

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Ambientales

**Trabajo de Fin de Carrera previo a la obtención del Título
de Ingeniera Ambiental**

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS PASIVOS
AMBIENTALES EN EL CAMPO PARAÍSO – BIGUNO
– HUACHITO (PBH), UBICADOS EN LAS
PLATAFORMAS PARAÍSO2 (PSO2), PARAÍSO3
(PSO3), PARAÍSO9 (PSO9), HUACHITO1 (HUA 1) Y
CANAL DE DESCARGA DE LA ESTACIÓN PARAÍSO.**

Autora:

Carolina Tapia Guijarro

Director:

Biólogo Francisco Neira

Quito – Ecuador

2010

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN:	7
1.-Marco Teórico:	14
1.2.-GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES	16
1.3.-EFECTOS DE LOS PASIVOS AMBIENTALES PETROLEROS:	18
1.3.1.-EL RECURSO PETRÓLEO:	19
1.3.2.-GRAVEDAD API:	20
1.4.-GESTIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES	25
1.4.1.-Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH):	26
1.4.2.-Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's):	27
1.4.3.-Cadmio:	28
1.4.4.-Níquel:	29
1.4.5.-Plomo:	30
1.4.6.-Biorremediación:	30
2.-MARCO METODOLÓGICO	34
2.1.-Identificación de los pasivos ambientales	34
2.1.1.-Caracterización de los Pasivos Ambientales	35
2.2.-Diseño de Muestreo para la Caracterización de suelos en los Pasivos Ambientales.	36
2.3.-PASIVO AMBIENTAL PARAÍSO 2	39
2.4.-PASIVO AMBIENTAL PARAÍSO 3	41
2.5.-PASIVO AMBIENTAL PARAÍSO 9	43
2.6.-PASIVO AMBIENTAL HUACHITO 01	45
2.7.-PASIVO AMBIENTAL CANAL DE DESCARGA – ESTACIÓN PARAÍSO	46
3.-RESULTADOS	48
3.1.-RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL PSO 2	50
3.1.1.-Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental PSO 2:	52
3.1.1.1.-Resultados de Laboratorio para suelos en PSO 2:	53
3.2.-RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL PSO 3:	57
3.2.1.-Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental PSO 3:	59
3.2.1.1.-Resultados de Laboratorio para Suelos en PSO 3:	60
3.3.-RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL PSO 9	65
3.3.1.-Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental PSO 9:	67
3.3.1.1.-Resultados de Laboratorio para Suelos PSO 9:	69
3.4.-RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL HUA 01:	73
3.4.1.-Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental HUA01:	73
3.4.1.1.-Resultados de Laboratorio para Suelos HUA 01:	75
3.5.-RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL CANAL DE DESCARGA – ESTACIÓN PARAÍSO	79
3.5.1.-Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental ESTACIÓN PSO:	80
3.5.1.1.-Resultados de Laboratorio para Suelos ESTACIÓN PSO:	82
3.5.1.2.-Resultados de Laboratorio para aguas ESTACIÓN PSO:	84
4.-DISCUSIÓN	88

4.1.-Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental PSO 2:	88
4.2.-Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental PSO 3:	90
4.3.-Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental PSO 9:	93
4.4.-Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental HUA 01:	95
4.5.-Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental CANAL DE DESCARGA – ESTACIÓN PARAÍSO:	97
4.6.-COSTEO	98
5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99

ÍNDICE DE TABLAS:

TABLA # 1 – ANTECEDENTES OPERATIVOS DE LOS PASIVOS AMBIENTALES	34
TABLA # 2 – FICHA TÉCNICA DE LOS PASIVOS AMBIENTALES	35
TABLA # 3 - Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera	49
TABLA # 4: Límites Permisibles en el punto de control en el Cuerpo Receptor (inmisión)	49
TABLA # 5 - Métodos de Análisis de Parámetros de suelos	50
TABLA # 6: ANTECEDENTES DEL POZO PSO2	50
TABLA # 7: Datos preliminares de pasivo ambiental PSO2	52
TABLA # 8: Resultados de Laboratorio – Pasivo Ambiental PSO 2	53
TABLA # 9: ANTECEDENTES DEL POZO PSO3	57
TABLA # 10: Datos preliminares de pasivo ambiental PSO 3	59
TABLA # 11: Resultados de Laboratorio para suelos de PSO 3	60
TABLA # 12: RESULTADOS DE LABORATORIO PARA LIXIVIADOS PSO 3	63
TABLA # 13: Resultados obtenidos del Área ubicada en sentido “Este” de la plataforma PSO3	64
TABLA # 14: ANTECEDENTES DEL POZO PSO9	65
TABLA # 15: Datos preliminares de pasivo ambiental PSO 9	68
TABLA # 16: Resultados de Laboratorio para Análisis de suelos PSO 9	69
TABLA # 17: ANTECEDENTES DEL POZO HUA 01	73
TABLA # 18: Datos preliminares de pasivo ambiental HUA 01	74
TABLA # 19: Resultados de Laboratorio de Análisis de suelo Huachito 01	75
TABLA # 20: ANTECEDENTES DE LA ESTACIÓN PARAÍSO	79
TABLA # 21: Datos preliminares de pasivo ambiental – Canal de Descarga Estación Paraíso	80
TABLA # 22: Resultados de Laboratorio para Análisis de Muestras Canal de Descarga Estación Paraíso	81
TABLA # 23: Resultados de Laboratorio para análisis de muestras de agua en Canal de Descarga Estación Paraíso	84

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Muestreo en zig-zag.....	37
Figura 2. Homogenización de muestras.....	38
Figura 3: Toma de muestras de agua	39
FIGURA 4 : ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL PSO 2.....	39
FIGURA 5 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL PSO 3.....	41
FIGURA 6 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL PSO 9.....	43
FIGURA 7 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL HUA 01.....	45
FIGURA 8 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL E. PSO	46
Figura # 9: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2 ...	54
Figura # 10: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2	54
Figura # 11: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2	55
Figura # 12: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2	55
Figura # 13: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2.....	56
Figura # 14 – Corte Transversal Pasivo Ambiental PSO 2.....	56
Figura # 15: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3 .	61
Figura # 16: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3	61
Figura # 17: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3	62
Figura # 18: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3	62
Figura # 19: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3.....	63
Figura # 20: Corte Transversal Piscina PSO3	65
Figura # 21: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9 .	70
Figura # 22: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9	70
Figura # 23: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9	71
Figura # 24: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9	71
Figura # 25: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9.....	72
Figura # 26: Corte Transversal PiscinaS PSO 9	72
Figura # 27: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01	76
Figura # 28: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01	76
Figura # 29: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01 .	77
Figura # 30: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01 ..	77
Figura # 31: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01..	78
Figura # 32: Corte Transversal Piscina HUA 01.....	78

Figura # 33: Concentración de TPH en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO	82
Figura # 34: Concentración de HAP's en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO	82
Figura # 35: Concentración de Cd en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO	83
Figura # 36: Concentración de Ni en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO	83
Figura # 37: Concentración de Pb en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO	84
Figura # 38: Nivel de pH en muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO	.85
Figura # 39: Conductividad eléctrica en las muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO	85
Figura # 40: Demanda de Oxígeno en las muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO	86
Figura # 41: Concentración de TPH's en las muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO	87
Figura # 42: Concentración de HAP's en muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO	87

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS PASIVOS AMBIENTALES EN EL CAMPO PBH, UBICADOS EN LAS PLATAFORMAS PARAÍSO2 (PSO2), PARAÍSO9 (PSO9), PARAÍSO3 (PSO3), HUACHITO1 Y ESTACIÓN PARAÍSO.

Resumen

Las técnicas utilizadas para la exploración y explotación petrolera en los años setenta y ochenta dentro de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE,) desencadenaron una serie de problemas tanto ambientales como sociales, debido a diferentes causas como: fallas técnicas, fallas por parte del personal, entre otras. Estas fallas produjeron varios efectos que han perturbado al área de influencia directa e indirecta donde operan las compañías petroleras, la misma que en su mayoría es considerada un área frágil. Muchas de estas contingencias que no fueron atendidas a su debido tiempo, hoy en día se conocen como pasivos ambientales.

La empresa chilena ENAP- Sipetrol, Sucursal Ecuador se encuentra operando dos campos marginales dentro de la RAE conocidos como: Paraíso – Biguno – Huachito (PBH) y Mauro Dávalos Cordero (MDC) desde el año 2003, dentro de los cuales se han encontrado una serie de pasivos ambientales (piscinas) que fueron causa de diferentes fallas de las anteriores operadoras.

El siguiente estudio enfocará el análisis preliminar de cinco pasivos ambientales que se han identificado dentro del campo PBH como: Paraíso 2 (PSO2), Paraíso 3 (PSO3), Paraíso 9 (PSO9), Huachito 01 (HUA 01) y Canal de Estación Paraíso.

Primeramente se realizó la recolección de datos informativos y antecedentes, tanto de los pozos que se encuentran cercanos a los pasivos, como de los mismos pasivos ambientales. Seguidamente se realizaron muestreos compuestos en campo, los cuales consisten en recolectar varias muestras simples a diferentes profundidades de una sola área para formar una muestra compuesta. Éste muestreo ayudó al cálculo del volumen aproximado de suelo contaminado de cada uno de los pasivos. Finalmente se realizó una propuesta de remediación que implica técnicas de biorremediación, que se puedan aplicar para la gestión o remediación de cada uno de los pasivos ambientales, ya que cada piscina presenta diferentes condiciones.

PALABRAS CLAVE: *Pasivo Ambiental, Biorremediación.*

ABSTRACT:

The obsolete techniques that were introduced in the 70's and 80's to explore and extract crude oil from the subterranean of the Ecuadorian Amazon Region have triggered a number of environmental and social impacts mostly due to human and technical failures. These omissions have perturbed the areas of direct and indirect influence of the oil companies'; areas that are considered as delicate because of their biodiversity. Nowadays, the areas where the failures have not been restored or remediated are known as environmental liabilities.

The Chilean ENAP – Sipetrol is one of the oil companies that is working within the Amazon Region. This company signed a contract with the Ecuadorian Government to extract the crude oil from two different marginal fields and is doing so since 2003. The fields are known as: Paraíso – Biguno – Huachito (PBH) y Mauro Dávalos Cordero (MDC). Many environmental liabilities caused by different failures have been found in these fields.

This study is focused on the preliminary research of some of the environmental liabilities that have been found in PBH field, which have been named as: Paraíso 2 (PSO2), Paraíso 3 (PSO3), Paraíso 9 (PSO9), Huachito 01 (HUA 01) y Canal de Estación Paraíso.

First of all, the information about the field and also the oil pools was analyzed to state the location and the surrounding environment. Second, a field study was carried out to get composite samples consisting in partial samples from the same area. The approximate volume of contaminated soil was calculated in the field study. Finally, after the laboratory results of the soil characteristics, a remediation proposal was made considering the particularity of each environmental liability. The proposals are based on bioremediation techniques and therefore they are the most environments friendly.

KEY WORDS: Environmental Liabilities, Bioremediation.

INTRODUCCIÓN:

A fines de los años 60, fueron descubiertas considerables reservas petroleras en la zona norte de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE). De ahí que, el descubrimiento de recursos hidrocarburíferos significó una ruptura histórica en el contexto Amazónico. El impulso de un nuevo modelo extractivo que implicaba la ocupación territorial permanente, modificó notablemente las condiciones existentes en la región. Además, este descubrimiento implicó un cambio de vida para nativos, ya que se colonizaron muchas tierras.

En la década de los 70, el auge petrolero introdujo un cambio substancial en la estructura económica del país que, hasta ese entonces, había dependido de la exportación de bienes agrícolas, básicamente del banano, café y cacao. A partir de 1972, la producción y comercialización externa de petróleo toman impulso. Las condiciones del mercado internacional propician una notable mejora en los términos de intercambio dado el constante incremento del precio del crudo en el mercado mundial, el cual, entre 1972 y 1980 ascendió de 2,5 a 35,2 dólares el barril, destacándose en este lapso la variación de 1979 debido a la crisis del Golfo Pérsico (Fernández, 1998).

Paralelamente a la subida del precio del petróleo, tuvo lugar un significativo aumento del volumen de exportación en relación a 1972. A inicios de la década de los 80, el aporte petrolero a las exportaciones totales del país representó el 68%. Estos dos factores permitieron al Estado disponer de una substancial e inusitada fuente de recursos. Además, la escalada de los ingresos petroleros permitió fortalecer las reservas internacionales y por ende la capacidad de compra del país de manera que las importaciones, en el transcurso de estos ocho años, aumentaron de U\$284 a U\$ 2.242 millones. En las finanzas públicas el aporte de los ingresos petroleros al presupuesto del Estado aumentó de 16 a 43% (Fernández, 1998).

La actividad hidrocarburífera dentro de nuestro país, ha desencadenado una serie de problemas ambientales debido a diferentes causas como: fallas técnicas, atentados, fallas por parte del personal. Estas fallas han producido varios efectos que han perturbado al área de influencia directa e indirecta, donde operan las compañías petroleras, la misma que en su mayoría es considerada un área frágil (RAE). Además cabe recalcar que muchas de las operadoras no se han hecho cargo de tales contingencias, por lo que se han convertido en pasivos ambientales.

Los pasivos ambientales relacionados a la actividad petrolera, tienen que ver principalmente con la contaminación ambiental producida por la eliminación al ambiente de desechos tóxicos, con la consecuente contaminación del suelo y el agua. En este sentido, uno de los antecedentes más polémicos que todavía enfrenta el Ecuador, es el daño ambiental que provocó la empresa Estadounidense Texaco, la cual operó en Ecuador entre los años 1964 y 1992 en las provincias de Sucumbíos y Orellana.

La compañía realizó sus operaciones en Ecuador de un modo rutinario para explotación petrolera y almacenamiento de desechos. Texaco perforó aproximadamente 340 pozos en el área de concesión, y a cada pozo estaban anexadas aproximadamente de dos a cinco piscinas de tierra que fueron usadas para almacenar el lodo de la perforación, el petróleo crudo y sus derivados necesarios para el mantenimiento del pozo (Powers *et al*, 2006).

Estas piscinas precarias también fueron utilizadas en 18 estaciones de producción para tratar aguas de formación. Estas constituyen el primordial desperdicio producido tras el proceso de separación de agua y petróleo, que comúnmente contiene niveles peligrosos de metales pesados tóxicos (algunos de estos cancerígenos) y petróleo en emulsión, así como sales y sólidos disueltos. Texaco dirigía el agua producida tras la primera separación petróleo-agua a las piscinas, y la vertía directamente en el suelo y en aguas superficiales. En total, aproximadamente 800 – 1000 de estas piscinas precarias fueron construidas por Texaco en el área de concesión (Powers *et al*, 2006).

Según Gordillo (2006) el año 1972 es un significativo punto de referencia para la nueva historia petrolera, a causa de la creación de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana-CEPE, por parte del gobierno nacionalista que a esa época regía Ecuador. Durante este período, CEPE tomó importantes decisiones tales como construir la Refinería Estatal de Esmeraldas, adquirir el 25% de las acciones del Consorcio Texaco-Gulf y luego comprar todas las acciones de Gulf. De esta manera CEPE quedó como socio mayoritario del Consorcio (62,5%), aunque la operación continuó a cargo de la empresa Texaco, hasta que en los años 1990 y 1991, Petroecuador tomó bajo su entera responsabilidad las operaciones a través de la filial temporal Petroamazonas, primero, y luego de Petroproducción en su calidad de empresa filial permanente. Finalmente, Texaco indica que el programa de remediación de US\$40 millones se inició en 1995 y se completó al final del verano de 1998 en las piscinas

generadas por dicha operadora. Durante el proceso, el gobierno ecuatoriano inspeccionó todas las actividades de remediación realizadas en cada emplazamiento.

Es importante a continuación, realizar un resumen de la operación de ENAP-Sipetrol dentro del Ecuador en el campo Paraíso – Biguno – Huachito (PBH). La Sociedad Internacional Petrolera S.A., Sucursal Ecuador (ENAP-SIPETROL) e integrante de la Operadora Nacional del Petróleo de Chile ENAP, al amparo del Art. 17 de la Ley de Hidrocarburos del Ecuador contempla la figura de los contratos de servicios específicos. Este permite a personas jurídicas ejecutar para PETROECUADOR y sus filiales, como PETROPRODUCCIÓN “... obras, trabajos o servicios específicos, aportando la tecnología, los capitales y los equipos o maquinarias necesarias para el cumplimiento de las obligaciones contraídas a cambio de un precio o remuneración en dinero, cuya cuantía y forma de pago será convenida entre las partes conforme a la Ley.” Al amparo de este, se suscribió el “Contrato de Servicios Específicos en Alianza Estratégica” el día 7 de Octubre del 2002, con la Operadora Estatal Petróleos del Ecuador PETROECUADOR y su filial, la Operadora Estatal de Exploración y Producción de Petróleos del Ecuador PETROPRODUCCIÓN, para el desarrollo y producción de petróleo crudo en el Campo Paraíso-Biguno-Huachito de la Región Amazónica Ecuatoriana (Ecuambiente Consulting Group, 2002).

El campo Paraíso-Biguno-Huachito (PBH) se encuentra ubicado en el Cantón Francisco de Orellana - Provincia de Orellana, ocupando un área aproximada de 87,45 km². Se encuentra en la fase de producción (explotación de petróleo crudo) y es operado por SIPEC a partir de enero de 2003, siendo la anterior operadora PETROPRODUCCIÓN (Ecuambiente Consulting Group, 2002).

El Campo PBH, ubicado al norte de la ciudad del Coca, entre los ríos Coca y Payamino, fue descubierto a partir de 1989 mediante la perforación del entonces denominado pozo exploratorio Paraíso-1. Posteriormente los pozos exploratorios Biguno 1 y Huachito 1; arrojaron petróleo en cantidades comerciales de los yacimientos Napo “U” y Napo “T” de la formación Napo. En el año de 1990 se comienza la instalación de la Estación Paraíso. La producción comercial de petróleo se inició en 1991 con una producción promedio 1452 bpd (barriles de petróleo por día). Posteriormente, con la perforación de los pozos PSO-2 y PSO-3 se confirmó la presencia de reservas adicionales y se incrementó la producción. La

producción de petróleo de este Campo se entrega en la Estación Paraíso, que es el punto de fiscalización (Ecuambiente Consulting Group, 2002).

Este campo posee varias infraestructuras que han ocupado algunos terrenos de propietarios ajenos a la empresa. Además, existen dentro del campo PBH varios pasivos ambientales que no han sido evaluados, por lo tanto, el presente estudio se centrará en este campo. Actualmente el Campo PBH, se encuentra en Fase de Desarrollo, Producción y Actividades de Almacenamiento y Transporte de Hidrocarburos. En el área de PBH existen 24 pozos de los cuales 16 se encuentran produciendo, 6 se encuentran en stand by y existen dos pozos de reinyección de los cuales el pozo PSO 9 se encuentra apagado y el pozo PSO 13 se encuentra operando (ENTRIX, 2009).

Antes de empezar a operar dentro del campo PBH, ENAP-Sipetrol contrató los servicios de Ecuambiente Consulting Group, para que realizara una Auditoría inicial en el mes de Noviembre del 2002 dentro del campo, para evaluar en qué condiciones se encontraban las plataformas y las instalaciones en general.

La fase de auditoría en el sitio, se ejecutó entre los días 17 de noviembre hasta el 10 de diciembre del año 2002 en las instalaciones de los Campos PBH, así como en el Campamento de Sacha Central ubicado en el km 65 vía Lago Agrio – Coca y en el Distrito Amazónico ubicado en la ciudad de Lago Agrio (instalaciones de la actual Operadora, relacionadas con los Campos auditados) (Ecuambiente Consulting Group, 2002).

La Fase de post-auditoría se ejecutó entre los días 11 al 20 de diciembre del 2002 en las oficinas de Ecuambiente Consulting Group. Antes de realizar la Auditoría, se encontró que los campos PBH habían sido sujetos de Estudios de Impacto Ambiental puntuales en el año 1994 para la perforación exploratoria de los Pozos Biguno 1 y Huachito 1; sin embargo, a partir de ese año, los Campos no fueron sujeto de Estudios Ambientales ni de Auditorías Ambientales emprendidas por PETROPRODUCCIÓN (Ecuambiente Consulting Group, 2002).

Dentro de los resultados de la Auditoría se determinó la existencia de algunas piscinas con agua y crudo intemperizado (Huachito 1, PSO-5, PSO-7 y PSO-9); una piscina de contención de aguas de formación en la estación Paraíso, y otra de crudo en la misma estación.

Se determinó también que las piscinas habían sido remediadas casi en su totalidad, faltando por hacerlo las piscinas de los pozos PA-5 (una taponada y con vestigios de crudo en un área de 50 m² y otra con crudo intemperizado en un volumen de 60 m³); en el PA-7 (una piscina de 160 m³ de agua con películas de aceite en su superficie y una con crudo intemperizado); y, en el PA-9 (una piscina abierta con agua lluvia de 375 m³) Adicionalmente, en el pozo Huachito 1 se determinó la existencia de una fosa de aproximadamente 18 m³ con presencia de agua y película de crudo (Ecuambiente Consulting Group, 2002).

En Ecuador, pocos son los estudios que se han enfocado a nivel nacional a la reparación de pasivos ambientales. Sin embargo, el Ministerio del Ambiente (MAE) a partir del año 2009, se comprometió en la elaboración de Planes de remediación. Para esto se constituyó el Plan de Reparación Ambiental y Social (PRAS), el cual interviene en áreas afectadas por la actividad hidrocarburífera. Este programa tiene un alcance nacional, es decir, considera todas las áreas donde existe presencia de infraestructura petrolera en el país. En la actualidad, el PRAS se encuentra en ejecución, aplicando la noción de sostenibilidad fuerte. Es decir que se propone una valoración de los pasivos ambientales en base a criterios múltiples que integren, por ejemplo, cifras macroeconómicas con indicadores biofísicos (PRAS, 2009).

Después de haber analizado la situación en la que se encuentra el campo PBH, se determinó que los pasivos ambientales ubicados dentro del campo en las plataformas PSO2, PSO9, PSO3, HUACHITO1 y Estación PSO de ENAP – SIPETROL no han sido evaluados en su totalidad. Solamente existe información preliminar básica, la cual se ha ido recopilando a través de la operación de ENAP - SIPETROL. Por lo tanto, se requiere de un mejor análisis de los pasivos que permita implementar una gestión adecuada de los mismos. El presente trabajo generará esta información faltante.

En función de lo anotado, este estudio, se ha planteado como objetivo general lo siguiente:
Evaluar preliminarmente los pasivos ambientales en el campo PBH ubicados en las plataformas PSO2, PSO9, PSO3, HUACHITO1 y Estación PSO.

Además se han propuesto tres objetivos específicos que permitirán cumplir con el objetivo general antes mencionado:

- Identificar los pasivos ambientales en el campo PBH ubicados en las plataformas PSO2, PSO9, PSO3, HUACHITO1 Y Estación PSO.

- Caracterizar los pasivos ambientales en el campo PBH ubicados en las plataformas en estudio.
- Determinar una propuesta a presentarse para la gestión de los pasivos.

En razón de que ENAP – SIPETROL solo posee información básica acerca del estado de algunos de los pasivos ubicados en el campo PBH, el presente proyecto pretende ampliar esta información y determinar conclusiones que incluyan propuestas a aplicarse para dar una gestión apropiada a los distintos pasivos ambientales.

En referencia al marco jurídico del estado ecuatoriano que engloba el tema de los servicios ambientales, la Constitución Ecuatoriana del 2008 reconoce los derechos de la naturaleza.

Dentro del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), existen algunos Artículos donde se hace énfasis en la prevención de impactos. En el Libro VI-Calidad Ambiental en los Títulos II - Residuos Sólidos, IV- Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y VI - Sistema Único de Manejo Ambiental se habla sobre el principio precautorio y las medidas que se deben tomar para evitar generar impactos ambientales por las diferentes actividades productivas que se crean dentro del país.

En referencia al principio precautorio, el TULAS establece políticas para la gestión de los residuos sólidos y para la prevención en general de cualquier impacto que se pueda generar por actividades productivas (Art. 30 y 46, Libro VI de Calidad Ambiental, Título II y III). El TULAS exige, además, la remediación de impactos ambientales negativos que puedan generarse a partir de un procedimiento. (Art. 45, Libro VI de Calidad Ambiental, Título IV)

En el Sistema Único de Manejo Ambiental se establecen parámetros para la mitigación y corrección de impactos como son los Términos de Referencia (Art. 16, Libro VI de Calidad Ambiental, Título I), Plan de Manejo Ambiental, el cual incluye varios Planes que deben cumplirse dentro de un plazo establecido (Art. 17, Libro VI de Calidad Ambiental, Título I).

Es importante, además, tomar en cuenta al Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE) ya que todas las empresas que operan con hidrocarburos se rigen a este reglamento. Cabe recalcar que el mismo no hace referencia en ninguno de sus artículos a la remediación de pasivos ambientales, sino de derrames. Sin

embargo, recalca en sus artículos 41 y 42 que todas las Operaciones Hidrocarburíferas están sujetas a la presentación ante la entidad de control de Estudios de Impacto Ambiental que incluyan un Plan de Manejo Ambiental (PMA) y también a Auditorías Ambientales para la evaluación del respectivo PMA.

Este reglamento tiene por objeto regular las actividades hidrocarburíferas de exploración, desarrollo, producción, almacenamiento, transporte, industrialización y comercialización de petróleo, crudo, gas natural y derivados susceptibles de producir impactos ambientales en su área de influencia directa. En sus artículos 16, 59 y 60 se contemplan temas acerca de monitoreo de programas de remediación, tratamiento y cierre de piscinas. Se establecen formatos modelo para la ejecución de Programas de remediación, así como disposiciones para tratar piscinas con crudo y/o agua, piscinas secas y revegetación. Es por lo tanto necesario para ENAP – SIPETROL contar con información válida que le permita cumplir con la legislación ambiental vigente en el país.

1. MARCO TEÓRICO:

1.1. PASIVOS AMBIENTALES:

El pasivo ambiental es el conjunto de daños ambientales, en términos de contaminación del agua, suelo, aire, deterioro de los recursos y ecosistemas, producidos por una empresa en su funcionamiento normal o por accidentes imprevistos, a lo largo de su historia (Falconí, 2004).

El término Pasivo Ambiental (PA) es una expresión económica que forma parte de los cuatro capitales: El *Capital Natural*, el cual está conformado por todos aquellos bienes y servicios ambientales y naturales, el capital *Reproducible* (fabricado por la humanidad incluyendo el dinero), el capital *Humano* (capacidad de individuos y su organización para solucionar problemas) y *Social* (Instituciones – grupos sociales que entre ellos toman decisiones y crean reglas para cumplir con un objetivo). Se considera que los PA afectan al capital natural ya que éstos generalmente se derivan de activos ambientales, por lo que son las dos caras del mismo negocio petrolero (Reyes y Ajamil, 2005).

Los yacimientos petroleros que se encuentran dentro del Ecuador, se han situado, lamentablemente, en zonas que atesoran un gran capital natural, y para hacer reproductiva y

beneficiosa su inversión, se ha requerido de la implantación de varios activos tales como: facilidades, tanques de almacenamiento, separadores trifásicos, pozos, cellars, entre otros, que necesariamente están generando varios impactos ambientales que mientras no desaparezcan por completo, se constituirán en Pasivos Ambientales (Reyes y Ajamil, 2005).

Los pasivos ambientales aparecen el momento en que un activo, además de cumplir con su función en la operación, origina un daño o impacto ambiental externo negativo. Por lo tanto, los pasivos ambientales se consideran finalmente como un costo o daño ambiental que en algún momento afecta directa o indirectamente a la rentabilidad real y acumulada del sector. Por lo tanto, se analiza que con el paso del tiempo, todos los activos y facilidades instaladas, pasen a ser Pasivos Ambientales, ya sean de tipo flujo o acumulado (Reyes y Ajamil, 2005).

Los pasivos ambientales, pueden también ser considerados como fallas de mercado o externalidades. Por lo tanto, constituyen brechas no compensadas entre coste social y coste privado, que no permiten alcanzar Óptimos de Pareto (es aquella situación en la cual se cumple que no es posible beneficiar a más elementos de un sistema sin perjudicar a otros. Se basa en criterios de utilidad: si algo genera o produce provecho, comodidad, fruto o interés sin perjudicar a otro, provocará un proceso natural de optimización hasta alcanzar el punto óptimo (Rossi *et al*, 2003).)

