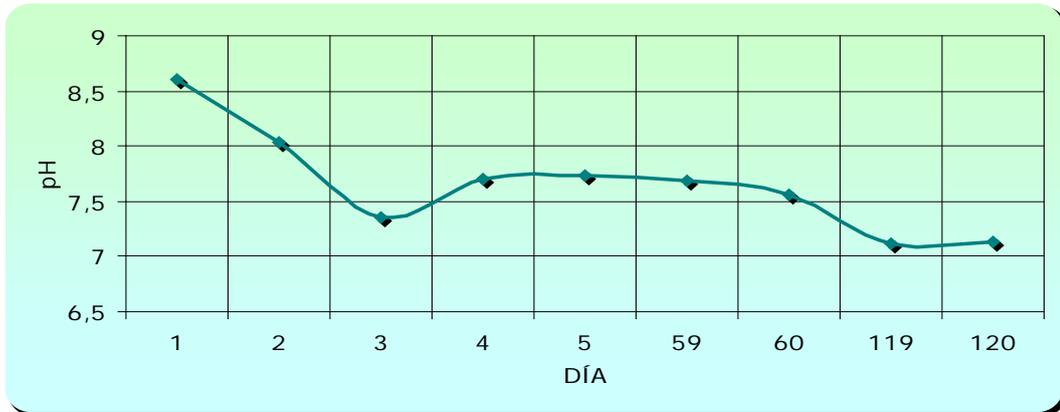
La mezcla de ripio y suelo orgánico presenta valores de pH muy por debajo de las demás parcelas, debido a que la materia orgánica tiene gran capacidad para regular el pH por su contenido de ácidos húmicos y fúlvicos (Juárez y Sánchez, 2006). Igualmente la conductividad tiende a bajar pero en algunos momentos aumenta debido a la presencia de precipitaciones fuertes en el lugar (Gráfico 6).

**Cuadro 9.** Parámetros críticos en mezcla de ripio y suelo orgánico

Día	Fecha	pH	C.E. (uS/cm)
1	18/03/2008	8,6	1530
2	19/03/2008	8,03	1141
3	21/03/2008	7,36	948
4	22/03/2008	7,71	947
5	25/03/2008	7,73	1089
59	17/05/2008	7,69	1050
60	18/05/2008	7,56	914
119	17/07/2008	7,12	749
120	18/07/2008	7,14	733

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Gráfico 5. Variación de pH**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

**Gráfico 6. Variación de C.E.**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

Como el gráfico 5 muestra, la mezcla de ripio y suelo orgánico resultó en el tratamiento que mayor cambio presentó en los primeros días de pH, demostrando su capacidad de estar en valores casi neutros en su mayoría, pues se debe a la presencia de material orgánico que actúa como un buen regulador de pH del suelo. Desde el día 1 los valores fueron disminuyendo conforme el tiempo transcurría, totalizando una disminución en el pH al día 120 de 1.5 unidades.

Como se muestra en el gráfico 6, la mezcla en la parcela 3 presentó un decrecimiento considerable en su cantidad de sales presentes que debieron lixiviarse; pues como señala el Juan Pablo Fuentes en su proyecto Explora-Conicyt, el proceso puede deberse a una gran capacidad del suelo para lixiviar las sales. Comparándose con la parcela 1, los resultados son similares, en consecuencia la disminución de sales no es causa de la presencia de suelo nativo, sino del ripio mismo.

o Análisis de parcela 4

En el caso de la parcela 4, los valores de pH y C.E. son relativamente bajos. En cuanto al pH sus valores están por debajo de 8 debido a la presencia de suelo nativo y materia orgánica en poca proporción, en cambio la conductividad para esta mezcla es similar a la presentada en la parcela 3 con valores no salinos relativamente bajos en comparación a lo que exige un suelo para lograr un buen desempeño.

**Cuadro 10.** Parámetros críticos en parcela 4

Día	Fecha	pH	C.E. (uS/cm)
1	18/03/2008	7,97	1255
2	20/03/2008	7,7	1293
3	21/03/2008	7,93	944
4	22/03/2008	7,96	1139
5	25/03/2008	7,88	923
59	17/05/2008	7,66	1008
60	18/05/2008	7,72	987
119	17/07/2008	7,29	679
120	18/07/2008	7,59	686

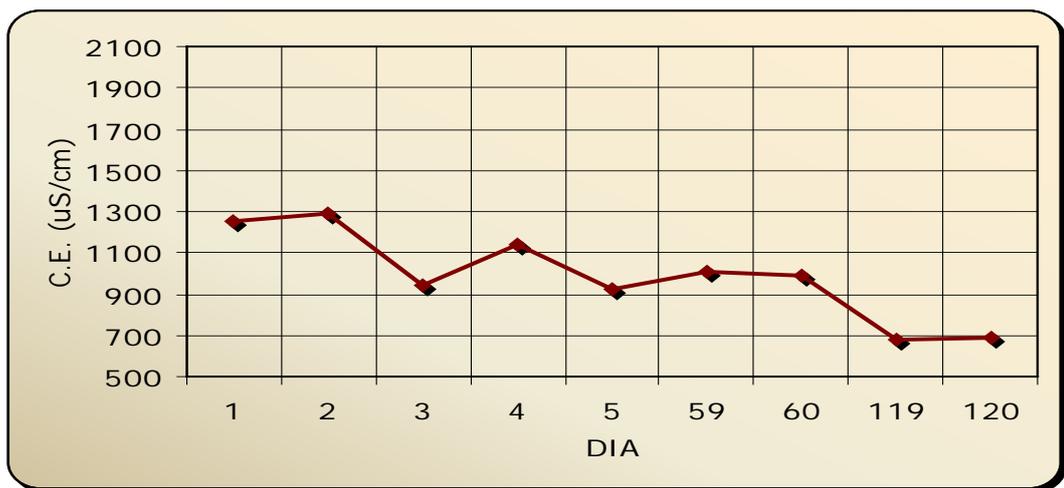
**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Gráfico 7. Variación de pH**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

**Gráfico 8. Variación de C.E.**



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

Según la tabla 7a del RAOH 1215, el límite permisible de pH y C.E. para disposición de ripios de perforación debe ser de 6 a 9 y menor a 4000 uS/cm respectivamente; por lo que los valores antes descritos cumplen con el rango especificado.

Esta mezcla de ripio con suelo nativo y orgánico para la parcela 4, en comparación con las demás parcelas solo experimentó una leve disminución de aproximadamente 0.7 unidades, pero fue el único suelo en el que todos los valores se mantuvieron por debajo de 8 desde su disposición; esto concuerda con la teoría enunciada por Juan P. Fuentes en Suelo: un

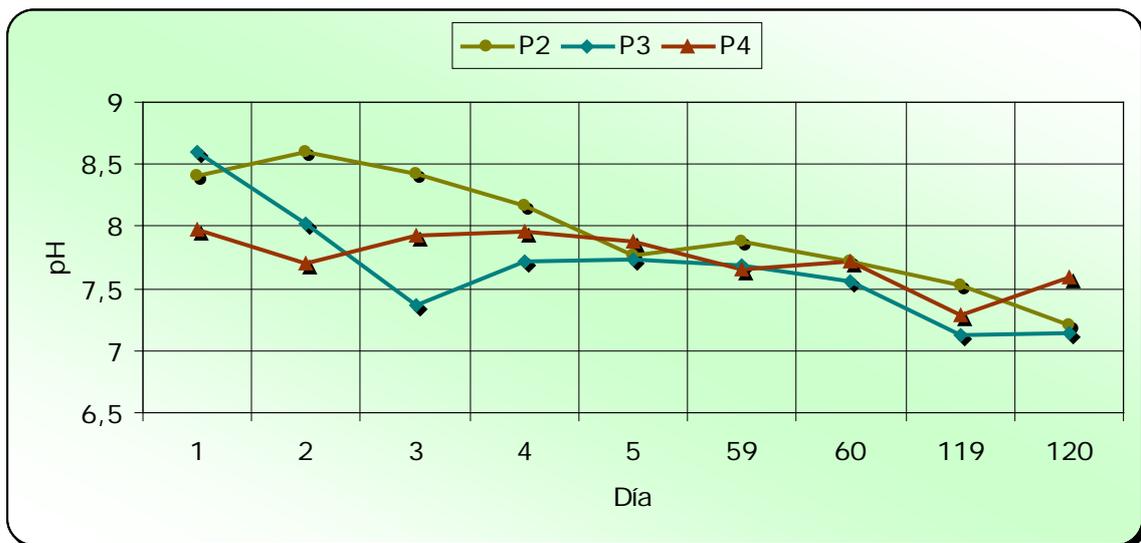
sistema vivo, que dice que los suelos con valores de pH cercanos a neutro presentan la mayor disponibilidad de nutrientes para plantas y organismos.

Al igual la mezcla en la parcela 4 mostró una disminución considerable de sales, pero en comparación con las parcelas 1, 2 y 3, la disminución de esta mezcla resultó en menor proporción. Esta mezcla a diferencia de las demás, presentó una cantidad de sales mucho menor en su disposición y en algunas instancias del estudio.

En consecuencia, la cantidad de sales presentes en todas las parcelas no constituyen ningún problema de toxicidad para las plantas y para el proceso de absorción de agua (Fuentes Espoz, 2002).

- Análisis comparativo de pH entre parcela 2, 3 y 4

**Gráfico 9.** Comparación de pH

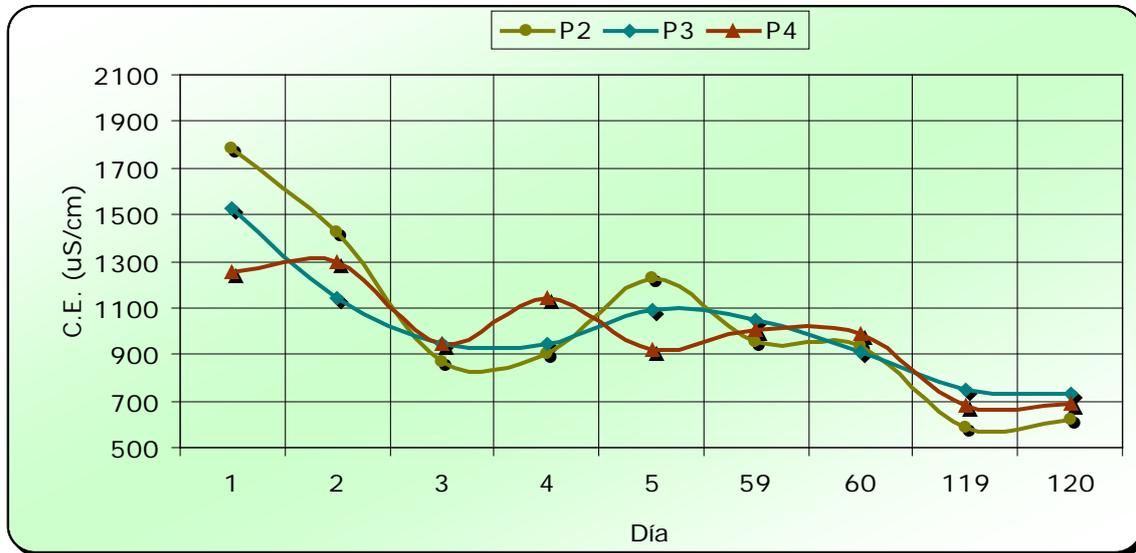


**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

Como se muestra en el gráfico 9, P4 prácticamente se mantiene a partir del tercer día entre P2 y P3; con esto se tendría de que el pH en P4 es el resultado de la unión de las mezclas de P2 y P3 aproximadamente.

- Análisis comparativo de C.E. entre parcela 2, 3 y 4

**Gráfico 10.** Comparación de C.E.



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

Para la C.E., P4 se mantiene a lo largo del estudio entre P2 y P3 aproximadamente, y como se muestra en el gráfico anterior al día 119 y 120, la concentración de P4 se situó exactamente en la mitad entre P2 y P3, resultando en que la mezcla de P4 es la unión entre los contenidos de P2 y P3.

#### **4.1.1.2. Análisis estadístico para determinar la probabilidad de ocurrencia (método de Hanssen) de los parámetros: pH y C.E.**

El respectivo análisis se da con el objeto de determinar las probabilidades de ocurrencia que ciertos valores de pH y C.E. podrían tener en una situación dada, y poder cuantificarlos para una posterior determinación del impacto que estos parámetros pueden tener sobre el medio. Para el efecto, se realizó el análisis estadístico de los valores de las 4 parcelas, pero se enfatizará en el blanco, que es la variable que mayor importancia tiene en el análisis, es decir, la parcela uno conteniendo únicamente ripio de perforación. El resto de análisis permiten realizar una comparación y determinar la proporción a la que disminuye los valores cuando se ha hecho mezclas del residuo con suelos normales.

- Análisis de parcela 1 (Blanco)

- **pH**

**Cuadro 11.** Probabilidades de ocurrencia de pH

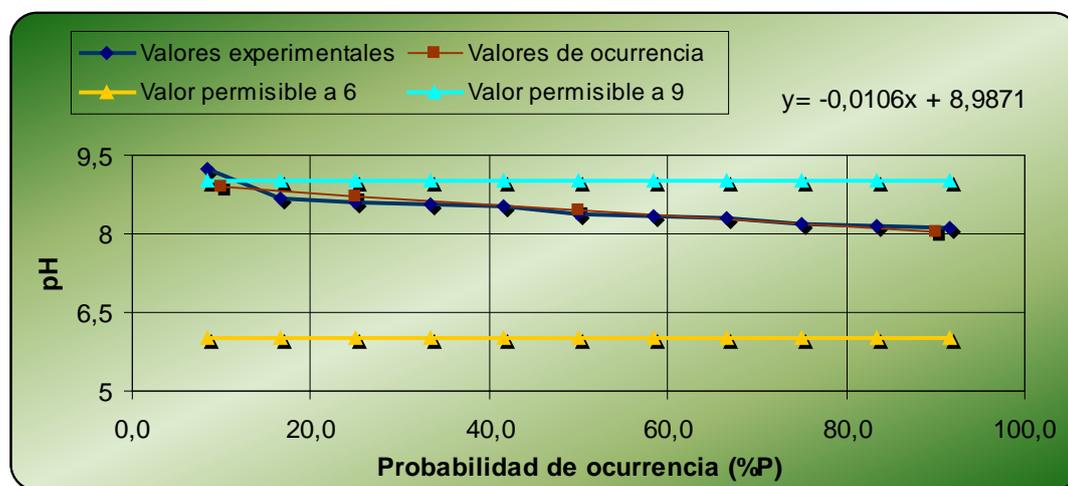
Probabilidad de Ocurrencia (%P)	Valor Persistente	Valores notables		Máximo permisible
10	8.88	Máximo	9.13	entre 6 y 9
25	8.72	Mínimo	8.12	entre 6 y 9
50	8.46	Promedio	8.46	entre 6 y 9
90	8.04			entre 6 y 9

Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

Como se determina en el cuadro 11, la parcela 1 a lo largo del estudio registró un pH máximo que sobrepasó el límite permisible en la legislación, pero que al igual es el único con un promedio de 8.46, siendo un resultado satisfactorio porque no se encuentra muy próximo al límite.

Dentro de las probabilidades determinadas, se encontró que únicamente el 10% de las ocasiones el pH podría exceder de 8.88, por lo que es una probabilidad baja para el efecto; y el 90% de las veces el pH será mayor a 8.04, en consecuencia casi la totalidad de las veces que el ripio sea dispuesto bajo las condiciones del estudio, este se situará en el rango de 8 – 8.9, estando dentro de los límites de legislación.

