



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

Facultad de Ciencias Ambientales

Tesis de grado previa la obtención de título de Ingeniería  
Ambiental

**ESTUDIO SOBRE LA EFICIENCIA EN LA  
REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES  
DE PETRÓLEO EN SUELOS CONTAMINADOS,  
MEDIANTE EXTRACCIÓN CON SOLVENTES  
ORGÁNICOS**

**Autor:**

Andrés Romero Miño

**Director de Tesis:**

Dr. Carlos Ordóñez

Quito – Ecuador

**2004-2005**

***Dedicatoria:***

Mi dedicación e inspiración para llegar a ser el mejor provienen del ejemplo de mis padres que me han demostrado que la vida se la gana con trabajo y sacrificio y que toda labor con empeño es recompensada tarde o temprano.

Dedico en especial, no solo este trabajo sino mi vida misma a mi madre Carmen Miño, que sin su amor incondicional no hubiera podido superar las peores etapas de mi vida.

A mis hermanas que siempre han estado en el momento oportuno para brindarme su cariño y afecto.

Para mi sobrina Andrea Valentina ya que el mundo pertenece a las nuevas generaciones y es nuestro deber proteger el ambiente en el que ellos van a sobrevivir.

A mi novia y confidente que cada día logra en mí un sueño de superación y dedicación para poder llegar a ser un hombre mejor y con ella poder construir una vida en conjunto, en familia.

***Agradecimiento:***

Agradezco a mis padres por haber sido mi soporte, ayuda e inspiración. Sin ellos no sería la persona que soy y quiere ser.

A mi novia, amiga, compañera y completo que gracias a ella todas las noches de desvelo se convirtieron en noches de inspiración.

A mi director de tesis Dr. Carlos Ordóñez por no ser solo un profesor sino también un buen amigo.

## RESUMEN

Para la realización de este estudio sobre la determinación de la eficiencia de remoción de seis solventes orgánicos en suelos contaminados con petróleo, se seleccionaron 2 Kilogramos del suelo amazónico ecuatoriano, una porción se utilizó para preparar la muestra blanco y la otra para preparar la muestra con una concentración conocida de 50000 ppm de Hidrocarburos Totales de Petróleo.

El proceso de extracción de TPH mediante solventes orgánicos se realizó en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK utilizando un equipo de extracción tipo “Soxhlet”.

Se emplearon seis solventes orgánicos diferentes: Acetona, Metanol, Hexano, Éter de petróleo, Xileno (mezcla) y 1,1,1 Tricloroetano; con cada uno de ellos se realizaron dos ensayos para determinar la concentración de fondo y cuatro ensayos para medir la concentración de TPH removido de la muestra de suelo.

El mayor porcentaje de extracción se obtuvo con Acetona (33%) con una variación estándar de  $\pm 1\%$ . El menor porcentaje de remoción pertenece al Hexano (12%) con una variación estándar de  $\pm 3\%$ .

La concentración de fondo de mayor remoción pertenece al éter de petróleo (4881ppm) y el de menor concentración al 1,1,1 tricloroetano (947ppm). Ambos datos pertenecen a especies orgánicas distintas a los TPH presentes en el suelo y que son solubles en cada solvente empleado.

El análisis estadístico demuestra que la precisión es superior con el 1,1,1 tricloroetano ( $S = 324\text{ppm}$  o  $1\%$ ). La exactitud en todos los casos no se considera como buena ya que los solventes remueven menos del 33% de la concentración inicial de TPH. Según el análisis de varianza de datos para un sólo factor (ANOVA) se demostró que la distribución F es mucho más alta que F crítica, por lo tanto la concentración de TPH removido del suelo dependerá del solvente que se utilice.

## **ABSTRACT**

For the execution of this study on the decision about the efficiency of removal of six solvent organic in soils contaminated with petroleum, 2 Kilograms of the Ecuadorian Amazon soil were selected, one portion was utilized to prepare the white sample and the other for prepare the sample with a known concentration of 50000 ppm of Total Petroleum Hydrocarbons.

The Extraction process by organic solvents was carry out in the laboratory of the International University SEK, using an extraction equipment "Soxhlet type".