Las externalidades son efectos externos económicos, sociales y/o ambientales provocados por actividades productivas o de consumo, que no están incorporados en los precios de mercado y que repercuten sobre el bienestar de quienes las reciben. Los perjuicios o beneficios experimentados, causados a la naturaleza, concluirían cuando a éstos se les asigna un valor monetario de mercado, es decir cuando se logra *internalizar* a las externalidades en los costos y por ende en los precios (Falconí, 2004).

Varias propuestas opuestas al hecho de lograr internalizar las externalidades, o proporcionar valores monetarios a los daños ambientales han surgido, debido a la dificultad de lograr vías óptimas de agotamiento de los recursos naturales o lograr reemplazar el capital natural por capital económico. Las externalidades acumulativas en el tiempo y los daños irreversibles de ciertos procesos productivos son claras muestras de los obstáculos conceptuales y técnicos para conferir precios de mercado a las mismas. Además, la actividad petrolera y sus pasivos

ambientales han provocado daños ambientales y sociales, externalidades locales y globales (Falconí, 2004).

Frente a la concepción de que es posible proporcionar valores monetarios a los daños ambientales, internalizando las externalidades, lograr senderos óptimos de agotamiento de los recursos naturales, o lograr compensar y/o reemplazar el capital natural por capital económico, se han realizado propuestas desde otros enfoques que señalan “la extrema dificultad de dar valoraciones económicas actualizadas a la pérdida de biodiversidad u a otras pérdidas de “capital natural” (Falconí, 2004).

La dificultad o incluso imposibilidad de valorar las externalidades, impide conocer con certeza los niveles los cuales deben aplicarse los distintos instrumentos para obtener la “producción óptima”. La imposibilidad cierta de estimar los “costos externos ambientales” y consecuentemente el “costo externo marginal” relativizan la posibilidad de fijar el “instrumento óptimo”. El nivel óptimo de producción no puede ser encontrado, como lo postula la teoría neoclásica y su variante la economía ambiental, a través de la maximización del “excedente social”, sino que corresponde a una “solución compromiso”, es decir que es un nivel de producción y de contaminación aceptado socialmente (Falconí, 2004).

1.2. GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES

Los pasivos ambientales dentro, del Ecuador, se han generado debido a la falta de tecnologías adecuadas en el pasado, cuando se inició con la actividad petrolera. Según la Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía del Perú (SNMPE) (2004), el conocimiento científico y el marco normativo ambiental primitivo, permitieron a las empresas y a las personas que laboraban en éste y otros sectores productivos del país, que realicen sus actividades sin pensar que podían causar daños ambientales (SNMP, 2004).

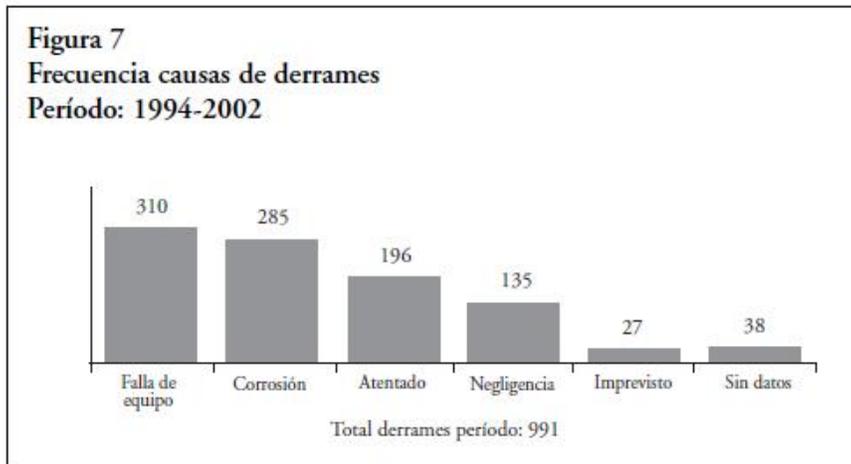
La situación del pasado, se acentúa por el abandono de instalaciones o zonas ambientales degradadas, sin un manejo que evite su presencia negativa. De esta manera se va degradando el ambiente, generando la pérdida progresiva de la capacidad de algunos recursos naturales para prestar bienes y servicios a la humanidad, así como la del medio físico para mantenerse en condiciones adecuadas (SNMP, 2004).

Son muchas las actividades que han originado pasivos ambientales, entre ellas encontramos, la minería, la industria manufacturera, la extracción de hidrocarburos, entre otros. La extracción de hidrocarburos generó pasivos por el derrame de los mismos en el ambiente, rebalse de pozas de sedimentación con agua salada en la selva, roturas de tuberías, pozos mal sellados y movimiento de tierras (SNMP, 2004).

Según Arteaga (2003), entre los años 1967 – 2001, Petroecuador perforó alrededor de 852 pozos en la Región Amazónica. Si bien es cierto, las actividades de exploración y explotación hidrocarburífera han sido permanentes en las tres últimas décadas, existen notables variaciones temporales. En los años 1970 – 1974 hubo un significativo aumento en cuanto a perforación de pozos, luego un período de regular intensidad en la década de los ochenta, y luego se intensificó de manera sustancial en los años 1990 – 1995.

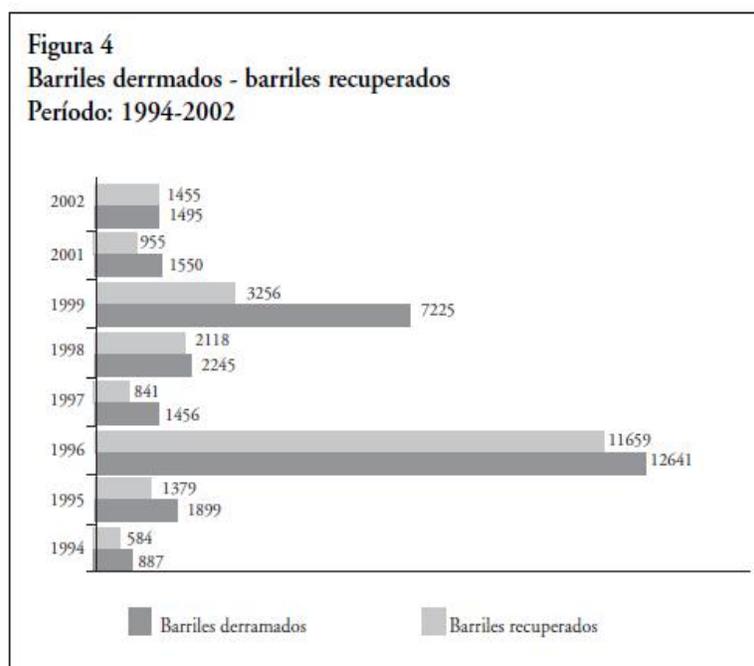
Las provincias orientales con mayor número de pozos perforados hasta 2001, eran Sucumbíos y Orellana, con un total de 438 (53%) y 363 (44%), respectivamente. De igual forma, los cantones que mantienen el mayor número de pozos son Orellana, Lago Agrio, Joya de los Sachas y Shushufindi que en su totalidad asciende a 695 pozos (83,5%) (Arteaga, 2003).

Según información de Petroecuador, en el período 1994 – 2001, la mayor cantidad de derrames de crudo se debe a fallas en el equipo con 310 eventos (31%). Además, es importante recalcar que 135 de los 991 derrames ocurridos en el mismo período, se deben a negligencias de operación, lo que significaría que 4.837 barriles (14%) se habrían derramado por esta causa (Arteaga, 2003).



(Arteaga, 2003)

El análisis que realiza Arteaga (2003), acerca de la relación entre crudo derramado y crudo recuperado por Petroecuador, determina que un 24% del volumen derramado no fue recuperado y permaneció en el ambiente, lo cual equivale a un promedio de 7.148 barriles. Esta investigación aporta datos relacionados con una tasa de derrames equivalente a 0,04 barriles por cada mil producidos para el lapso 1994 – 2002 por la estatal petrolera. Entre 1998 y 2002 se tiene un total de área contaminada por derrames de Petroecuador equivalente a 1'509.522 m².



(Arteaga, 2003)

Entre los años 70 y 90, se registró una cantidad de 403.200 barriles derramados del Sistema de Oleoducto Trans-Ecuatoriano (SOTE), mientras que a causa de las operaciones en los campos petroleros, se habrían vertido 456.000 barriles de crudo. Por otra parte, de acuerdo a datos estimativos entregados por Petroecuador, existe un volumen de más de 700.000 barriles derramados por efecto de rupturas del SOTE hasta el 2004 (PRAS, 2009).

Además, se ha registrado que durante la fase de perforación, se habrían producido un promedio de 4.165 m³ de lodos de perforación por pozo. Cabe recalcar que éstos lodos, así como los desechos de crudo, fueron depositados en piscinas abiertas de recolección sin ningún tipo de impermeabilización, se colocaron en directo contacto con el suelo (PRAS, 2009).

1.3. EFECTOS DE LOS PASIVOS AMBIENTALES PETROLEROS:

1.3.1. EL RECURSO PETRÓLEO:

El petróleo es un compuesto orgánico, conocido en tiempos históricos como aceite mineral (*petrae* = piedra y *oleum* = aceite, en latín).

Ésta sustancia es generalmente extraída de yacimientos que se encuentran en la capa subterránea. La primera explotación moderna se concreta en 1854 cuando DRAKE, auxiliado por un herrero, perfora un pozo de 21 metros de profundidad en Titusville.

En numerosas ocasiones se utiliza la palabra crudo para denominar al petróleo sin refinar (Leffler, 2004).

Composición química:

El análisis químico de esta sustancia orgánica, ha mostrado que está casi exclusivamente constituido por hidrocarburos, compuestos formados por dos elementos: carbono e hidrógeno. Esta simplicidad es aparente porque, como el petróleo es una mezcla, y no una sustancia pura, el número de hidrocarburos presentes y sus respectivas proporciones varían dentro de un límite muy amplio. Es químicamente incorrecto referirse al "petróleo", en singular; ya que existen muchos "petróleos", cada uno con su composición química y sus propiedades características (Leffler, 2004).

Los “petróleos” o hidrocarburos son líquidos insolubles en agua y de menor densidad que ella. Dicha densidad está comprendida entre 0,75 y 0,95 g/ml. Sus colores varían del amarillo pardusco hasta el negro (Leffler, 2004).

Los hidrocarburos están formados por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. La composición media del petróleo sería 85%C, 12%H y 3% S+O+N, además de varios elementos metálicos. La composición de los crudos varía dependiendo del lugar donde se han formado. Las diferencias entre unos y otros se deben, a las distintas proporciones de las diferentes fracciones de hidrocarburos, y a la variación en la concentración de azufre, nitrógeno y metales (Leffler, 2004).

Algunas variedades de hidrocarburos son extremadamente viscosas, mientras que otras son bastante fluidas. Según Leffler (2004) es habitual clasificar a los petróleos dentro de tres grandes tipos considerando sus atributos específicos y los subproductos que suministran:

Petróleos asfálticos:

Son de color negro, tienen una apariencia viscosa y son de elevada densidad: 0,95 g/ml. En la destilación primaria producen poca nafta y abundante fuel oil, quedando asfalto como residuo

Petróleos parafínicos:

Son generalmente de color claro, su apariencia es fluida y son de baja densidad: 0,75-0,85 g/ml. Rinden más nafta que los asfálticos. Cuando se refina sus aceites lubricantes se separa parafina

Petróleos mixtos:

Tienen características y rendimientos comprendidos entre las otras dos variedades principales. Aunque sin ser iguales entre sí, son de base mixta.

1.3.2. GRAVEDAD API:

La gravedad API, por sus siglas en inglés: American Petroleum Institute, es una medida de densidad que describe que tan pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua.

Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en esta. La gravedad API es también usada para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo.

La industria hidrocarburífera comercializa el petróleo en base seca, por lo tanto la determinación de agua y sedimento es fundamental, de los cuales existen varios métodos. Es por ello que se destaca la clasificación del crudo por medio de grados API y porcentaje de agua y sedimentos para la estimación del precio del crudo.

- Gravedad API: denota la relación correspondiente de peso específico y de la fluidez de los crudos con respecto al agua.

- °API: (American Petroleum Institute): escala arbitraria de la lectura de la gravedad específica (densidad relativa), usada en la industria petrolera y que tiene como base la densidad del agua (10° API). La gravedad en °API es la equivalente a densidad y se usa en la industria petrolera mundial. La gravedad específica del agua es 1 y en °API es 10. Los crudos se clasifican, según la gravedad API, por la siguiente escala:

Extra-pesados < 9,9

Pesados 10 - 21,9

Medianos 22,0 - 29,9

Livianos 30 – 39,9

Condensados > 40

Un mayor valor de gravedad API en un producto de refinería representa que este tiene un mayor valor comercial. Esto se debe a la facilidad (operacional y económica) de producir destilados valiosos como gasolina, jet fuel y gasóleo con alimentaciones de crudos livianos y a los altos rendimientos de los mismos. Esta regla es válida hasta los 45 grados API, más allá de este valor, las cadenas moleculares son tan cortas que hacen que los productos tengan menor valor comercial.

La actividad petrolera, como toda actividad industrial, genera impactos ambientales, los cuales se derivan fundamentalmente de las características técnicas de la explotación. Los impactos que se relacionan directamente con la actividad petrolera son los que se derivan del producto (petróleo) y los subproductos (aguas de formación) que se convierten el principal indicador de contaminación directa (Arteaga, 2003).

Las principales fuentes de contaminación del suelo, procedentes de la actividad petrolera dentro de la RAE, constituyen las piscinas de crudo y los derrames no remediados o mal remediados, si se da el caso.

Las fuentes más importantes de contaminación de agua, también tienen que ver con derrames de crudo, presencia de piscinas no remediadas y a las descargas de aguas de formación (PRAS, 2009).

Cuando existe un derrame de crudo en un medio húmedo o seco, sea permeable o impermeable según las características geomorfológicas del suelo, se debe identificar si es un hidrocarburo no persistente, el cual tiende a desaparecer rápidamente de la superficie o por el contrario un hidrocarburo persistente el cual se disipa más lentamente (Montoya *et al*, 2002).

La degradación ecológica se puede dar por varias causas, una de ellas se debe a la operación hidrocarburífera. Uno de los principales impactos que se generan a partir de esta actividad, es la deforestación, la misma que por apertura de líneas sísmicas, según información recuperada de Falconí (2002) dentro del PRAS (2009), durante la fase exploratoria efectuada por Texaco, se estima equivalente a 30.900 hectáreas. A esta cifra, se suma la deforestación ocasionada durante la apertura de pozos y áreas para facilidades. Según un estudio de Kimerling, por cada pozo se habría desbrozado entre 2 y 5ha. de bosque, con una afectación adicional del entorno de aproximadamente 15ha., debido a la extracción de madera para estabilización de las plataformas de exploración (PRAS, 2009).

En síntesis, si se considera que hasta el año 2001 se habían perforado 820 pozos en la Región Amazónica y se toma un promedio de afectación de 3,5ha., se puede estimar un área deforestada por apertura de plataformas de perforación de 2.870ha., aproximadamente, con una afectación indirecta de bosque de 12.300ha (PRAS, 2009).

Otro aspecto muy relevante relacionado con la deforestación, es la apertura de vías para facilitar la explotación hidrocarburífera. El PRAS (2009), se basa en varios estudios de Falconí y Kimerling sobre deforestación y estima que se han construido 500 kilómetros de carreteras, lo cual ha generado el desbroce de entre 200.000 y 1'200.000ha., en las áreas afectadas.

En el período de operaciones de Texaco en el Ecuador, se vertieron 450 millones de barriles de aguas de formación. Esta actividad la realizaban las operadoras debido a que, según estudios analizados en el PRAS (2009), el costo de las medidas relacionadas con la reinyección de aguas de formación era alrededor de \$600 millones (Arteaga, 2003).

Según el PRAS (2009), algunos estudios realizados en 1994 sobre el tema, demuestran resultados de un muestreo en cuerpos de agua afectados en las áreas operadas por Texaco que determinan concentraciones de 0.46423 nanogramos de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPS) por litro y de 96 a 2.500 microgramos de benceno por litro. En comparación a la norma actual vigente (0.0003 mg/l límite máximo permisible), los HAPS superan 15474 veces al límite máximo permisible.

Cuando se produce un derrame de hidrocarburo, éste manifiesta diferentes cambios en su estado físico y químico, por lo que se deben conocer dichos procesos y forma de interactuar con el ambiente para explicar cómo se altera la naturaleza y la composición de los hidrocarburos en el tiempo.

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos de naturaleza química diferente que se distinguen por poseer temperaturas de ebullición distintas. Los hidrocarburos presentes en la composición se clasifican en 3 tipos generales: parafinas, naftenos y aromáticos (Montoya *et al*, 2002).

La serie parafínica de los hidrocarburos se caracteriza por la regla de que los átomos de carbono se hallan unidos mediante enlaces sencillos y los otros están saturados con átomos de hidrógeno. Se denominan naftenos a todos los hidrocarburos ciclo-parafínicos en los que todos los enlaces disponibles de los átomos de carbono están saturados con hidrógeno. La serie aromática de los hidrocarburos es física y químicamente muy diferente a las parafinas y naftenos, estos hidrocarburos presentan anillos bencénicos que no se encuentran saturados

pero son muy estables, comportándose frecuentemente como un compuesto saturado (Montoya *et al*, 2002).

Dentro de las características de los hidrocarburos que deben ser tomadas en cuenta están: densidad, viscosidad y punto de fluidez. Los hidrocarburos con una baja densidad específica, tienden a ser ricos en componentes volátiles y altamente fluidos, las características de destilación de un hidrocarburo describen su volatilidad, a medida que se eleva su temperatura, diferentes componentes alcanzan a su vez su punto de ebullición; la viscosidad de un hidrocarburo es su resistencia al flujo, los hidrocarburos de alta viscosidad son altamente móviles. El punto de fluidez es la temperatura por debajo de la cual el hidrocarburo no fluye, si la temperatura ambiente se encuentra por debajo de fluidez, el hidrocarburo se comportará esencialmente como un sólido (Montoya *et al*, 2002).

Los procesos de máxima importancia en las primeras horas después de ocurrido un derrame son: esparcimiento, evaporación, dispersión, emulsificación, y disolución. Mientras que los procesos que ocurren a largo plazo son oxidación y sedimentación.

Esparcimiento:

Una vez derramado el crudo en una zona húmeda (pantano, río, lago, laguna), el esparcimiento es uno de los procesos más significativos, el hidrocarburo debido a su menor densidad se extiende por encima de la superficie del agua como una mancha coherente, y la rapidez del movimiento se ve influenciada por la viscosidad.

Después de pocas horas, la mancha comienza a quebrarse y forma franjas estrechas paralelas a la dirección del viento y de la corriente del río. El esparcimiento futuro dependerá principalmente de las condiciones hidrográficas (Montoya *et al*, 2002).

Evaporación:

Esta fase depende de la volatilidad del hidrocarburo. Cuanto mayor sea la proporción de componentes del hidrocarburo con menor peso molecular, mayor será la evaporación.

La evaporación no siempre es rápida, ya que depende del lugar y del medio donde se ha dado el derrame, el grado de evaporación depende de la temperatura, humedad, velocidad del viento, intensidad de la luz solar.

Los componentes orgánicos volátiles del hidrocarburo, se incorporan al movimiento de masas de aire, de tal manera que son transportadas a una cierta distancia dependiendo de la estabilidad química del hidrocarburo y de la capacidad oxidante del entorno atmosférico. Las formaciones de “mousse” pueden entorpecer las evaporaciones y prolongar la duración de la mancha del petróleo (Montoya *et al*, 2002).

Dispersión:

En la mayoría de casos es el factor principal que determina la vida de las manchas que se forman en el agua. Las condiciones principales de la fuente de agua, la turbulencia y el grado de esparcimiento, actúan sobre el petróleo derramado para producir gotas de distintos tamaños. Las gotas más pequeñas permanecen en suspensión y se mezclan en la columna de agua; por otra parte, las gotas mas grandes se elevan de nuevo a la superficie, formando, manchas de petróleo de película delgada. Éste proceso puede promover otros procesos como la disolución, sedimentación y biodegradación (Montoya *et al*, 2002).

Emulsificación:

La tendencia de hidrocarburos a absorber agua, da lugar a la formación de emulsiones (Sistema termodinámicamente inestable, constituido por una suspensión de partículas líquidas en el seno de otra fase líquida no miscible (Petroecuador , 2004).) de agua en hidrocarburo, aumentando el volumen del contaminante en factor de 3 a 4 veces, dichas emulsiones son extremadamente viscosas y persisten en la superficie del agua, ocasionando un retardo de los demás procesos que harían que se disipe el hidrocarburo.

Los hidrocarburos con contenidos de asfaltenos, tienden a formar emulsiones estables denominadas “mousse de chocolate”, las cuales pueden separarse de nuevo si son calentadas por la luz solar (Montoya *et al*, 2002).

Disolución:

Este proceso se ve acelerado debido a la dispersión del petróleo en gotas, y a la superficie del petróleo expuesta al agua. Los componentes pesados del hidrocarburo se hacen virtualmente insolubles en el agua, mientras que los componentes livianos, particularmente los hidrocarburos aromáticos, tales como el benceno y el tolueno, son altamente solubles y pueden tener graves consecuencias, por lo que se debe recalcar que los componentes

aromáticos más simples del petróleo crudo refinado se encuentran entre los más tóxicos (Montoya *et al*, 2002).

De manera general, se puede decir que el grado en el que se disuelve un hidrocarburo depende de su composición, el grado de esparcimiento, la temperatura del agua, la turbulencia y la dispersión.

Oxidación:

Este proceso es el de menor contribución con relación a los otros en la disipación total de los hidrocarburos derramados. Los hidrocarburos pueden reaccionar con el oxígeno, ya sea para desdoblarse en compuestos solubles o para formar alquitranes persistentes. Muchas de estas reacciones son promovidas por la acción de la luz solar, tomándose en cuenta que bajo luz solar intensa, las películas delgadas se disipan en tasas no mayores (Montoya *et al*, 2002).

Sedimentación:

El mecanismo mediante el cual el petróleo alcanza los sedimentos es mediante la adsorción o adhesión de los hidrocarburos de petróleo disueltos y pequeñas gotas de petróleo por partículas, por ejemplo, de barro suspendidas en el agua, que posteriormente pueden fundirse en partículas más grandes que son suficientemente densas como para hundirse (Montoya *et al*, 2002).

Biodegradación:

Los microorganismos siempre están presentes en fuentes naturales, ya sea agua, suelo o aire, en este caso, cuando existe un derrame de crudo, se convierte en la fuente carbono y energía, dando lugar al proceso de biodegradación, cuyas tasas están afectadas principalmente por factores como temperatura, humedad, pH, disponibilidad de oxígeno y nutrientes.

La biodegradación solo puede ocurrir en la interfase hidrocarburo-agua, razón por la cual el hidrocarburo atrapado en las riberas se degrada muy lentamente y los hidrocarburos de petróleo en los sedimentos de fondo son extremadamente persistentes (Montoya *et al*, 2002).

1.4. GESTIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES

Como base fundamental para una mejor gestión de los pasivos ambientales petroleros, es importante, primeramente, conocer los principales compuestos presentes en el petróleo y su forma de ingreso al ambiente.

1.4.1. Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH):

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (1998), los Hidrocarburos Totales de Petróleo, (TPH por sus siglas en inglés), son usados para describir una amplia familia de varios compuestos de químicos originados de petróleo crudo. Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de TPH en un sitio.

Los TPH son una mezcla de productos químicos, compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales (ATSDR, 1998).

Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH incluyen hexano, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina, y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina. Sin embargo, es probable que muestras de TPH contengan solamente algunas, o una mezcla de estas sustancias químicas (ATSDR, 1998).

Ingreso de TPH al Ambiente:

- Los TPH pueden entrar en contacto con el ambiente a raíz de accidentes, de liberaciones industriales, o subproductos de uso comercial o privado.
- Los TPH pueden ser liberados directamente al agua o suelo por escapes o derrames en superficies permeables.
- Ciertas fracciones de los TPH flotarán en el agua y formarán una capa superficial.
- Otras fracciones de los TPH se depositarán en los sedimentos del fondo.
- Bacterias y microorganismos en el agua pueden degradar ciertas fracciones de los TPH.
- Ciertas fracciones de los TPH se adhieren a partículas en el suelo donde pueden permanecer por largo tiempo (ATSDR, 1998).

1.4.2. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's):

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's por sus siglas en inglés) son un grupo de más de 100 sustancias químicas diferentes que se forman durante la combustión incompleta del carbón, petróleo y gasolina, basuras y otras sustancias orgánicas. Los HAP's se encuentran generalmente como una mezcla de dos o más de estos compuestos, tal como el hollín.

Algunos de los HAP's son manufacturados. Estos HAP's puros, generalmente son sólidos incoloros, blancos o amarillo-verde pálido. Los HAP's se encuentran en alquitrán, petróleo crudo, creosota y alquitrán para techado, aunque unos pocos se usan en medicamentos o para fabricar tinturas y pesticidas (ATSDR, 1998).

Ingreso de HAP's al Ambiente:

- Los HAP's pasan al aire principalmente por emisiones volcánicas, incendios forestales, combustión de carbón y escape de automóviles.
- Pueden encontrarse en el aire adheridos a partículas de polvo.
- Ciertas partículas de HAP's pueden evaporarse al aire fácilmente del suelo o de aguas superficiales.
- Además pueden degradarse en un período de días o semanas al reaccionar con luz solar o con otras sustancias químicas en el aire.
- Pasan al agua a través de emisiones líquidas o gaseosas de plantas industriales y de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- La mayoría de los HAP's no se disuelven fácilmente en agua.
- Microorganismos pueden degradar estos contaminantes en el suelo o en el agua después de un período de semanas o meses.
- En el suelo, es probable que los HAP's se adhieran firmemente a partículas; ciertos HAP's se movilizan a través del suelo y contaminan el agua subterránea.
- La cantidad de HAP's en plantas y en animales puede ser mucho mayor que la cantidad en el suelo o en el agua donde viven estos organismos (ATSDR, 1998).

1.4.3. Cadmio:

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio).

Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen una cantidad de cadmio. La mayor parte del cadmio que se usa en varios países del mundo, se extrae durante la producción de otros metales como el zinc, plomo y cobre.

Este metal no se corroe fácilmente y tiene muchos usos tales como baterías, pigmentos, revestimiento de metales y plásticos (ATSDR, 1998).

Ingreso del Cadmio al Ambiente:

- El cadmio entra al suelo, al agua y al aire durante actividades industriales y de minería, y durante la combustión de carbón y desechos domésticos.
- No se degrada en el ambiente, pero sí cambia de forma.
- Las partículas de cadmio en el aire pueden movilizarse largas distancias antes de depositarse en la tierra o el agua.
- Algunas formas de cadmio se disuelven en agua.
- Se adhiere fuertemente a partículas del suelo.
- Las plantas, los peces y otros animales incorporan cadmio del ambiente (ATSDR, 1998).

1.4.4. Níquel:

El níquel es un elemento natural muy abundante. El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado que puede combinarse con otros metales, tales como el hierro, cobre, cromo y zinc para formar aleaciones. Estas aleaciones se usan para fabricar monedas, joyas, y artículos tales como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable.

El níquel puede combinarse con otros elementos, como cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel. Muchos compuestos de níquel se disuelven fácilmente en agua y son de color verde. Los compuestos de níquel se usan en niquelado, para colorear cerámicas, para

fabricar baterías y como catalizadores, ya que son sustancias que aceleran las reacciones químicas.

El níquel se encuentra en todos los suelos y es liberado por emisiones volcánicas. El níquel también se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos. El níquel y sus compuestos no tienen olor ni sabor característicos (ATSDR, 1998).

Ingreso de Níquel en el Ambiente:

- Es liberado a la atmósfera por industrias que manufacturan o usan níquel, sus aleaciones o compuestos. También es liberado a la atmósfera por plantas que queman petróleo o carbón, y por incineradores de basura.
- En el aire, se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas del aire en la lluvia o la nieve; esto generalmente toma varios días.
- El níquel liberado en desagües industriales termina en el suelo o en el sedimento, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso.
- El níquel no parece acumularse en peces o en otros animales usados como alimentos (ATSDR, 1998).

1.4.5. Plomo:

El plomo es un metal gris-azulado que ocurre naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. El plomo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de la quema de combustibles fósiles.

El plomo tiene muchos usos diferentes. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X. Debido a inquietudes sobre salud pública, la cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para calafatear y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años. El uso del plomo como aditivo para gasolina se prohibió el año 1996 en Estados Unidos (ATSDR, 1998).