**Gráfico 11.** Persistencia de pH vs. Probabilidad de ocurrencia



Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

- **Conductividad eléctrica**

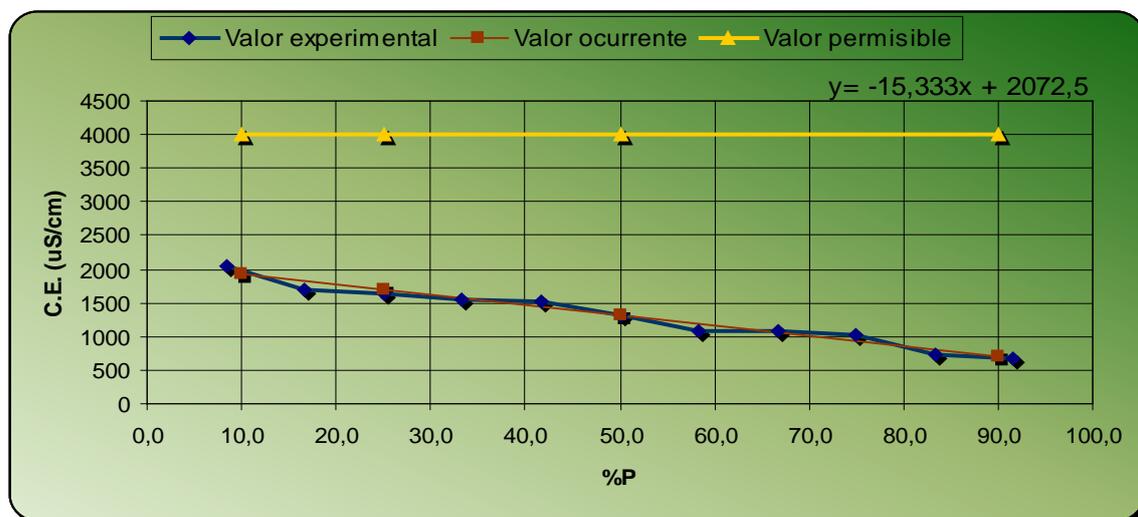
**Cuadro 12.** Probabilidades de ocurrencia de C.E.

Probabilidad de Ocurrencia (%P)	Valor Persistente	Valores notables		Máximo permisible (uS/cm)
10	1919	Máximo	2050	4000
25	1689	Mínimo	658	4000
50	1306	Promedio	1306	4000
90	693			4000

Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

Según la estadística realizada, se determinó que el valor máximo registrado para C.E. fue de 2050 uS/cm, siendo un suelo prácticamente no salino, porque según la interpretación de salinidad, a un suelo se le considera ligeramente salino pasado los 2000 uS/cm (SESA, 2008); por lo que al ripio en la parcela 1 se le puede considerar como un suelo en el límite entre lo salino y lo no salino. Al igual se determinó que casi la totalidad de la cantidad de sales expresado en 90% de ellas se encuentran en el rango de 690 a 1920 uS/cm, por lo prácticamente el suelo no presentará salinidad el 90% del tiempo bajo las mismas condiciones del estudio.

**Gráfico 12.** Persistencia de C.E. vs. Probabilidad de ocurrencia



Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

Como se muestra en el gráfico 12, los valores reales y persistentes de conductividad del suelo se encuentran muy lejos del límite permisible para C.E., por lo que una contaminación del suelo por salinidad es muy improbable bajo estas condiciones, al igual que no presentará ningún problema de toxicidad ni de absorción de agua en caso de revegetación (Fuentes Espoz, 2002).

○ Análisis de parcelas 2, 3 y 4

Se determinó los datos estadísticos de persistencia para las parcelas 2, 3 y 4 como método comparativo con la parcela 1, para demostrar la diferencia existente entre estas parcelas bajo mezclas con distintas enmiendas y la parcela conteniendo solo ripio de perforación.

Dichos datos aportarán una idea más clara de cual es el mejor método que contribuya al mejoramiento del potencial de hidrógeno y la salinidad del suelo.

• pH

**Cuadro 13.** Valores persistentes de pH

Parcela	Probabilidad de Ocurrencia (%P)	Valor Persistente	Valores notables		Máximo permisible
2	10	8.54	Máximo	8.6	entre 6 y 9
	25	8.32	Mínimo	7.2	entre 6 y 9
	50	7.95	Promedio	7.95	entre 6 y 9
	90	7.36			entre 6 y 9
3	10	8.29	Máximo	8.6	entre 6 y 9
	25	8.06	Mínimo	7.12	entre 6 y 9
	50	7.66	Promedio	7.66	entre 6 y 9
	90	7.03			entre 6 y 9
4	10	8.05	Máximo	7.97	entre 6 y 9
	25	7.93	Mínimo	7.29	entre 6 y 9
	50	7.74	Promedio	7.74	entre 6 y 9
	90	7.44			entre 6 y 9

Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

Según se aprecia en el cuadro 13, la parcela 4 reportó el pH máximo más bajo de las tres variables experimentales, pero en la parcela 3 es a la cual se adaptan a un pH más bajo en promedio, por lo que se puede indicar que la parcela 3 es la que presenta un pH más estable y más cercano a neutro. Cabe indicar, que la parcela 4 presentó un pH persistente mejor que la parcela 2 y 3, porque según las probabilidades, solo el 10% de la ocasiones el pH será mayor a 8.05, lo que en las parcelas 2 y 3 ese valor a esa probabilidad es mayor.

- **Conductividad eléctrica**

**Cuadro 14.** Valores persistentes de C.E.

Parcela	Probabilidad de Ocurrencia (%P)	Valor Persistente	Valores notables		Máximo permisible (uS/cm)
2	10	1511	Máximo	1786	4000
	25	1335	Mínimo	588	4000
	50	1041	Promedio	1041	4000
	90	570			4000
3	10	1332	Máximo	1530	4000
	25	1212	Mínimo	733	4000
	50	1011	Promedio	1011	4000
	90	690			4000
4	10	1301	Máximo	1293	4000
	25	1185	Mínimo	679	4000
	50	990	Promedio	990	4000
	90	680			4000

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

En el caso de la C.E., la parcela 4 fue la variable que determinó la salinidad más baja, porque como se puede apreciar en el cuadro 14, es la parcela 4 la que tiene la conductividad eléctrica promedio más baja en un valor menor a 1000 uS/cm, lo que no sucede con las parcelas 2 y 3 que son mayores. Al igual, es la parcela 4 la que reporta un 90% de las ocasiones una C.E. menor a 1300 uS/cm, siendo entre las 3 variables, la que menor salinidad presenta en casi la totalidad del tiempo de estudio.

#### 4.1.1.3. Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)

La presencia de TPH en estos suelos es muy baja para definirlo como suelo contaminado, debido a que los métodos empleados en la perforación petrolífera no permiten que los lodos utilizados en las últimas secciones se contaminen con hidrocarburos, resultando la mayoría de las perforaciones en estas concentraciones.

**Tabla 14.** Concentración de TPH en el ripio de perforación

PARÁMETRO	EXPRESADO EN	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/kg	5.0	EPA 8440

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

Como se muestra en la tabla 14, el resultado del análisis de hidrocarburos totales es de 5 miligramos por cada kilogramo de suelo, es decir, la cantidad total de hidrocarburos presentes en el suelo. El total no muestra directamente si se cumple o no con la legislación porque el reglamento ambiental exige que los análisis deben basarse en el lixiviado del ripio, pero asumiendo de que es una concentración sumamente baja en los suelos, se podría hablar de un suelo libre de contaminación hacia este u otros medios circundantes.

#### 4.1.1.4. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)

Es de suma importancia el análisis de HAP's en el ripio de perforación, porque dependiendo del pozo a perforar y del programa de fluidos, puede o no utilizarse derivados del petróleo en el lodo, por lo que en el ripio puede presentarse cantidades altas o bajas de estos hidrocarburos. Como la perforación de pozos es similar en la región amazónica, se utilizan los mismos constituyentes, por lo generalmente no se presentan concentraciones que puedan resultar contaminantes para el suelo.

**Tabla 15.** Concentración de HAP's en el ripio de perforación

PARÁMETRO	COMPONENTE	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)</b>	Naftaleno	ug/Kg	<1.8	EPA 8310
	Acenaftileno	ug/Kg	12.63	
	Acenafteno	ug/Kg	<1.8	
	Fluoreno	ug/Kg	<0.21	
	Fenantreno	ug/Kg	<0.64	
	Antraceno	ug/Kg	<0.21	
	Fluoranteno	ug/Kg	<0.22	
	Pireno	ug/Kg	<0.27	
	Benzo(A)Antraceno	ug/Kg	<0.013	
	Criseno	ug/Kg	<0.15	
	Benzo(B)Fluoranteno	ug/Kg	<0.018	
	Benzo(K)Fluoranteno	ug/Kg	4.61	
	Benzo(A)Pireno	ug/Kg	<0.023	
	Dibenzo(A)Antraceno	ug/Kg	<0.030	
	Benzo(G,H,I)Perileno	ug/Kg	<0.076	
Indeno(1,2,3-C,D)Pireno	ug/Kg	<0.043		

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

En la tabla 15 se desglosa cada uno de los HAP's con su valor respectivo en el suelo, mostrando en su mayoría valores no exactos y menores a 1 ug/kg. Únicamente en el caso del acenaftileno y benzo (K) fluoranteno muestran valores exactos bastante superiores a los demás. Estas concentraciones son muy bajas para definirlo al suelo como contaminado, pero al igual que el TPH, no se podría determinar si cumple o no con la legislación, ya que no se cuentan con datos de lixiviación de HAP's a partir del suelo.

#### 4.1.1.5. Metales pesados

Es importante el análisis de los metales pesados en el residuo por su uso frecuente en la formulación de los lodos para la perforación petrolera, por lo que su presencia en el residuo puede acarrear problemas ambientales, y en la postulación de alternativas para la disposición del residuo.

Los análisis se llevaron a cabo en un laboratorio certificado, en el cual los metales cadmio, cromo, vanadio, y bario se analizaron sobre el residuo y sobre el lixiviado del residuo; por consiguiente, se tiene datos de la concentración total de cada metal en el residuo y en el lixiviado. Con este antecedente se podrá determinar el grado de lixiviación que tiene cada metal a partir del residuo.

Las tablas 16, 17, 18 y 19 a continuación, muestran la concentración lixiviada de cada metal en miligramos por litro según especifica el reglamento.

Los resultados mostrados corresponden al muestreo en la disposición final, es decir al primer día de dispuesto el material; al muestreo realizado siete días después de la disposición final; y a ciento veinte días a partir de la disposición final.

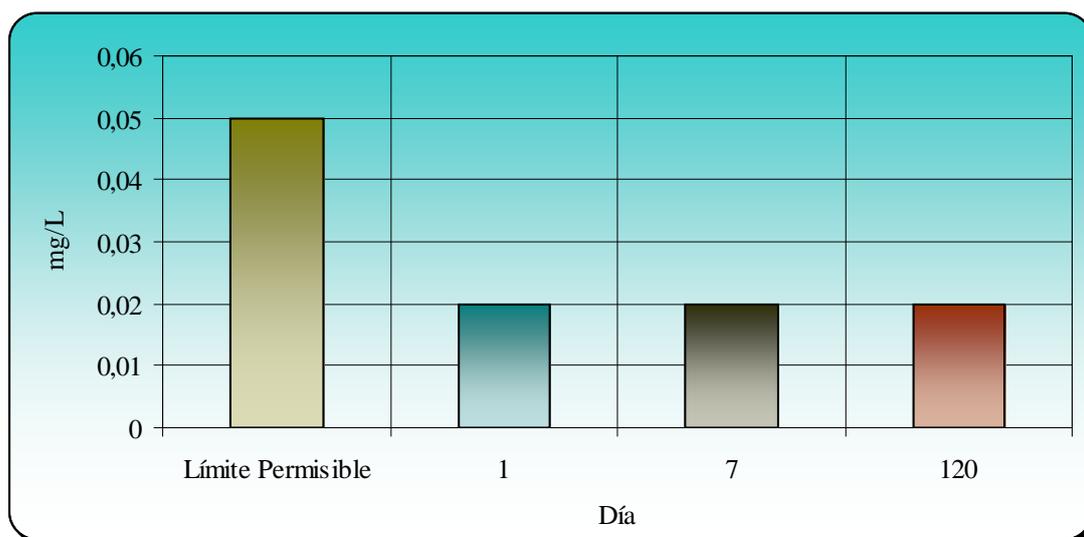
- o Cadmio (Cd)

**Tabla 16.** Concentración de cadmio lixiviado en P1

PARÁMETRO	UNIDAD	Disposición Final (18/03/2008)	Siete Días (25/03/2008)	120 Días (17/07/2008)	MÉTODO
CADMIO	mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
Límite Permissible	mg/l	<0.05			

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 13.** Concentración de cadmio en el lixiviado al día 1, 7 y 120



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

Como se muestra en la tabla 16, las concentraciones del metal son iguales para los tres muestreos siendo menores a 0.02 mg/l. En este caso se deben realizar algunas diluciones en los análisis para determinar la concentración exacta del metal en el residuo, pero estos valores resultan útiles ya que están por debajo de los valores límites exigidos en la legislación no superiores a 1.0 mg/l, por lo que el suelo cumple con el reglamento ambiental para este metal.

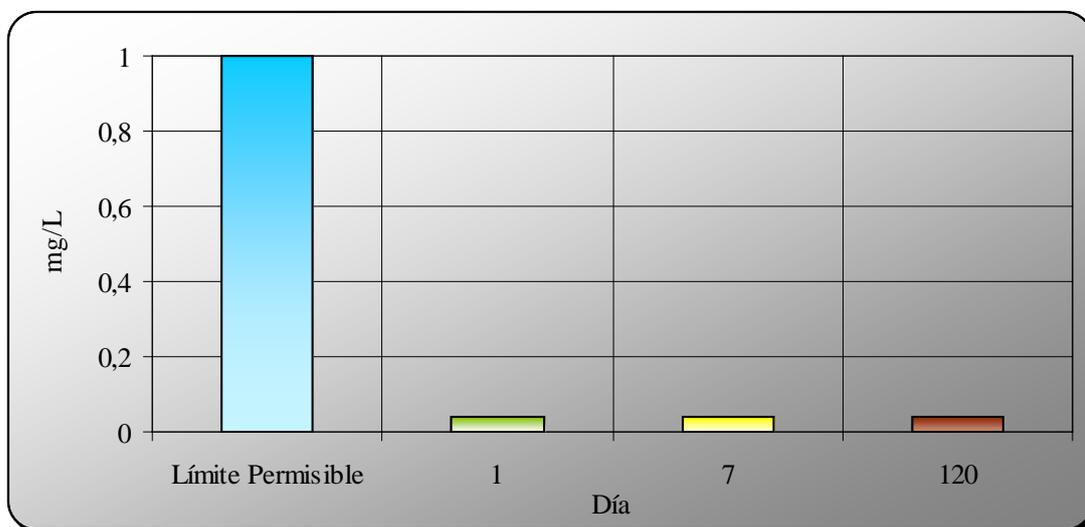
- Cromo (Cr)

**Tabla 17.** Concentración de cromo en lixiviado en P1

PARÁMETRO	UNIDAD	Disposición Final (18/03/2008)	Siete Días (25/03/2008)	120 Días (17/07/2008)	MÉTODO
CROMO	mg/l	<0.04	<0.04	<0.04	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
Límite Permisible	mg/l	<1.0			

Fuente: Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 14.** Concentración de cromo en el lixiviado al día 1, 7 y 120



Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

Como se muestra en la tabla 17 y gráfico 14, las concentraciones del metal son las mismas para los tres muestreos al igual que el cadmio, siendo menores a 0.04 mg/l. Como en el caso anterior para determinar la concentración exacta del metal en el residuo se deben realizar algunas diluciones en los análisis, pero los valores registrados en la tabla son

suficientes para demostrar que están dentro del valor límite de 1 mg/l exigido en el RAOH 1215.