Ingreso de Plomo en el Ambiente:

- El plomo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua.
- Cuando se libera plomo al aire, puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo.
- Una vez que cae al suelo, generalmente se adhiere a partículas del suelo.
- La movilización del plomo desde el suelo al agua subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo (ATSDR, 1998).

1.4.6. Biorremediación:

En base a lo expuesto, se presentan a continuación la principal propuesta de gestión para pasivos ambientales: su biorremediación.

El tratamiento biológico es la degradación del residuo orgánico por la acción de los microorganismos. La degradación altera la estructura molecular de los compuestos orgánicos y el grado de alteración determina si se ha producido biotransformación o mineralización.

Biotransformación: Se refiere a la descomposición de un compuesto orgánico en otro similar.

Mineralización: Se produce la descomposición total de las moléculas orgánicas en dióxido de carbono, agua, residuos inorgánicos inertes y se incorpora el resto a las estructuras de los microorganismos. (LaGrega *et al*, 1998)

Existen varios parámetros microbiológicos que afectan al tratamiento biológico. Estos parámetros son:

- Fuentes de energía y sustrato
- Procesos enzimáticos
- Biodegradabilidad del sustrato
- Inhibición y toxicidad
- Población microbiana.

(LaGrega *et al*, 1998)

La mayoría de las sustancias orgánicas sintéticas son biodegradables, haciendo del tratamiento biológico una alternativa técnicamente viable. Sin embargo, existen casos donde compuestos concretos han resistido la degradación, por lo que se los denomina *recalcitrantes* o *refractarios*. Otra razón para llamar a éstos compuestos recalcitrantes es su lenta degradación, que puede hacer ineficaz el tratamiento biológico, sin embargo varias investigaciones señalan que se han podido identificar con éxito algún tipo de microorganismo o grupo de microorganismos capaces de degradarlos (LaGrega *et al*, 1998).

Según LaGrega, *et al* (1998), la biodegradabilidad de un compuesto depende, en gran medida, de su estructura molecular. Algunos de los parámetros que tienen relación con la degradabilidad pueden ser los siguientes:

- Halogenación
- Elevado número de halógenos
- Gran cantidad de ramificaciones
- Baja solubilidad en agua
- Diferente carga atómica

Se han aplicado varias técnicas biológicas de remediación para la gestión de pasivos ambientales alrededor de todo el mundo, obteniendo diferentes resultados de eficiencia.

Los suelos contaminados por hidrocarburos y que han pasado un largo periodo sin una gestión adecuada, se conocen generalmente como suelos intemperizados. Éstos contaminantes llegan a ser inaccesibles para microorganismos debido a las interacciones (puentes de hidrógeno) que se producen entre los contaminantes y la materia orgánica (Volke *et al*, 2003).

Por lo tanto la biodisponibilidad y la velocidad de degradación, están limitados por procesos fisicoquímicos, como sorción (Retención de una sustancia por otra cuando están en contacto) y desorción (eliminación de materia desde un medio adsorbente, usualmente para recuperar material) de contaminantes hacia y desde la matriz de suelo, la difusión en la fase sólida y la disolución de contaminantes en la fase líquida. El efecto negativo de estos fenómenos es la acumulación y persistencia de los contaminantes, y depende del tipo y calidad del suelo contaminado (Volke *et al*, 2003).

En el caso de suelos intemperizados, es necesario facilitar la desorción de los contaminantes mediante la aplicación de uno o varios pre-tratamientos antes de realizar un proceso de biorremediación. Algunas de las tecnologías que pueden aplicarse para desorber contaminantes hidrofóbicos de suelos intemperizados son: el uso de solventes no polares (tolueno), el uso de surfactantes no iónicos y la aplicación de tratamientos electroquímicos (Volke *et al*, 2003).

Los solventes no polares y los surfactantes no iónicos deben ser tomados muy en cuenta en casos de pre-tratamientos a suelos intemperizados contaminados con crudo, ya que se consideran productos más amigables con el ambiente, por ende son más biodegradables que solventes polares. Cabe recalcar que muchas de las cepas tanto comerciales como nativas, pueden inhibirse por aplicación de surfactantes no biodegradables y consecuentemente, el proceso de remediación biológica del suelo no sería eficiente. (Volke *et al*, 2003)

Varios han sido los proyectos que utilizaron bacterias nativas, obteniendo resultados favorables (26-35 %) en 90 días de cultivo. Chaîneau y col, (1995), encontraron un 75% de degradación de TPHs en un suelo contaminado (2,000 ppm). Sin embargo en varios proyectos piloto se han obtenido resultados con un alto porcentaje de eficiencia, aplicando procesos de composteo (Volke *et al*, 2003).

El compostaje es la co-degradación de los residuos peligrosos junto con gran cantidad de de sustancias orgánicas adicionales, mezcladas juntas en hileras, pilas o contenedores (LaGrege *et al*, 1998).

La Bioaugmentación es otra técnica que es parte de la biorremediación de suelos contaminados. Esta técnica consiste en el uso de enzimas o cultivos de microorganismos con alta capacidad de oxidación con el propósito de eliminar sustancias indeseables, donde se asegura que estén presentes los microorganismos específicos capaces de degradar al compuesto contaminante no deseado hasta sus moléculas básicas (Nuñez *et al*, 2002),

La inoculación controlada de cultivos bacterianos de acción dirigida, especialmente formulada y de ocurrencia natural, para asistir a los hallados naturalmente en el suelo, adaptadas en un medio con un contaminante igual o similar al que contiene el suelo donde se las quiere introducir, acompañadas de otros componentes biotecnológicos. Por lo general, los

contaminantes son la única fuente de alimento de las bacterias inoculadas. La bioaumentación posibilita controlar la naturaleza de la Biomasa. Garantiza que el tipo de microorganismos más idóneo esté presente en el suelo, en cantidad suficiente para degradar en forma efectiva y eficiente los residuos contaminantes y reducirlos a sus componentes básicos (CO₂ y H₂O). (SolBio, 2009)

Por otra parte, la bioestimulación, la cual es otro tratamiento que va de la mano con la bioaumentación; consiste en la adición de nutrientes, sustratos o tensoactivos que estimulen el crecimiento y actividad metabólica de los microorganismos degradadores presentes en la zona impactada (Nuñez et al, 2002), incorporando una fuente de Nitrógeno, una fuente de Fósforo y minerales que mejoran apropiadamente el pH, para mantener activa la flora bacteriana que va a biodegradar el contaminante (SolBio, 2009).

2.- MARCO METODOLÓGICO

Se presentan a continuación las metodologías utilizadas para alcanzar los objetivos específicos del proyecto de fin de carrera. Con respecto al objetivo específico 1: “Identificar los pasivos ambientales en el campo PBH dentro de las plataformas PSO2, PSO3, PSO9, HUA01 y Estación Paraíso”, se compiló información digital que contenía datos sobre las características generales y antecedentes de los pasivos ambientales. Igualmente, se recopiló información cartográfica respectiva a cada pasivo.

Para alcanzar el objetivo específico 2, “Caracterizar los pasivos ambientales en el campo PBH ubicados en las plataformas en estudio”, se realizó una ficha sintética donde se puede identificar las dimensiones de cada pasivo ambiental y los recursos a los que están impactando. Seguidamente, se diseñaron las estrategias de muestreo que permitirán caracterizar los parámetros del pasivo, a partir de este diseño se realizaron los muestreos de suelo, sedimento y agua, según el estado del pasivo ambiental.

Finalmente, para cumplir con el objetivo 3, “Determinar una propuesta de remediación para el pasivo ambiental”, se realizó una investigación bibliográfica sobre técnicas de biorremediación y se recomendaron posibles lineamientos de gestión para aplicarse en los pasivos ambientales.

A continuación, se detallarán las metodologías anteriormente descritas para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados, para los pasivos ambientales objetos de este estudio.

2.1. Identificación de los pasivos ambientales

Primeramente, se realizó una visita técnica general de reconocimiento de cada pasivo ambiental. Seguidamente, se elaboró una Tabla (Tabla # 1) que resume los antecedentes operativos de los pozos vinculados con los pasivos ambientales, sus pruebas iniciales y el historial de acondicionamiento del pozo (cuando sea el caso).

TABLA # 1 – ANTECEDENTES OPERATIVOS DE LOS PASIVOS AMBIENTALES

ANTECEDENTES OPERATIVOS		
POZO		
Fecha Inicio de la Perforación		
Fecha fin de la Perforación		
Fecha de Completación		
PRUEBAS INICIALES		
Prueba No.	Fecha	Tiempo de Prueba
HISTORIAL DE REACONDICIONAMIENTOS		
Workover #	FECHA	OBJETIVO

A continuación se sintetizaron las informaciones más relevantes sobre cada uno de los pasivos ambientales, entre las cuales se encuentran: Caracterización de los pasivos ambientales y Diseño de Muestreo para la Caracterización de suelos en los Pasivos Ambientales.

2.2. Caracterización de los Pasivos Ambientales

Se diseñó, para el conjunto de pasivos ambientales, una ficha técnica (Tabla # 2) que sintetiza el nombre, ubicación en el campo, ubicación geográfica, dimensiones aproximadas, fuente contaminada, área de influencia y observaciones.

TABLA # 2 – FICHA TÉCNICA DE LOS PASIVOS AMBIENTALES

FICHA PARA CARACTERIZACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES EN CAMPO PBH					
NOMBRE:					
UBICACIÓN:					
	Geográficas			UTM	
Longitud:					
Latitud:					
<i>DIMENSIONES</i>			<i>VOLÚMEN</i>		
Largo:					
Ancho:					
Profundidad:					
FUENTE CONTAMINADA					
	SI			NO	
Agua					
Suelo					
Sedimentos					
ÁREA DE INFLUENCIA					
Ecosistema Circundante					
Cuerpos de agua	Estero	Pantano	Lago	Laguna	Río
Vegetación	Bosque	Cultivos	Pastizal		
Suelo	Arenoso	Arcilloso	Limo-arenoso		
Fauna	Macroinvertebrados	Fauna mayor	Fauna menor		
OBSERVACIONES					

2.2.1. Diseño de Muestreo para la Caracterización de suelos en los Pasivos Ambientales

Para realizar la caracterización de suelos, se determinó la realización de un muestreo compuesto, el cual consiste en la conformación de sub-muestras que representen el conjunto de condiciones del recurso que se esté muestreando. Para este tipo de muestreo, se deben ubicar varios puntos para la toma de sub-muestras en una forma al azar o de manera sistemática, siguiendo por ejemplo una trayectoria en zigzag.

En el muestreo para el presente estudio, se utilizó un muestreo en zig-zag, como se muestra en la Figura # 1.

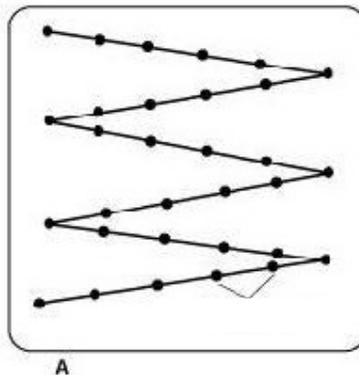


Figura 1. Muestreo en zig-zag

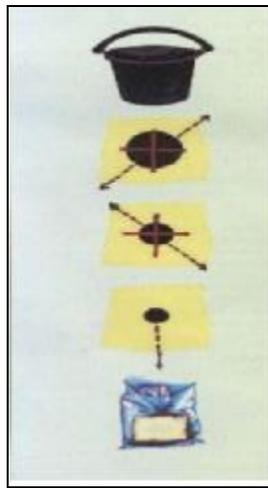
Para los muestreos de las áreas de estudio ubicadas cerca de las plataformas PSO2 y PSO3, se realizaron calicatas de 0,5 x 0,5 x 0,5 m para facilitar la introducción del barreno (herramienta de muestreo) dentro del sitio contaminado y alcanzar una mayor profundidad.

En un muestreo compuesto de un terreno, se deben recolectar un mínimo de 15-20 sub-muestras de suelo, procurando que toda el área sea uniforme y el volumen y profundidad a la que se tomará la muestra constante. En el caso que el área no sea uniforme debido a la topografía, manejo o variedad de cultivos, deben muestrearse las diferentes áreas por separado.

Las herramientas que se utilizaron para realizar el muestreo fueron dos barrenos de 1,20m y un barreno de 2,50m de largo para alcanzar mayores profundidades de muestreo. De igual manera, para el muestreo se utilizaron fundas de tipo *Ziploc*, GPS, flexómetro, guantes de nitrilo, guantes de pupo y guantes de látex.

Las sub-muestras (de cada área de muestreo) se homogenizaron en un balde, formando una muestra compuesta como se observa en la Figura 2.

1. Se extendió la muestra en un plástico o dentro del mismo recipiente.
2. De la muestra homogeneizada, se retiraron varias porciones hasta obtener aproximadamente de 500 a 1000gr de suelo.
3. Se colocaron en una bolsa de plástico
4. Se identificó el número correspondiente y se especificó en el protocolo de campo, informaciones complementarias.



(Archivo LABSU)

Figura 2. Homogenización de muestras

Para el transporte y preservación de las muestras, se procedió de la siguiente manera:

- Se colocó la muestra compuesta en fundas plásticas tipo zip-lock.
- Se etiquetaron las fundas con la ayuda de un marcador permanente, para evitar que se confundan las muestras al llegar al sitio de destino.
- Se dispuso las muestras en cajas tipo “coolers” para preservar la muestra hasta llegar al sitio de destino.
- Se registró cada una de las muestras en su respectiva cadena de custodia, con identificación única de cada sitio de muestreo.
- Se transportaron las muestras acompañadas de sus cadenas de custodia a oficinas de LABSU, ubicadas en la ciudad del Coca.

- Los resultados de los análisis, se entregaron en un lapso de 10 días a partir de la recolección de las muestras.

En el caso del pasivo ambiental – Canal de Descarga de la Estación Paraíso se realizó además de toma de muestras de sedimentos, muestreos de agua en dos puntos diferentes. La metodología de muestreo de agua, se detalla a continuación:

En muestreos directos de ríos, esteros, lagos, reservorios, vertientes, pozos poco profundos, no es recomendable tomar las muestras cerca de las orillas. Hay que procurar no alterar las orillas y el lecho pues se corre el riesgo de contaminar la muestra.

Se tomó la muestra en un envase de vidrio tipo “ámbar” del centro del cuerpo hídrico, a una profundidad de 10 cm debajo de la superficie del agua. Se debe sujetar siempre el recipiente desde su base y con la boca hacia abajo. Una vez que el recipiente este ingresando al agua se invierte el frasco para que la boca quede ligeramente hacia arriba y en sentido opuesto a la corriente. Se debe procurar el uso de guantes de látex para evitar contaminar la muestra.

En la Figura # 3 se puede observar el método de muestreo que se usó en la toma de muestras de agua dentro del Canal de descarga de la Estación Paraíso.

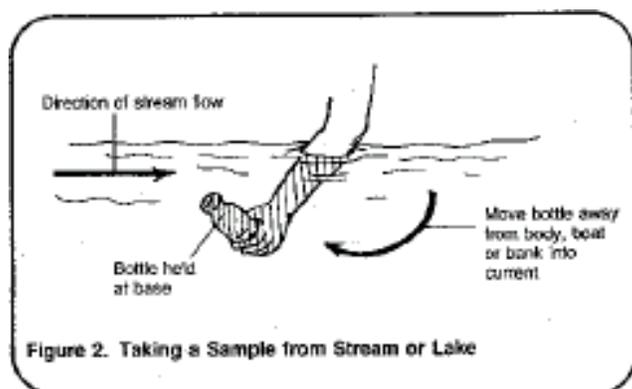


Figura 3: Toma de muestras de agua

(Archivo LABSU)

Además, cabe recalcar, que para la toma de muestras de agua se debe almacenar las mismas en un recipiente con hielo y transportarlas al laboratorio durante el día de la toma de muestras, de otra manera, las características que presenta podrían cambiar si el frasco no presenta preservantes.

Como se puede observar en la Figura # 4, el pasivo ambiental ubicado cerca de la plataforma PSO2, tiene la forma de una zanja por la geo – forma que presenta el suelo; por lo que se diseñó el muestreo de la siguiente manera:

Se realizaron muestras compuestas en 3 puntos distintos a diferentes profundidades. La primera muestra se tomo a lo largo de la zanja; se recogieron 3 sub-muestras a una profundidad aproximada de 0 – 2,60m. Las muestras se tomaron a 3,00m de distancia una de la otra, para tener una muestra representativa y cubrir toda el área. Dentro de esta zanja se realizó una calicata de 0,5 x 0,5 x 0,5m donde existe el punto de afloramiento de crudo, antes de tomar la primera sub-muestra para determinar la profundidad tope a la que se encuentra la contaminación.

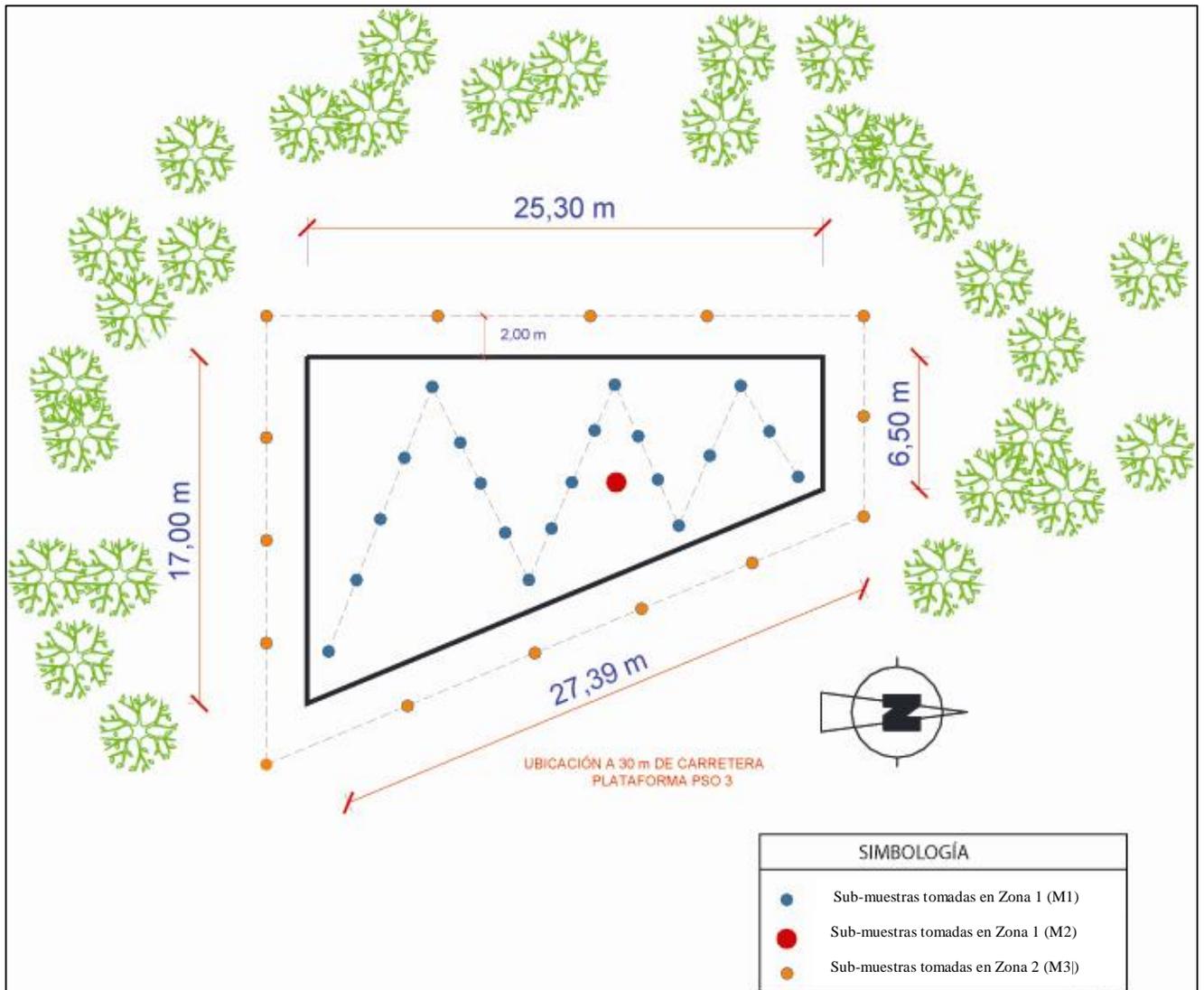
La segunda muestra compuesta se formó a partir de 20 sub-muestras tomadas alrededor de la zanja, a 1,00m de distancia de la misma, con una profundidad de 0 – 1,20m. Estas muestras se tomaron a esta distancia debido a la geo-forma que presentaba el suelo, donde se puede reconocer una zanja que representa la piscina en estudio. Las muestras se tomaron a una distancia de 1,20m de distancia una de la otra, para poder cubrir toda el área y obtener una muestra representativa.

Finalmente, como se puede observar en la Figura # 4, se tomaron sub-muestras alrededor de la zanja a 3,00m de distancia, con una profundidad de 0 – 0,70m. Se tomaron 15 sub-muestras a una distancia aproximada de 1,80m una de otra para cubrir toda el área de estudio. La decisión de tomar las muestras a 3,00m de distancia de la zanja se debió a que las condiciones organolépticas del suelo no demostraban contaminación, sin embargo se enviaron las muestras al laboratorio para comprobar la presencia o ausencia de hidrocarburos.

Las profundidades a las que se tomaron las muestras, fueron determinadas por las condiciones organolépticas del suelo y además por la geo-forma del mismo.

2.4.- PASIVO AMBIENTAL PARAÍSO 3

FIGURA 5 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL PSO 3



Para el muestreo de suelos dentro del pasivo ambiental ubicado cerca de la plataforma PSO3, se optó por dividir el área en 2 zonas: primera zona dentro de la piscina, segunda zona a 2,00m de la piscina y finalmente se obtuvo una sola muestra puntual en el centro de la piscina (color rojo en el esquema).

Los muestreos realizados dentro de la piscina, fueron tomados a una profundidad de 0 - 0,90m debido a las condiciones organolépticas del suelo; el suelo limo arcilloso, no permitió la introducción de la herramienta a mayores profundidades. Dentro de esta zona, se tomaron aproximadamente un total de 25 sub-muestras en *zig-zag*, como se puede observar en el esquema, para abarcar toda el área y enviar al laboratorio una muestra representativa que

demuestre los niveles reales de contaminación que se encuentran dentro de esta piscina. Las distancias que se usaron entre una muestra y otra, fueron de 2,50m.

En el centro de la primera zona de muestreo, se tomó una muestra puntual como se puede observar en la Figura # 5. Primeramente, se realizó una calicata de 0,50 x 0,50 x 0,50m para facilitar el ingreso del barreno (herramienta de muestreo) a mayores profundidades, por lo que esta muestra fue tomada a aproximadamente 0 – 1,80m.

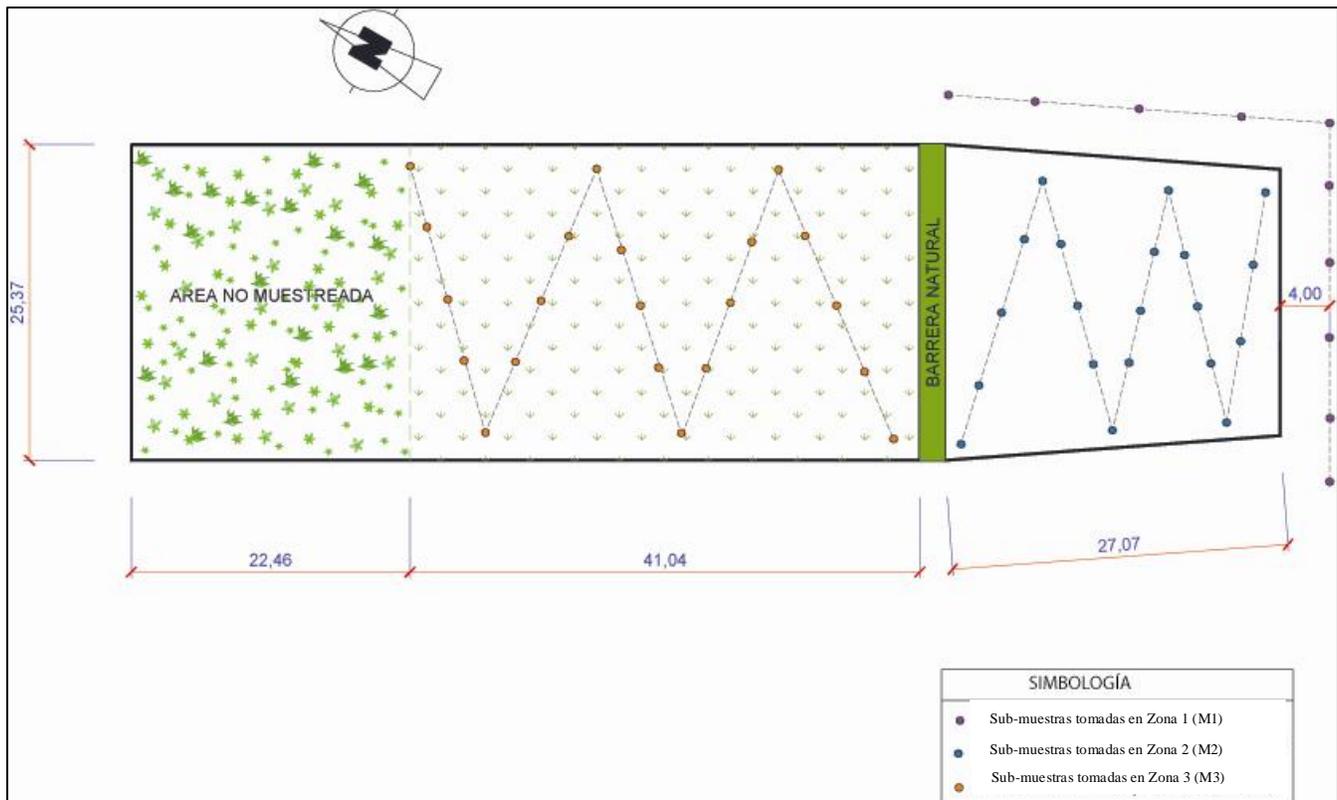
Cabe aclarar que el nivel freático de esta área, se encuentra a pocos metros de la superficie, ya que cuando se realizó este muestreo puntual, a mayor profundidad que el resto de muestreos en la zona, se pudo observar claramente la presencia de agua, además de que esta zona es inundable en época lluviosa.

Finalmente se realizó un muestreo compuesto alrededor de la primera zona, es decir a 2,00m de distancia de la piscina como se puede observar en el esquema superior. Las muestras fueron tomadas a una profundidad aproximada de 0 – 1,00m con la ayuda de una herramienta de muestreo. Las profundidades al igual que en los primeros muestreos de la zona, fueron determinados por las condiciones organolépticas de la zona. Se tomaron un total de 20 sub-muestras en toda el área, a una distancia aproximada de 3,00m una de la otra.

Las profundidades a las que se tomaron las muestras, fueron determinadas por las condiciones organolépticas del suelo y además por la geo-forma del mismo.

2.5. PASIVO AMBIENTAL PARAÍSO 9

FIGURA 6 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL PSO 9



Por motivo de este estudio, las piscinas ubicadas cerca de la plataforma PSO9, se nombraron como piscina “Oeste” y “Este”.

Para realizar el muestreo de suelo dentro de las áreas consideradas como pasivos ambientales, se dividió a la misma en 3 zonas. Las herramientas que se utilizaron fueron un barreno de 1,20m de longitud y un combo para facilitar el ingreso de la herramienta dentro del suelo. La primera zona se encuentra ubicada fuera de la piscina “Oeste”, denominada así por su ubicación frente a la plataforma; de esta zona se obtuvieron alrededor de 15 sub – muestras, a una distancia de 5,00m de la piscina. Las sub – muestras obtenidas dentro de esta zona se tomaron a una profundidad de 0 – 0,60m abarcando toda el área en forma de *zig - zag* siguiendo el borde de la piscina como se muestra en la Figura # 6.

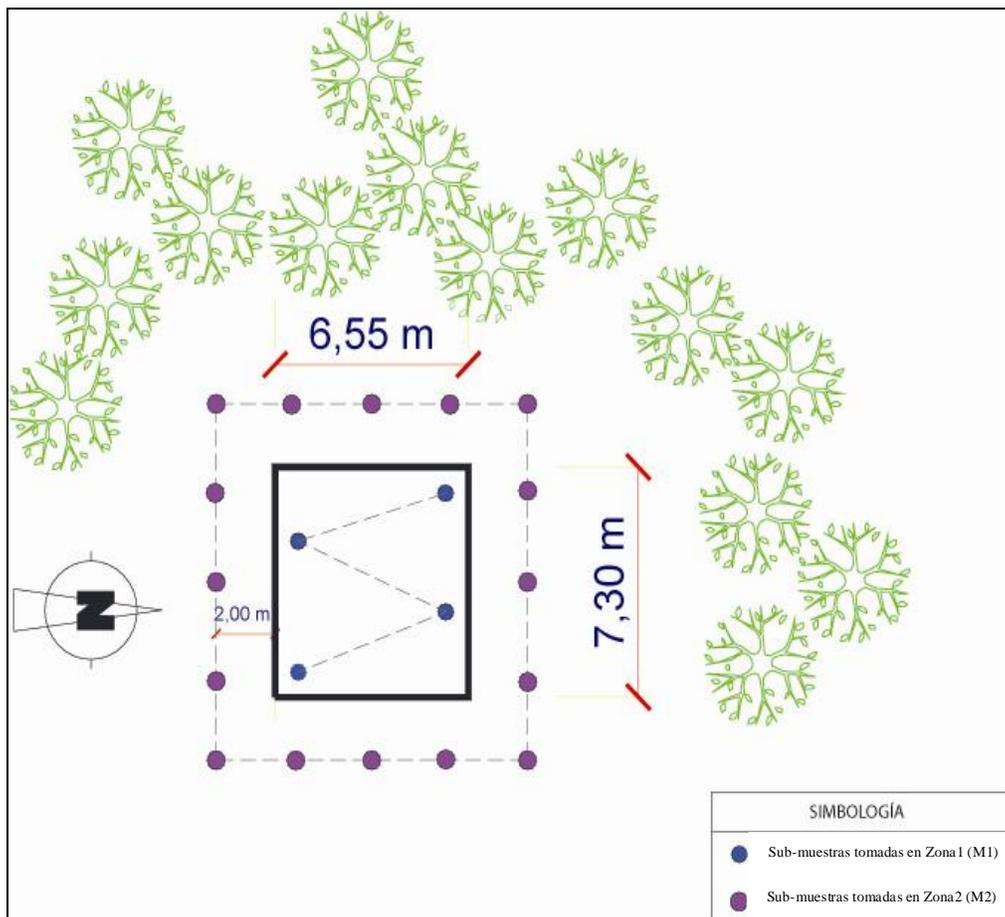
Seguidamente se tomaron muestras dentro de la piscina “Oeste”. Los puntos que se encuentran de color azul en la Figura # 6, representan las sub – muestras obtenidas dentro de la segunda zona de muestreo. El suelo que se encuentra dentro de esta piscina tiene una textura pastosa (inestable) debido a que esta zona anteriormente era un pantano. Las muestras se tomaron en forma de *zig-zag* para abarcar toda el área contaminada y formar una sola

muestra representativa; la profundidad a la que se obtuvieron las muestras, fue de 0 – 1,20m, a una distancia de 2,00 una de la otra. El muestreo fue dificultoso por ser una zona semi-pantanosas y encontrarse dentro de la misma, arbustos y vegetación rastrera.

Finalmente se realizó un muestreo compuesto dentro de la piscina “Este”, de igual forma que en la piscina “Oeste” se obtuvieron las muestras siguiendo una trayectoria en zig-zag para abarcar toda el área. Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 0 – 1,00m, a una distancia de 2,00m una de la otra. Como se puede observar en el Figura # 6, la segunda piscina solo fue muestreada hasta donde se logró ingresar con las herramientas, ya que existe una zona de la piscina, cercana a una plantación de caña de azúcar, que se encuentra cubierta de vegetación (hierba) arbustiva, que impidió el ingreso del personal para realizar el muestreo.

2.6. PASIVO AMBIENTAL HUACHITO 01

FIGURA 7 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL HUA 01



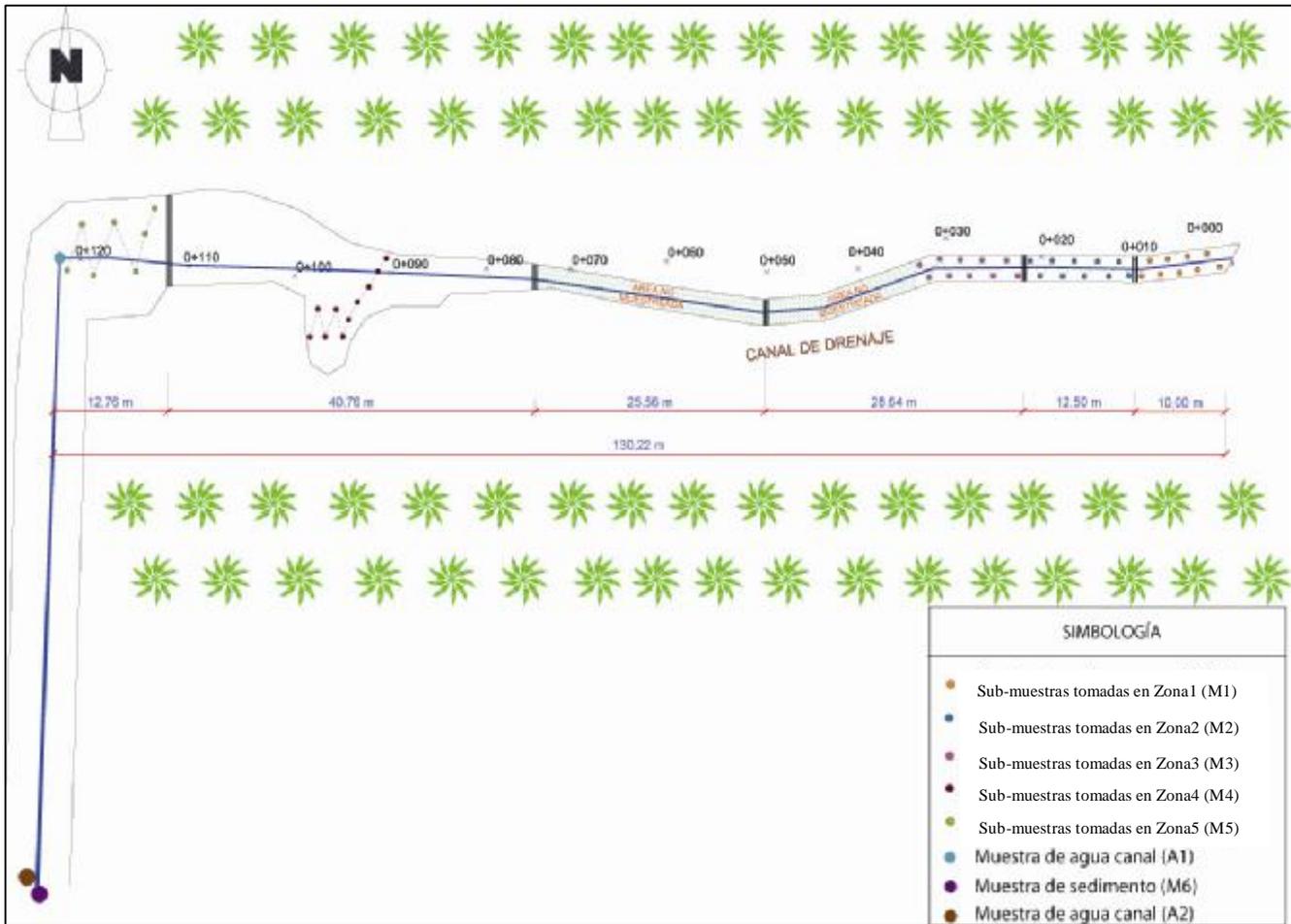
Para el muestreo de esta zona se tomaron sub-muestras de suelo en dos áreas, como se puede observar en la Figura # 7. Primeramente, se realizaron muestras compuestas en 4 puntos dentro de la primera zona de contaminación, es decir dentro de la piscina del pasivo ambiental identificado. Estas sub-muestras que formaron parte de una sola muestra representativa del estado del sitio de estudio, fueron tomadas a una profundidad de 0 – 1,80m, a una distancia de 2,00m una de la otra. Esta piscina es un área inundable en época lluviosa; por lo que generalmente se encuentra con agua.

El día del muestreo, la piscina no se encontraba con agua por lo que los resultados podrían reflejar más precisión.

En la segunda zona de muestreo, como se puede observar en la Figura # 7, los puntos que se encuentran de color púrpura representan a esta zona, se tomaron alrededor de 15 sub-muestras a una profundidad de 0 – 0,80m. El muestreo de esta zona se realizó a una distancia de 2,00m de la piscina contaminada, ya que la geo-forma que muestra el suelo, delimita a la primera zona con un corte, por lo que se obvia que es el límite de la piscina y se quiso comprobar la ausencia o presencia de contaminante en esta zona. Las muestras se tomaron a una distancia de 1,50m una de otra para abarcar toda el área de estudio.

2.7. PASIVO AMBIENTAL CANAL DE DESCARGA – ESTACIÓN PARAÍSO

FIGURA 8 – ESQUEMA DEL DISEÑO DE MUESTREO PARA EL PASIVO AMBIENTAL E. PSO



Para realizar el muestreo a lo largo del canal de descarga de la Estación Paraíso, se optó por aprovechar las divisiones (cuellos de ganso) que se encuentran en la actualidad, para obtener muestras compuestas en cada una de ellas. Por lo tanto se ha dividido al canal en 5 zonas.

Como se puede observar en la Figura # 8, los puntos que se encuentran de color anaranjado representan las sub-muestras que se tomaron en la primera división, a una profundidad de 0 – 1,00m.

Las sub-muestras que se obtuvieron en la primera división, se recolectaron a una distancia de 1,00m una de la otra para abarcar toda el área y tener una muestra representativa. La profundidad para obtener la muestra se determinó por las condiciones organolépticas que presentaba el sedimento que tiene una estructura compacta y no permitió el ingreso de la herramienta de muestreo a mayor profundidad.

La segunda zona de muestreo está representada en la figura anterior por puntos de color azul. Dentro de esta zona se obtuvieron alrededor de 6 sub-muestras a una profundidad de 0 - 1,20m. Esto se determinó de igual manera que en la primera zona de muestreo.

Seguidamente se realizaron caracterizaciones de sedimento en la tercera zona que corresponde a la tercera división del canal de descarga. Dentro de esta zona se obtuvieron aproximadamente 10 sub - muestras, hasta donde permitió la geo-forma que tiene el canal, ya que como se puede observar en el Figura # 8, el agua del canal se dirige en forma subterránea un largo tramo hasta nuevamente salir a la superficie, por lo que existe un área que no está muestreada. Las muestras en la tercera zona, se alcanzaron a una profundidad de 1,00m, siguiendo una trayectoria en *zig-zag* para cubrir la mayor parte de esta zona.

En la cuarta división, una vez que el agua del canal de descarga sale a la superficie nuevamente, se forma una especie de pantano. En el esquema anterior se puede observar que los muestreos solo se realizaron en una zona de la división, mas no se abarcó toda la esta división, debido a que el sedimento pantanoso dificultó el muestreo. Sin embargo, las muestras se obtuvieron a una profundidad de 0 - 1,20m tratando de cubrir la mayor área posible para obtener una muestra representativa.

La profundidad en esta zona fue determinada por la longitud de la herramienta y las condiciones organolépticas que tiene el sedimento del canal, es decir una textura fangosa que permitió el ingreso de las herramientas sin ninguna dificultad.

Finalmente, se obtuvo una última muestra compuesta dentro de la quinta división del canal. Estas sub-muestras se obtuvieron a una profundidad de 0 - 0,60m ya que la contextura del sedimento se encuentra compactada y no permitió el ingreso de la herramienta a mayores profundidades. Sin embargo se tomaron alrededor de 7 sub-muestras que formaron una sola muestra representativa de la zona.

En la Figura # 8 se puede observar que además del muestreo realizado dentro del canal, se tomó una muestra puntual de sedimento superficial a una distancia de 200,00m de donde termina el canal de descarga, dentro del Estero s/n.

En el muestreo además de sedimento, se consideraron muestreos de agua. Se realizaron 2 dos muestreos, como se puede observar en la figura superior; la primera muestra se la tomó en la

parte final del canal de descarga de la Estación Paraíso, es decir a aproximadamente 120,00m desde donde inicia el canal aguas abajo. El segundo muestreo de agua se lo realizó a 200,00m aguas abajo en el Estero sin nombre.

3. RESULTADOS:

Una vez realizado el muestreo, tanto de suelos, sedimentos y agua específicos para los diferentes pasivos ambientales, se obtuvieron los resultados del laboratorio.

Para la evaluación y monitoreo de suelos, se consideraron los criterios establecidos en el Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador 1215 (RAOHE), el cual establece los límites máximos permisibles para suelos remediados, parámetros de análisis y monitoreo, tomando en cuenta el uso del tipo de suelo, en la Tabla # 6, del Anexo # 2.

En la Tabla # 3 se pueden observar los distintos límites que establece la norma. Para este estudio, se tomaron en cuenta los límites máximos permisibles para uso agrícola debido a que la contaminación se encuentra ubicada dentro de una plantación que cultiva palma africana.

TABLA # 3 - Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera

Parámetro	Expresado en	Unidad	Uso Agrícola	Uso Industrial	Ecosistemas sensibles
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/kg	2500	4000	1000
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	HAP's	mg/kg	2	5	1
Cadmio	Cd	mg/kg	2	10	1
Níquel	Ni	mg/kg	50	100	40
Plomo	Pb	mg/kg	100	500	80

(RAOHE 1215)

En la Tabla 4 que se muestra a continuación, se presentan los límites máximos permisibles para punto de control en cuerpos receptores de agua, la cual se consideró para el análisis de muestras de aguas obtenidas en el Canal de Descarga de la Estación Paraíso. Esta Tabla se establece de igual manera en el ROHE como parte del Anexo # 2, Tabla # 4b.

**TABLA # 4: Límites Permisibles en el punto de control en el Cuerpo Receptor
(inmisión)**

Inmisión (Punto de control en el Cuerpo Receptor)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Límite máximo permisible	Promedio Anual	Aplicación
Temperatura	--	°C	+3°C	--	General
Potencial Hidrógeno	pH	--	6<pH>8	6<pH>8	General
Conductividad Eléctrica	CE	uS/cm	<170	<120	Continente
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/l	<0,5	<0,3	General
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/	<30	<20	General
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	HAP's	mg/	<0,0003	<0,0002	General

Para el análisis de las muestras, se trabajó con el Laboratorio LABSU Acreditado por la Organización de Acreditación Ecuatoriana (OAE), mediante código # OAE LE 2C – 07 – 003. Los parámetros que establece la Tabla 6 del Anexo #2 del RAOHE, fueron evaluados mediante los siguientes métodos:

TABLA # 5 - Métodos de Análisis de Parámetros de suelos

ÍTEM	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	INCERTIDUMBRE
1	Cadmio	mg/kg	EPA 3050 B; SM 3030 B; 3111 B	± 25%
2	Níquel	mg/kg	EPA 3050 B; SM 3030 B; 3111 B	± 33%
3	Plomo	mg/kg	EPA 3050 B; SM 3030 B; 3111 B	± 26%
4	Hidrocarburos Totales	mg/kg	EPA 418.1; ASTM D 3976-92	± 6%
5	Hidrocarburos Aromáticos	mgC/kg	HPLC	

(LABSU, 2009)

A continuación se presentarán los resultados que se obtuvieron para cada uno de los pasivos ambientales que se encuentran dentro del alcance de éste estudio, dentro de los cuales se

encuentran los antecedentes de los pozos que se encuentran cercanos a los pasivos ambientales para demostrar si las pruebas de producción o los trabajos de mantenimiento (workover) pudieran ser los causantes de pasivo ambiental, los antecedentes generales del pasivo y los resultados que presenta el laboratorio de los análisis de las muestras de agua, sedimento y suelo para cada pasivo ambiental.

3.1. RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL PSO 2

TABLA # 6: Antecedentes del Pozo PSO2

ANTECEDENTES OPERATIVOS		
POZO	PARAÍSO 2	
Fecha Inicio de la Perforación	16 de Abril 1988	
Fecha fin de la Perforación	26 de Mayo de 1988	
Fecha de Completación	14 de Junio de 1988	
PRUEBAS INICIALES		
Prueba No.	Fecha	Tiempo de Prueba
1	10-Jun-1988	14 horas
2	04-Jul-1988	3 horas
3	06-Jun-1988	6 horas
4	09-Jun-1988	--
HISTORIAL DE REACONDICIONAMIENTOS		
Workover #	FECHA	OBJETIVO
1	13-May-1991 27-May-1991	Aislar entrada de agua en hollín inferior. Tapón balanceado en Basal Tena.
2	19-Oct-1991 27-Oct-1991	Redisparos en HS: 9540'-9562' y cambio de completación para bombeo mecánico.
3	18-Dic-1992 25-Dic-1992	Cambio de completación para producir de HI, HS y T independientemente con bombeo hidráulico.
4	29-Mar-1995 02-Abr-1995	Cambio de completación por hueco en tubería.
5	06-Ago-1997 17-Ago-1997	Cambio de completación por hueco debajo de cavidad. Limpieza con solventes a HS y redisparos en T y U.

En la recepción de esta plataforma, conforme el contrato, no se identificaron pasivos ambientales por contaminación de crudo.

Sin embargo, en el 2009, se identificó un pasivo ambiental que no había sido registrado en el informe de Auditoría Inicial de SIPEC en Noviembre del 2002, cerca a la plataforma Paraíso2, a aproximadamente 80 m al norte, se ubica un afloramiento de crudo, el origen es desconocido, aparentemente es un entierro de petróleo producto de operaciones anteriores. El hallazgo de este afloramiento fue realizado por personal de la zona que labora en la plantación de palma africana.

A partir de éste hallazgo, el 14 de septiembre de 2009 se realizó una caracterización de suelos en esta zona con el objeto de conocer su situación. Se obtuvieron resultados que superaban el límite máximo permisible que establece la Tabla # 6 del RAOHE

Se realizó una caracterización de suelos en esta zona con el objetivo principal de determinar, por medio de muestreos de suelo, si los afloramientos encontrados correspondían a una piscina antigua o a algún entierro de crudo producto de algún contingente de operaciones anteriores. Se determinó que: Existen afloramientos de crudo que se ubican dentro de una plantación de palma africana que afectan un área aproximada de 120,00m², con una profundidad de 2,5m.

En Octubre del 2009, se enviaron muestras de crudo al laboratorio para un análisis de *finger print*, el mismo que expresa la edad aproximada del crudo. Este análisis trata de caracterizar las pequeñas diferencias entre crudos que con un mismo origen y grado de evolución están almacenados en estructuras discontinuas.

El área contaminada con crudo se encuentra rodeada de palmas africanas en estado de maduración y pastizales, situación que nos evidencia de que a pesar de esta contaminación, se desarrolla producción agrícola. El día 18 de Febrero del 2010, se ingresó al lugar de contaminación con el objetivo de muestrear suelo y determinar su estado a través del servicio de laboratorio LABSU. El muestreo se realizó con la ayuda de un monitor comunitario, un técnico de LABSU y un practicante del mismo laboratorio.

3.1.1. Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental PSO 2:

Área de Estudio:

El área donde se encuentra el pasivo ambiental, está ubicada cerca de la plataforma de PSO2, a 80m aproximadamente. Se encuentra dentro de una plantación de palma. Como se explicó anteriormente, las muestras que se tomaron fueron muestras compuestas. En la Tabla # 7 se pueden observar las condiciones climáticas a las que fueron tomadas las muestras, las coordenadas en donde se encuentra el pasivo ambiental y sus dimensiones aproximadas. Además, se presentan las profundidades y distancias desde el foco de contaminación a las que fueron tomadas las muestras.

Es importante especificar las condiciones climáticas a las que se muestreó el suelo ya que algunos parámetros que se analizan en laboratorio, dependen de la presencia o ausencia de

agua. Además, las características del suelo deben estar estables para obtener resultados óptimos.

TABLA # 7: Datos preliminares de pasivo ambiental PSO2

ZONA: Pasivo ambiental PSO2		
FECHA DE MUESTREO: 18 de Febrero 2010.		
	GEOGRÁFICAS	UTM
LATITUD	00° 21' 16" S	18272545 E
LONGITUD	77° 02' 29" W	9960428 N
CONDICIONES CLIMÁTICAS: Nublado		
DIMENSIONES APROXIMADAS		VOLÚMEN APROX.
LARGO	15,40m	338,40m ³
ANCHO	8,80m	
PROFUNDIDAD	2,50m	
MUESTRA	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)	DISTANCIA DESDE FOCO DE CONTAMINACIÓN HACIA EXTREMOS (m)
M1	2,60	0
M2	1,20	1
M3	0,70	3

3.1.1.1. Resultados de Laboratorio para suelos en PSO 2:

Los análisis de los parámetros que establece la Tabla # 6, del Anexo 2 del RAOHE fue realizada por el Laboratorio LABSU, ubicado en la ciudad del Coca en la Provincia de Orellana. En las siguientes tablas, se presentan los resultados que se obtuvieron de las diferentes muestras para análisis de suelo.

TABLA # 8: Resultados de Laboratorio para Suelo – Pasivo Ambiental PSO 2

Fecha	18 DE FEBRERO 2010				
Laboratorio	LABSU				
Parámetro	TPH (mg/kg)	HAP's (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Límite Máximo Permisible	2500	2	2	50	100
M1	40.000	8,4	2	22,28	33,05
M2	16.314	0,095	2	15	25
M3	120	0,020	2	15	25

Simbología:

Color	
Azul	Límite máximo permisible
Rojo	Supera límite máximo permisible
Negro	No supera el límite máximo permisible

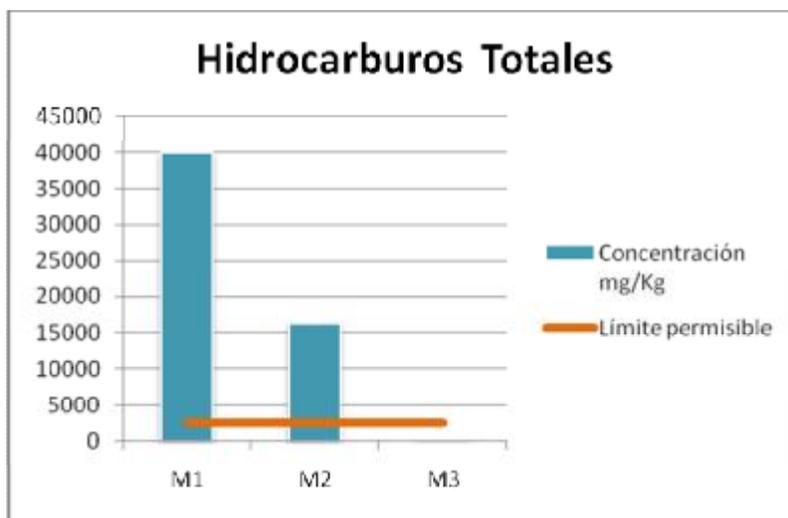


Figura # 9: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2

En la Figura # 9 se demuestra que dentro de la primera área muestreada se encuentra la mayor contaminación de Hidrocarburos Totales. La concentración supera 16 veces el límite total permisible que establece el RAOHE para TPH's en zonas agrícolas.

Además la concentración también sobrepasa el límite total permisible en la segunda zona de muestreo, a 1 metro de distancia del foco de contaminación.

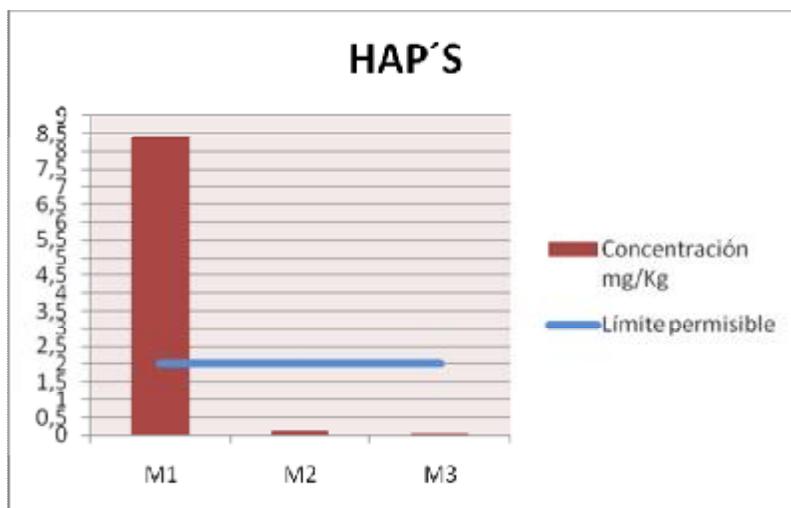


Figura # 10: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2

En cuanto a Hidrocarburos aromáticos policíclicos, la Figura # 10 muestra que en la primera zona de muestreo, se supera al límite máximo permisible 4 veces la concentración que permite la legislación ambiental vigente. Sin embargo, en las otras dos zonas de muestreo se puede observar claramente que se encuentran cumpliendo la norma.

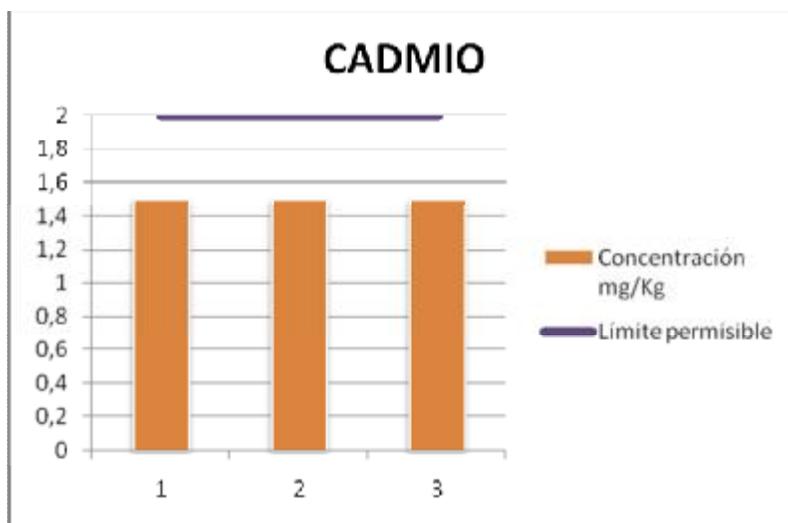


Figura # 11: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2

La Figura # 11 presenta la concentración de Cadmio en cada una de las muestras obtenidas en el área de estudio. Se puede observar que ninguna de ellas supera el límite total permisible que establece el RAOHE 1215.

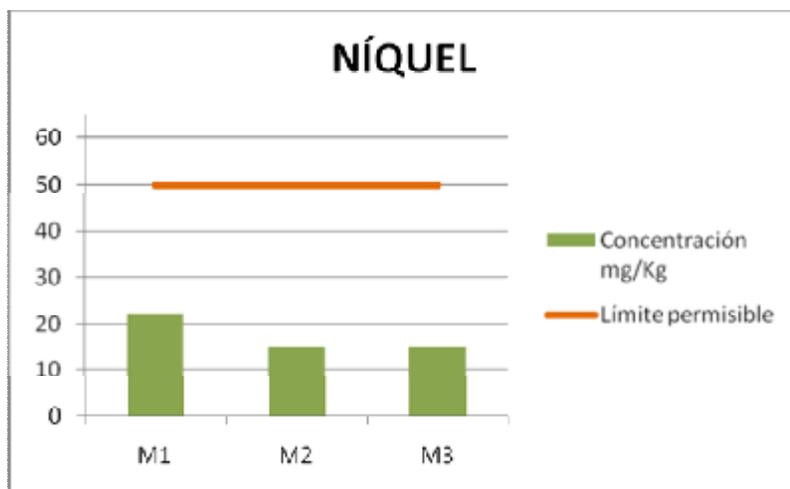


Figura # 12: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2

El Níquel es un metal pesado que se encuentra a diferentes concentraciones en el suelo. En la Figura # 12 se observa que las concentraciones de níquel en las 3 muestras compuestas obtenidas en el lugar de estudio no superan el límite permisible que establece el RAOHE, por lo que no representa un peligro dentro de esta área agrícola.