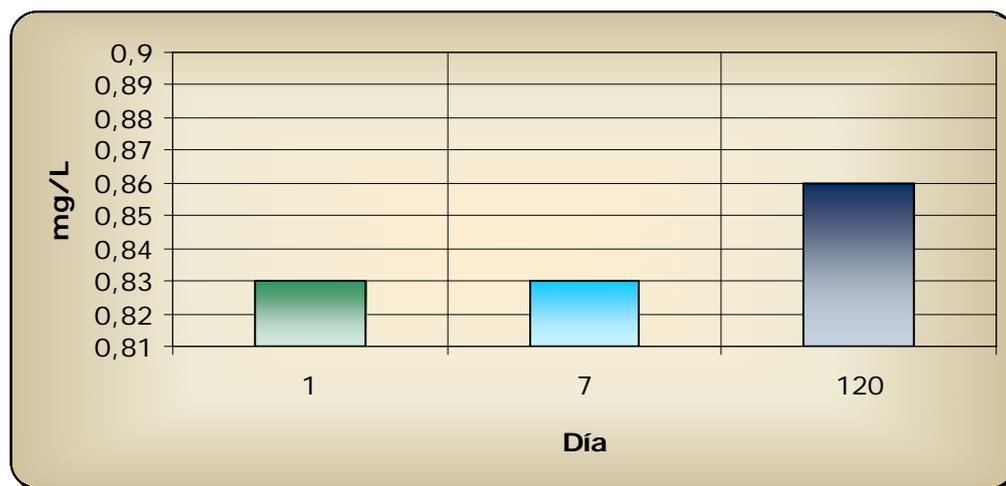
- Vanadio (V)

**Tabla 18.** Concentración de vanadio en lixiviado en P1

PARÁMETRO	UNIDAD	Disposición Final (18/03/2008)	Siete Días (25/03/2008)	120 Días (17/07/2008)	MÉTODO
VANADIO	mg/l	<0.83	<0.83	<0.86	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
Límite Permissible	mg/l	<0.2			

Fuente: Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 15.** Concentración de vanadio en el lixiviado al día 1, 7 y 120



Realizado por: David Aguirre, 2008

En la tabla 18, las concentraciones del metal para los dos primeros muestreos resultaron menores a 0.83 mg/l, y para el tercer y último muestreo menor a 0.86 mg/l. En este caso a excepción de los otros metales estudiados, las cantidades registradas pueden cumplir o no con el RAOH 1215, porque en el caso de las concentraciones presentadas, la cantidad exacta de vanadio puede encontrarse en el rango de 0 a 0.86, quedando una incógnita abierta para el caso específico de este metal.

Debido al límite de detección de 0.83 mg/l, no se pudo cuantificar el valor exacto, y determinar su contaminación; ya que para determinar la concentración exacta del metal en el residuo se deben realizar mayores diluciones en los análisis.

- o Bario (Ba)

A partir de antecedentes dados en la disposición de ripio de perforación, el Ba es el elemento traza que más importancia representa en el estudio, ya que durante la elaboración de lodos para la perforación este es uno de los elementos que mayoritariamente constituyen dicho lodo como representa la barita o baritina, por lo que su presencia en el ripio y su lixiviado va a denotar una cantidad superior en comparación al resto de metales.

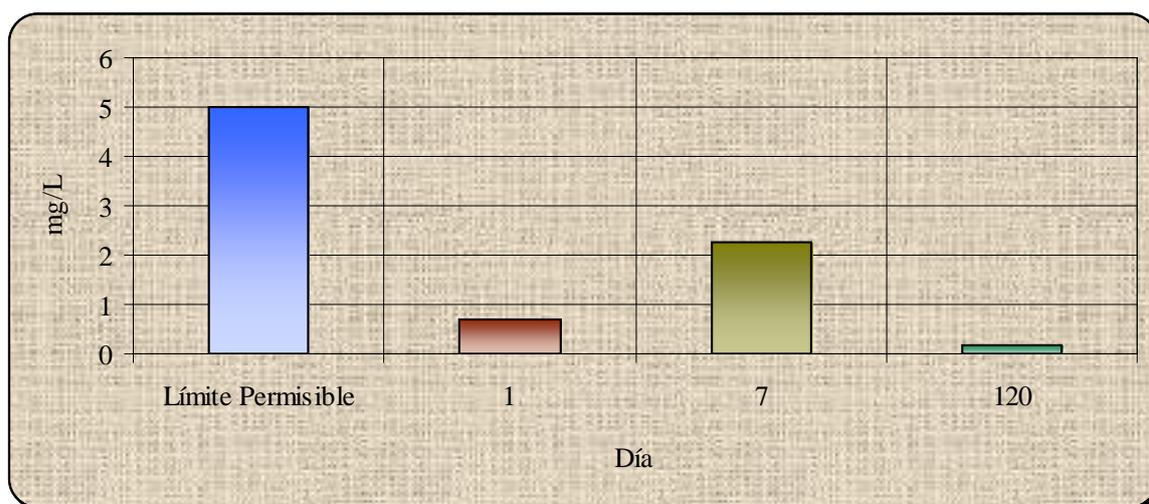
Según datos conocidos, de los últimos 10 pozos perforados dentro del bloque, solo uno reportó concentraciones mayores a 5 mg/l, que es el límite que define el RAOH 1215 para bario, a consecuencia de dos sucesos; el uso excesivo de barita en el proceso como primer antecedente y por mala homogenización del material de la piscina previo al muestreo.

**Tabla 19.** Concentración de bario en lixiviado en P1

PARÁMETRO	UNIDAD	Disposición Final (18/03/2008)	Siete Días (25/03/2008)	120 Días (17/07/2008)	MÉTODO
BARIO	mg/l	0.71	2.24	<0.18	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
Límite Permisible	mg/l	<5			

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 16.** Concentración de bario en el lixiviado al día 1, 7 y 120



**Realizado por:** David Aguirre, 2008

A diferencia del Cd, Cr y V, el bario fue el elemento que presentó distintas concentraciones en los tres muestreos realizados. Todas las concentraciones cumplen con el límite permisible de 5 mg/l descrito en la tabla 7a del RAOH 1215 para suelos sin impermeabilización.

Según se aprecia en la tabla 19, la concentración a los siete días fue mayor que a la disposición final, lo que no debería suceder, pues debido a un muestreo mal realizado a la disposición final, pues se registra una cantidad que comúnmente no es registrada en las perforaciones.

Las cantidades registradas de Ba en el ripio son exactos para los dos primeros muestreos, y para el muestreo realizado a los 120 días, resultó en una cantidad que oscila entre 0 y 0.18 mg/l, pero como se mencionó anteriormente la gráfica 14 puede apreciar como la columna al día 1 no resulta confiable por encontrarse en una cantidad que difiere mucho en los resultados normales de bario en el ripio. Para el caso del muestreo del día 7, la cantidad si resulta confiable, pues a esas concentraciones oscilan usualmente los ripios de perforación.

#### **4.1.2. METALES PESADOS: Concentración total de metales en el ripio**

Es de importancia el conocimiento del impacto ambiental ocasionado al suelo por parte de los metales pesados foco del estudio como son el cadmio, cromo, vanadio y bario. El impacto ambiental que se pudiese ocasionar resulta de la magnitud e intensidad de la contaminación por el empleo de uno u otro producto a la formulación del lodo, lo que acarrea la cantidad total de metal pesado en el residuo (ripio de perforación).

La cantidad total de cada metal en miligramos por kilogramo de ripio, pudiera aportar una idea general del estado en el que se encuentra el residuo el momento de su disposición final, además que con este dato y su lixiviado se podrá determinar si en verdad la cantidad lixiviada del residuo es alta o insignificante para lo que realmente presenta el ripio.

##### o **Cadmio (Cd)**

**Tabla 20.** Cantidad total de cadmio en el suelo al día 120

PARÁMETROS	UNIDADES	MEDIO	FECHA	Día	RESULTADO
CADMIO	mg/kg	Suelo	17/Julio	120	<b>0.86</b>

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

Para el caso del cadmio, la concentración en el residuo no se presenta en una cantidad alta siendo menor a 1. Este resultado no representa toxicidad alguna ya que su concentración en suelo considerada tóxica es de 3-8 mg/kg (Ross, 1994).

○ **Cromo (Cr)**

**Tabla 21.** Cantidad total de cromo en el ripio

PARÁMETROS	UNIDADES	Medio	FECHA	Día	RESULTADO
CROMO	mg/kg	Suelo	17/Julio	120	<b>1.1</b>

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

Esta concentración no se considera tóxica, ya que la concentración en suelo considerada tóxica va en el rango de 75 a 100 mg/kg (Ross, 1994).

○ **Vanadio (V)**

**Tabla 22.** Cantidad total de vanadio en el ripio

PARÁMETROS	UNIDADES	MEDIO	FECHA	Día	RESULTADO
VANADIO	mg/kg	Suelo	17-Jul	120	<b>8.3</b>

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

La cantidad de V presente en el residuo denota la concentración más alta registrada en el análisis en comparación con el Cd, Cr y Ba; pero esta concentración mostrada en la tabla 22, no representa toxicidad alguna en el residuo, ya que la cantidad promedio normal de toxicidad en suelos es de 100 ppm (Kabata-Pendias, 1992).

○ **Bario (Ba)**

**Tabla 23.** Cantidad total de bario en el ripio

PARÁMETROS	UNIDADES	MEDIO	FECHA	Día	RESULTADO
BARIO	mg/kg	Suelo	17-Jul	120	<b>1.8</b>

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

Como se muestra en la tabla 23, la concentración de bario en el ripio no representa toxicidad alguna en suelos, debido a que a partir de 220 mg/kg en suelos se dice que existe algún tipo de impacto (Kabata-Pendias, 1992).

### 4.1.3. TRATAMIENTO DE SUELOS

#### 4.1.3.1. Propiedades físicas

Cada una de las pruebas realizadas en campo presentó características diferentes, en las cuales se notaba claramente estas diferencias en cuanto a color, textura, porosidad, estado, etc. A continuación se presentan las propiedades físicas más relevantes de cada una de las parcelas.

- Color, porosidad y densidad real

**Cuadro 15.** Principales propiedades físicas de los suelos

Parcela	Color	Porosidad (%)	Estado Permanente
P1	Grisáceo	10%	Húmedo
P2	Grisáceo	30%	Semi-húmedo
P3	Café Oscuro	75%	Seco
P4	Café Oscuro	80%	Seco
P5	Negro	100%	Seco
Parcela	Volumen (m3)	Masa (kg)	Densidad (kg/m3)
P1	0.4	672.5	1681
P2	0.4	624.4	1561
P3	0.4	648.5	1621
P4	0.4	636.5	1591
P5	0.4	480.4	1201

**Fuente:** David Aguirre. 2008

Durante el estudio, las parcelas que más denotaron diferencias fueron las parcelas 3 y 4, ya que las parcelas 1 y 2 permanecieron igual a su disposición por al menos 2 meses. Estas diferencias remarcadas se presentaron mayormente en las parcelas conteniendo suelo orgánico; pues al parecer dicho suelo contribuyó al aumento de la porosidad, logrando una permeabilidad más efectiva del material.

Como se muestra en el cuadro 15, la parcela 1 específicamente por ser blanco del estudio se mantuvo sin variación, en la cual a precipitaciones fuertes esta era susceptible de inundaciones, pues dicha característica se apreciaba en su color, estado húmedo y en la ausencia de vegetación.

La parcela que presentó mejor desarrollo de sus propiedades fue la 4 conteniendo ripio más suelo orgánico y nativo, debido al cambio experimentado a pocos días de la disposición y al desarrollo vegetativo durante esa fase.

- Textura

**Cuadro 16.** Clase textural de suelos según el departamento de agricultura de Estados Unidos

Parcela	Clase Textural	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
P1	Franco-Arcilloso	36	30	34
P2	Franco-Arcilloso-Arenoso	50	24	26
P3	Franco-Arcilloso	44	28	28
P4	Franco-Arcilloso	44	28	28
P5	Franco-Arenoso	60	20	20

**Fuente:** David Aguirre. 2008

En el cuadro 16 se puede apreciar que las parcelas 1, 2 y 3 presentaron diferente tipo de suelo en comparación con las parcelas 4 y 5. Las parcelas 1, 2 y 3 son de textura franco-arcillosa en la que la variable uno tiene mayor predominancia de arcilla y limo. Las demás parcelas presentaron una tendencia hacia la arena por sus altos contenidos de suelo nativo, especialmente la parcela 5.

#### 4.1.3.2. Macro y micronutrientes

Para realizar la caracterización del suelo, se extrajo una muestra de suelo por cada una de las parcelas y se transportaron a un laboratorio certificado para análisis de suelos en cuanto a textura, macronutrientes, micronutrientes, pH y conductividad eléctrica. Los resultados demostraron la cantidad de cada componente en cada parcela, por lo que se podrá lograr una comparación más efectiva entre cada una de las variables, y así poder identificar cual resultaría más factible dentro del estudio.

- Interpretación de niveles óptimos

Los resultados de los elementos son interpretados de acuerdo a comparaciones con la cantidad del elemento necesario para obtener un buen desempeño del sistema suelo-planta. El cuadro siguiente muestra la interpretación para cada uno de los elementos en consideración:

**Tabla 24.** Niveles óptimos de contenido en suelo

	<b>M.O.</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>ppm</b>	<b>meq/100ml</b>	<b>meq/100ml</b>	<b>meq/100ml</b>
<b>Bajo</b>	<3.1	0 - 0.15	0 - 10	<0.2	<5	<1.2
<b>Medio</b>	3.1 - 5.0	0.16 - 0.3	11.0 - 20.0	0.2 - 0.38	5.0 - 9.0	1.2 - 2.3
<b>Alto</b>	>5.0	>0.31	>21	>0.4	>9	>2.3
	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>	<b>S</b>
	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
<b>Bajo</b>	0 - 20	0 - 5	0 - 1	0 - 3	<1	<12
<b>Medio</b>	21 - 40	6.0 - 15	1.1 - 4	3.1 - 6	1.0 - 2.0	12.0 - 24.0
<b>Alto</b>	>41	>16	>4.1	>6.1	>2	>24

**Fuente:** Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria. 2008

**Tabla 25.** Análisis de ripio de perforación (P1)

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	pH	CE (mmS/cm)	M.O. (%)	NH4 (ppm)	NO3 (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)
36%	34%	30%	FCO. ARC.	9.2	2.16	1.12	196	3.00	3.70	0.60	17.58	1.37
Na (meq/100ml)	CICE (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO4 (ppm)	Fe/Mn (R1)	Ca/Mg (R2)	Mg/K (R3)	Ca+Mg/K (R4)	
2.25	21.80	3.80	118	56	5.90	0.02	0.40	2.10	12.83	2.28	31.5	

Fuente: Agrobiolab. 2008

**Tabla 26.** Análisis de ripio más suelo nativo (P2)

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	pH	CE (mmS/cm)	M.O. (%)	NH4 (ppm)	NO3 (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)
50	26	24	FCO. ARC. AS.	9.2	1.10	1.21	128.10	5.30	9.60	0.64	13.94	1.32
Na (meq/100ml)	CICE (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO4 (ppm)	Fe/Mn (R1)	Ca/Mg (R2)	Mg/K (R3)	Ca+Mg/K (R4)	
1.85	17.75	3.10	160	76.50	7.80	0.16	4.70	2.09	10.56	2.06	23.84	

Fuente: Agrobiolab. 2008

**Tabla 27.** Análisis de ripio más suelo orgánico (P3)

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	pH	CE (mmS/cm)	M.O. (%)	NH4 (ppm)	NO3 (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)
44	28	28	FCO. ARC.	8.7	1.77	1.63	250.70	6.90	11.80	1.10	17.08	1.43
Na (meq/100ml)	CICE (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO4 (ppm)	Fe/Mn (R1)	Ca/Mg (R2)	Mg/K (R3)	Ca+Mg/K (R4)	
1.70	21.31	2.50	169	197.50	13.30	0.04	13.50	0.85	11.94	1.30	16.82	

Fuente: Agrobiolab. 2008

**Tabla 28.** Análisis de ripio más suelo nativo más suelo orgánico (P4)

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	pH	CE (mmS/cm)	M.O. (%)	NH4 (ppm)	NO3 (ppm)	P (ppm)	K (meq/100ml)	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)
44	28	28	FCO. ARC.	8.9	2.18	1.42	186.10	3.80	14.20	0.90	17.36	1.26
Na (meq/100ml)	CICE (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO4 (ppm)	Fe/Mn (R1)	Ca/Mg (R2)	Mg/K (R3)	Ca+Mg/K (R4)	
2.25	21.77	3.40	127.50	141	9.90	0.03	22.80	0.90	13.77	1.40	20.68	

Fuente: Agrobiolab. 2008

**Tabla 29.** Análisis de suelo agrícola (P5)

Clase textural	pH	M.O. (%)	N Total (%)	P (ppm)	K (meq/100ml)	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	SO4 (ppm)
FCO. AS.	7.02	1.44	0.07	28	0.30	3.9	0.90	7	144	10.3	2.3	0.30	21

Fuente: Servicio de Sanidad Agropecuaria. 2008

- **Parcela # 1**

La primera parcela conteniendo solo ripio de perforación, presenta un suelo franco-arcilloso, definido mediante el triángulo de clasificación de suelos según textura (Departamento de agricultura de Estado Unidos, USDA); representado en mayor proporción por arena y limo, tendiendo a un pH alcalino y un estado ligeramente salino.