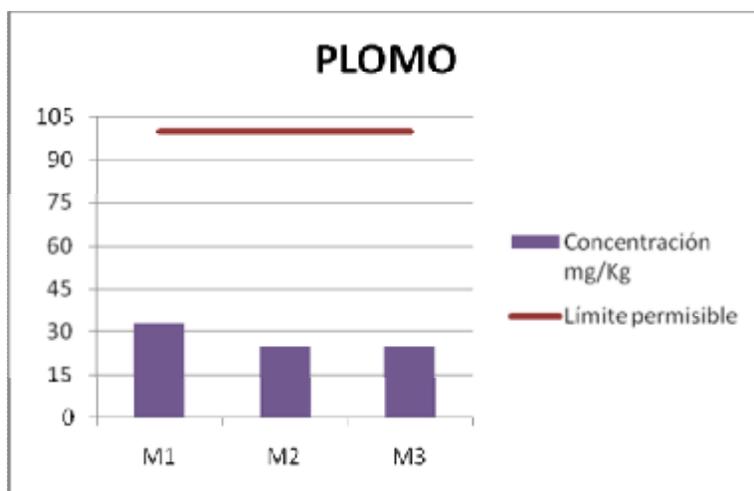


Figura # 13: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 2

En cuanto al plomo, la Figura # 13 nos muestra que ninguna de las tres muestras obtenidas en el área de estudio supera el límite máximo permisible.

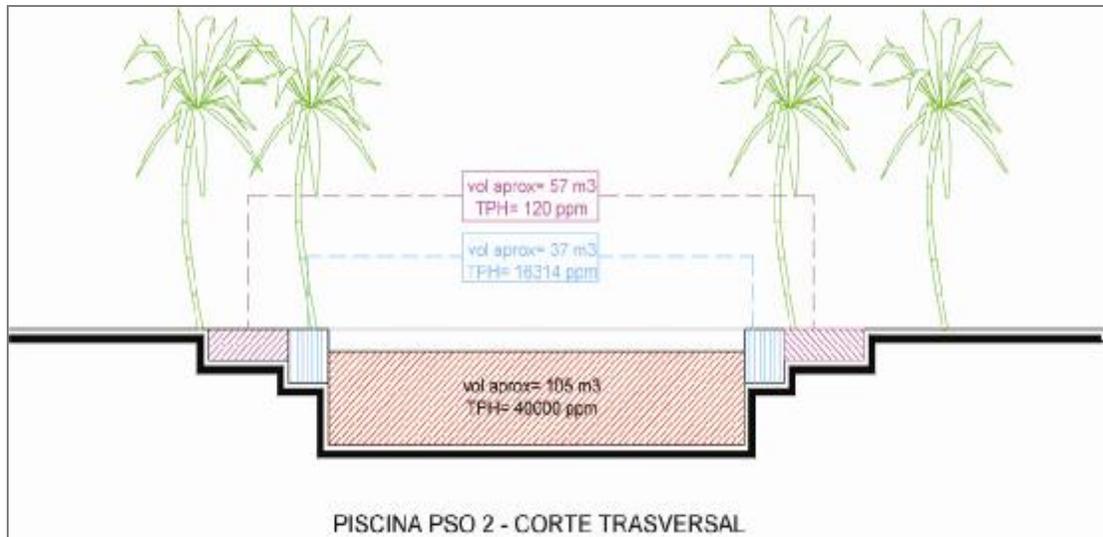


Figura # 14 – Corte Transversal Pasivo Ambiental PSO 2

Como se puede observar en la Figura # 14, las mayores concentraciones del contaminante se encuentran en la primera zona de muestreo, por lo que justifica la toma de muestras en estos puntos.

En todas las zonas de muestreo se determinó la presencia de arena. Sin embargo en la segunda y tercera zona, existe suelo de tipo franco arenoso por lo que se espera que el contaminante no se haya dispersado, sino confinado en una sola área. Esto se debe a que dentro del Campo PBH, según la línea base levantada por Ecuambiente Consulting Group S.A en la Reevaluación del Estudio de Impacto Ambiental del año 2008 del campo PBH, existen suelos que van desde rocas hasta depósitos aluviales. La plataforma del pozo PSO2, se ubica dentro de la formación Arajuno la cual se compone de arenas y areniscas de grano grueso y fino, y algunas intercalaciones discontinuas de arcillas.

3.2 RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL PSO 3:

TABLA # 9: Antecedentes del Pozo PSO3

ANTECEDENTES OPERATIVOS	
POZO	PARAÍSO 3
Fecha Inicio de la Perforación	13 de Agosto de 1988
Fecha fin de la Perforación	12 de Septiembre de 1988
Fecha de Completación	10 de Octubre de 1988
PRUEBAS INICIALES	

Prueba No.	Fecha	Tiempo de Prueba
1	23-Sep-1988	2 horas
2	25-Sep-1988	4 horas
3	27-Sep-1988	--
4	29-Sep-1988	2 horas
5	05-Oct-1988	--
6	09-Oct-1988	--
HISTORIAL DE REACONDICIONAMIENTOS		
Workover #	FECHA	OBJETIVO
TM # 1	13-Ene-1990 14-Ene-1990	Sacar tubería de producción
1	20-Oct-1990 12-Nov-1990	Aislar entrada de agua en HI y realizar tap+ón balanceado en T.
2	02-Jun-1991 04-Jun-1991	Bajar nueva completación por desamentamiento de empacaduras.
3	15-Oct-1991 19-Oct-1991	Cambio de completación para producir con bombeo mecánico.
4	08-Dic-1992 12-Dic-1992	Cambio de completación para producir con bombeo hidráulico.
5	13-Sep-1993 07-Oct-1993	Squeeze a UI, HS y HI. Tratamiento a UI, redispasar y evaluar.
6	16-Jun-2003 20-Jun-2003	Cambiar completación y evaluar arena U y arena HS.
7	30-Jul-2007 04-Ago-2007	Reparar problema mecánico de fondo y continuar produciendo de la arena Hollín Superior.

Este pasivo ambiental fue generado años atrás por la anterior operadora del campo PBH, debido a las inadecuadas disposiciones finales que se daba a residuos de perforación y explotación de crudo, de acuerdo a la técnica aplicada en esa época. Sin embargo, el 2 de Mayo del 2006 (fecha en la que Enap – Sipetrol ya operaba el campo), ocurrió un derrame en la unidad VRF de la locación Paraíso 3, exactamente en la reducción que sale con línea de 2” a 1 ½”. El derrame se produjo debido a desgaste del material.

El área fue limpiada, y el crudo derramado fue recuperado (alrededor de 35 barriles) en los próximos días luego de ocurrida la contingencia, la cual fue fiscalizada por personal de la DINAPAH.

En Noviembre del 2008, ENAP – Sipetrol contrató servicios específicos para realizar la caracterización de suelos, sedimento y agua que se encontraban dentro de la piscina - pasivo ambiental ubicado cerca de la plataforma del pozo PSO 3.

El 20 de Enero del 2010, se ingresó al campo para toma de muestras en el área. Las muestras fueron enviadas al laboratorio para la realización de un análisis de *finger print*, el cual

determina la edad del crudo. Los resultados obtenidos, muestran que el crudo presente en el suelo de ésta zona tiene una concentración importante de hidrocarburos de petróleo, se denota degradación por oxidación y ataque microbiano, las cadenas de bajo peso molecular ya no se distinguen y los isoalcanos tienen picos importantes que denotan un proceso importante de degradación a través de del tiempo.

Actualmente, el área contaminada se encuentra sin vegetación dentro de la piscina, sin embargo se observa vegetación secundaria¹ en sus alrededores. Tiene un tipo de suelo limo – arenoso y tiende a ser un área de inundación cuando es época lluviosa.

El día 19 de Febrero del presente año, se ingresó al lugar de contaminación, con el objetivo de muestrear suelo y determinar su estado de contaminación a través del servicio de laboratorio LABSU.

El muestreo se realizó con la ayuda de un monitor comunitario, un técnico de LABSU y un practicante del mismo laboratorio.

3.2.1. Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental PSO 3:

Área de Estudio:

El área donde se encuentra el pasivo ambiental, está ubicada cerca de la plataforma de PSO3 a aproximadamente 30,00m de ésta y a 10,00m de la carretera de entrada al pozo. La piscina considerada un pasivo ambiental de SIPEC se encuentra dentro de una zona que posee vegetación arbustiva secundaria propia del sector. Como se explicó anteriormente, las muestras que se tomaron fueron muestras compuestas. En la Tabla # 4 se pueden observar las condiciones climáticas a las que fueron tomadas las muestras, las coordenadas en donde se encuentra el pasivo ambiental y sus dimensiones aproximadas. El momento de muestreo el área de estudio no se encontraba inundada de agua lluvia, sin embargo en la primera visita que se realizó a la zona, la piscina se encontraba llena de agua por la época lluviosa. Por lo que es importante especificar las condiciones climáticas a las que se tomaron las muestras para evitar una alteración en los resultados de los análisis a los diferentes parámetros.

Además se presentan las profundidades y distancias desde el foco de contaminación a las que fueron tomadas las muestras.

¹ Vegetación que está constituida por especies atípicas de la zona producto de la intervención del hombre o de reforestaciones.

TABLA # 10: Datos preliminares de pasivo ambiental PSO 3

ZONA: Pasivo ambiental PSO 3					
FECHA DE MUESTREO: 19 de Febrero 2010.					
	GEOGRÁFICAS			UTM	
LATITUD	00° 19' 27" S			18273170 E	
LONGITUD	77° 02' 09" W			9963786 N	
CONDICIONES CLIMÁTICAS: Nublado					
DIMENSIONES				VOLÚMEN APROX.	
LARGO	25,30 m	7,39m		932,64m³	
ANCHO	17,00 m	6,50 m			
PROFUNDIDAD	2,50 m				
MUESTRA		PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)	DE	DISTANCIA DESDE FOCO DE CONTAMINACIÓN HACIA EXTREMOS (m)	DESDE DE
M1		0,90		0	
M2 (puntual)		1,80		0	
M3		1,20		2	

3.2.1.1. Resultados de Laboratorio para Suelos en PSO 3:

A continuación se detallan los resultados de los Análisis de las muestras de suelo que se obtuvieron en campo, en el sitio identificado como pasivo ambiental.

TABLA # 11: Resultados de Laboratorio para suelos de PSO 3

Fecha	18 DE FEBRERO 2010				
Laboratorio	LABSU				
Parámetro	TPH	HAP's	Cd	Ni	Pb
	(mg/Kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Límite Máximo Permisible	2500	2	2	50	100

M1	2.323,86	0,02	1,9	18,1	25
M2 (puntual)	1.816,96	0,02	1,92	20,1	25
M3	3.284,36	0,044	1,8	16,81	25

Simbología:

Color	
Azul	Límite máximo permisible
Rojo	Supera límite máximo permisible
Negro	No supera el límite máximo permisible

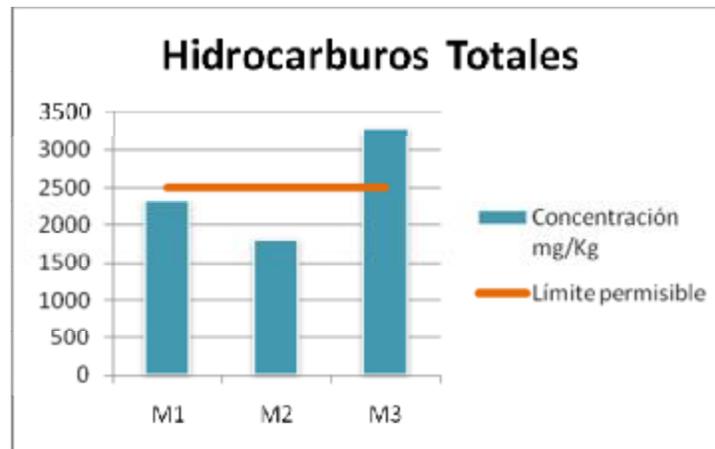


Figura # 15: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3

En la Fig # 15 se puede observar que dentro de las dos primeras áreas de muestreo, es decir los dos primeros resultados que se obtuvieron en laboratorio no superan los niveles máximos permisibles (LMP) que establece la norma ambiental vigente. Sin embargo en la tercera zona de muestreo se detectó que el área se encuentra contaminada ya que presenta una concentración de TPH que supera el LMP como se puede observar en la figura superior. Además cabe recalcar que la primera zona muestreada, representa la piscina considerada como pasivo ambiental y su concentración en ppm es igual a 2323,86 por lo que se debe pensar en su gestión, aunque no supere el límite máximo permisible.

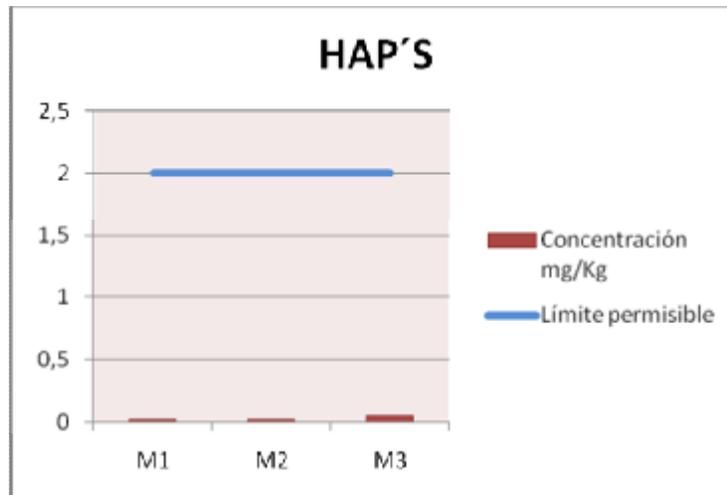


Figura # 16: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3

Los Hidrocarburos aromáticos policíclicos se presentan en bajas concentraciones dentro de las tres zonas de muestreo. Como se puede observar en la Fig # 16, las concentraciones de HAP's no superan el límite máximo permisible que establece el RAOHE 1215.

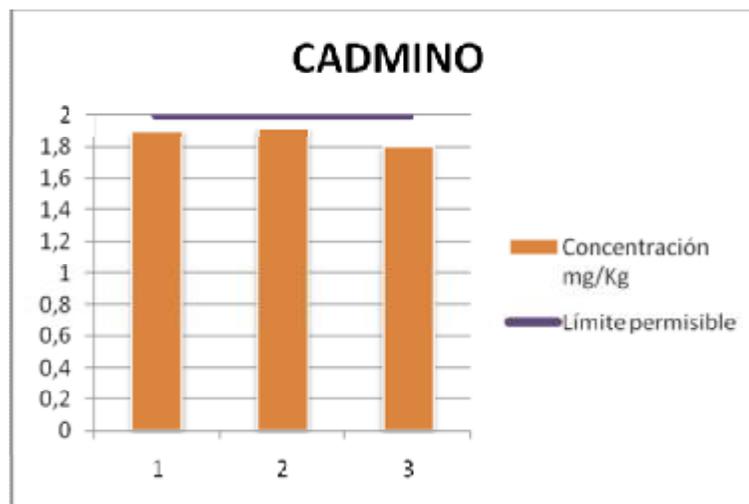


Figura # 17: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3

En cuanto al Cadmio, se puede observar que las concentraciones son menores al LMP, por lo que no representaría un peligro tanto para suelo como para sedimentos.

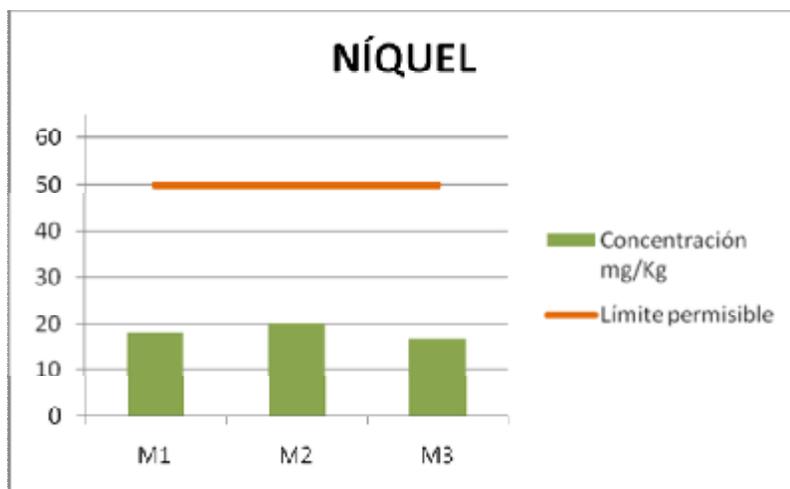


Figura # 18: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3

Las concentraciones de Níquel que se obtuvieron en los resultados de los análisis de suelos, son menores que el Límite máximo permisible que establece la norma ambiental. Como se puede observar en la figura # 18, las muestras tomadas en las tres diferentes áreas se encuentran en concentraciones tales, que no afectarían el recurso suelo, en este caso para uso agrícola.

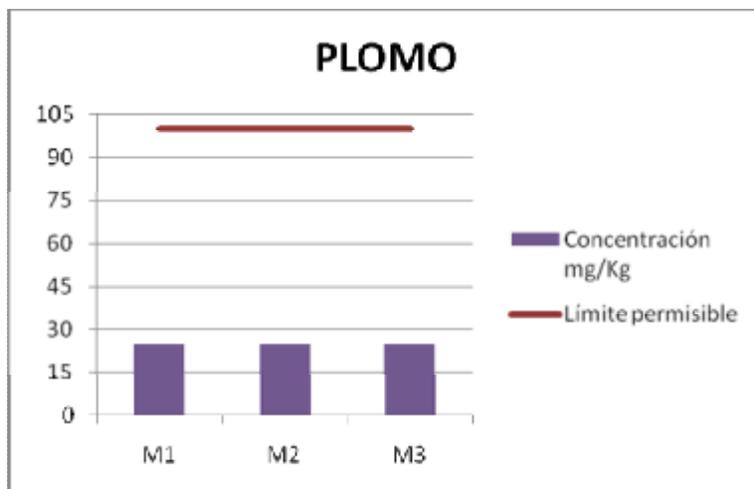


Figura # 19: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 3

Como se puede observar en la Figura # 19, las concentraciones de plomo que se encuentran en las muestras representativas del suelo del área en estudio, no son mayores a 100 ppm que es el límite permisible que establece la norma ambiental vigente.

TABLA # 12: RESULTADOS DE LABORATORIO PARA LIXIVIADOS PSO 3

Fecha	18 DE FEBRERO 2010							
Laboratorio	LABSU							
RAOHE 1215	TABLA # 7							
Parámetro	Potencial Hidrógeno	Conductividad (uS/cm)	Ba (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Vn (mg/kg)	TPH (mg/kg)	HAP's (mg/kg)
Límite Máximo Permissible Tabla 7 ^a) Sin impermeabilización en la base	6 – 9	4000	< 5	< 0,05	< 1,0	< 0,2	< 1	< 0,03
Límite Máximo Permissible Tabla 7b) Con impermeabilización en la base	4 – 12	8000	< 10	< 0,5	< 10	< 2	< 50	< 0,005
M2 (puntual)	7,18	27,8	1,62	< 0,05	< 0,10	< 0,40	< 0,10	<0,0002

Simbología

Color	
Azul	Límite máximo permisible
Rojo	Resultado que supera límite máximo permisible
Negro	Resultado que no supera el límite máximo permisible

Dentro de los análisis que se solicitaron al laboratorio, se encuentra la Tabla # 7, del Anexo # 2 del RAOHE la cual especifica los límites máximos permisibles para lixiviados. Para éste análisis, se envió al laboratorio la muestra que se tomó de forma puntual en el centro de la piscina, ya que la misma parecía tener lodos de perforación, por lo que se quiso descartar la presencia de estos contaminantes en el área de estudio.

En la tabla # 12 del presente documento se pueden observar los límites máximos permisibles que especifica la Tabla 7a y 7b para lixiviados sin impermeabilización en la base y con impermeabilización en la base respectivamente, del Anexo # 2 del TULAS.

Como se demuestra en los resultados de la muestra puntual, ninguno de los parámetros analizados supera los límites máximos que permite la norma.

En el Mapa de ubicación de la piscina (Ver Anexos), se observa que además de esta piscina considerada como pasivo ambiental cercana a la plataforma PSO 3, también se ha determinado una zona que lindera con la misma plataforma; ubicada en sentido “Este” se encuentra un área no delimitada donde no crece vegetación propia de la zona. Por lo tanto, se realizó un muestreo compuesto que abarcó la mayoría de la zona, ya que la hierba no permitía el monitoreo total del área. Después del análisis de las muestras de laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla # 7.

Tabla # 13: Resultados obtenidos para suelos del Área ubicada en sentido “Este” de la plataforma PSO3

Fecha	18 DE FEBRERO 2010				
Laboratorio	LABSU				
Parámetro	TPH (mg/kg)	HAP's (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Límite Máximo Permissible	2500	2	2	50	100
M1	1191,02	0,02	1,85	16,82	<25,00

La Tabla # 13 demuestra que las concentraciones de TPH's dentro de la zona muestreada no superan los límites máximos permisibles que establece el RAOHE en el Anexo # 2, Tabla # 6.

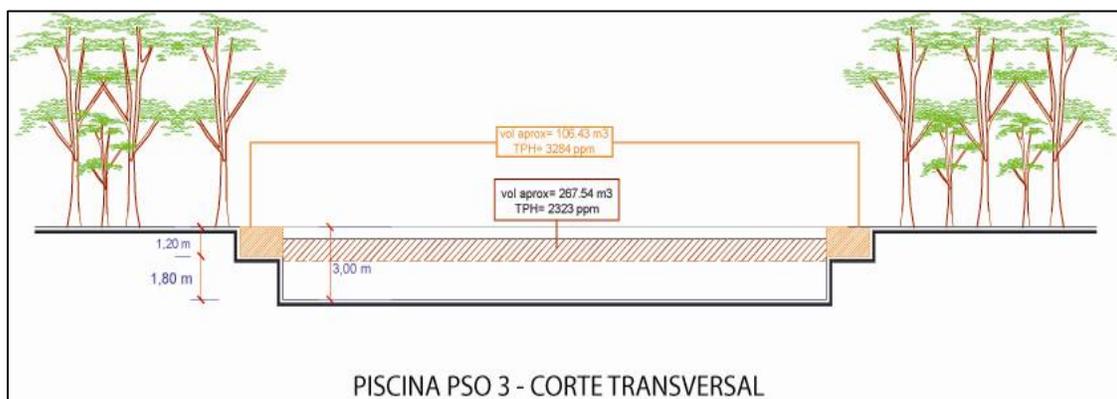


Figura # 20: Corte Transversal Piscina PSO3

Todas las muestras tomadas dentro de esta área presentaron hidrocarburo. Cabe recalcar que esta zona, como se explicó en “Antecedentes”, ya tuvo una gestión de remediación para recuperar crudo derramado de un evento contingente en el año 2006, sin embargo en el monitoreo, hubo presencia de contaminante, lo cual probablemente puede derivar de una mala limpieza del evento contingente y de anteriores eventos ocurridos cuando estaba a cargo del campo la anterior operadora.

3.3. RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL PSO 9

TABLA # 14: Antecedentes del Pozo PSO9

ANTECEDENTES OPERATIVOS		
POZO	PARAÍSO 9	
Fecha Inicio de la Perforación	12 de Mayo de 1993	
Fecha fin de la Perforación	16 de Junio de 1993	
Fecha de Completación	21 de Junio de 1993	
PRUEBAS INICIALES		
Prueba No.	Fecha	Tiempo de Prueba
1	03-Jul-1993	4 horas
2	06-Jul-1993	6,5 horas
3	08-Jul-1993	24 horas
4	10-Jul-1993	31 horas
5	16-Jul-1993	--
6	17-Jul-1993	8,5 horas
7	19-Jul-1993	6 horas
8	19-Jul-1993	8 horas
HISTORIAL DE REACONDICIONAMIENTOS		
Workover #	FECHA	OBJETIVO
1	08-Nov-1995 18-Nov-1995	Cambio de completación para producir con bomba mecánica de cavidad progresiva.
2	08-Feb-1996 16-Feb-1996	Chequear bomba y cavidad progresiva.
3	12-Mar-1997 02-Abr-1997	Aislar con CIBP a HI. Evaluar HS, T y U.
4	24-Ene-2002 01-Feb-2002	Cambio de completación para reinyectar agua de formación.

Este pasivo ambiental, es un pasivo heredado que recibió ENAP-SIPETROL de la operadora anterior que producía dentro de este campo. Existen dos áreas extensas que se encuentran contaminadas debido a la mala disposición final de desechos que se daba en tiempos anteriores.

El 24 de febrero de 2008, en el pozo Paraíso 9, en una brida de la tubería que conduce agua de formación al pozo inyector, se produjo un liqueo² que afectó a un área de aproximadamente 120 m². La zona afectada por este liqueo se ubicaba dentro de la plataforma.

El material contaminado fue retirado y reemplazado por suelo en buenas condiciones. El suelo retirado fue trasladado a la plataforma de Paraíso 11, sitio de remediación de suelos contaminados.

Por pedido de SIPEC, los días 27 y 28 de febrero de 2008 se realizó una Caracterización de Suelos luego de la limpieza del sitio, con el fin de comprobar las condiciones del suelo de acuerdo a la normativa aplicable, verificando que la limpieza realizada fue adecuada, tal como se indica en el respectivo informe que contiene los resultados de laboratorio de las muestras de suelo tomadas.

Cerca a la plataforma, a aprox. 20 m al sur-oeste, se ubican dos piscinas abandonadas de operaciones anteriores (previo a Contrato de Operaciones de SIPEC), las cuales formaban un espejo de agua.

El 14 de septiembre del 2008, se realizó una caracterización de sedimentos y agua en estas piscinas y también de suelos de sus alrededores, con el objeto de conocer su situación.

En Diciembre del 2008, se trabajó con una contratista para realizar un análisis del estado de las respectivas piscinas y se obtuvieron resultados que demostraban que los sedimentos de las piscinas se encontraban contaminados con hidrocarburos y metales pesados. Sin embargo no se encontró contaminación en las aguas de las piscinas.

Por lo tanto, después de dichos resultados en el año 2009, se evacuaron las aguas a través de zanjas que fueron realizadas por pedido de personal de SIPEC, para tener un terreno seco. No existe dentro de los archivos digitales de la empresa un informe respecto a la evacuación de estas aguas.

Al momento el área se encuentra cubierta de vegetación, tanto dentro de la zona contaminada, como en sus afueras. Además, solo se presentan pequeñas cantidades de agua empozada en los laterales de las piscinas, debido a la geo-forma de las mismas. Las piscinas se encuentran separadas por una barrera natural como se observa en los esquemas presentados posteriormente.

² Fuga de líquidos, en este caso agua de formación por goteo a través de la tubería.

El día 24 de Febrero del presente año, se ingresó al lugar de contaminación, con el objetivo de muestrear suelo y determinar su estado de contaminación a través del servicio de laboratorio LABSU.

El muestreo se realizó con la ayuda de un técnico de LABSU y un practicante del mismo laboratorio.

3.3.1. Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental PSO 9:

Área de Estudio:

Las dos piscinas que se han identificado como pasivos ambientales, se encuentran ubicados al suroeste de la plataforma PSO9. Para efecto de este estudio, se les ha denominado a estos pasivos como “piscina oeste” y “piscina este”. En la siguiente tabla, se pueden observar las condiciones climáticas a las que fueron tomadas las muestras, las coordenadas en donde se encuentra el pasivo ambiental y sus dimensiones aproximadas. Como se indicó anteriormente, estas piscinas no contienen agua debido a que la misma fue evacuada, por lo que el momento del muestreo, solo se tomaron muestras de suelo dentro y fuera de las piscinas.

Además se presentan las profundidades y distancias desde el foco de contaminación a las que fueron tomadas las muestras.

TABLA # 15: Datos preliminares de pasivo ambiental PSO 9

ZONA: Pasivo ambiental PSO 9		
FECHA DE MUESTREO: 24 de Febrero 2010.		
PISCINA OESTE		
	GEOGRÁFICAS	UTM
LATITUD	00° 19' 38" S	18273381 E
LONGITUD	77° 02' 02" W	9963443 N
CONDICIONES CLIMÁTICAS: Soleado		
DIMENSIONES		VOLÚMEN APROX.
LARGO	27 m	1.262,8m ³
ANCHO	25,37 m 21,4 m	
PROFUNDIDAD	2,00 m	

MUESTRA		PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)	DISTANCIA DESDE FOCO DE CONTAMINACIÓN HACIA EXTREMOS (m)
M1		0,60	5
M2		1,20	0
PISCINA ESTE			
	GEOGRÁFICAS		UTM
LATITUD	00° 19' 37" S		18273688 E
LONGITUD	77° 02' 03" W		9963826 N
CONDICIONES CLIMÁTICAS: Soleado			
DIMENSIONES			VOLÚMEN
LARGO	63,50 m		1.874,34m³
ANCHO	14,40 m 19,28 m		
PROFUNDIDAD	1,80 m		
MUESTRA		PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)	DISTANCIA DESDE FOCO DE CONTAMINACIÓN HACIA EXTREMOS (m)
M3		1,20	0

3.3.1.1. Resultados de Laboratorio para Suelos PSO 9:

En la siguiente tabla, se presenta los resultados que se obtuvieron de las diferentes muestras por parte del laboratorio LABSU.

TABLA # 16: Resultados de Laboratorio para Análisis de suelos PSO 9

Fecha	18 DE FEBRERO 2010				
Laboratorio	LABSU				
Parámetro	TPH	HAP's	Cd	Ni	Pb
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Límite Máximo Permisible	2500	2	2	50	100

M1	119,2	0,02	1,9	17,42	24,89
M2	15.090,75	0,024	1,87	23,29	118,81
M3	7.898,12	0,42	1,85	22,89	43,24

Simbología:

Color	
Azul	Límite máximo permisible
Rojo	Supera límite máximo permisible
Negro	No supera el límite máximo permisible

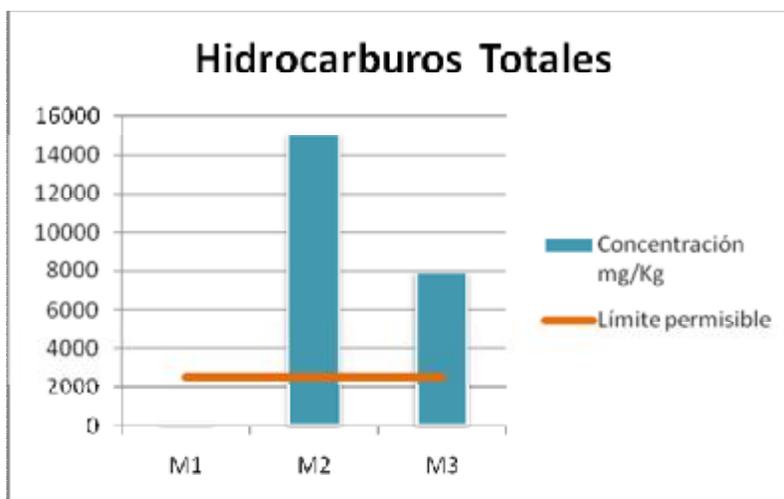


Figura # 21: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9. Las muestras obtenidas en las afueras de la piscina “Oeste” (M1) no presentan mayor grado de contaminación, sin embargo las muestras obtenidas dentro de la misma piscina presentan una concentración de hidrocarburos totales que supera al límite permisible con 12590 ppm más de lo que establece la norma ambiental vigente. Mientras que las concentraciones de este mismo contaminante en la piscina “Este”, también superan al límite máximo permisible, teniendo una concentración de 7898,12 ppm de Hidrocarburos Totales.

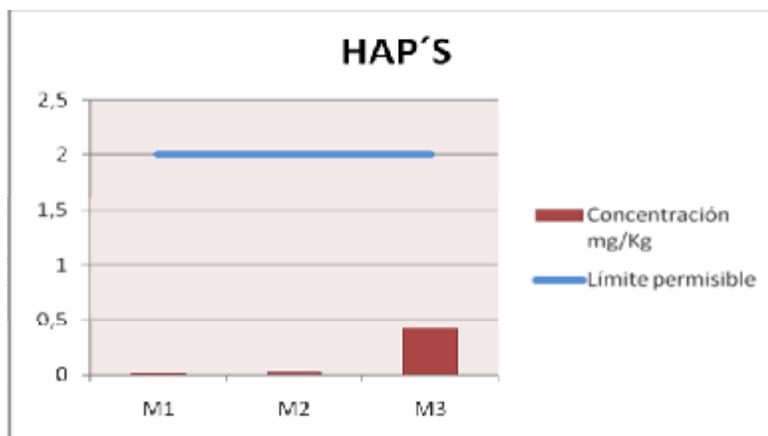


Figura # 22: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9

En la Figura # 22 se puede observar la concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, los cuales son hidrocarburos propios del crudo. Ninguna de las muestras obtenidas fuera y dentro de las piscinas consideradas pasivos ambientales, supera el límite máximo permisible que establece la norma ambiental vigente para este parámetro.

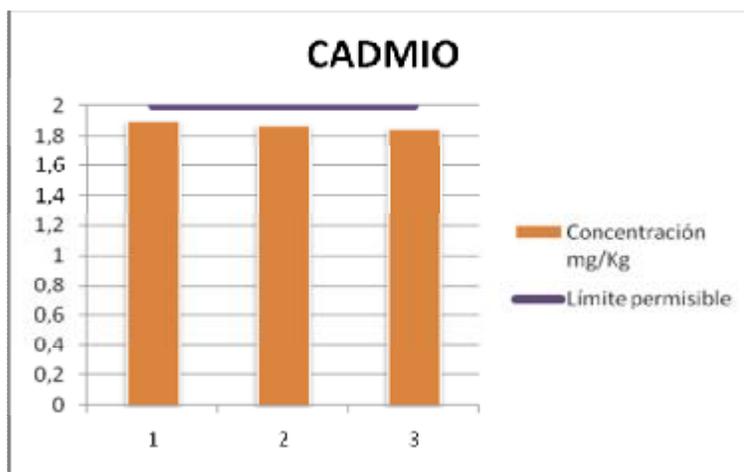


Figura # 23: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9
 Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (1998), el Cadmio es un metal que se encuentra en la corteza terrestre como mineral combinado, e ingresa al suelo durante actividades industriales. En este caso, el Cadmio ha ingresado al suelo por la mala disposición final que se daba a productos derivados de la explotación del petróleo en la década de los 80's. Sin embargo las concentraciones no superan al límite máximo que establece la norma ambiental en ninguna de las muestras obtenidas en el área de estudio.

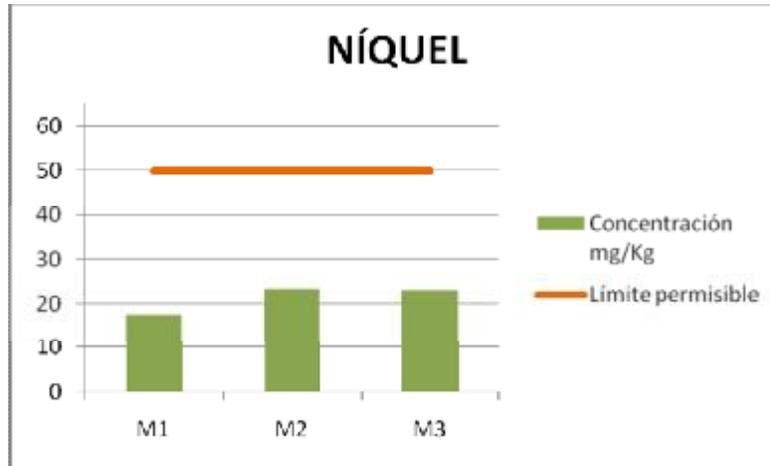


Figura # 24: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9

En la Figura # 24 se expresan las concentraciones de Níquel que presentan las muestras obtenidas en el área de estudio. Se puede observar que ninguna de las tres muestras supera el límite que establece la norma para este metal.

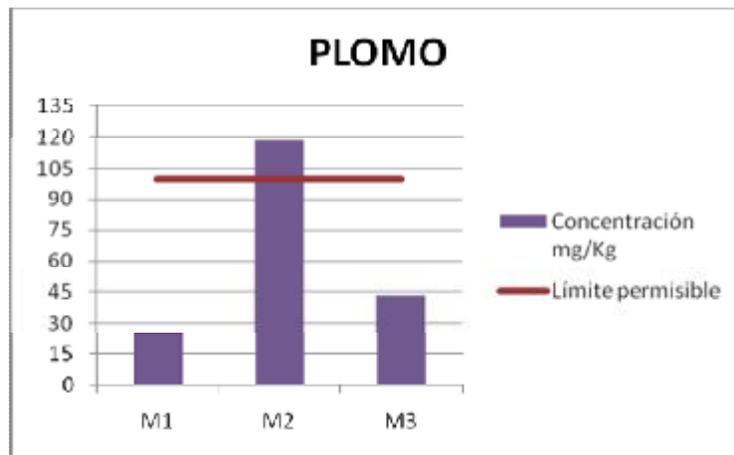


Figura # 25: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental PSO 9

El plomo es un metal que se adhiere a partículas de suelo al ingresar a este recurso (ATSDR, 1998). En la Figura # 25 se puede demostrar que las concentraciones de plomo en la muestra 2, es decir dentro de la piscina “Oeste” supera el límite máximo que establece la norma ambiental. Las concentraciones de plomo en las muestras 1 y 3 se encuentran bajo el límite, en cumplimiento con la norma.

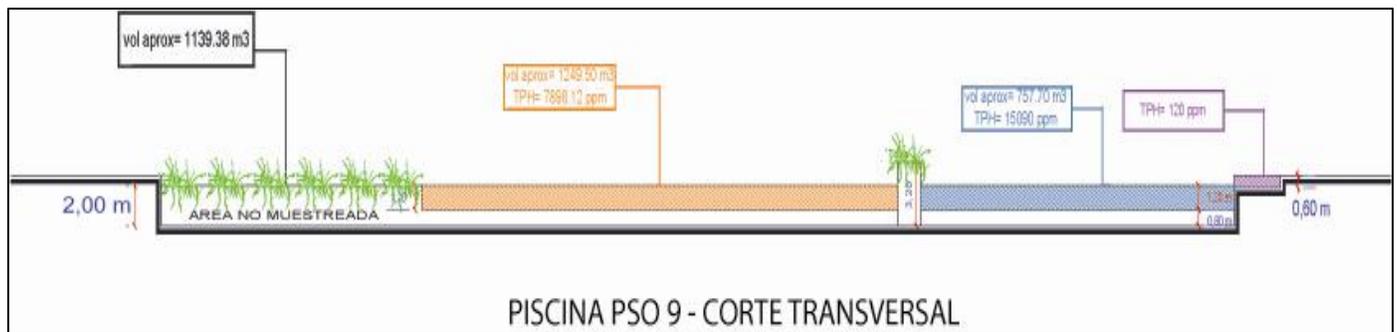


Figura # 26: Corte Transversal PiscinaS PSO 9

En la Figura # 26 se puede observar un corte transversal de las piscinas y la profundidad a la que se obtuvieron las muestras. Además se determinó, dentro de este esquema, los volúmenes y concentraciones de TPH que demostraron los resultados de los análisis del Laboratorio LABSU.

3.4. RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL HUA 01:

TABLA # 17: Antecedentes del Pozo HUA 01

ANTECEDENTES OPERATIVOS		
POZO	HUACHITO 01	
Fecha Inicio de la Perforación	04 de Febrero de 1995	
Fecha fin de la Perforación	26 de Febrero de 1995	
Fecha de Completación	25 de Abril de 1995	
PRUEBAS INICIALES		
Prueba No.	Fecha	Tiempo de Prueba
1	29-Mar-1995	24 horas
2	01-Abr-1995	8 horas
3	05-Abr-1995	20 horas
4	08-Abr-1995	20 horas
5	12-Abr-1995	29 horas
6	16-Abr-1995	27 horas
HISTORIAL DE REACONDICIONAMIENTOS		
Workover #	FECHA	OBJETIVO
1	09-Mar-1996 27-Mar-1996	Sacar BES x alto corte de agua en HI, evaluar HS con B TUP, completar con BES para producir de HS.
2	03-Abr-1997 09-Abr-1997	Reparar BES
T-Sin Torre	20-Abr-1997	Estimulación con solventes a la arena HI.
T-Sin Torre	08-May-1997	Limpieza a la BES con solventes y HCl al 15%.

3	26-Jul-1997 06-Ago-1997	Cambio de completación por BES atascada.
4	16-Sep-1999 12-Oct-1999	Cambio de completación para BES quemada.
T-Sin Torre	13-Ago-01 14-Ago-2001	Limpieza de BES con HCl al 15% y coiled tubing.
5	08-May-2002 01-Jun-2002	Reparar BES, evaluar HS + T + U (producir la mejor arena).
6	30-Abr-2003 16-May-2003	Aislar la arena T y completar si los resultados no son satisfactorios probar arenas U y BT y completar la de mayor potencial.
7	06-Feb-2007 16-Feb-2007	Reparar equipo BES, mejorar eficiencia de equipo con la instalación de un manejador de gas AGH y profundizar el quipo cerca del intervalo productor de la arena "U", mas realizar evaluación con BH de potencial del intervalo abierto de Basal Tena 8386'-8400'.

Este pasivo ambiental, fue uno de los que se identificó en la Auditoría Inicial antes de recibir el campo PBH por parte de SIPEC. Detallado en la misma como una piscina con agua y crudo intemperizado³.

En el área donde se ubica el pasivo ambiental, se encontraba situado el mechero donde se queman los gases que emite la propia producción de hidrocarburos. Estos gases, generalmente llevan trazas de crudo que se convierten en condensados y caen a la superficie, por lo que este pasivo ambiental se formó a partir de estos condensados y la falta de un cubeto de contención. En Junio del 2005 se realizó un muestreo de agua y sedimentos del Estero sin nombre que se encuentra a pocos metros del pasivo ambiental por pedido de SIPEC.

Actualmente el área contaminada es puntual, se observa un suelo limo – arcilloso, por lo tanto se puede considerar que los contaminados no se infiltren. La plataforma Huachito 1, se encuentran dentro de la comunidad Corazón de Oriente y es el paso para el ingreso a una vivienda de esta comunidad. El día 18 de Febrero del presente año, se ingresó al lugar de contaminación, con el objetivo de muestrear suelo y determinar su estado de contaminación a través del servicio de laboratorio LABSU. El muestreo se realizó con la ayuda de un monitor comunitario, un técnico de LABSU y un practicante del mismo laboratorio.

3.4.1. Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental HUA01:

Área de Estudio:

³ Material orgánico que ha sido expuesto a factores climáticos como lluvias, sol, viento.

La zona delimitada como pasivo ambiental, se encuentra ubicada a 10,00m de distancia detrás del actual mechero. En la tabla # 4 se resumen los datos preliminares que se obtuvieron en campo sobre la ubicación geográfica, las dimensiones, volumen aproximado y las profundidades a las que se tomaron las muestras; además las distancias que se consideraron desde el foco de contaminación hacia los extremos para la toma de muestras.

Las condiciones climáticas que se presentan en la siguiente tabla, son de gran relevancia ya que la presencia o ausencia de agua en las muestras, podrían alterar en la obtención de resultados de los diferentes parámetros que establece la norma ambiental.

TABLA # 18: Datos preliminares de pasivo ambiental HUA 01

ZONA: Pasivo ambiental HUA 01		
FECHA DE MUESTREO: 18 de Febrero 2010.		
	GEOGRÁFICAS	UTM
LATITUD	00° 23' 59" S	18273608 E
LONGITUD	77° 02' 26" W	9963858 N
CONDICIONES CLIMÁTICAS: Nublado		
DIMENSIONES		VOLÚMEN APROX.
LARGO	7,30 m	119,54m ³
ANCHO	6,55 m	
PROFUNDIDAD	2,50 m	
MUESTRA	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)	DISTANCIA DESDE FOCO DE CONTAMINACIÓN HACIA EXTREMOS (m)
M1	1,80	0
M2	0,80	2

3.4.1.1. Resultados de Laboratorio para Suelos:

Los análisis de los parámetros que establece la Tabla #6, del Anexo 2 del RAOHE fue realizada por el Laboratorio LABSU. En las siguientes tablas, se presentan los resultados que se obtuvieron de las diferentes muestras de suelo.

TABLA # 19: Resultados de Laboratorio de Análisis de suelo Huachito 01

Fecha	19 DE FEBRERO 2010				
Laboratorio	LABSU				
Parámetro	TPH (mg/kg)	HAP's (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Límite Máximo Permisible	2500	2	2	50	100
M1	3863,79	0,11	1,90	26,69	25,00
M2	120,00	0,02	1.86	23,83	25,00

Simbología:

Color	
Azul	Límite máximo permisible
Rojo	Supera límite máximo permisible
Negro	No supera el límite máximo permisible

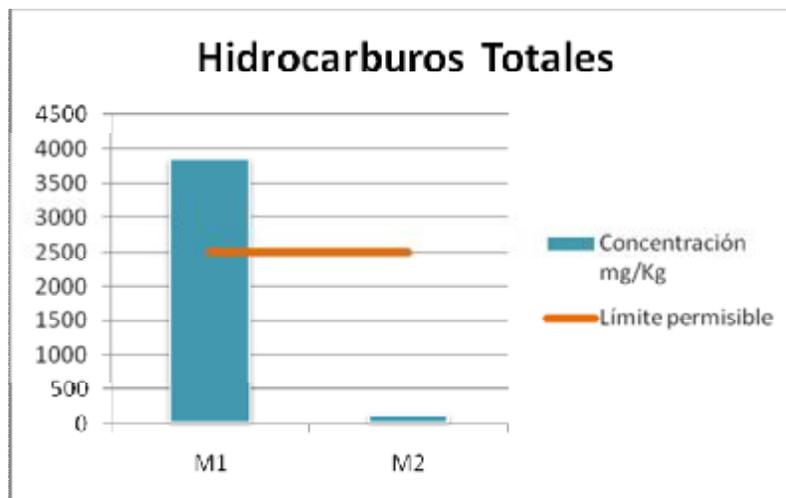


Figura # 27: Concentración de TPH en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01

Los resultados que se obtuvieron en los análisis de las muestras tomadas en el área de estudio, determinan la presencia de Hidrocarburos Totales, como se puede observar en la Figura # 27. La primera muestra obtenida dentro de la piscina tiene una concentración de TPH que supera

el límite máximo permisible que establece la norma ambiental; mientras que la segunda muestra presenta bajas concentraciones de contaminante.

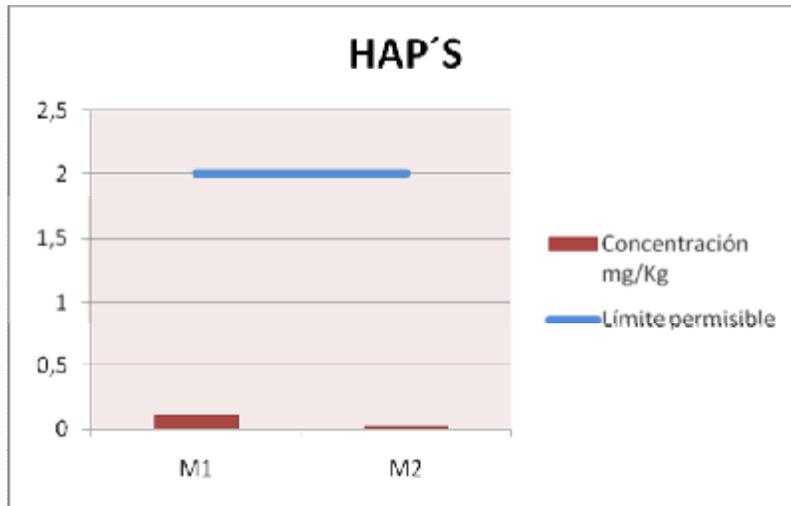


Figura # 28: Concentración de HAP's en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01

En los análisis para el parámetro de hidrocarburos aromáticos policíclicos, no se obtuvieron concentraciones mayores a las que establece la norma ambiental en la Tabla # 6 del Anexo 2 del TULAS.

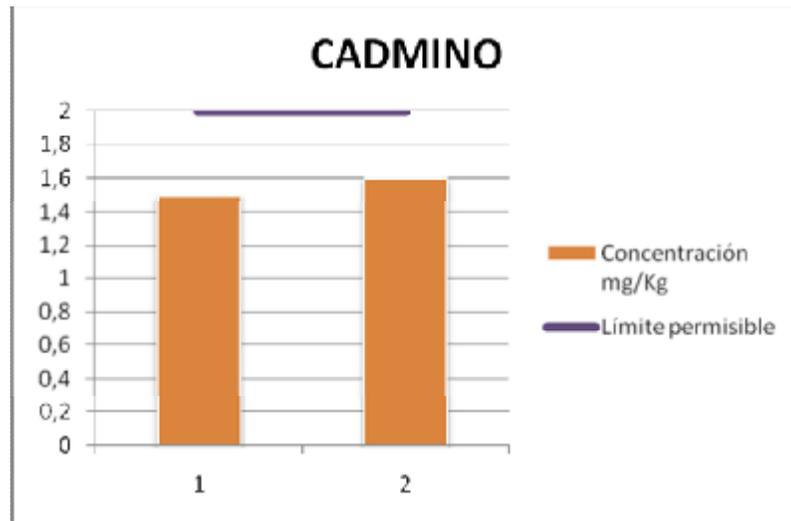


Figura # 29: Concentración de Cd en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01

Los resultados que presenta el laboratorio para el parámetro de Cadmio, no superan los límites máximos permisibles que establece la norma. Como se puede observar en la Figura #29, las concentraciones se encuentran por debajo del límite.

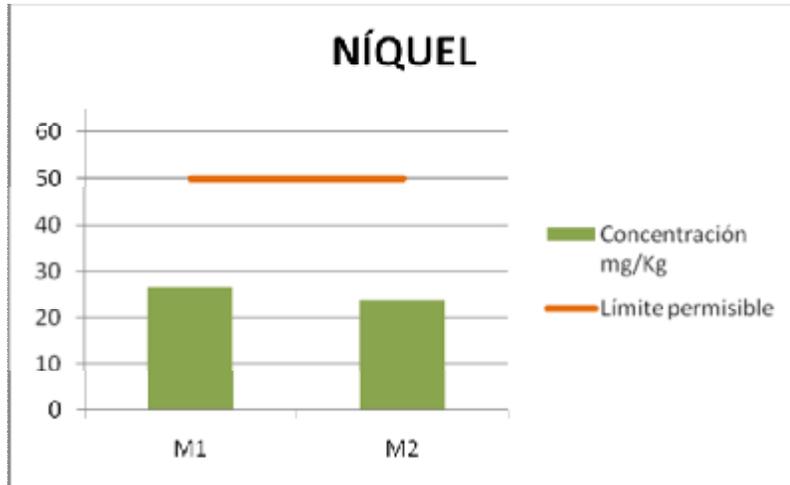


Figura # 30: Concentración de Ni en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01

En la Figura # 30 se pueden observar los resultados que se obtuvieron para el parámetro de Níquel, el cual se encuentra en concentraciones bajo el límite máximo permisible tanto para la muestra 1 como para la muestra 2.

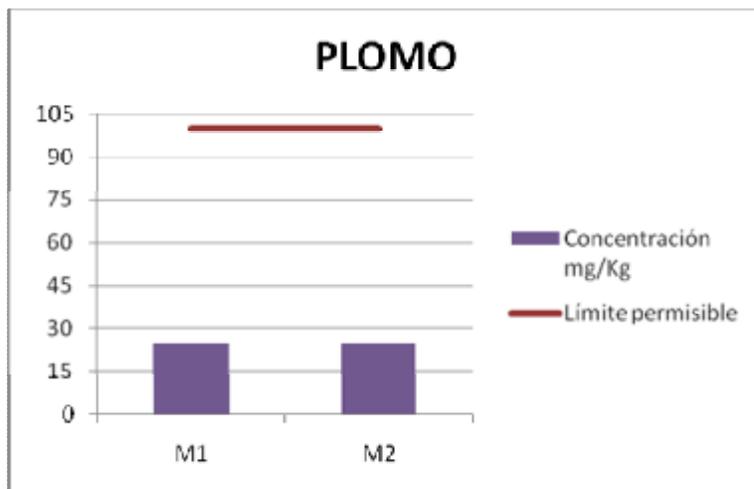


Figura # 31: Concentración de Pb en muestras tomadas en pasivo ambiental HUA 01

Las concentraciones de plomo que se obtuvieron en las muestras tomadas dentro de la zona 1 y zona 2 no superan los límites máximos permisibles que establece la norma ambiental.

Como se puede observar en la Figura # 31, dentro del pasivo ambiental Huachito 01 existen bajas concentraciones de plomo.

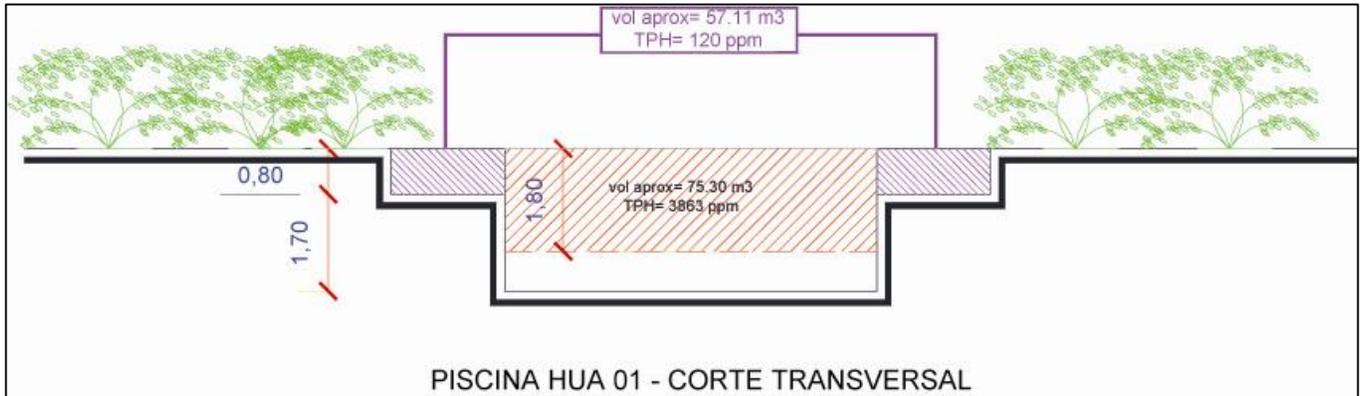


Figura # 32: Corte Transversal Piscina HUA 01

Según la Reevaluación de Impacto Ambiental realizada por la consultora calificada Ecuambiente, la plataforma del pozo HUA01 se ubica dentro de la formación Arajuno, la cual se compone de arenas y areniscas de grano grueso y fino, y algunas intercalaciones discontinuas de arcillas, por lo que se espera que los contaminados no se hayan dispersado perpendicular o linealmente en las capas subterráneas. Cabe recalcar que ya se han realizado muestreos de agua de las fuentes cercanas a este pasivo y los resultados no demostraron contaminación ya que no superaban los límites máximos permisibles que establece la norma ambiental vigente.

3.5. RESULTADOS PASIVO AMBIENTAL CANAL DE DESCARGA – ESTACIÓN PARAÍSO

TABLA # 20: Antecedentes de la Estación Paraíso

ANTECEDENTES OPERATIVOS	
ESTACIÓN PARAÍSO	
Fecha de Construcción	Diciembre 1990
Área inicial	18000m ²
Fecha de Ampliación	1994
Área actual	33.700m ²

La Estación Paraíso se encuentra localizada al borde del camino de penetración a las propiedades de la cooperativa Huachito y a las plantaciones de Palmoriente, por lo que para su construcción no se requirió de vía de acceso.

Para la construcción de la Estación Paraíso, en diciembre de 1990 se realiza la inspección al sitio de la plataforma, la que se establece en un área de 10000m², indemnizándose por los cultivos existentes (285 plantas de palma).

En el año de 1994 se procede a la ampliación de la Estación en una extensión de 15.700 m², alcanzando la Estación un área total de 33.700m².

Dentro de la plataforma existían piscinas con aproximadamente 497 barriles de crudo y 29 barriles de aguas de formación, los cuales fueron evacuados hacia tanques rectangulares de 460 barriles de capacidad cada uno.

El pasivo ambiental que se ha identificado en sentido “Este” fuera de la Estación Paraíso, es un canal de descarga de las aguas lluvia que se recuperan en las canaletas de la misma Estación. Se lo considera pasivo ambiental ya que se formó a partir de un derrame que hubo en el año 2001 en la Estación Paraíso, por causa de un desbordamiento de una de las piscinas con crudo. Esta información se encuentra ausente de los archivos de SIPEC, sin embargo se la ha recuperado a través de entrevistas al personal que formaba parte de la anterior operadora y que pudo evidenciar el hecho ocurrido.

Este pasivo ambiental se ha venido monitoreando desde el año 2004 dentro de los monitoreos internos que presenta SIPEC a la entidad de control cada trimestre.

En el año 2009, el personal de SIPEC, decidió colocar cuellos de ganso a lo largo del canal para que actúen como una trampa de grasa cada cierta distancia. Existen 5 divisiones, con sus respectivos cuellos de ganso, que tienen como finalidad atrapar las grasas que pueden encontrarse como película flotante en el agua y evitar que se dirijan aguas abajo.