Es la parcela 1, la que presenta mayores diferencias principalmente a su aportación de macronutrientes, que son los que más necesitan el suelo y la planta. Este desbalance se puede notar en la baja cantidad de ciertos elementos primarios y secundarios como el fósforo, nitrógeno nítrico, magnesio, boro y sulfatos; así como por su bajo contenido en materia orgánica, que desfavorece completamente el movimiento de minerales y la liberación de nutrientes para las plantas.

- **Parcela # 2**

La segunda parcela con ripio más suelo nativo, es un suelo franco-arcilloso-arenoso representado en mayor proporción por arena. El amonio, sodio, hierro, manganeso, calcio/magnesio y calcio+magnesio/potasio se presentan en una cantidad elevada como muestra la tabla 26; y la materia orgánica, al igual que el nitrato, fósforo, boro y sulfatos están en cantidades deficientes en el suelo.

- **Parcela # 3**

Este suelo conteniendo una mezcla de ripio y suelo orgánico presenta una textura franco-arcilloso con alto contenido de arena (Tabla 27). La mezcla presenta algunos nutrientes en exceso como son el amonio, calcio, sodio, hierro, manganeso, zinc, calcio/magnesio y calcio + magnesio/potasio. Otros nutrientes están presentes en concentraciones muy bajas como son la materia orgánica, nitratos, fósforo, boro y hierro/manganeso; estando los demás nutrientes en niveles aceptables para el suelo.

- **Parcela # 4**

La mezcla de la parcela 4 presenta una textura franco-arcillosa con predominancia de arenas en su contenido. Al igual que las demás parcelas, este suelo presenta un exceso en

nutrientes como el amonio, calcio, sodio, hierro, manganeso, zinc, calcio/magnesio y calcio + magnesio/potasio; y una deficiencia en materia orgánica, nitratos, fósforo, boro y hierro/manganeso, similar a lo presentado en las parcelas restantes.

○ **Parcela # 5**

La parcela 5 conteniendo solo suelo agrícola se representa como una variable comparativa con las demás parcelas, la cual se presenta en un estado neutro y de tipo franco-arenoso. A pesar de ser un suelo donde los cultivos se desarrollan normalmente, los niveles óptimos de los elementos mostrados en la tabla 29 no corroboran esta teoría, pues elementos como el nitrógeno, calcio, magnesio, zinc y boro se encuentran bajos en el suelo; y el fósforo, cobre y hierro en exceso. Según como menciona Kabata-Pendias en “Trace Elements in Soils and Plants”, las plantas son mucho más resistentes a un incremento de la concentración que a la deficiencia de los elementos; por lo que la atención se centrará en concentrar más los elementos bajos para promover un mejor desarrollo de las plantas y el suelo.

En general los elementos como el potasio, magnesio, cobre, magnesio/potasio y la capacidad de intercambio catiónico muestran valores aceptables en todas las parcelas, por lo que su manejo sería innecesario para cualquiera de los métodos empleados.

Los valores se calcularon con un nivel de confianza del 95%; por este motivo presentan diferente margen de error dependiendo del elemento (Ver anexo).

a) Elementos en deficiencia

Materia orgánica (M.O.):

En los cuadros presentados se muestra que el porcentaje de M.O. en las cuatro parcelas es baja, a pesar de que en las parcelas 3 y 4 se haya incluido gran cantidad de este elemento. Se debe incluir mayor cantidad de M.O. porque como menciona Juárez y Sánchez en “Química del suelo y medio ambiente”, este elemento es parte vital de la retención, movilización y disponibilidad de los metales en el suelo, facilita la absorción por parte de las plantas y actúa en mayor medida sobre los equilibrios que rigen la actividad del sistema suelo-planta.

#### Fosforo (P):

Las parcelas 1 y 2 fueron las únicas variables que presentaron deficiencia del elemento, acarreado algunos problemas en la mezcla, especialmente después de la siembra. Teóricamente, la ausencia de P puede provocar retraso del crecimiento y la maduración, deficiencias de formación de semillas, hojas pequeñas azul-verdosas oscuras (MIRAT Fertilizantes, 2008); notándose claramente durante el estudio que principalmente las parcelas 1 y 2 presentaron problemas con el crecimiento vegetal.

#### Nitrogeno nítrico (NO<sub>3</sub>):

Igualmente, la parcela 1 y 4 fueron las mezclas con mayor deficiencia en nitrógeno nítrico. La deficiencia de dicho elemento ha dado como consecuencia en las parcelas una maduración acelerada con frutos pequeños, hojas de color verde amarillento, caída prematura de las hojas y bajo rendimiento.

#### Magnesio (Mg):

Únicamente la parcela 5 que contenía suelo agrícola presentó deficiencia en magnesio, esto debido a que los suelos arenosos generalmente son carentes de este elemento presentando una reducción de la fotosíntesis provocando hojas amarillas y aparición de manchas pardas (MIRAT Fertilizantes, 2008).

#### Boro (B):

Todas las parcelas mostraron niveles muy bajos del elemento boro a excepción de la parcela 5, con cantidades la décima parte del nivel normal; además que esta alta deficiencia provocó como se apreció en campo hojas y tejidos jóvenes que se atrofian y se deforman.

#### Azufre (S):

Sus niveles más bajos se dieron en las variables 1 y 2, especialmente en la que no contiene mezcla, en la que la cantidad de sulfatos es casi nula, por lo que dado que interviene en la formación de la clorofila esta deficiencia provocó amarilleo de las hojas.

## b) Elementos en exceso

### Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4$ ):

Todas las variables presentaron algún nivel de exceso del elemento, pero especialmente se registró en la parcela 3 con una cantidad casi el doble de las demás, debido a la presencia de suelo orgánico en mayor proporción el cual está en el suelo en forma de humus orgánico asimilable para la planta. El exceso de este elemento puede provocar retraso en la maduración y mayor sensibilidad y vulnerabilidad a enfermedades.

### Potasio (K):

El potasio se presenta en niveles no muy superiores a los normales en todas las parcelas a excepción de la parcela 5, donde su cantidad es normal. Como se trata de un macronutriente primario, esta pequeña elevación provocó retraso en el crecimiento de la planta principalmente en la parcela 3 donde su crecimiento se vio demorado hasta pasado los 2 meses.

### Calcio (Ca):

El calcio si se vio en exceso en las parcelas, notandose en la parcela 1, 3 y 4 donde fue mayoritario. Este exceso puede producir una inmovilización de Fe, B, Zn y Mn y también puede provocar una inhibición de asimilación de K (MIRAT Fertilizantes, 2008). Es por este motivo que se puede encontrar en los resultados que en exceso de calcio, los demás elementos también están en exceso.

### Oligoelementos:

Todas las mezclas contenían niveles altos de oligoelementos como sodio (Na), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), que en general presentaron mayor contenido en las parcelas 3 y 4. El exceso de estos elementos generalmente no provocó efectos adversos en el medio, pero el exceso de estas parcelas podría haber provocado un desequilibrio nutritivo por hierro y manganeso.

#### 4.1.4. REVEGETACIÓN

##### 4.1.4.1. Siembra

La siembra de semillas *Brachiaria* se hizo luego de realizar el muestreo del residuo a los 7 días de la disposición por cuanto se tenía que homogenizar el material, por lo que no era factible realizar la siembra. La siembra se realizó según lo establecido, es decir, se colocó 1 g. de semillas en cada uno de los 28 agujeros, a una profundidad de 8 cm, y una distancia de 7 cm entre agujeros. Cabe acotar que las parcelas se mantuvieron a lo largo de los 4 meses a cielo abierto, para que todos los factores ambientales se vean influenciados en los trabajos.

##### 4.1.4.2. Crecimiento

A los 15 días de sembrada la semilla (*Brachiaria*) en cada parcela, se comenzó a observar el crecimiento de la planta en la parcela 4 y 5 únicamente.

- Crecimiento de *Brachiaria* después de 60 días

El tiempo de crecimiento de la especie en las parcelas fue de 60 a 90 días, pero su crecimiento y desarrollo fue diferente para cada parcela como se detalla a continuación:

**Cuadro 17.** Tamaño y contenido de *Brachiaria* a los 60 días

Parcela	Tiempo	Contenido (%)	Tamaño de hoja (cm)
P1	2 meses	0%	-
P2	2 meses	10%	5 cm
P3	2 meses	50%	30 cm
P4	2 meses	60%	40 cm
P5	2 meses	90%	70 cm

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

Como se logra mostrar en el cuadro 17, la planta se desarrolló mejor en la P5, por cuanto esta contenía suelo agrícola. Las plantas también lograron crecer en las parcelas 3 y 4, pero en menor tamaño y proporción que en la P5. Después de los 2 primeros meses, no se observó crecimiento de planta en la parcela 1, porque la parcela experimentó un periodo de

inundación debido a la porosidad casi nula del ripio provocando que el agua no se infiltre. Los 5 cm aproximadamente de capa de agua que cubría al ripio no permitió la germinación de la semilla; por lo que inmediatamente se retiró el exceso de agua y se adecuó mayores espacios por donde el agua pueda escapar. En la parcela 2 logró observarse 4 plantas pequeñas de aproximadamente 5 cm la hoja, debido a que existía agua cubriendo el material pero en menor cantidad que la P1 porque en esta se mezcló con suelo nativo por ende había mayor porosidad.

○ Crecimiento de *Brachiaria* después de 120 días

Al cabo de 4 meses, la planta creció en todas las parcelas, pero esta denotó diferentes crecimientos y desarrollos en cada parcela como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro 18.** Tamaño y contenido de *Brachiaria* a los 120 días

Parcela	Tiempo	Contenido (%)	Tamaño de hoja (cm)
P1	4 meses	20%	12 cm
P2	4 meses	50%	26 cm
P3	4 meses	95%	80 cm
P4	4 meses	100%	120 cm
P5	4 meses	100%	105 cm

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

Como se muestra en el cuadro 18, la planta logró crecer al cabo de 120 días expuesta a cielo abierto, donde la planta mostró 100% de crecimiento en P4 y P5, mientras que P2 mostró la mitad de su capacidad con crecimiento de plantas y en P1 se observó muy poco crecimiento de la planta con un tamaño de hoja que no lograba mostrar las características de la planta.

○ Características de las plantas durante su crecimiento:

Durante los meses de crecimiento, las plantas mostraron diferentes características en cada parcela, en cuanto a color, textura, hábito de crecimiento, raíces y tipo de hoja. En el cuadro siguiente se representan las características finales a los 120 días de su disposición:

**Cuadro 19.** Características de *Brachiaria*

Parcela	Textura en láminas	Color	Hábito de crecimiento
P1	Glabrescente	Verde Oscuro	Tallos Rizos
P2	Glabrescente	Verde Oscuro	Tallos Rizos
P3	Glabrescente	Verde Claro	Tallos 50% vertical
P4	Glabrescente	Verde Claro	Tallos 70% vertical
P5	Glabrescente	Verde Amarillo	Tallos Erectos

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

Todas las parcelas presentaron en sus plantas hojas con láminas glabrescentes, es decir, no son hojas sedosas ni presentan pelos. Además las parcelas 1, 2 y 3 se caracterizaron por presentar hojas de color verde oscuro a diferencia de la P4 un verde claro y la P5 de un verde amarillo, debido a la deficiencia de algunos nutrientes como los nitratos, magnesio, fósforo y sulfatos. Igualmente, cada parcela mostró diferentes hábitos de crecimiento como por ejemplo en la tabla se describe que todas las parcelas conteniendo ripio mostraron algún tipo de inclinación y encurvaturas en sus tallos a diferencia de la parcela 5 donde su tallo fue prácticamente vertical.

#### 4.1.5. ABSORCIÓN DE METALES PESADOS POR PLANTAS

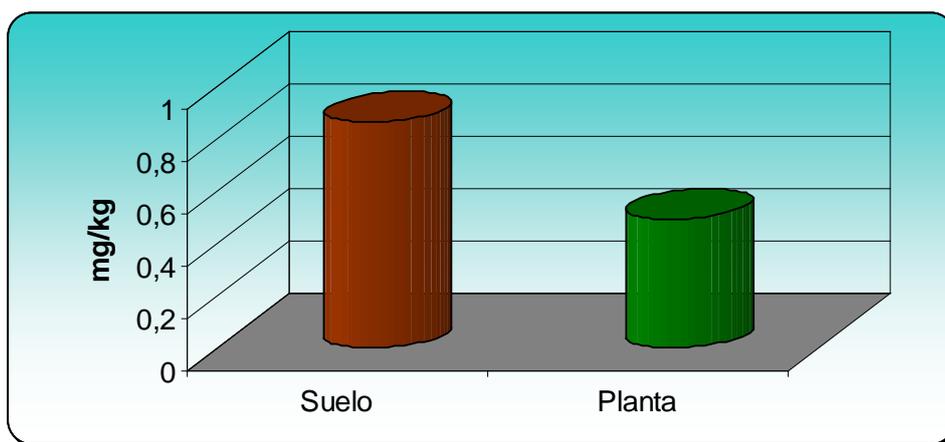
##### o Cadmio

**Tabla 30.** Cantidad de Cd absorbido por *Brachiaria*

PARÁMETROS	UNIDADES	MEDIO	FECHA	Día	RESULTADO
CADMIO	mg/kg	Suelo	17/Julio	120	<b>0.86</b>
CADMIO	mg/kg	Planta	17/Julio	120	<b>0.49</b>

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 17.** Concentración total de cadmio en ripio y planta al día 120



Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

Como se muestra en la tabla 30, la cantidad de cadmio absorbido por la planta es alto; una cantidad que es aproximadamente la mitad de lo presente en el ripio. Estos resultados pueden ser comparables ya que las muestras respectivas fueron tomadas el mismo día. Se puede mencionar que dicha cantidad en la planta no resulta tóxica porque la cantidad tóxica en teoría del cadmio en plantas es a partir de 3 mg/kg.

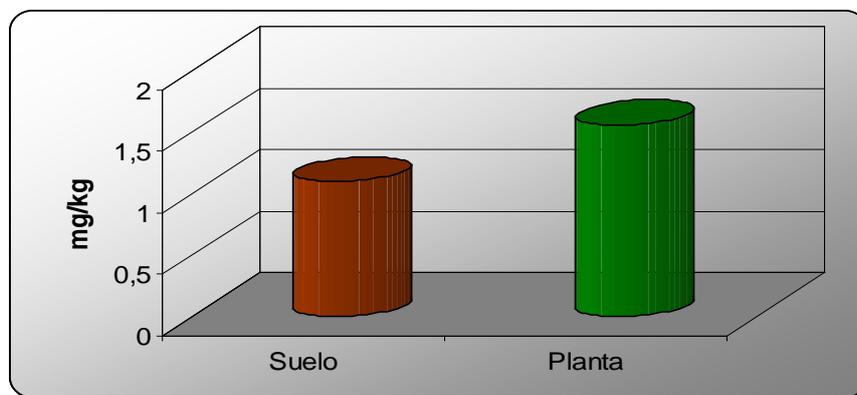
o **Cromo**

**Tabla 31.** Cantidad de Cr absorbido por *Brachiaria*

PARÁMETROS	UNIDADES	Medio	FECHA	Día	RESULTADO
CROMO	mg/kg	Suelo	17/Julio	120	<b>1.1</b>
CROMO	mg/kg	Planta	17/Julio	120	<b>1.56</b>

Fuente: Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 18.** Cantidad total de cromo en el ripio y planta al día 120



Fuente: Elaborado por David Aguirre. 2008

Según se aprecia en la tabla 31, la planta logró absorber una cantidad apreciable de cromo, pues la cantidad en la planta es mayor a la del suelo al día 120. No se registra toxicidad en la planta, debido a que en teoría el rango de toxicidad del cromo en plantas es de 5 a 30 mg/kg. Generalmente, las plantas son muy poco tolerantes al metal cromo, por lo que esta concentración desvirtúa tal teoría.

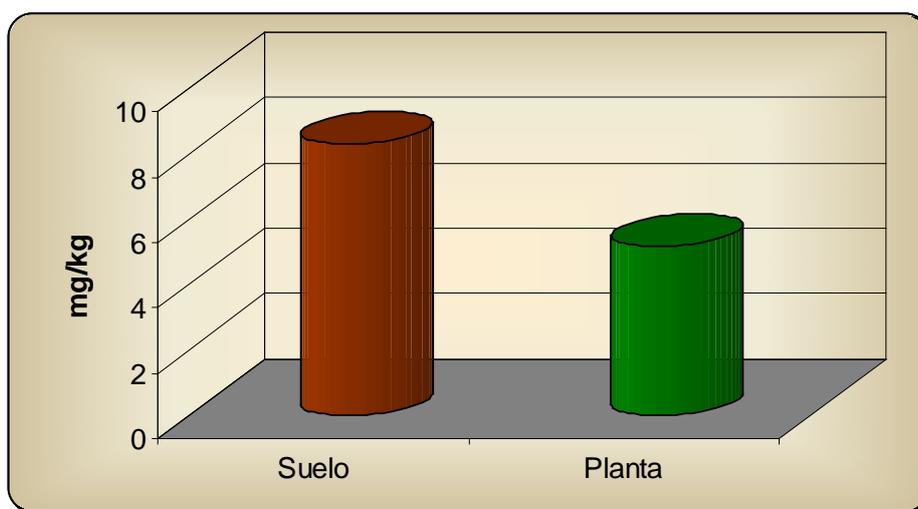
○ **Vanadio**

**Tabla 32.** Cantidad de V absorbido por *Brachiaria*

PARÁMETROS	UNIDADES	MEDIO	FECHA	Día	RESULTADO
VANADIO	mg/kg	Suelo	17/Jul	120	<b>8.3</b>
VANADIO	mg/kg	Planta	17/Jul	120	<b>5.17</b>

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 19.** Cantidad total de vanadio en el ripio y planta al día 120



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

A diferencia del cromo en la planta, el vanadio registró concentraciones más bajas en la planta que en el ripio. El vanadio presenta una similitud al cromo en cuanto al proceso de absorción por la planta, pero el vanadio es mejor absorbido a pH neutros o alcalinos.

5.17 ppm en la planta podría no ser muy tóxica, debido a que en teoría el vanadio podría ser tóxico para la planta si este sobrepasa los 140 ppm en el suelo.

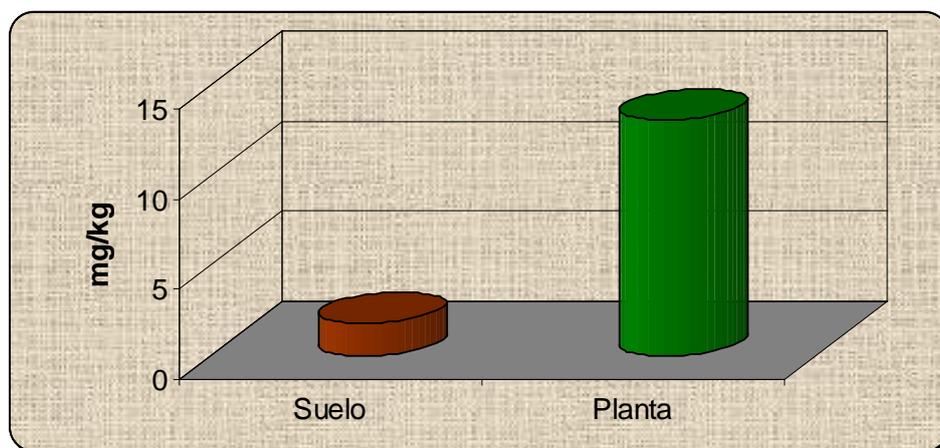
○ **Bario**

**Tabla 33.** Cantidad de Ba absorbido por *Brachiaria*

PARÁMETROS	UNIDADES	MEDIO	FECHA	Día	RESULTADO
BARIO	mg/kg	Suelo	17/Jul	120	<b>1.8</b>
BARIO	mg/kg	Planta	17/Jul	120	<b>13.12</b>

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

**Gráfico 20.** Cantidad total de bario en el ripio y planta al día 120



**Fuente:** Elaborado por David Aguirre. 2008

La concentración de bario en la tabla 33 es muy alta en comparación a la del ripio, debido a que el bario es un elemento común en las plantas pero no esencial para estas, por lo que la cantidad absorbida sumado a la presente da igual a 13.12 mg/kg, a pesar de que teóricamente este elemento es difícilmente absorbido y acumulado por las plantas; además que no es tóxico para el medio ya que existen reportes que indican su toxicidad en concentraciones mayores a 150 ppm en plantas.

#### 4.1.5.1. Transferencia suelo-planta

Con el objeto de caracterizar la transferencia suelo-planta, se determina un coeficiente de transferencia  $C_T$  que indique el grado de absorción y su confiabilidad sobre la toma del suelo. El  $C_T$  se define como:

$$C_T = \text{Concentración en la planta} / \text{Concentración en el suelo}$$

Si la relación de planta y suelo resulta en coeficientes iguales a cero, la transferencia es nula. Se puede hablar de un grado de transferencia notable si los coeficientes son mayores o próximos a 1.

Los coeficientes de transferencia de suelo a planta para cada metal en estudio son:

**Cuadro 20.** Coeficiente de transferencia suelo-planta de cada metal

<b>Metal Pesado</b>	<b>Concentración en planta</b>	<b>Concentración suelo</b>	<b>Coefficiente de transferencia</b>
Cadmio	0.49	0.86	0.57
Cromo	1.56	1.10	1.42
Vanadio	5.17	8.3	0.62
Bario	13.12	1.8	7.3

**Fuente:** Elaborado por David Aguirre, 2008

Resumiendo, los coeficientes resultantes indican teóricamente que el bario presenta el más alto grado de transferencia a la planta; además el cromo muestra un grado aceptable de transferencia siendo su cantidad en planta mayor que en suelo. En el caso del cadmio y vanadio la transferencia no es alta, ya que sus cantidades en la planta son menores a las presentes en el ripio, por lo que el grado de absorción de las plantas para el cadmio y vanadio bajo este sistema es bajo, pero esto resulta contradictorio con lo que muchas teorías mencionan de que en el caso del cadmio es el elemento mayormente absorbido por las plantas, seguido del cromo y vanadio en este caso, y por último el bario que es prácticamente intransferido a las plantas.

#### **4.1.6. MOVILIDAD DE METALES PESADOS EN EL MEDIO**

Los metales pesados presentes en el medio y motivo del estudio, pueden retenerse en el suelo o pueden moverse a través de diferentes vías existentes como por lixiviación o absorción a la planta.

Los resultados de la cantidad total de metales en el suelo, lixiviado y planta contribuirán a la explicación de este fenómeno de movilidad de metales en el suelo.

La siguiente tabla resume la cantidad de metales presentes en el suelo, lixiviado y planta a los 120 días de la disposición final:

**Tabla 34.** Cantidad de metal en suelo, planta y lixiviado

Metal	Medio		
	suelo (mg/kg)	lixiviado (mg/l)	planta (mg/kg)
Cd	0.86	<0.02	0.49
Cr	1.1	<0.04	1.56
V	8.3	<0.86	<5.17
Ba	1.8	<0.18	13.12

**Fuente:** Universidad Central del Ecuador. 2008

En el balance de materia de la tabla anterior, se observa que para el caso de la concentración en la planta, solo se puede comparar con las concentraciones del suelo y el lixiviado a los 120 días.

En el caso del cadmio, se observa una mayor movilidad hacia las plantas con valores relativamente altos comparados con la concentración final en el suelo; en cambio su movilización hacia el lixiviado es muy baja; en consecuencia, buena parte del elemento quedó retenido en el suelo, debido a que se encuentra asociado a ligandos inorgánicos como fosfatos y sulfatos que contribuyen a la retención del ión en el medio (Kabata-Pendias, 1992).

Al igual que el cadmio, el cromo también presentó mayor movilidad hacia la planta, más no en el lixiviado, encontrándose una concentración mínima en el lixiviado, muy por debajo del límite permisible y mucho más baja que la presente en el suelo. En este caso, la cantidad en la planta fue mayor que en el suelo por lo que la transferencia de este elemento fue superior a la presentada por el cadmio, por lo tanto no existió retención en el suelo.

El vanadio, además de ser el elemento con mayor presencia en el sistema, tuvo mayor movilidad hacia la planta que al suelo; por la que su cantidad en planta es menor a la del suelo, mostrando que la transferencia a planta es más baja que el cromo, y la cantidad lixiviada representa menos de la décima parte de lo presente en el suelo.

Para el bario se aprecia una mayor lixiviación en relación al resto de elementos, obteniéndose en promedio un 15%, pero esta concentración no representa ningún impacto al ambiente, además de que los resultados fueron muy inferiores al límite permisible del RAOH 1215.

En cuanto a su presencia en la planta, la transferencia denotó una concentración muy alta comparada con la presente en el suelo, al igual que el cromo; pero esta cantidad representa la suma de la concentración original de bario en la planta más lo absorbido.

#### **4.1.7. DISPOSICIÓN FINAL SIN IMPERMEABILIZACIÓN**

##### **4.1.7.1. Fases de tratamiento**

Para lograr una disposición final exitosa del ripio de perforación en zonas sin impermeabilización se deberá trabajar en tres fases de tratamiento previo a la restauración de lugares alterados físicamente. Las instancias del estudio se basan en una fase preparatoria en donde se realizará una planificación y organización del tratamiento priorizando enfoques sobre las alternativas estratégicas a manejar según el caso, así como la metodología de trabajo, cronograma de labores, materiales y la definición del área donde se realizarán los tratamientos; una fase operativa, la que involucrará las adecuaciones del lugar objeto de tratamiento, los tratamientos del residuo con otros agentes, controles, seguimientos a los trabajos, muestreos y análisis de parámetros exigidos en la legislación aplicable; y la fase post operativa donde se prestará atención al proceso de disposición final priorizando la recuperación y restauración del lugar, así como promover su revegetación espontánea.

- Fase preparatoria: Planificación y organización del tratamiento

Como parte de la fase preparatoria se realizará un proceso para definir la intervención y el programa de ejecución, el cual plantea el residuo como sujeto del tratamiento, la problemática, oportunidades, contenido y el alcance del proceso en función de las características del medio.

Para que los trabajos se desarrollen con alta calidad y en función de la economía de quien interese, se deberán conformar tareas orientadas a la planificación y organización de los trabajos, las cuales se detallan a continuación:

- Definición de los ámbitos a los que afectará los tratamientos:

Está referido al espacio geográfico objeto del tratamiento que puede venir dado por la empresa o persona que impulsa y asume los tratamientos o ser objeto de delimitación

bajo criterio técnico en el desarrollo del trabajo, así sea, los resultados de análisis si el ámbito inicialmente previsto se modifica.

- Diagnóstico preliminar del problema:

Este paso consiste en un conocimiento de las características y condiciones del residuo y del espacio que se recuperará; tratándose en un diagnóstico orientado a determinar el estilo de tratamiento, el contenido, el alcance, información y fuentes para su desarrollo, así como de la economía de medios para avanzar según lo amerite.

- Definición del enfoque de los tratamientos:

Se basa en la identificación de la alternativa estratégica más conveniente orientada al enfoque del estado final después de realizados los trabajos y de la forma de llegar a ella. Para definir con precisión estos elementos se requiere realizar un análisis sobre las posibilidades legales, técnicas, económicas, financieras, sociales, y ambientales.

Para el presente estudio se definirá como alternativas estratégicas de disposición del ripio de perforación después del tratamiento a la **restauración** entendida como un estilo para emular la estructura, funcionamiento y dinámica del ecosistema inicial anterior a la intervención humana; **recuperación**, entendido como a la operaciones necesarias para transformar un espacio indeseable en uno considerado bueno; y la **revegetación**, en la cual se intenta implementar una cubierta vegetal estable como eje para estabilizar terrenos, controlar la erosión y mejorar el aspecto visual de la zona.

- Elaboración de una metodología a seguir:

Se basará en una secuencia lógica de tareas complementarias orientadas a la elaboración de los proyectos planificados con anterioridad, en la cual se detalla cada una de las tareas a realizar en torno al problema a tratar, sus causas, los agentes implicados, soluciones y tratamientos posibles (Figura 13).

- Realización de un inventario de materiales de trabajo necesarios:

Previo a la ejecución de las obras se deberá definir mediante un inventario la cantidad de equipos y materiales necesarios para la realización de los tratamientos, los cuales estarán en función de la disponibilidad en el lugar y del presupuesto de trabajo.

- Definición de un equipo multi e interdisciplinario:

Se deberá trabajar sobre el diseño de una estructura de trabajo con la inclusión de un equipo humano apto en todas las áreas, el cual será capaz de lograr un trabajo eficiente y de calidad.

- Cronograma de tareas y asignación de responsabilidades:

El cronograma de trabajo permitirá controlar los tiempos que cada tarea y equipo en conjunto requiere y estará en función de las condiciones económicas, técnicas, sociales y ambientales; pues para el efecto se designarán responsables que se encargarán del control y manejo de cada tarea y de su tiempo.

- Presupuesto de trabajo:

Se elaborará un presupuesto de la totalidad de las obras contempladas en el proyecto, el cual estará definido en e costes de cada unidad de obra, es decir, cada tarea tendrá su coste definido en términos de precios básicos desglosados en coste de mano de obra, coste de maquinaria y coste de materiales.

- Fase operativa

#### Disposición temporal en piscinas:

Todo los ripios generados durante la perforación serán copilados en piscinas con impermeabilización construidas para el efecto, las cuales de depósitos temporales del residuo durante los tratamientos para mejorar el estado del residuo y poder adecuarlo para su disposición sin impermeabilización. El material quedará en las piscinas hasta el final de las operaciones para comenzar con la ejecución de los tratamientos, esto con el objeto de que se pueda tratar todo porque los ripios no tienen el mismo contenido siempre.

#### Verificación y control de parámetros ambientales:

Antes de que los tratamientos y diluciones puedan realizarse, se harán análisis del residuo porque este debe cumplir con la legislación ambiental RAOH 1215, por tratarse de un residuo contaminante no peligroso. Siempre y cuando los ripios cumplan con todos los parámetros del reglamento, estos podrán ser sometidos a tratamientos para mejorar sus condiciones.

Para dar cumplimiento del RAOH 1215, se realizarán varios muestreos de ripio en campo, los cuales deberán basarse en un programa de muestreo, conteniendo técnicas de muestreo,

preservantes, transporte, con el objeto de que los resultados sean confiables al momento de su análisis.

#### Tratamientos:

Luego de demostrar que el ripio ha cumplido con el RAOH 1215, se aplicará el mejor tratamiento o tratamientos realizados durante el estudio, sean estos con los materiales utilizados en la metodología de estudio o bien utilizar enmiendas más efectivas para mejorar aún más las propiedades y características del ripio.

Los tratamientos serán realizados al final de las operaciones de perforación, ya sea en las piscinas habilitadas en la misma locación o en otra zona destinada especialmente para el efecto. Durante la ejecución de los tratamientos, se realizarán seguimientos y controles a las características y propiedades del suelo, en especial a lo que tiene que ver con los parámetros ambientales de importancia mayor, para corregir alguna adversidad y adecuarlos de acuerdo al enfoque y objetivo final del tratamiento.