El último muestreo que se realizó en el canal de descarga, fue en Septiembre del 2009 por pedido del Ing. Pablo Dávila. Se obtuvieron resultados que superan el límite máximo permisible que establece la Tabla # 6, del Anexo # 2 del RAOHE.

3.5.1. Resultados Generales de la Evaluación preliminar en Pasivo Ambiental ESTACIÓN. PSO:

Área de Estudio:

El canal de descarga que se ha identificado como pasivo ambiental, se encuentra ubicado entre un terreno de cultivo de palma africana (Ver Mapa de Ubicación). En la siguiente tabla, se pueden observar las condiciones climáticas a las que fueron tomadas las muestras, las coordenadas en donde se encuentra el pasivo ambiental y sus dimensiones aproximadas. De igual forma se muestra los puntos donde fueron tomadas las muestras de agua en el canal representadas como A1 y A2. Además, se presentan las profundidades y distancias desde el foco de contaminación a las que fueron tomadas las muestras, representadas con la letra M según la muestra que correspondan.

TABLA # 21: Datos preliminares de pasivo ambiental – Canal de Descarga Estación Paraíso

ZONA: Canal de Descarga – Estación Paraíso		
FECHA DE MUESTREO: 25 de Febrero 2010.		
	GEOGRÁFICAS	UTM
LATITUD	00° 20' 58" S	18273448 E
LONGITUD	77° 02' 08" W	9961339 N
CONDICIONES CLIMÁTICAS: Soleado		
	DIMENSIONES	VOLÚMEN APROX.
LARGO	120 m	932,82m³
ANCHO	5,00m	
PROFUNDIDAD	1,20m	
MUESTRA	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)	DISTANCIA DESDE FOCO DE CONTAMINACIÓN (m)
M1	1,20	0
M2	1,00	0
M3	1,00	0
M4	1,20	0
M5	0,60	0
M6	0,20	200
A1	Superficial	0
A2	Superficial	200

3.5.1.1. Resultados de Laboratorio para Suelos:

Los análisis de los parámetros que establece la Tabla #6, del Anexo 2 del RAOHE fue realizada por el Laboratorio LABSU. En las siguientes tablas, se presentan los resultados que se obtuvieron de las diferentes muestras de suelo y agua.

TABLA # 22: Resultados de Laboratorio para Análisis de Muestras Canal de Descarga Estación Paraíso

Fecha	25 DE FEBRERO 2010				
Laboratorio	LABSU				
Parámetro	TPH (mg/kg)	HAP's (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Límite Máximo Permissible	2500	2	2	50	100
M1	4.004,03	0,058	1,9	15,39	24,8
M2	4.618,26	0,02	1,87	15,95	24,85
M3	1.724,57	0,21	1,85	18,65	24,9
M4	20.465,62	0,38	1,8	18,41	23,8
M5	5.532,84	0,029	1,92	14,98	24,7
M6	1.299,98	0,02	1,8	14,28	23,36

Simbología:

Color	
Azul	Límite máximo permisible
Rojo	Supera límite máximo permisible
Negro	No supera el límite máximo permisible

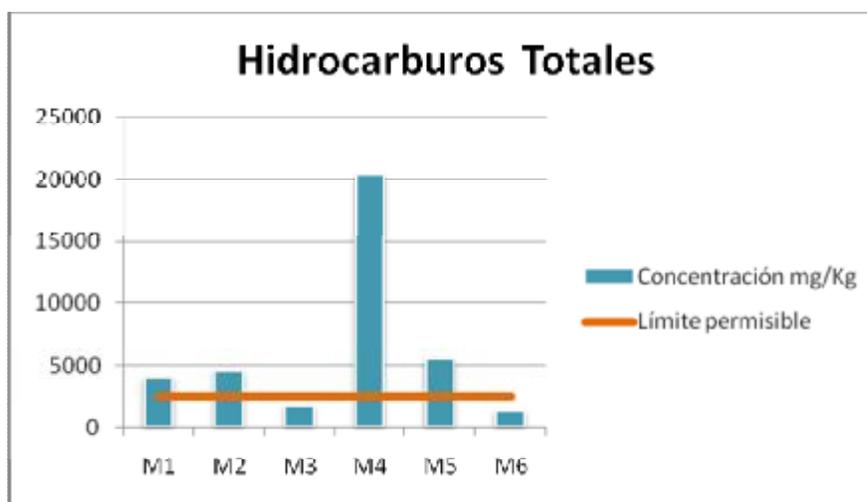


Figura # 33: Concentración de TPH en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO

Como se puede observar en la Figura # 33, de las seis muestras obtenidas en el canal identificado como pasivo ambiental, cuatro de ellas superan el límite máximo permisible que establece el RAOHE en la Tabla # 6 del Anexo # 2 para Hidrocarburos Totales. Las muestras M3 y M6 no superan el límite que establece la norma, sin embargo la muestra M3 forma parte

del mismo canal de donde se tomaron el resto de muestras. La muestra M6, fue tomada en el Estero sin nombre (s/n), al cual desemboca el canal, por lo que se demuestra que de igual forma se encuentra contaminado.

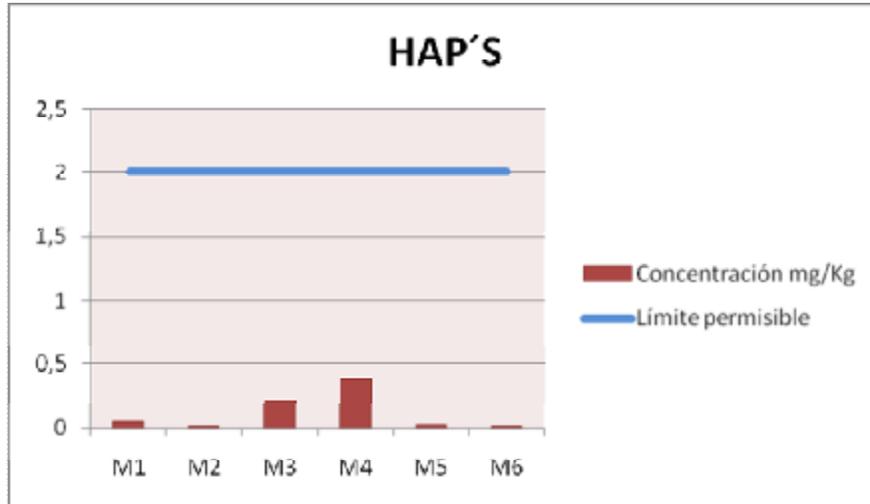


Figura # 34: Concentración de HAP's en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO

La concentración de Hidrocarburos aromáticos policíclicos es mínima a lo largo de todo el canal. Como se puede observar en la Figura # 34, ninguna de las muestras obtenidas a lo largo del canal y en el Estero s/n superan el límite máximo permisible que establece la norma ambiental para operaciones hidrocarburíferas.

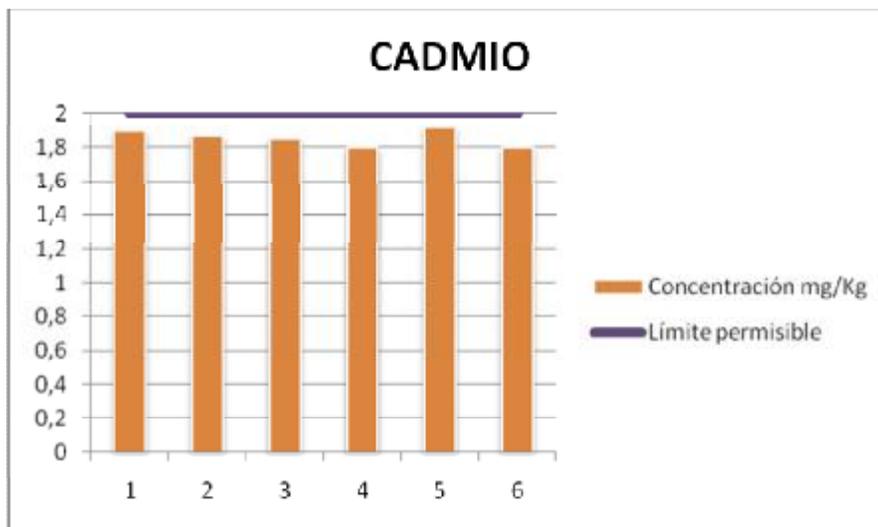


Figura # 35: Concentración de Cd en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO

Las concentraciones de Cadmio en partes por millón que tienen las muestras obtenidas a lo largo del canal considerado como pasivo ambiental, no superan los límites máximos permisibles que establece la norma, sin embargo se puede observar en la Figura # 35 que las concentraciones no superan el límite por un rango menor.

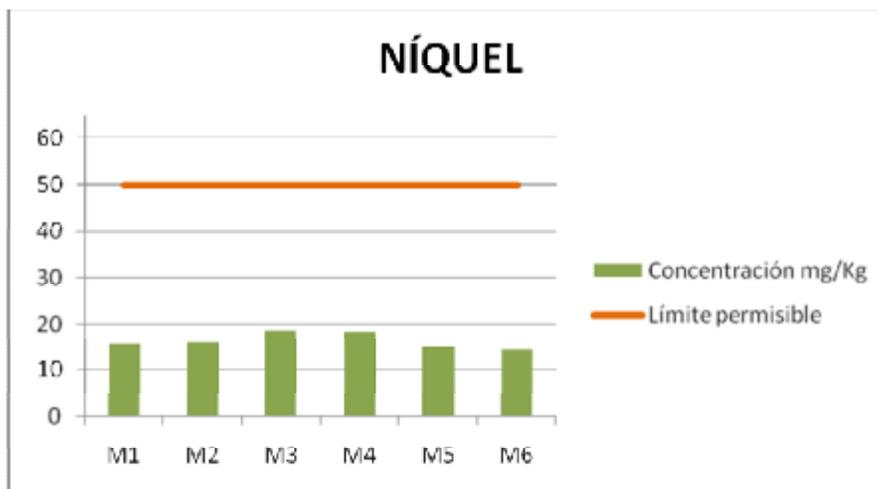


Figura # 36: Concentración de Ni en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO

En la Figura # 36 se puede demostrar que las concentraciones de Níquel no superan el límite máximo permisible, sin embargo la presencia de este metal en el suelo se debe a que es un metal propio de la corteza terrestre.

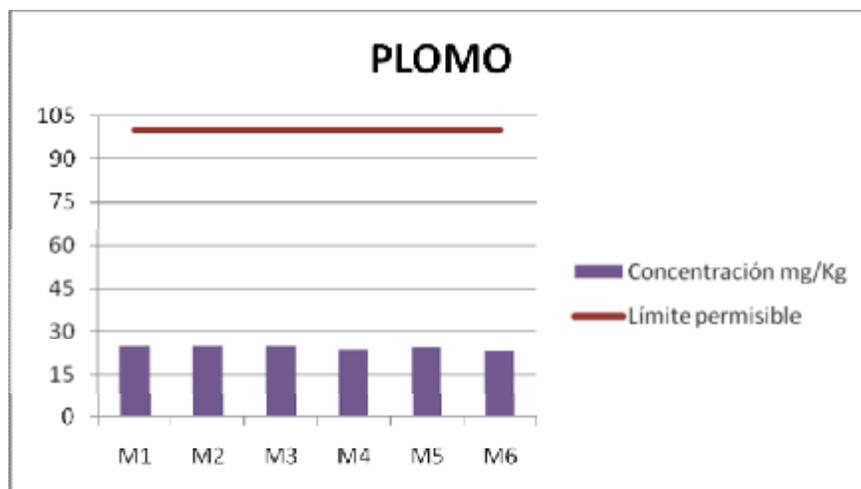


Figura # 37: Concentración de Pb en muestras tomadas en Canal de Descarga E. PSO

Las concentraciones de plomo en mg/kg en las muestras obtenidas a lo largo del canal de descarga de la estación Paraíso, no difieren una de la otra y se encuentran por debajo del límite máximo permisible que establece la norma ambiental vigente.

3.5.1.2. Resultados de Laboratorio para aguas:

Tabla # 23: Resultados de Laboratorio para análisis de muestras de agua en Canal de Descarga Estación Paraíso

Fecha	25 DE FEBRERO 2010				
Laboratorio	LABSU				
Parámetro	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	DQO (mg/L)	TPH's (mg/L)	HAP's (mgC/L)
Límite Máximo Permisible	6-8	170	30	0,5	0,0002
M1	6,65	183,6	11,07	0,1	0,0002
M2	6,83	151,7	8,61	0,08	0,00018

Simbología

Color	
Azul	Límite máximo permisible
Rojo	Supera límite máximo permisible
Negro	No supera el límite máximo permisible

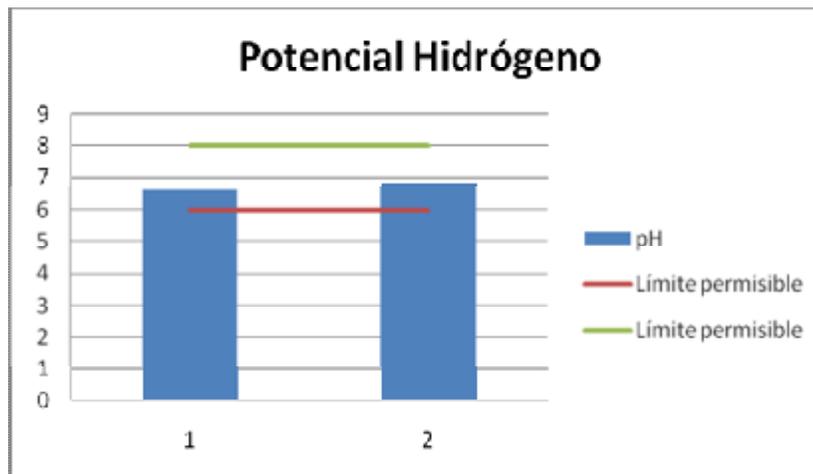


Figura # 38: Nivel de pH en muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO

El nivel de potencial hidrógeno que presentan las muestras de agua obtenidas en dentro del canal y a 200,00m de distancia en el Estero s/n se encuentra dentro de los límites máximos permisibles que establece la norma ambiental vigente.

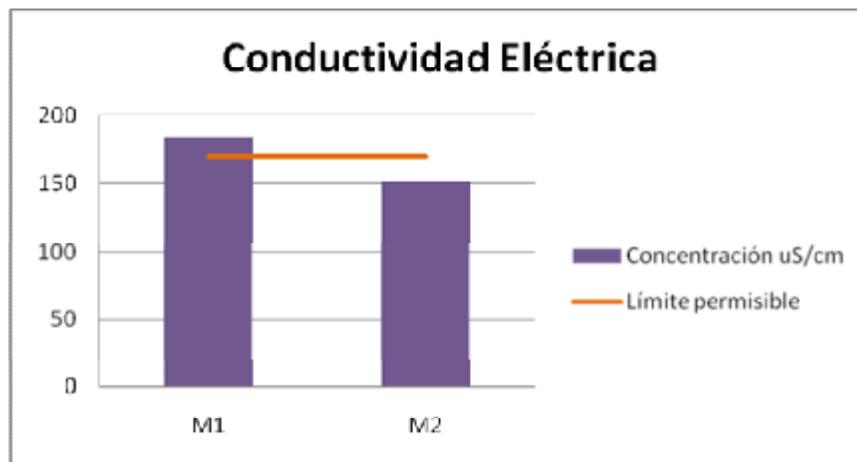


Figura # 39: Conductividad eléctrica en las muestras de agua tomadas en Canal de Descarga
E. PSO

La concentración de conductividad eléctrica supera al límite máximo permisible que establece el RAOHE 1215 en la tabla 4b, debido a la acumulación de sales que se presentan en la primera muestra tomada al final del Canal de Descarga detrás de la Estación Paraíso. Además se puede observar en la Figura # 39 que las concentraciones que tiene la segunda muestra, tomada a 200 m de distancia del canal llegan casi a la concentración que establece la norma por lo que el Estero s/n también presenta contaminación.

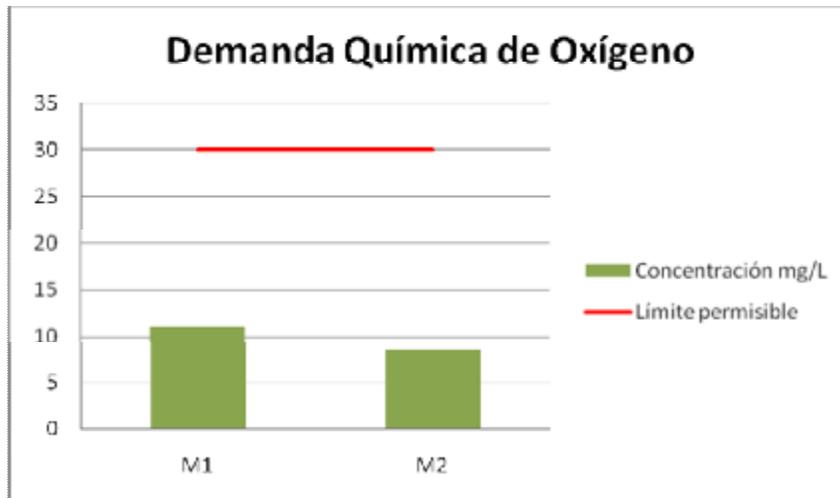


Figura # 40: Demanda de Oxígeno en las muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO

En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno, las concentraciones tanto en la muestra de agua 1 como en la 2 no superan el límite máximo permisible, lo cual podría darse por ser esta una zona lluviosa.

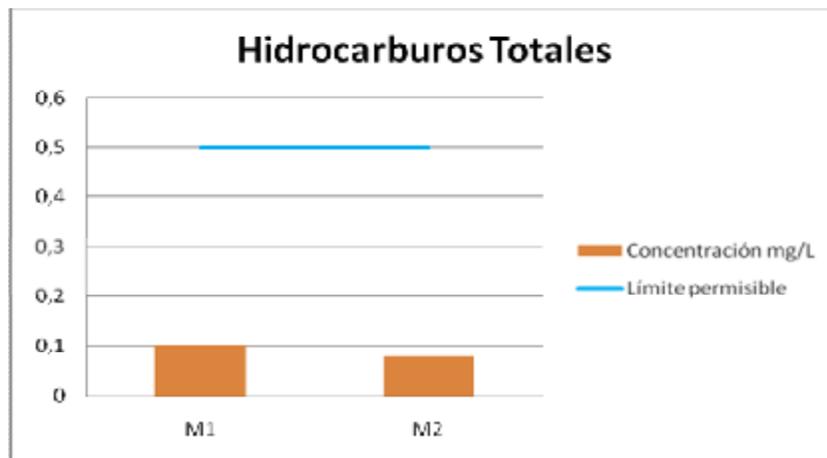


Figura # 41: Concentración de TPH's en las muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO

De igual forma que en la figura anterior, en la figura # 41 se puede observar que los Hidrocarburos Totales tampoco superan los límites máximos que establece la norma ambiental, por lo que el agua no tiene presencia de TPH. Solo el sedimento.

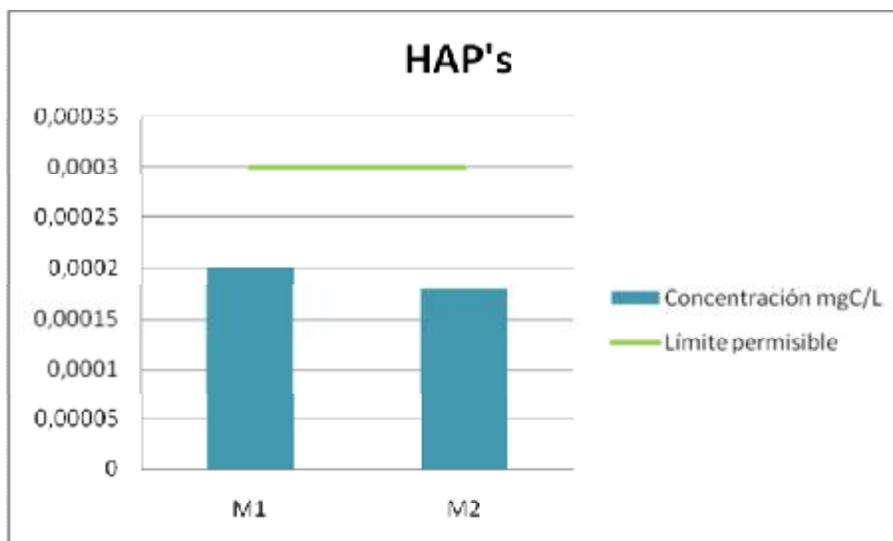


Figura # 42: Concentración de HAP's en muestras de agua tomadas en Canal de Descarga E. PSO

Las concentraciones de HAP's en el agua, no son elevadas como se puede observar en la Figura superior. Tanto la muestra de agua tomada en el canal como a 200m del mismo en el estero s/n, no presentan hidrocarburos aromáticos, los cuales son muy perjudiciales para la salud según la ASTM.

4. DISCUSIÓN:

Una vez analizado el estado actual de los pasivos ambientales identificados, cercanos a las plataformas PSO 2, PSO3, PSO 9, HUA1 y Estación Paraíso dentro del campo PBH, se pueden considerar diferentes propuestas de remediación para cada uno de ellos.

Cabe recalcar que antes de empezar con la remediación de cada uno de los pasivos, se debe realizar un análisis detallado de las concentraciones de pH, Nitrógeno, Fósforo y Potasio para determinar si los niveles o cantidades de tales parámetros se encuentran estables en el suelo contaminado y así los microorganismos puedan hacer uso de los mismos. Los resultados de estos análisis, permitirán determinar las cantidades y tipos de nutrientes que se deberán colocar en los suelos contaminados para mejorar su textura y crecimiento microbiano nativo.

Con las pruebas de laboratorio se puede determinar la relación óptima de C:N:P necesaria para degradar los residuos. Según Eweis *et al* (1999), para la adición de nutrientes se necesita una relación de 100 a 300:10:1. Pruebas de laboratorio podrían mostrar que a altas concentraciones de nitrógeno y fósforo se trabaja mejor para degradar residuos. Aunque la

alta concentración de los mismos puede originar dos problemas; el aumento de costo y el efecto resultante de la salinidad y presión osmótica.

4.1. Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental PSO 2:

Para la remediación de este pasivo ambiental, se puede considerar un tratamiento *ex situ* (fuera del sitio), debido a que su ubicación puede resultar perturbadora tanto para el personal que trabajaría en la remediación del pasivo ambiental, como para el personal de la plantación ya que el manejo de contaminantes podría generar contingencias y como consecuencias, problemas con la comunidad. Además el espacio que existe en la plataforma del pozo PSO2, no es suficiente para realizar el tratamiento de todo el material, a menos que se quiera realizar por partes.

Metodología PSO 2:

El método de bioremediación más usado para este tipo de contaminaciones, es el biotratamiento. El tratamiento biológico es la degradación del residuo orgánico por la acción de los microorganismos. (LaGrega, 1996). Los microorganismos asimilan al hidrocarburo como fuente de energía para su crecimiento y reproducción, debido a que no existe en el medio otra fuente de carbono que les pueda servir.

El contaminante a tratar, no será considerado como un contaminante recalcitrante (suelo a la intemperie), sino como crudo producto de un derrame, debido a sus características de viscosidad, por lo tanto el tratamiento biológico que se propone para remediar el suelo contaminado de éste pasivo ambiental, es el de *landfarming*.

El *landfarming* o tratamiento en lechos, es uno de los procesos más sencillos de biorrecuperación. El medio contaminado, suelo, fango, sedimento o líquido residual se esparce en capas finas y se laborea. El nuevo material contaminado se añade regularmente. El labrado consigue la aireación, así como la mezcla, lo que puede mejorar el transporte de masa y la bioaccesibilidad. Para mejorar la actividad microbiológica se debe hacer un seguimiento regular y se deben ajustar, cuando sea necesario, los nutrientes, el contenido de humedad y el pH (Eweis *et al*, 1999).

Cuando se aplica el suelo contaminado a una Unidad de Tratamiento en Lechos (UTL), el volumen se incrementa debido al esponjamiento ya que debe tomarse en cuenta la perturbación del suelo durante la excavación. El volumen del suelo tras ser esparcido en una UTL es aproximadamente 1,25 a 1,4 veces el volumen de suelo a excavar. Éste es un tratamiento aerobio en el cual se realizan pilas con el suelo contaminado. La profundidad a la que se distribuye el suelo es crítica para facilitar la difusión de oxígeno. La profundidad depende de las propiedades del suelo, equipo de laboreo y cantidad de suelo a tratar. Si se desea tener un tratamiento efectivo, se aconseja que la profundidad del suelo en una única capa sea mayor de 15 cm pero no exceda 61 cm (Eweis *et al*, 1999).

Entre los nutrientes más utilizados, con el fin de ayudar a estabilizar las cadenas de carbono que son parte de los hidrocarburos degradados, están: melaza, pedazos de cáscaras de limón o naranja que sirva como desengrasante natural. Además se debe tomar en cuenta el contenido óptimo de humedad, la cual se mide con relación a la capacidad de campo del suelo en estudio. De acuerdo a Eweis *et al* (1999), la capacidad de campo se define como la humedad de un suelo que se ha saturado con agua y dejado drenar libremente durante 24 horas.

Las pilas serán removidas con la ayuda de maquinaria para suplir con oxígeno tanto a las bacterias como a la materia orgánica (suelo). Además se controlarán parámetros de humedad, pH y temperatura, al menos una vez a la semana. Con el control de estos parámetros, se sabrá que los microorganismos autóctonos se encuentran en un ambiente estable y óptimo para su crecimiento y por lo tanto serán capaces de degradar el contaminante que en este caso son hidrocarburos. Además es recomendable realizar un conteo bacteriano al comienzo, durante y al final del proceso de remediación, para calcular si la población original de microorganismos es capaz de degradar los contaminantes.

En este pasivo ambiental, además de la recuperación del suelo contaminado, se debería considerar la posibilidad de recuperar el crudo encontrado dentro de la piscina. Según los muestreos que se hicieron, se tiene un volumen aproximado de 130m³ de material contaminado con una concentración de 40.000 ppm de TPH, es decir se podrían recuperar alrededor de 812 barriles de petróleo con sedimentos.

El material será removido con las debidas precauciones y cadenas de custodia. Esto significa, que los transportistas y personal encargado del manejo de las máquinas deberán estar

previamente capacitados para el transporte de material contaminado y dotados del equipo de protección personal respectivo.

Para la remoción de este material, se debe considerar la posibilidad de eliminar algunas palmas que se encuentran al ingreso del camino; entre 3 ó 4 palmas, que irrumpirían en la entrada de la maquinaria para sacar el material de la piscina.

4.2. Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental PSO 3:

Para el tratamiento de este pasivo ambiental, se propone un tratamiento *in situ* (en el sitio), enfocándose en la zona que se encuentra fuera de la piscina identificada como pasivo ambiental. Como se demostró en los resultados, las mayores concentraciones de TPH's se encuentran localizadas en esta zona. Además, por políticas de la empresa, se considerará a la primera zona muestreada como una zona que tiene concentraciones de TPH's superiores al límite máximo permisible que establece la norma ambiental vigente.

El tratamiento *in situ* de este pasivo ambiental, permitirá reducir costos de transporte. Asimismo, se podrá dar un mejor manejo al suelo contaminado el cual se localiza por sectores alrededor de la piscina.

Metodología PSO3:

De igual manera que el suelo del pasivo ambiental ubicado en el PSO2, se aplicará un tratamiento biológico aerobio; sin embargo no se considerará la excavación, sino la remoción del suelo para permitir la aireación del mismo en el sitio donde se ubica. El suelo contaminado que se encuentra dentro de este pasivo ambiental, será considerado como suelo con contaminantes recalcitrantes o persistentes por encontrarse a la intemperie por un largo periodo.

Como se explicó en el marco teórico, los suelos intemperizados llegan a ser inaccesibles para microorganismos debido a las interacciones (puentes de hidrógeno) que se producen entre los contaminantes y la materia orgánica (Volke *et al*, 2003).