#### Disposición final:

Terminados los tratamientos y recuperación del ripio a suelo, se trasladará el material al lugar destinado como área de recuperación y restauración, parte de la fase post-operativa.

- Fase post-operativa

#### Recuperación de áreas alteradas físicamente:

Bajo el enfoque y objetivo final del tratamiento, se hará énfasis en la restauración y recuperación de áreas que en algún momento fueron víctimas de explotación y degradación, dejándolas alteradas física y biológicamente. La restauración estará enmarcada en el diseño preparatorio de la imagen final del espacio degradado, que estará acorde a las exigencias técnicas, económicas, sociales y ambientales.

Todo el proceso de restauración cubrirá su adecuación en el área y revegetación para la recuperación de la fauna y flora perdida en el lugar.

#### Revegetación:

Se pretende establecer una cubierta vegetal estable de la que se esperan muchas funciones de importancia para la recuperación del espacio, tal como incrementar la biodiversidad, proteger el suelo, mejorar el paisaje, etc.

Para pretender obtener una cubierta vegetal estable, se deberá hacer hincapié en la elección de una especie que este acorde a las condiciones ambientales del lugar y a los objetivos que se persiguen en la revegetación. En el caso del presente estudio, los factores ambientales de mayor importancia son:

Factores Climáticos, que rigen la vida vegetal en general como la respiración, fotosíntesis, transpiración, absorción de agua, etc.

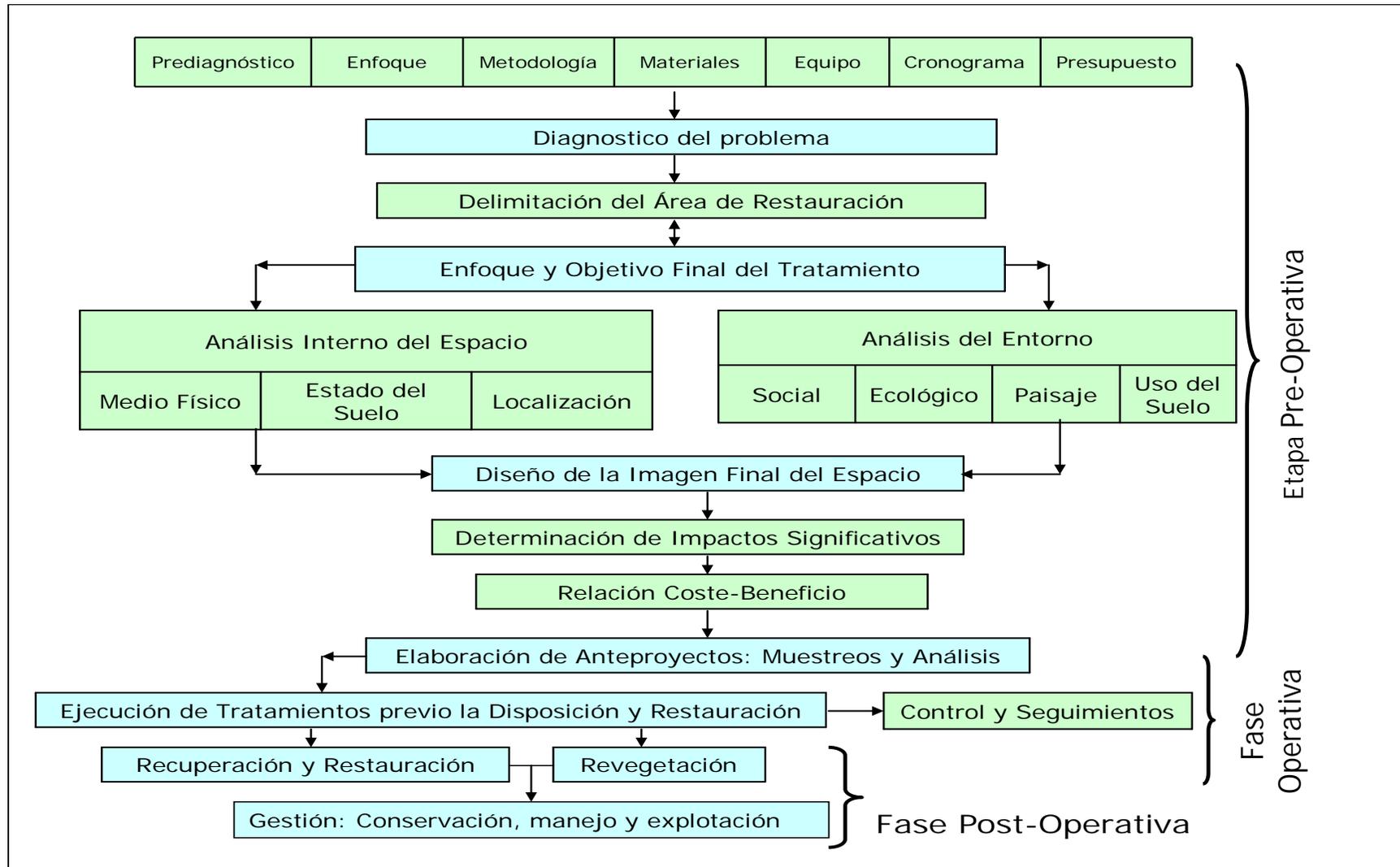
Factores Edáficos, que tienen que ver con la textura, estructura, contenido de materia orgánica, fertilidad del suelo, el pH y las sales presentes.

Presencia de Contaminantes, principalmente referidos a la presencia de metales pesados, los cuales suelen acumularse en las raíces de las plantas.

#### Gestión: Conservación, manejo y explotación:

Para asegurar la persistencia de los trabajos en el área restaurada y de que esta no se vea influenciada por una nueva alteración, se realizarán programas de conservación, manejo y explotación sustentable en el caso de que el área sea destinada para alguna utilidad como agricultura, recreación, urbanización, etc. La gestión del área estará a cargo de los pobladores de los alrededores, que son los principales beneficiados del proyecto.

**Figura 13.** Diagrama de flujo de la metodología de disposición



Fuente: Domingo Gómez. Recuperación de Espacios Degradados. 2004

## 4.2. DISCUSIÓN

- El pH y C.E. del ripio de perforación, cumplieron casi en su totalidad con el RAOH 1215, a excepción del primer valor analizado de pH de 9,13. La C.E., cumple el límite permisible, siendo un residuo no salino.
- Los análisis de pH y C.E. de las parcelas 3 y 4, se retrasaron por dos días; debido a que, no se disponía de suelo orgánico para la disposición final; a diferencia de las parcelas 1 y 2, en las cuales si se realizaron los análisis al día de la disposición porque si se logro las mezclas para esa fecha.
- La mezcla: ripio + suelo nativo + suelo orgánico (parcela 4), fue el tratamiento en el cual el pH se mantuvo en valores inferiores a 8, es decir, desde el momento de realizada la mezcla, el pH disminuyó aproximadamente en 1.5 unidades en comparación al pH del ripio de perforación.
- Al igual que en el caso del pH, fue la parcela 4 la que tuvo menor conductividad desde el momento de la mezcla, debido a que los suelos utilizados tienen un bajo contenido de sales.
- Para el problema de las sales, resultó mejor la aplicación de suelo nativo, pues en las parcelas 2 y 4 la disminución de la conductividad fue mayor.
- El análisis estadístico demuestra que en un 98% de las ocasiones, el pH del ripio cumplirá satisfactoriamente con el límite máximo permisible de 9.
- En el 90% de las veces, la C.E. del ripio estará por debajo del límite a partir del cual el suelo se considera como salino (2000 uS/cm).
- La concentración de TPH presente en el ripio fue de 5 mg/kg, la cual puede considerarse muy baja en comparación con la normativa ambiental, para calificarle al residuo como contaminante.
- Al igual que el TPH, las cantidades de HAP's presentes en el ripio fueron muy bajas en comparación con el RAOH 1215 tabla 6; con lo cual se demuestra que se utilizó muy poca cantidad de aromáticos en las operaciones, pero los valores registrados fueron del suelo y no del lixiviado, por lo que no se puede dar cumplimiento al RAOH 1215. Como las cantidades son bajas, teóricamente la lixiviación del compuesto sería casi nula, por lo que podría corresponder el cumplimiento del reglamento.

- Los metales pesados motivo del presente estudio como el cadmio, cromo y bario cumplieron con el RAOH 1215 para su disposición sin impermeabilización según la tabla 7a.
- El bario estuvo por debajo del límite permisible, a pesar de ser considerado como el elemento de mayor aplicación en la formulación de lodos para las operaciones de perforación hidrocarburíferas.
- Las concentraciones de los elementos analizados no representan ciertamente niveles de toxicidad en los suelos, ya que se encuentran muy por debajo del rango mínimo de toxicidad en un suelo promedio; así, el cadmio que es el elemento más tóxico en el suelo, se encuentra en cantidades 8 veces menor al valor mínimo de toxicidad.
- En cuanto a los nutrientes, indispensables para el desarrollo del suelo y ciclo de vida de la planta, la mayoría de los tratamientos mostraron alguna deficiencia y exceso en nutrientes, lo que repercute en el crecimiento y buen desarrollo de la planta.
- Fue la parcela 1 la que presentó mayores alteraciones, pues obviamente se trataba de un residuo al que no le fue añadido ninguna enmienda.
- Las dificultades se dan a causa de la deficiencia de materia orgánica, fósforo, nitratos, boro y azufre, lo que provocó la inmovilización de nutrientes y metales, el retraso del crecimiento y maduración de la planta, mala formación de la semillas, bajo rendimiento, etc.
- La parcela 2 fue similar a la parcela 1, pero su rendimiento resultó mejorado ya que la deficiencia de dichos elementos no es tan baja comparada con la parcela 4; por este motivo considero que hubo más movilización de metales y nutrientes, crecimiento y rendimiento de la planta en P4.
- Las parcelas 3 y 4 mostraron las mismas características y elementos deficientes con menores cantidades en la parcela 4; a pesar de esto, las dos parcelas lograron un buen crecimiento y formación de la planta.
- Todas las parcelas presentaron exceso en los mismos elementos, demostrando que la proporción de ripio utilizada no es la mejor para disminuir la cantidad de estos nutrientes, lo que ha provocado retraso en el crecimiento y maduración de la planta, baja asimilación de macronutrientes, vulnerabilidad a enfermedades, y un desequilibrio nutritivo especialmente por Fe y Mn.
- La parcela 5 que contiene solo suelo agrícola, también presentó cantidades deficientes y excesos de nutrientes al igual que las demás parcelas; además que, es la

parcela que tuvo cantidades deficientes de magnesio, lo que provocó el desarrollo de hojas color amarillo por inhibición del proceso de fotosíntesis.

- En el proceso de crecimiento de la planta, las parcelas 3 y 4 presentaron mayor cantidad de hojas con un tamaño de alrededor de un metro de altura con una leve diferencia entre las parcelas.
- Las parcelas 1 y 2 mostraron un pequeño crecimiento de plantas, siendo mayor en la parcela 2, no obstante, la parcela 2 no cubrió las expectativas de tratamiento.
- Las mejores características de la planta se dieron en la parcela 4, mostrando un color más claro y un crecimiento prácticamente vertical, la cual no presenta ni pelos ni glándulas en sus láminas, pero esta última fue una característica de todas las parcelas.
- Los resultados obtenidos demuestran que la planta absorbe parcialmente todos los metales pesados en estudio. El cromo y el bario mostraron mayor transferencia suelo-planta que el cadmio y el vanadio, en la cual su concentración en la planta fue mayor a la presente en el suelo al día 120.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- Actualmente, las operaciones de perforación hidrocarburíferas tratan de realizarse en un entorno más amigable con el ambiente, donde la meta es producir el menor impacto posible sin desviarse de las operaciones normales, para la cual se han implantado tecnologías innovadoras y se han cambiado muchas maneras tradicionales de perforación; entre ellas está el uso de fluidos en base agua y algunos productos biodegradables, que ayudarán a la generación de residuos no contaminantes que pueden ser dispuestos al ambiente bajo tratamiento.
- En los últimos años, las operaciones de perforación se han visto en aumento por la alta demanda del mercado, el precio del petróleo y producciones a la baja; por lo que se han desarrollado una mayor cantidad de pozos. Como resultado, se construyen más piscinas de mayor tamaño para poder albergar toda la cantidad de residuos generados por la perforación de 3 o más pozos en una sola locación.
- Muchas empresas se han visto en la necesidad de encontrar mejores métodos de tratamiento y disposición de los residuos, especialmente los rípios de perforación, con el objeto de no construir más piscinas, porque muchas de ellas tienen que recibir los desechos de varios pozos y se ven limitados por reservas protegidas en las cuales solo se permite operar en una hectárea de terreno.
- Los fluidos o lodos de perforación son la base de la generación de los rípios y los que van a determinar la composición final de estos. Los lodos son elaborados en base a una mezcla de arcilla, agua y productos químicos con funciones diferentes entre las cuales está, transportar los cortes a la superficie, lubricar la broca y la tubería, controlar las presiones de las formaciones, soportar el peso de la tubería, mantener los sólidos en suspensión, prevenir daños a la formación, etc.

- En la elaboración del lodo de perforación se utilizan generalmente productos biodegradables, en los que se destacan el uso de la barita como densificante, bentonita como viscosificante, aminos como inhibidores, lubricantes, antiespumantes, bactericidas, que a concentraciones ideales hacen que se constituya un fluido capaz de lograr una perforación sin complicaciones.
- Para tener un volumen aproximado de ripios generados previo al cálculo del tamaño de la piscina, se debe estimar el volumen total del hoyo para las diferentes secciones y a esto agregarle un factor por el desprendimiento de sólidos a partir del choque de la tubería con la formación, y la tendencia de las arcillas a expandirse al disgregarse las partículas, absorbiendo mayor cantidad de fluido; lo que en conjunto determinarán un mayor volumen de ripios a disponer.
- Los metales pesados presentan diferente movilidad en el suelo dependiendo de cómo se encuentren en el suelo. Estos pueden lixiviarse, absorberse a las plantas, o retenerse en el suelo en formas insolubles, ligandos orgánicos o coprecipitados.
- Todos los parámetros ambientales motivo del estudio cumplieron con los límites permisibles de la tabla 7a del RAOH 1215 para la disposición sin impermeabilización. A pesar de que, algunos parámetros no fueron analizados sobre su lixiviado, los resultados fueron bajos para catalogarlos como contaminantes, por lo que se puede afirmar que si cumplieron con la legislación ambiental aplicable.
- El pH y C.E. de todas las parcelas presentaron una tendencia a disminuir conforme transcurría el tiempo, situándose al final del estudio en rangos de 7 a 8 y menores a 1000 uS/cm respectivamente; valores en los cuales hay un mayor desarrollo y disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- El tratamiento que mejores condiciones de pH y C.E. presentó fue el de: ripio + suelo nativo + suelo orgánico (P4), en el cual todos sus valores de pH fueron inferiores a 8 y la C.E. menor a 1293 uS/cm, siendo las menores registradas al inicio del tratamiento.

- La deficiencia en unos casos y exceso de nutrientes en otros se aprecia en todas las parcelas, siendo más notorio en las parcela 1 y 2 en las que se produjo un mayor retraso de crecimiento y maduración de las plantas, baja asimilación de nutrientes, vulnerabilidad a enfermedades y bajos rendimientos.
- La parcela 4 mostró mayor grado de porosidad, mayor contenido de plantas, mayor crecimiento y mejor coloración; sin embargo, la parcela 3 con suelo orgánico, disponía de mayor cantidad de nutrientes, lo que permitió un mejor desarrollo de la planta.
- El cromo y bario fueron los elementos que mostraron mayor transferencia del suelo hacia la planta, contradiciendo lo que teóricamente se afirma, en el sentido de que al pH del estudio son mediana y prácticamente inmóviles respectivamente.
- Todo el proceso para realizar la disposición final del ripio, deberá basarse en tres fases operacionales que comprenden: fase preparatoria definida por el programa de ejecución, fase operativa definida por los tratamientos, y fase post-operativa comprendida por la etapa de restauración y revegetación del terreno.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Durante el período de estudio se presentaron algunos problemas en las parcelas debido a las altas precipitaciones, que afectaron ciertamente los resultados del estudio; pues es indispensable que previo la realización de los tratamientos a cielo abierto, se tomen en cuenta las condiciones climáticas de la zona y en lo posible contrarrestar la situación adecuando desfogues que permitan la liberación del exceso de agua, o la construcción de un techo con pequeños agujeros que permitan el paso de una parte del agua.
- En lo posible, realizar todos los muestreos bajo un plan de recolección de muestras, preservación y transporte, con el objeto de que los resultados sean confiables y reproducibles.

- Para determinar el mejor método de disposición del ripio de perforación, se deberá tomar en cuenta los aspectos económicos, técnicos, sociales, la operación de disposición y el impacto sobre el medio ambiente.
- Se recomienda implementar métodos de labranza para acondicionar el suelo, los cuales son muy utilizados en varias regiones del mundo, mezclando el residuo con tierras nativas y otras enmiendas, con el objeto de mejorar el residuo y utilizarlo para fines agrícolas, residenciales, industriales, recreativos, etc.
- Procurar limitar el uso excesivo de los productos químicos en los procesos de perforación, especialmente la barita.
- Un buen diagnóstico y planificación previo a la disposición del ripio de perforación, permitirá realizar un manejo y explotación confiable de todo el material, de manera que sea de satisfacción del ejecutor y las comunidades, así como, de devolver al sitio su estado original.
- Realizar mayores investigaciones sobre el tema, especialmente en otros pozos lejanos a la zona de estudio, para determinar si los resultados varían de un pozo a otro; así como, sobre la aplicación de más enmiendas que mejoren aún más el ripio, y la siembra de otros tipos de plantas, para determinar su crecimiento y desarrollo en comparación con el presente estudio.

## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTEROS, Cristina. 2007. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el campo Tarapoa. Tesis de grado inédita. Facultad de ingeniería en ciencias de la tierra. ESPOL. p.5-15, 54-88.
- CASTRO, Tania. 2003. Evaluación Geológica de la Arenisca M2 del campo Edén Yuturi. Tesis de grado inédita. FIGEMPA. UCE. 13-24.
- DOWELL. 1994. Drilling Fluids Technical Manual. Fundamentos Teóricos. Schlumberger. p. 1-11.
- FUENTES, Juan Pablo. 2002. El Suelo: Un Sistema Vivo. Proyecto Explora-Conicyt. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. Santiago. p. 26, 27.
- GÓMEZ, Domingo. 2004. Recuperación de Espacios Degradados. Ediciones Mundi-Prensa. España. p. 65-123. ISBN: 84-8476-211-4.
- KABATA-PENDIAS A. y H. PENDIAS. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2da. Edición. Editorial CRC Press. Estados Unidos. p. 118-120, 211,212. ISBN: 0-8493-6643-7.
- KATTERMAN, Frank. 1990. Environmental Injury to Plants. Department of Plant Sciences. College of Agriculture. University of Arizona. Academic Press, Inc. Tucson, Arizona. p.233, 236, 237. ISBN: 0-12-401350-3.
- ETIENNE, Jaillard. 1997. Síntesis estratigráfica de la Cuenca Oriente del Ecuador.
- JUAREZ, M.; SANCHEZ, J.; y A. SANCHEZ. 2006. Química del Suelo y Medio Ambiente. Universidad de Alicante. p. 677-739. ISBN: 84-7908-893-1.
- MACNICOL, R. y BECKETT, P. 1985. Critical Tissue Concentrations of Toxic Elements. Plant Soils. p.85, 107.

- MUÑOZ, Carlos; RUIZ, Renán; BOLAÑOS, Marco. 2006. Informe de cumplimiento mayo-diciembre. Unidad de administración y operación temporal del bloque 15 y campos Edén Yuturi y Limoncocha. Enero 2007.
- RUALES, Mauricio. 2005-2006. Tratamiento de cortes. Manejo de residuos. Proyecto Camisea. Qmax Ecuador S.A. Tarapoa.

### **Artículos:**

- Biorremediación de Suelos Contaminados con Ripios de Perforación, mediante un Consorcio Bacteriano, y Técnicas de Compostaje [en línea] [Fecha de consulta: 15 de noviembre, 2007].  
Disponible en: [www.serbi.luz.edu.ve/pdf/bcib/v38n3/art\\_03.pdf](http://www.serbi.luz.edu.ve/pdf/bcib/v38n3/art_03.pdf).
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health. Winnipeg. ISBN: 1-896997-34-1.  
Disponible en: <http://www.ec.gc.ca>
- Constitución Política de la República del Ecuador. 1998
- DESLER. Ingeniería y servicios ambientales. Residuos industriales [en línea] [Fecha de consulta: 4 de marzo, 2008].  
Disponible en: <http://www.desleronline.com>
- Evaluación del plan operativo y presupuesto al primer semestre 2007. Unidad de administración y operación temporal del bloque 15 y campos Edén Yuturi y Limoncocha. 2007.
- Explotación petrolera y ambiente [en línea] [Fecha de consulta: 12 de noviembre, 2007].  
Disponible en: <http://www.acta.ivic.ve>.

- Guía ambiental para la disposición de desechos de perforación [en línea] [Fecha de consulta: 13 de noviembre, 2007].  
Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaae/legislacion/guias>.
- Manual de fluidos de perforación. Qmax México S.A. 2004. p.8, 50-74.
- Occidental Exploration and Production Company (OXY). Informe anual de actividades. 2005.
- PDVSA-Drillacsoil®. Tecnología para manejo de ripios base agua mediante. Esparcimiento en suelos. [Fecha de consulta: 15 de noviembre, 2007].  
Disponible en:  
[http://www.sintetizandoenelpais.pdvs.com/archivos/mesa\\_tecnica\\_tratamiento\\_de\\_ripios](http://www.sintetizandoenelpais.pdvs.com/archivos/mesa_tecnica_tratamiento_de_ripios).
- Qmax S.A. Teoría de control de sólidos. Programa computacional Power Point (PPT). [Fecha de consulta: 19 de noviembre].
- Qmax S.A. Presentación fluido Maxdrill. Programa computacional PPT. [Fecha de consulta: 22 de noviembre].
- Qmax S.A. Fluidos de perforación. Programa computacional PPT. [Fecha de consulta: 20 de noviembre].
- Recuperación biológica de suelos contaminados con ripios de perforación [en línea] [Fecha de consulta: 13 de noviembre, 2007]. Disponible en: [www.ingenieroambiental.com](http://www.ingenieroambiental.com).
- Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. Decreto No. 1215. Registro Oficial No. 265. 13 de febrero del 2001.
- Usos y aplicaciones de productos químicos utilizados en industrias [en línea]. México D.F., México. [Fecha de consulta: 15 de noviembre, 2007].

Disponible en: <http://www.quiminet.com.mx>.

- [www.mirat.net/fertilizantes/nutricion/alimentplanta.htm](http://www.mirat.net/fertilizantes/nutricion/alimentplanta.htm). *MIRAT fertilizantes. Nutrición Vegetal. 2008.*

## APENDICE

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Absorción:** La penetración o desaparición aparente de moléculas o iones de una o varias sustancias dentro de un sólido o líquido.

**Agente Puenteante:** Producto químico que actúa como sellante para evitar que el fluido infiltre por los poros de la formación.

**Antiespumante:** Sustancia que se emplea para impedir la espuma mediante la disminución de la tensión superficial.

**Arcilla:** Se dice de aquella materia plástica, blanda, de varios colores, generalmente compuesta por silicato de aluminio, formada por la descomposición del feldespato y otros silicatos de aluminio.

**Arcillolita:** Roca sedimentaria que contiene al menos un 50% de minerales arcillosos, es blanda, y rayable con la uña.

**Calizas:** Es una roca sedimentaria de gran porosidad de origen químico, formada mineralógicamente por carbonatos, principalmente carbonato de calcio.

**Clastos:** Cuando una roca es atacada por la meteorización física o química se transforma en partículas de tamaños diversos denominadas clastos, como el sílice (clastos de chert).

**Coloide:** Estado de subdivisión de la materia que consiste en grandes moléculas individuales o en agregados de moléculas más pequeñas, dispersadas en el grado que la fuerza de superficie se convierte en un factor importante para determinar sus propiedades. El tamaño de las partículas coloidales varían entre 0.001 a 0.005 micrones.

**Enmienda:** Es un aditivo sea este sólido o líquido, agregado a cualquier residuo o desecho que tiene la facultad de mejorar las características de estos, para cualquier fin pertinente.

**Erecto:** Planta que desde el comienzo de su desarrollo tiene el tallo en posición vertical.

**Faneríticos:** Se denomina a las texturas de los granos minerales que son suficientemente grandes para identificarlos a simple vista.

**Friable:** Es una propiedad de las sustancias de reducirse a fibras

**Glabrescente:** Planta que no presenta pelos ni glándulas en sus hojas.

**Limolitas:** Roca sedimentaria constituida por un tamaño de partícula correspondiente al limo (20-2 micras), como; cuarzo, feldespatos, sericita, clorita.

**Lixiviado:** Es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable.

**Lutitas:** Arcilla de origen rocoso, finamente granular, con clivaje tipo pizarra, que es una sustancia orgánica parecida al petróleo.

**Mesh:** Unidad de medida que se aplica a las mallas que tienen algunos de los equipos de separación como las zarandas; referido a la cantidad de huecos en una pulgada lineal.

**Montmorillonita:** Es una arcilla formada por un silicato complejo, es soluble en ácidos y se expande al contacto con agua.

**Prueba MBT:** Prueba analítica que determina la cantidad de arcilla que está dentro del sistema.

**Rig:** Está referido al todo el equipo complejo que se usa para penetrar la tierra. En la mitología nórdica quiere decir; sabio y viejo, poderoso y fuerte.

**Tixotropía:** Es la tendencia que tienen algunos fluidos de formar estructuras gelatinosas o semisólidas cuando están en reposo y que al ser sometidas a un esfuerzo vuelven a un estado original.

**Velocidad anular:** Velocidad a la que circula el fluido en el espacio anular comprendido entre la tubería de perforación y las paredes del hoyo.

**Washout:** Se define al desprendimiento de sólidos causado por el choque continuo de la tubería de perforación con la formación.

## ANEXOS

### 1. Protocolos de muestreo

<b>PROTOCOLO DE MUESTREO EN PARCELAS</b>				
<b>Información General</b>	Código de la muestra	PKS-003-R132-180308-001		
	Fecha de muestreo	dd: 18	mm: 03	yyyy: 2008
	Hora de muestreo	09 h 30		
	Lugar de muestreo	Paka Sur-UB 15		
	Cantón/Provincia	Orellana		
<b>Información de muestra</b>	Parcela No.	1		
	Volumen de muestra	1 kg.		
	Tipo de muestra	Compuesta		
	Estado de la muestra	Solida húmeda		
	Fuente	Muestra de ripio de perforación de la parcela 1		
	Pruebas	TPH, HAP'S, Bario, Cromo, Vanadio, Cadmio.		
Responsable de muestreo		David Aguirre		
Observaciones:		Previo a muestreo se homogenizo la tierra porque habia la presencia de agua lluvia en la parcela		

<b>PROTOCOLO DE MUESTREO EN PARCELAS</b>				
<b>Información General</b>	Código de la muestra	PKS-003-R132-250308-009		
	Fecha de muestreo	dd: 25	mm: 03	yyyy: 2008
	Hora de muestreo	15h00		
	Lugar de muestreo	Paka Sur-UB 15		
	Cantón/Provincia	Orellana		
<b>Información de muestra</b>	Parcela No.	1		
	Volumen de muestra	1 kg.		
	Tipo de muestra	Compuesta		
	Estado de la muestra	Solida húmeda		
	Fuente	Muestra de ripio de perforación		
	Pruebas	Macro y micro nutrientes		
Responsable de muestreo		David Aguirre		

2. Cadena de custodia

<b>CADENA DE CUSTODIA</b>									
<b>UB15-H&amp;P132-PAKA SUR-PKS 003</b>									
<b>Número de muestra</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Medio</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Cantidad de la muestra</b>	<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Hora de muestreo</b>	<b>Lugar de muestreo</b>	<b>Día</b>	<b>Análisis a realizar</b>
1	PKS-003-R132-180308-001	Ripio	Compuesta	1 kg.	18/03/2008	09h30	P1	1	TPH, HAP'S, Ba, Cr, V, Cd.
2	PKS-003-R132-190308-002	Mezcla	Compuesta	1 kg.	18/03/2008	17h30	P3	1	Ba, Cr, V, Cd.
3	PKS-003-R132-180308-003	Mezcla	Compuesta	1 kg.	19/03/2008	10h00	P2	1	Ba, Cr, V, Cd.
4	PKS-003-R132-190308-004	Mezcla	Compuesta	1 kg.	19/03/2008	14h00	P4	1	Ba, Cr, V, Cd.
5	PKS-003-R132-250308-005	Ripio	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	10h00	P1	7	Ba, Cr, V, Cd.
6	PKS-003-R132-250308-006	Mezcla	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	11h00	P2	7	Ba, Cr, V, Cd.
7	PKS-003-R132-250308-007	Mezcla	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	12h00	P3	7	Ba, Cr, V, Cd.
8	PKS-003-R132-250308-008	Mezcla	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	13h00	P4	7	Ba, Cr, V, Cd.
9	PKS-003-R132-250308-009	Ripio	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	15h00	P1	7	Macro/micronutrientes
10	PKS-003-R132-250308-010	Mezcla	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	15h30	P2	7	Macro/micronutrientes
11	PKS-003-R132-250308-011	Mezcla	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	16h00	P3	7	Macro/micronutrientes
12	PKS-003-R132-250308-012	Mezcla	Compuesta	1 kg.	25/03/2008	16h30	P4	7	Macro/micronutrientes
13	PKS-003-R132-250308-013	Suelo	Compuesta	1 kg.	17/07/2008	14h30	P5	120	Macro/micronutrientes
14	PKS-003-R132-250308-014	Ripio	Compuesta	1 kg.	17/07/2008	14h00	P1	120	Ba, Cr, V, Cd.
15	PKS-003-R132-170708-101	Planta	Compuesta	100 g.	17/07/2008	11h30	P1	120	Ba, Cr, V, Cd.