Las técnicas que se emplean para éste tipo de contaminantes son la bioaumentación y bioestimulación. Bioestimulación se define como la adición de nutrientes (principalmente fuentes de nitrógeno y fósforo) para favorecer el crecimiento microbiano. Bioaumentación se entiende como la adición de microorganismos endógenos o exógenos en un lugar específico

(en este caso los degradadores de hidrocarburos). La utilización de microorganismos es necesaria, ya que estos seres vivos poseen sistemas enzimáticos capaces de fraccionar las moléculas de hidrocarburo haciéndolas menos tóxicas y así poder assimilarlas e incorporarlas a sus procesos metabólicos, “transformándolas” en dióxido de carbono y agua (Navas *et al*, 2009)

Para la bioestimulación se pueden utilizar diferentes tipos de enmiendas (combinaciones de materiales orgánicos para mejorar la estructura del suelo, incrementar la porosidad y permitir una mayor permeabilidad al aire) como: Urea (46%) y Fertilizante 18:48:0 (18% N, 46% P) (Navas *et al*, 2009), Mezcla de paja, viruta, serrín, o compost (Eweis *et al*, 1999).

Además es importante tomar en cuenta que la adición de una fuente de calor favorece el crecimiento de altas concentraciones de microorganismos que generalmente incluyen las especies que degradan los contaminantes propuestos. En muchos casos la fuente de calor sirve como cometaolito necesario para la degradación de un contaminante que no sirve como fuente de carbono para el crecimiento. Se debe tener en cuenta el balance de nutrientes entre el carbono y el nitrógeno, el cual no debe ser superior al 20 o 25:1 (Eweis *et al*, 1999). A continuación se indica la relación carbono – nitrógeno de algunos residuos seleccionados:

Tabla # 24: Relación Carbono – Nitrógeno de residuos seleccionados

RESIDUO	C:N
Serrín	200-500
Paja de trigo	128-150
Paja de avena	48
Estiércol de caballo	25
Estiércol de vaca	18
Estiércol de aves de corral	15
Hierba segrada	12-15
Vegetales no leguminosos	11-12
Fangos activos	6
Orina	0,8

(Eweis *et al*, 1999)

La adición de nutrientes inorgánicos para compensar la ausencia de nitrógeno o fósforo en el suelo natural debe ser considerada para encontrar una relación óptima a base de pruebas de laboratorio. Eweis *et al* (1999) expresa que a altas concentraciones de nitrógeno y fósforo se trabaja mejor para degradar los residuos. En un estudio realizado en el Campo de Producción Sacha, por Navas *et al*, (2009), se consideró una relación óptima Carbono:Nitrógeno:Fósforo de 100:10:1 en base a ensayos previos realizados por este grupo de investigadores.

Tabla # 24: Ejemplos de adición de nutrientes de varias aplicaciones de campo

Relación C:N:P deseada	Adición de nutriente
100 : 2 : 0,4	Fosfato dihidrógeno de amonio (NH ₄ H ₂ PO ₄)
200 : 10 : 1	Nitrato amónico (NH ₄ NO ₃)
10 : 3 : 3	Fosfato diamónico ((NH ₄) ₂ HPO ₄)
100 : 10 : 1	Nitrato amónico (NH ₄ NO ₃)

(Eweis *et al*, 1999)

Para la bioaumentación se deberá realizar un aislamiento de bacterias nativas para encontrar las cepas degradadoras de hidrocarburos. Según Navas *et al*, (2009) en su proyecto experimental, las cepas que mejor se adaptan para usar los hidrocarburos como fuente de carbono son: *Pseudomonas fluorescens*, *Burkholderia gladioli*.

Con las cepas escogidas en base a la identificación y caracterización realizadas se formarán bancos de almacenamiento de microorganismos y posteriormente un consorcio bacteriano. El consorcio formado deberá ser masificado en fermentador biológico para ser aplicado en campo (Navas *et al*, 2009).

Antes de inocular las bacterias degradadoras al suelo para empezar con la remediación del mismo, se deberá mezclar el suelo contaminado con las enmiendas escogidas, seguido de esto se deberá realizar una cuantificación de nutrientes para determinar las cantidades óptimas de Nitrógeno, fósforo y potasio. Se aplicará aireación periódica para proveer de oxígeno al

sistema. De preferencia se usará maquinaria agrícola (rotor o monocultor) para facilitar la movilidad del suelo y alcanzar mayores profundidades. Se debe tener en cuenta que este pasivo ambiental se encuentra ubicado en una zona inundable por lo que la remediación se debe empezar en la época seca del año, es decir entre los meses de Junio a Septiembre. Es importante realizar una óptima fiscalización para verificar el avance del trabajo. Esto se puede verificar a través de muestreos trimestrales de parámetros críticos como pH, TPH, temperatura, humedad.

4.3. Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental PSO 9:

Para la gestión de este pasivo ambiental se puede considerar un tratamiento aerobio *ex situ*, aplicando la misma técnica de excavación que en el PSO2 y seguidamente un tratamiento en lechos sobre el terreno de la plataforma PSO9.

Metodología PSO 9:

Para la remediación de estas dos piscinas se debe previamente realizar la construcción de dos cubetos adecuados para la remediación de suelos contaminados sobre la plataforma PSO9, es decir que deben existir al menos los siguientes componentes principales:

Capa impermeable: previene la infiltración del líquido contaminado en el suelo no contaminado. Se usan pantallas sintéticas o capas de arcillas compactadas (60 a 90cm de arcilla).

Red de drenaje: Sirve para recoger lixiviados que se generan por el riego o por la infiltración de aguas lluvias. Se puede insertar tubos perforados para facilitar el sistema de drenaje.

Zona de tratamiento de suelo: Se debe tener en cuenta una pendiente de 0,5 a 1,0 por 100, para prevenir el encharcamiento y verter la escorrentía en el sumidero. Los valores superiores no son recomendables ya que se puede incrementar la erosión superficial.

Terraplenes: Son necesarios para la protección frente a la contaminación cruzada entre unidades de tratamiento. Además previenen vertidos incontrolados debido a fuertes lluvias. Se debe considerar una altura de 30cm mayor al punto más alto de la última capa.

Laguna de almacenamiento de agua o Sumidero: Sirve para la recolección y retención de lixiviados que pueden contener contaminantes (Eweis *et al*, 1999).

Los residuos que van a experimentar el tratamiento sobre el terreno se aplican uniformemente sobre la superficie, extendiéndolos en hileras que no tengan una altura mayor a los 60cm.

Al igual que la propuesta realizada para la remediación del pasivo ambiental ubicado cerca de la plataforma del PSO3, para la recuperación del suelo de estas piscinas, se propone la bioestimulación y bioaumentación.

Para la bioestimulación, se pueden aplicar nutrientes y diferentes enmiendas como los que se enlistan en la Tabla # 24 y 25 para mejorar la estructura del suelo y brindar mejor aireación a los microorganismos autóctonos que se encuentran en el suelo.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que los suelos más permeables, es decir arenosos tienden a airear y drenar mejor, permitiendo mayores aplicaciones de compuestos orgánicos que los finos (arcillas) que son poco permeables (LaGrega *et al*, 1996).

Todo suelo posee una población microbiana nativa, compuesta por bacterias, levaduras, actinomicetos, hongos, algas y protozoos, que se denomina cohorte o consorcio microbiano. Las bacterias generalmente predominan numéricamente sobre los otros grupos (Pozzo, 2000).

Por lo tanto para la bioaumentación, se requiere incluir microorganismos que han desarrollado formas de resistencia que les permitan sobrevivir por largos períodos sin realizar actividades metabólicas, generalmente como respuesta ante condiciones ambientales desfavorables.

La caracterización microbiológica de los suelos se debe realizar sobre las muestras superficiales, seguidamente se las debe aislar sobre medios de cultivo adecuados para identificar cuáles son las cepas degradadoras de microorganismos o también conocidas como poblaciones hidrocarburolíticas (Pozzo, 2000).

Finalmente se obtendrán los resultados que permitan evaluar numéricamente las poblaciones de microorganismos con actividad hidrocarburolítica (actividad en la cual microorganismos se alimentan de hidrocarburo). El número adecuado es tener 10^3 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) (Pozzo M, 2000).

Para las inoculaciones de los microorganismos en el suelo, una vez masificados en un biorreactor, se debe tener en cuenta las alturas de las hileras y su extensión.

El laboreo del suelo se lo realizará de forma continua con roto cultores y se controlará los niveles de pH, humedad y temperatura a través de un cronograma establecido.

4.4. Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental HUA 01:

El pasivo ambiental que se formó cerca de la plataforma HUA 01 a partir de los condensados del mechero antiguo, es un pasivo de tamaño reducido. Es decir a comparación de las otras piscinas que fueron parte de este estudio, en la plataforma HUA01 se tiene un volumen aproximado de 120m³ por lo que se podría proponer un tratamiento *ex situ*.

Cabe recalcar que la Comunidad Corazón de Oriente, ha realizado un pedido expreso a ENAP – Sipetrol para participar en el levantamiento de pasivos ambientales por lo que la empresa debería tenerlo en cuenta.

Metodología HUA 01:

Para el tratamiento *ex situ*, al igual que en el pasivo ambiental del PSO9 se debe considerar la construcción de cubetos impermeabilizados adecuados para realizar un tratamiento aerobio tipo compost sobre la plataforma del Huachito 01.

El compostaje es una técnica que se utiliza para degradar los compuestos sólidos orgánicos a material húmico para su utilización como acondicionador de un suelo (LaGrega *et al*, 1996).

La mayoría de los residuos peligrosos no contienen una concentración elevada de sustancias orgánicas para mantener el compostaje; sin embargo, se puede realizar el compostaje mezclando una pequeña cantidad del residuo peligroso con sólidos que sean altamente biodegradables (LaGrega *et al*, 1996).

En el sistema de compostaje es importante controlar periódicamente la temperatura, el pH y la humedad, al igual que el tratamiento en unidades de tratamiento en lechos. Con respecto a la temperatura, este proceso se puede dividir en cuatro periodos:

- **Mesofílico:** Cuando la masa vegetal se encuentra a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

- **Termofílico:** Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.
- **De enfriamiento.** Cuando la temperatura es menor de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que reinvasen el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40 °C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.
- **De maduración.** Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

El tratamiento en compost puede aplicarse de diferentes formas:

Hileras: La mezcla del residuo y las sustancias orgánicas se apila en largas filas y se da la vuelta una o dos veces por semana, o incluso diariamente. El volteo airea la mezcla y libera el exceso de calor; también incrementa la liberación de los volátiles (LaGrega *et al*, 1996).

Pilas estáticas: Es similar a la técnica en hileras excepto que las pilas no se voltean. En su lugar, al construir las pilas encima de una red de tuberías perforadas, el aire es mecánicamente extraído a través de las pilas. Se crea un sistema de aireación negativa, por un vacío en la base de la pila (LaGrega *et al*, 1996).

De igual forma que en las Unidades de Tratamiento en Lechos (UTL), en el tratamiento de compost se puede inocular microorganismos especializados en degradación de hidrocarburos, de preferencia microorganismos autóctonos.

4.5. Propuesta de Remediación Pasivo Ambiental CANAL DE DESCARGA – ESTACIÓN PARAÍSO:

Previo la gestión de este pasivo, primeramente se recomienda la posibilidad de entubar el agua de descarga de la Estación Paraíso para que se dirija directamente a una trampa tipo API,

finalmente se descargará al estero sin nombre. De esta manera se podrá manejar el suelo contaminado como una zona seca sin la presencia de agua.

De lo contrario, si no se pudiera entubar el agua de descarga, se optaría por realizar el procedimiento de remediación que se ha pensado internamente con el personal del Departamento HES de ENAP – Sipetrol.

Metodología:

El tratamiento que se ha pensado, dentro de las posibilidades que propone el personal de la empresa, consiste en hacer uso de los actuales cuellos de ganso que se han ubicado a cierta distancia uno del otro para que sirvan como trampas de grasa; parte de un pre-tratamiento. Seguidamente se utilizarán las divisiones que se han realizado a lo largo del canal como diques de contención para realizar un *by-pass* y trabajar en cada una de las divisiones, remediando el sedimento contaminado con hidrocarburos.

Además otra de las propuestas para la remediación de este pasivo sería la colocación de una capa de arcilla o material que sirva como sello para evitar el paso de contaminantes desde el sedimento al agua que se descarga directamente al estero sin nombre.

Según un estudio realizado por Harris M (2003) en “Lake Charles” Louisiana sobre el tratamiento *in situ* de nivelación sobre el sedimento de esta laguna que estaba contaminada con residuos de hidrocarburo y HAP’s, se obtuvo un como resultados que aplicando un suelo arenoso de grado medio (limo-arenoso) sobre el sedimento de la laguna se podía mitigar la migración de HAP’s, aguas subterráneas y gas a la superficie.

Para determinar la altura de la capa de nivelación que se colocará sobre el sedimento contaminado, se deben realizar estudios de consolidación de las partículas de sedimento que se encuentran en el fondo de una fuente de agua (Harris, 2003).

Como una tercera opción para la remediación de este pasivo, se puede considerar el tratamiento *ex situ*, siempre y cuando se haya podido entubar el agua de descarga de la Estación Paraíso.

Para la gestión de este pasivo, se deberá entonces considerar un tratamiento aerobio en Unidades de Tratamiento en Lechos en las orillas del canal, tratando de eliminar el suelo de

los alrededores del canal para colocar camas alargadas y proceder de la manera que se ha descrito anteriormente para los tratamientos de “*Landfarming*”.

4.6. COSTEO:

Para poder tomar decisiones más acertadas acerca de las propuestas de remediación de cada pasivo expuestas anteriormente, se detalla a continuación los costos que implican tanto la remediación *in situ* como *ex situ*:

Remediación <i>in situ</i>		
ITEM	UNIDADES	COSTO (USD)
Remediación de Material en sitio	m ³	120
Remoción y desbroce	Horas/hombre	50
Construcción de cubeto impermeabilizado (aproximadamente 480m ²)	m ²	9000
Movilización de maquinaria	Viaje al sitio	600
Retroexcavadora	Hora	60

Remediación <i>ex situ</i>		
ITEM	UNIDADES	COSTO (USD)
Remediación de Material	m ³	180
Remoción y limpieza de material	Horas/hombre	60
Transporte de material contaminado	m ³ /15Km	50
Transporte de material limpio para relleno	Viaje	80
Movilización de maquinaria	Viaje al sitio	600
Retroexcavadora	Hora	60

Como se puede observar, los costos de remediación *ex situ* transportando el material contaminado a otro sitio fuera de la plataforma, implica la consideración de mayores ítems que en el de remediación *in situ*, es decir remoción del material pero realizando el tratamiento dentro de la misma plataforma.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

PARAÍSO 02:

- El análisis de *finger-print*, que se realizó en Octubre del 2009, depende de sus resultados que el crudo es menor a 5 años. Como se puede observar en la descripción del muestreo, cuando se realizó la calicata dentro de la zanja contaminada, se encontró que el crudo ubicado dentro de esta piscina está cubierto por una capa de suelo de aproximadamente 0,50m, por lo que se concluye que el mismo no ha sido expuesto a factores climáticos como precipitaciones, viento o altas temperaturas, por lo tanto no se lo puede calificar como un crudo en estado de intemperie. Sus características químicas y cadenas de carbono no se han podido degradar totalmente, por tal razón se podría considerar la recuperación de este crudo.
- Del volumen total aproximado de 338m³, un aproximado de de 130m³ (89%) tienen una concentración de 40.000 ppm en TPH. Se debe considerar que el material contaminado se encuentra bajo una capa de suelo de 0,50m de espesor.
- El área donde se tomó la segunda muestra compuesta en el pasivo ambiental PSO2 (de color azul en la Figura # 14), tiene una concentración de TPH de 16.314 ppm, por lo que al igual que la primera zona, también supera el límite máximo permisible que establece el RAOHE. Existe un volumen de 40,00m³ con la concentración de TPH antes mencionada.
- Finalmente, en la tercera área que se muestreó, se obtuvo un volumen aproximado de 65,00m³ de suelo con una concentración de TPH de 120 ppm, concentración que no supera el límite máximo permisible.

- Con el fin de ajustar los volúmenes de la zona contaminada, se recomienda realizar otro muestreo con herramientas que tengan un mayor alcance en cuanto a longitud, ya que así se podría determinar otras condiciones que no se pudieron determinar en este muestreo como: Existencia o no de “*liner*” bajo la piscina.

PARAÍSO 3:

- El pasivo ambiental ubicado cerca de la plataforma del pozo PSO 3 es una piscina no taponada, que ya ha tenido una gestión de remediación del suelo debido a contingencias que se presentaron en el año 2006. Sin embargo, existe todavía la presencia de crudo en el suelo que podría derivarse de una inadecuada remediación.
- El análisis de *finger-print* que se realizó en Enero del 2010 no especifica la edad aproximada del crudo encontrado en el lugar de estudio. Sin embargo el análisis de laboratorio especifica en sus resultados que se denota degradación del crudo por efectos de oxidación y ataque microbiano.
- Las concentraciones de TPH dentro de la primera zona de muestreo, es decir dentro de la piscina que se ha identificado como pasivo ambiental, no superan los límites máximos permisibles que establece la Tabla # 6 del Anexo # 2 del RAOHE para zonas agrícolas; Sin embargo se ha determinado que la zona que presenta una concentración de 2323,86ppm de Hidrocarburos Totales debe ser intervenida mediante una gestión de remediación.
- El volumen aproximado a considerarse para la gestión de remediación de suelos de la primera zona, que se encuentra dentro de la piscina, es de 932,64m³ para lo cual se considerará un suelo contaminado con crudo a la intemperie.
- Dentro de la segunda zona de muestreo del pasivo ambiental PSO 3, se demostró que las concentraciones de Hidrocarburos Totales superaron los límites máximos permisibles que establece la norma, encontrándose un suelo contaminado con 3.284,36 ppm. El área que abarca esta zona es de 106,43 m³ y se encuentra fuera de la piscina considerada como pasivo ambiental.

- Los análisis de la muestra puntual que se obtuvo a una profundidad de 1,80m, la cual a simple vista parecía tener lodos de perforación, no demostraron la presencia de los mismos ya que los parámetros analizados no superan los límites máximos permisibles que establece la norma tanto para base sin impermeabilización como para base impermeabilizada. Por lo tanto no se necesita plantear una gestión para tratamiento de lixiviados.
- Los muestreos realizados en la zona ubicada en sentido “Este” de la plataforma PSO3, muestran contaminación del suelo con hidrocarburos. Sin embargo, esta concentración de TPH’s no supera el límite máximo permisible que establece la norma ambiental vigente para Operaciones Hidrocarburíferas.
- Se recomienda dar una gestión adecuada, verificando a través de monitoreos continuos, que los métodos de remediación aplicados han sido efectivos dentro del área contaminada para evitar realizar nuevamente planes de remediación dentro de la misma zona. Además los costos destinados a Reparación Ambiental serían menores.

PARAÍSO 9:

- Las caracterizaciones realizadas dentro de la piscina “Oeste” revelan en los resultados de laboratorio, que las concentraciones de Hidrocarburos Totales es de 15.090,75 ppm por lo que supera al límite máximo permisible. Se pudo determinar que un volumen aproximado de 757,70m³ se encuentra contaminada con esta concentración de TPH’s.
- La piscina “Este” no pudo ser muestreada en su totalidad, debido a la presencia abundante de vegetación (Figura # 16). Sin embargo dentro de la zona que se pudo caracterizar el suelo, se determinaron concentraciones de TPH’s de 7898,12 ppm que de igual manera que la segunda zona muestreada, supera al límite máximo permisible que establece la norma ambiental vigente para operaciones Hidrocarburíferas.
- El volumen determinado de contaminación dentro de la piscina “Este” es de 1249,50m³ aproximadamente. Cabe recalcar que este volumen no representa a toda la piscina identificada como pasivo ambiental.

- La presencia de vegetación dentro de las dos piscinas identificadas como pasivos ambientales, no demuestra la ausencia de contaminantes, sino la adaptación que han tenido dichas especies para tolerar las concentraciones de contaminantes en el suelo. Por lo que esta vegetación también debe considerarse como material contaminado al momento de proponer una remediación para estos pasivos ambientales.

HUACHITO 01:

- El pasivo ambiental, situado en la plataforma de Huachito 01, a pocos metros tras el mechero actual; se formó debido a la falta de cubeto de contención bajo el mechero antiguo con los condensados que se generaron al quemar el gas que sale de la propia producción del crudo.
- La gestión de este pasivo abarca la remediación de aproximadamente 120m³ de suelo contaminado que se encuentra en un sitio puntual. El último muestreo realizado reveló que el suelo que se encuentra en los alrededores no presenta contaminación que supere los límites máximos permisibles establecidos en la norma ambiental.
- Se recomienda gestionar este pasivo lo antes posible, ya que el mismo se encuentra en una plataforma de acceso directo a una vivienda de la comunidad Corazón de Oriente.

CANAL DE DESCARGA ESTACIÓN PARAÍSO:

- El pasivo ambiental en estudio, ya ha tenido un seguimiento sobre su estado desde el año 2007 como parte de los monitoreos que se realizan trimestralmente a los cuerpos de agua que reciben sus descargas.
- Como se evidencia en los resultados de los análisis fisicoquímicos que se han realizado a las muestras de suelo en las diferentes divisiones a lo largo del canal; todo el sedimento del canal de descarga de la Estación Paraíso se encuentra contaminado con hidrocarburos hasta una profundidad de 1,20m aproximadamente.
- La muestra M4 (Ver Figura #8), la cual pertenece a la cuarta división donde se encuentra el pantano del canal de la Estación Paraíso, cercano a la descarga al estero

sin nombre, presenta las mayores concentraciones de hidrocarburos totales con respecto al resto del canal, por lo que se debe dar un mayor énfasis al tratamiento de este sedimento.

- Se debe considerar el estudio de los suelos que se encuentran entre las divisiones 2 y 3 del canal que se dirige subterráneamente, ya que al igual que el resto del canal debe encontrarse contaminado, tanto con hidrocarburos como metales.
- Es recomendable estudiar la posibilidad de entubar el agua que se descarga al canal, para evitar continuar con el arrastre de material contaminado que se desprende de los fondos del canal y se dirigen hasta el estero sin nombre. Si existiera la posibilidad de entubar el agua, entonces se podría descargar hacia una trampa de grasas para luego descargarla al canal.
- En caso del entubamiento del agua de descarga de la Estación Paraíso, los tratamientos del suelo y sedimento contaminado podrían manejarse de mejor manera ya que no existiría la presencia de agua.

GLOSARIO:

Agua de formación: Agua fósil que se encuentra conjuntamente con el petróleo y el gas en los yacimientos de hidrocarburos. Puede tener diferentes concentraciones de sales minerales. (PETROECUADOR, 2004)

Aluvial: Condición geográfica de un área que se encuentra en zonas acumulativas, en donde el aporte de materiales se realiza por cualquier formación de planicie. (PETROECUADOR, 2004)

Biodegradación: Descomposición del material orgánico por parte de microorganismos en suelos, masas naturales de agua o sistemas de tratamiento de aguas residuales. (PETROECUADOR, 2004)

Biorremediación: Proceso de remediar sitios contaminados aprovechando el potencial microbiano de degradar los contaminantes orgánicos, optimizando a través de técnicas mecánicas y fisicoquímicas las condiciones para la acción microbiológica. (PETROECUADOR, 2004)

Crudo interperizado: Crudo que ha sido expuesto por un período largo a la intemperie, bajo la incidencia de temperatura, radiación solar, humedad y acción biológica y en consecuencia tiene alteraciones en su composición y características fisicoquímicas (PETROECUADOR, 2004).

Desemulsificantes: Sustancias o agentes que rompen y desplazan la película de agente emulsionante que rodea a la gota de agua, aumentando la tensión superficial y atracción entre las moléculas de agua propiciando la coalescencia, otra propiedad de este agente, es la capacidad para humectar los sólidos presentes en la emulsión, para que sean incorporados al agua separada. (PETROECUADOR, 2004)

Muestra Compuesta: Una combinación de muestras individuales de agua o suelo, tomadas a intervalos preseleccionados para minimizar el efecto de la variabilidad de las muestras individuales. (PETROECUADOR, 2004)

Nutrientes: Sustancia necesaria para el crecimiento y desarrollo normal de un organismo. Estos elementos circulan por la biósfera en ciclos bioquímicos, por lo cual se designan también como ciclos nutritivos. (PETROECUADOR, 2004)

BIBLIOGRAFÍA:

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (1998), Reseña Toxicológica de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU., Servicio de Salud Pública. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs123.html
- Araúz L, (2006) PETRÓLEO Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN EL ECUADOR – Contratación Petrolera Ecuatoriana., Guillaume Fontaine Ed. FLACSO. Quito – Ecuador.
- Auditoría Ambiental Integral a los Campos Paraíso, Biguno y Huachito (PBH). (2002), Ecuambiente Consulting Group.
- Eweis J *et al*, (1999), Principios de Biorrecuperación, Tratamiento para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos, McGraw Hill Ed., Madrid – España.
- Falconí, F. (2004). Los Pasivos de la Industria Petrolera. A propósito del Juicio de la Texaco. En Petróleo y Desarrollo Sostenible en Ecuador: 2.Las Apuestas. Fontaine, G (Ed.) FLACSO - ECUADOR.
- Fernández y Lara, (1998) Los Shocks Exógenos y el Crecimiento Económico del Ecuador, Nota Técnica 48, Banco Central del Ecuador, Quito – Ecuador.
- Gómez *et al*, (2009) Evaluación de la bioestimulación frente a la atenuación natural y la bioamentación en un suelo contaminado con una mezcla de gasolina-diesel, Universidad Nacional de Colombia – Medellín. Disponible en: <http://dyna.unalmed.edu.co/ediciones/160/articulos/a08v76n160/a08v76n160.pdf>
- Gordillo J, (2006) PETRÓLEO Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN EL ECUADOR - Importancia del Petróleo en el Ecuador., Guillaume Fontaine Ed. FLACSO. Quito – Ecuador.
- Harris M, (2005), An In Situ Capping Design for the Remediation of Petroleum Contaminates Sediments. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Chemical Engineering in The Department of Chemical Engineering. Carnegie Mellon University – United States.
- LaGrega *et al*, (1996), Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, Eliminación y Recuperación de suelos, Volumen II, McGraw Hill Ed., Madrid – España.

- Leffler M, (2004), PETRÓLEO, GestioPolis – Revista de economía, Bogotá - Colombia.
- Montoya J, et al, (2002) Efectos Ambientales y Socioeconómicos por el Derrame de Petróleo en el Río Desaguadero, Offset Bolivariana Ed., La Paz – Bolivia.
- Navas S *et al*, (2009), Tratamiento Biológico de Suelos Contaminados con Hidrocarburos, procedentes del Campo Sacha, mediante cepas bacterianas nativas. Laboratorio de Ciencias Biológicas PETROECUADOR.
Disponible en:
http://www3.inecol.edu.mx/solabiaa/ARCHIVOS/documentos/congresos/algal2008/memorias-cd/archivos%20pdf/biotec-ambiental/B_Orales/BO-04.pdf
- Nuñez *et al*, (2002) Biorremediación de Hidrocarburos de los sedimentos de la Bahía de La Habana, Publicado en *Revista Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*.
Disponible en:
<http://iodeweb1.vliz.be/odin/bitstream/1834/2920/1/Biorremediaci%C3%B3n%20de%20hidrocarburos%20como%20sedimento%20de%20la.....pdf>
- Powers B, *et al.*, (2006) Análisis Crítico del Caso Texaco: Sumisión 2., El MANEJO DE DESECHOS DE TEXACO EN ECUADOR FUE ILEGAL Y VIOLÓ LOS ESTANDARES DE LA INDUSTRIA. Disponible en:
http://www.etechninternational.org/new_pdfs/chevron_texaco/CustomaryPracticesAnnex_Submission2_FINALSpan.pdf
- Pozzo M, (2000), Diseño y Ejecución de un Plan de Biotratamiento para Residuos (Cortes) de Perforación de la Actividad Petrolera por la Metodología de Biodegradación con Bioaugmentación. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Brasil.
- Programa de Recuperación Ambiental y Social (PRAS). (2009), Ministerio de Medio Ambiente, Unidad del Equipo Gestor del PRAS.
- Reyes, F, y Ajamil, C.- (2005). Petróleo, Amazonía y Capital Natural, Casa de la Cultura Ecuatoriana “Bejamín Carrión”, Pedro Jorge Vera (Ed.) QUITO – ECUADOR.
- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía (SNMPE)., (2004), Informe Quincenal de la SNMPE, Lima – Perú.

- SolBio, (2010) Hidrocarburos en suelos, Buenos Aires - Argentina. Disponible en: <http://www.solbio.com/Soluciones.asp?seccion=Hidrocarburos%20en%20Suelos>
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).
- Volke T, *et al.*, (2003) BIODEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO EN SUELOS INTEMPERIZADOS MEDIANTE COMPOSTEO, Centro Nacional de Capacitación e Investigación Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.