3. Hojas de análisis de pH y C.E.

<b>ANÁLISIS DE PARÁMETROS CRÍTICOS EN CAMPO</b>							
<b>Parcela</b>	<b>Día</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (uS/cm)</b>	<b>Observaciones</b>
P1	1	Puntual	14-03-08	09h40	9,23	2050	Sin homogenizar
P1	2	Compuesta	18-03-08	09h30	8,55	1530	Muestra principal para análisis externo/metodo EPA de muestreo
P1	3	Puntual	21-03-08	10h30	8,38	1312	Muestra semiseca
P1	4	Puntual	22-03-08	18H00	8,14	1697	No presencia de lluvia
P1	5	Puntual	23-03-08	19H00	8,3	1546	No presencia de lluvia
P1	6	Puntual	24-03-08	16H30	8,01	1649	Muestra al azar
P1	7	Compuesta	25-03-08	10H00	8,68	1089	De la muestra compuesta para análisis externo a los 7 días de disposición
P2	1	Puntual	16-03-08	16h00	8,4	1786	Parcela homogenizada/Presencia de agua lluvia
P2	2	Puntual	19-03-08	10h00	8,6	1426	Alta cantidad de lluvia sobre el residuo
P2	3	Compuesta	20-03-08	10h00	8,43	872	Después de completado el tratamiento/Muestra principal para análisis externo
P2	4	Puntual	21-03-08	10h40	8,16	900	Muestra semiseca
P2	5	Puntual	22-03-08	18H30	7,77	1230	No presencia de lluvia
P2	6	Puntual	24-03-08	17H00	7,83	1033	Muestra al azar
P2	7	Compuesta	25-03-08	11H00	7,95	1103	De la muestra compuesta para análisis externo a los 7 días de disposición

<b>Parcela</b>	<b>Día</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (uS/cm)</b>	<b>Observaciones</b>
P3	1	Puntual	16-03-08	18H00	8,6	1530	Parcela homogenizada/Presencia de agua lluvia
P3	2	Compuesta	18-03-08	17h30	8,03	1141	Muestra de ripio + abono /Muestra principal para análisis externo
P3	3	Puntual	21-03-08	13h20	7,36	948	Muestra semiseca
P3	4	Puntual	22-03-08	19H00	7,71	947	No presencia de lluvia
P3	5	Compuesta	25-03-08	12H00	7,73	1089	De la muestra compuesta para análisis externo a los 7 días de disposición
P4	1	Puntual	17-03-08	20h00	7,97	1255	Después de mezcla/se añadió 2 sacos de abono
P4	2	Compuesta	20-03-08	15h00	7,7	1293	Muestra principal para análisis externo
P4	3	Puntual	21-03-08	13h30	7,93	944	Muestra semiseca
P4	4	Puntual	22-03-08	19H30	7,96	1139	No presencia de lluvia
P4	5	Compuesta	25-03-08	13H00	7,88	923	De la muestra compuesta para análisis externo a los 7 días de disposición



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB- QAM-12388  
ORDEN DE TRABAJO No 018937

SOLICITADO POR:	DAVID AGUIRRE
DIRECCIÓN:	VERACRUZ N38-25 Y VILLALENGUA
FECHA DE RECEPCION:	28-03-2008
HORA DE RECEPCION:	10H13
MUESTRA DE:	SUELO
DESCRIPCION:	SUELOS ORIENTE PKS-003R132-180308-001
FECHA DE ANALISIS:	28/03 A 21/04/2008
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09-05-2008
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	SUELO CAFÉ
ESTADO:	SOLIDO
CONTENIDO:	1Kg
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODOS
TPH	mg/Kg	5.0	EPA 8440
CADMIO	mg/l	<0.02	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
CROMO	mg/l	<0.04	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
VANADIO	mg/l	<0.83	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
BARIO	mg/l	0.71	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
<b>HAPS</b>			
NAFTALENO	µg/Kg	<1.8	EPA 8310
ACENAPHTHYLENE	µg/Kg	12.63	
ACENAFTENO	µg/Kg	<1.8	
FLUORENO	µg/Kg	<0.21	
FENANTRENO	µg/Kg	<0.64	
ANTRACENO	µg/Kg	<0.21	
FLUORANTENO	µg/Kg	<0.21	
PIRENO	µg/Kg	<0.27	
BENZO(A)NTRACENO	µg/Kg	<0.013	

*IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados*

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral  
E - mail: secretaria.osp@facquimuce.edu.ec.

Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
Quito - Ecuador

RAM-4.1-05

2/1

CRISENO	µg/Kg	<0.15	
BENZO(B)FLUORANTENO	µg/Kg	<0.018	
BENZO(K)FLUORANTENO	µg/Kg	4.61	
BENZO(A)PIRENO	µg/Kg	<0.023	
DIBENZO(A)ANTRACENO	µg/Kg	<0.030	
BENZO (G,H,I)PERILENO	µg/Kg	<0.076	
INDENO(1,2,3-C,D)PIRENO	µg/Kg	<0.043	



(\*) PARAMETROS NO ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2005

ENSAYOS

No OAE LEI C 04-02



Dra. Jenny Murillo

LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral  
E - mail: [secretaria.osp@facquimuce.edu.ec](mailto:secretaria.osp@facquimuce.edu.ec)

Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
Quito - Ecuador

RAM-4.1-05



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB- QAM-12387  
ORDEN DE TRABAJO No 018937

SOLICITADO POR:	DAVID AGUIRRE
DIRECCIÓN:	VERACRUZ N38-25 Y VILLALENGUA
FECHA DE RECEPCION:	28-03-2008
HORA DE RECEPCION:	10H13
MUESTRA DE:	SUELO
DESCRIPCION:	SUELOS ORIENTE PKS-003R132-250308-005
FECHA DE ANALISIS:	28/03 A 21/04/2008
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	09-05-2008
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	SUELO CAFÉ
ESTADO:	SOLIDO
CONTENIDO:	1Kg
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODOS
CADMIO	mg/l	<0.02	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
CROMO	mg/l	<0.04	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
VANADIO	mg/l	<0.83	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA
BARIO	mg/l	2.24	EPA 1310 Y ABSORCIÓN ATÓMICA



(\* ) PARAMETROS NO ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2005

ENSAYOS

No OAE LEI C 04-02



*Jenny Murillo*

Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral    Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
E - mail: secretaria.osp@facquimuce.edu.ec    Quito - Ecuador

RAM-4.1-05



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB- QAM-13294  
ORDEN DE TRABAJO No020447

SOLICITADO POR:	AGUIRRE DAVID
DIRECCIÓN:	VERACRUZ N-38-25 Y VILALENGUA
FECHA DE RECEPCION:	22/07/2008
HORA DE RECEPCION:	09H34
MUESTRA DE:	SUELO
DESCRIPCION:	SUELO PK03-1707-013
FECHA DE ANALISIS:	22 AL 29/07/2008
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	30/07/2008
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	HOJAS LARGAS VERDES CON TALLOS
ESTADO:	SÓLIDO
CONTENIDO:	40 g
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
* CADMIO	mg/l	<0.02	EPA 1310 Y 7130
* CROMO	mg/l	<0.04	EPA 1310 y 7190
* VANADIO	mg/l	<0.86	EPA 1310 y 7910
* BARIO	mg/l	<0.18	EPA 1310 Y 7080 A



(\*) PARAMETROS NO ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2005  
ENSAYOS No OAE LEI C 04-02



Dra. Jenny Murillo  
 LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral    Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
 E - mail: secretaria.osp@facquimuce.edu.ec    Quito - Ecuador  
 RAM-4.1-05



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**



INF-LAB- QAM-13192  
ORDEN DE TRABAJO No020447

SOLICITADO POR:	AGUIRRE DAVID
DIRECCIÓN:	VERACRUZ N-38-25 Y VILLALENGUA
FECHA DE RECEPCION:	22/07/2008
HORA DE RECEPCION:	09H34
MUESTRA DE:	PLANTA
DESCRIPCION:	PLANTA PK03-1707-101
FECHA DE ANALISIS:	22 AL 29/07/2008
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	30/07/2008
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	HOJAS LARGAS VERDES CON TALLOS
ESTADO:	SÓLIDO
CONTENIDO:	40 g
MUESTREO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP

**INFORME**

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODO
* CADMIO	mg/kg	0.49	EPA3050 A Y 7130
* CROMO	mg/kg	1.56	EPA3050 A Y 7190
* VANADIO	mg/kg	<5.17	EPA3050 A Y 7910
* BARIO	mg/kg	13.12	EPA3050 A Y 7080 A



(\*) PARAMETROS NO ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2005  
ENSAYOS No OAE LE1 C 04-02



Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral    Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 12  
E - mail: secretaria.osp@facquimuce.edu.ec.    Quito - Ecuador  
RAM-4.1-05



**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA**  
**SERVICIO ECUATORIANO DE SANIDAD AGROPECUARIA**  
*Vía Intercomercial Km. 14 Granja del MAG Tumbaco Teléfonos: 2 372-844 Telefax: 2 372-845*  
**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS**  
**INFORME DE ANALISIS**



LABORATORIO DE  
SUELOS  
TUMBACO

SESA  
ECUADOR

Remitente: Señor. David Aguirre.

Localización: ORELLANA-JOYA SACHAS-JOYA SACHAS.

Fecha de Ingreso al Laboratorio: Tumbaco, Julio 21 de 2008.

Fecha de informe: Tumbaco, Julio 30 de 2008.

# de Laboratorio	# de Campo	pH	M. O. %	N Total %	P PPM	K cmol/kg	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	Fe PPM	Mn PPM	Cu PPM	Zn PPM	Clase Textural
1772	P - 5	7.02	1.44	0.07	28	0.30	3.9	0.90	144	10.3	7	2.3	Franco Arenoso.

pH	
Acido	5.5
Ligeramente Acido	5.6-6.4
Practicamente Neutro	6.5-7.5
Ligeramente Alcalino	7.6-8.0
Alcalino	8.1

**INTERPRETACION DE NIVELES DE CONTENIDO (Costa)**

M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Nitrógeno %	Fósforo PPM	Potasio CMOL/KG	Calcio CMOL/KG	Magnesio CMOL/KG	Hierro PPM	Manganeso PPM	Cobre PPM	Zinc PPM	Zinc PPM
< 3.1	0-10	< 5	< 5	< 1.6	0-20	0-5	0-1	0-3	Bajo
3.1-5.0	11-20	0.2-0.38	5 a 9	1.6-2.3	21-40	6-15	1.1-4	3.1-6	Medio
> 5.0	> 21	> 0.4	> 9	> 2.3	> 41	> 16	> 4.1	> 6.1	Alto

El resultado de estos análisis se puede reproducir totalmente, no de forma parcial.



RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELO (Costa)

TUMBACO, 21 DE Julio de 2008.

# LAB	# CAMPO	BORO (B)	AZUFRE (S)	C.E. (COND. EL)
		P.P.M		dS/m 25° C

1772	P - 5	0.30	21	-----
------	-------	------	----	-------

INTERPRETACION DE RESULTADOS:

BORO:

<1	BAJO
1 - 2	MEDIO
> 2	ALTO

AZUFRE:

< 12	BAJO
12 - 24	MEDIO
> 24	ALTO

	NO SALINO(NS)	LIG. SALINO(LS)	SALINO(S)	MUY SALINO(MS)
C.E. (dS/m)	< 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 8.0	8.0 - 16.0

Tumbaco, Julio 30 de 2008.

El resultado de estos análisis se puede reproducir totalmente o de forma parcial.



LABORATORIO DE SUELOS TUMBACO



# AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA

## Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.

Gonzalo Zaldumbide N49-204 y César Frank Urb. Dammer 2 (El Inca)  
 Telfs: (593-2) 241-2383 / 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador  
 Página Web: www.clinica-agricola.com E-mail: agrobiolab@clinica-agricola.com

**SUELOS**

Datos del Cliente				Referencia		Interpretación	
Cliente : AGUIRRE DAVID				No. Doc.: <b>35627</b>	<b>Textura</b> Boul, S.W. 1973	<b>Elementos</b> INIAP, Inf.Téc.1979	<b>pH</b> Knott, J.E. 1962
Propiedad: AGUIRRE DAVID				Emisión: 11/04/2008	Fco = Franco	B = Bajo	Ac = Acido
Cultivo : PASTOS ORIENTE				Impreso: 11/04/2008	Arc = Arcilloso	M = Medio	LAc= Lig. Acido
Ingreso : 02/04/2008				Página: 1 de 1	As = Arenoso	S = Suficiente	Pn = Prac. Neutro
No. Lab. : Desde :116097	Ensayo: 07/04/2008 Hasta :116100				Li = Limoso	A = Alto	LAl = Lig. Alcalino
					Are = Arena	E = Exceso	Al = Alcalino
					Fca = Franca		

Nombre : PKS 003 R132 09, Brachiaria

No. Lab. : 116097 Profund (cm): 0-30 Arena % : 36.000 Arcilla % : 30.000 Limo % : 34.000 Clase Textural: FCO.ARC.

pH	C. E. mmhos/cm	M. O. %	NH4 ppm	P ppm	K meq/100ml	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml	Na meq/100ml	CICE meq/100ml
9.20AL	2.16A	1.12B	196.00E	3.70B - 1.62	0.60S + 0.09	17.58E + 2.28	1.37M + 0.34	2.25E	21.80A
Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm	SO4 ppm	Fe/Mn R1	Ca/Mg R2	Mg/K R3	Ca+Mg/K R4
3.80S	118.00E	56.00E	5.90S	0.02B	0.40B	2.10S	12.83E	2.28A	31.58E

Nombre : PKS003 R132010, Brachiaria

No. Lab. : 116098 Profund (cm): 0-30 Arena % : 50.000 Arcilla % : 24.000 Limo % : 26.000 Clase Textural: FCO.ARC.AS.

pH	C. E. mmhos/cm	M. O. %	NH4 ppm	P ppm	K meq/100ml	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml	Na meq/100ml	CICE meq/100ml
9.20AL	1.10B	1.21B	128.10E	9.60B - 1.92	0.64A + 0.09	13.94A + 1.81	1.32M + 0.33	1.85E	17.75M
Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm	SO4 ppm	Fe/Mn R1	Ca/Mg R2	Mg/K R3	Ca+Mg/K R4
3.10S	160.00E	76.50E	7.80A	0.16B	4.70B	2.09S	10.56E	2.06S	23.84E

Nombre : PKS003 R132011, Brachiaria

No. Lab. : 116099 Profund (cm): 0-30 Arena % : 44.000 Arcilla % : 28.000 Limo % : 28.000 Clase Textural: FCO.ARC.

pH	C. E. mmhos/cm	M. O. %	NH4 ppm	P ppm	K meq/100ml	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml	Na meq/100ml	CICE meq/100ml
8.70AL	1.77S	1.63B	250.70E	11.80B - 2.36	1.10A + 0.16	17.08E + 2.22	1.43M + 0.35	1.70E	21.31A
Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm	SO4 ppm	Fe/Mn R1	Ca/Mg R2	Mg/K R3	Ca+Mg/K R4
2.50M	169.00E	197.50E	13.30E	0.04B	13.50M	0.85B	11.94E	1.30M	16.82E

Nombre : PKS003 R132012, Brachiaria

No. Lab. : 116100 Profund (cm): 0-30 Arena % : 44.000 Arcilla % : 28.000 Limo % : 28.000 Clase Textural: FCO.ARC.

pH	C. E. mmhos/cm	M. O. %	NH4 ppm	P ppm	K meq/100ml	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml	Na meq/100ml	CICE meq/100ml
8.90AL	2.18A	1.42B	186.10E	14.20B - 2.84	0.90A + 0.13	17.36E + 2.25	1.26M + 0.31	2.25E	21.77A
Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	B ppm	SO4 ppm	Fe/Mn R1	Ca/Mg R2	Mg/K R3	Ca+Mg/K R4
3.40S	127.50E	141.00E	9.90E	0.03B	22.80M	0.90B	13.77E	1.40M	20.68E

Simbolo decimal = (.)

Los valores con incertidumbre (+) están calculados con un nivel de confianza del 95% (k=2)

<L.C. = Valor menor al Límite de Cuantificación

Métodos: pH 1:2.5 H2O; C.E., Na: Pasta saturada; M.O.: Walkley and Black; Al+H: Olsen Modificado

B: Fosfato Monocálcico; NH4,NO3, SO4: Colorimetría; Ca: PEE/ABL/01; Mg: PEE/ABL/02;

P: PEE/ABL/03, K: PEE/ABL/04; Zn, Cu, Fe, Mn: PEE/ABL/05

Resultados corresponden a muestras analizadas, si se va a fotocopiar hacer del documento total.

**¡SU EXITO ES NUESTRO!**

Dr. Washington A. Padilla G. Ph.D  
 Director del Laboratorio

## ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Armado de las parcelas



Corte simétrico de tablas triplex



Anexión de tablonces como soportes



Adhesión de geomembrana



Apilamiento de sacos de yunte



Adecuación de cubeto



Recolección de muestras de la piscina



Cucharada de ripio de la piscina



Muestreo de la piscina # 2



Homogenización previa a disposición



Adición de ripio a parcela 2



Colocación de ripio a parcela 4



Identificación de parcelas



Parcela 1: Ripio solo



Parcela 2: Ripio + S. nativo



Parcela 2: Ripio + S. orgánico



Parcela 4: Ripio + S. nativo + S. orgánico



Muestras de ripio de las zarandas



Homogenización de parcelas



Remoción de mezcla en parcela 3



Muestreo al día 7 de la disposición final



Identificación de muestras



Preservación y transporte de muestras



Análisis de metales pesados



Elaboración de agujeros para revegetación



Adecuación de tuberías de desfogue de agua



Siembra de especie *Brachiaria*



Torre de perforación



Análisis de pH y C.E.



Ripio de perforación



Crecimiento de plantas



Parcela 5



Parcela 4



Parcela 3



Piscina de ripios (Yanaquincha)



Piscina de ripios # 2 (Paka Sur)