Six organic solvents were engaged: Acetone, Methanol, Hexane, Petroleum Ether, Xilene (mixture) and 1,1,1 Tricloroethane; with each one of them, two trials were carry out to determine the concentration of fund and four trials to measure the concentration of TPH removed from the soil sample.

The highest percentage of extraction was obtained with Acetone (33%) with a standard variation of  $\pm 1\%$ . The lowest percentage of removal belongs to Hexane (12%) with a standard variation of  $\pm 3\%$ .

The fund concentration with greater removal belongs to Petroleum Ether (4881ppm) and the smaller concentration to 1,1,1 tricloroethane (947ppm). Both values are from different organic species of TPH present on the soil and these are soluble in each solvent applied.

The statistical analysis shows that the precision is higher with 1,1,1 tricloroethane ( $S = 324\text{pp}$  or  $1\%$ ). The accuracy in all cases is not considered as good because the solvents removes less than the 33% from the initial concentration of TPH. According to the analysis of Variance ANOVA of one factor showed that F distribution is higher than F crypt, therefore, the concentration of removal TPH from the soil will depend on the solvent to be used.

# INDICE

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>13</b>
<b>2. MARCO TEORICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Remediación de Suelos.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Estabilización, Solidificación y Confinamiento:.....	15
2.1.2 Bioremediación: .....	16
2.1.3 Desorción Térmica Indirecta e Incineración: .....	17
2.1.4 Extracción con Solventes: .....	19
<b>2.2 Suelos, Caracterización Físico – Química y Contaminación.....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Suelo: .....	21
2.2.2 Naturaleza del Suelo: .....	21
2.2.3 Humedad: .....	21
2.2.4 Análisis Granulométrico y Mineralógico.....	22
2.2.5 Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH): .....	22
<b>2.3 Solventes Orgánicos .....</b>	<b>24</b>
2.3.1 Acetona .....	24
2.3.1.1 Propiedades Físico - Químicas.....	24
2.3.1.2 Identificación de Riesgos .....	24
2.3.1.3 Estabilidad y Reactividad.....	25
2.3.1.4 Información Toxicológica.....	25
2.3.1.5 Riesgos de Incendio y Explosión .....	26
2.3.1.6 Efectos Ecotóxicos.....	26
2.3.1.7 Equipos de Protección Personal .....	27
2.3.1.8 Manipuleo y Almacenamiento .....	27
2.3.1.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas..	27
2.3.1.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios.....	27
2.3.1.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión 28	
2.3.1.12 Implementación de medidas para la disposición final de residuos 28	
2.3.2 Metanol .....	29
2.3.2.1 Propiedades Físico - Químicas.....	29
2.3.2.2 Identificación de Riesgos .....	29
2.3.2.3 Estabilidad y Reactividad.....	30
2.3.2.4 Información Toxicológica.....	30
2.3.2.5 Riesgos de Incendio y Explosión .....	31
2.3.2.6 Efectos Ecotóxicos.....	31
2.3.2.7 Equipos de Protección Personal .....	31
2.3.2.8 Manipuleo y Almacenamiento .....	31
2.3.2.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas..	32
2.3.2.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios.....	32
2.3.2.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión 32	

2.3.2.12	Implementación de medidas para la disposición final de residuos	33
2.3.3	Xileno (mezcla)	34
2.3.3.1	Propiedades Físico - Químicas	34
2.3.3.2	Identificación de Riesgos	34
2.3.3.3	Estabilidad y Reactividad	35
2.3.3.4	Información Toxicológica	35
2.3.3.5	Riesgos de Incendio y Explosión	36
2.3.3.6	Efectos Ecotóxicos	36
2.3.3.7	Equipos de Protección Personal	36
2.3.3.8	Manipuleo y Almacenamiento	37
2.3.3.9	Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas	37
2.3.3.10	Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios	37
2.3.3.11	Implementación de medidas en caso de incendio y explosión	38
2.3.3.12	Implementación de medidas para la disposición final de residuos	38
2.3.4	Éter de Petróleo	39
2.3.4.1	Propiedades Físico - Químicas	39
2.3.4.2	Identificación de Riesgos	39
2.3.4.3	Estabilidad y Reactividad	40
2.3.4.4	Información Toxicológica	40
2.3.4.5	Riesgos de Incendio y Explosión	41
2.3.4.6	Efectos Ecotóxicos	41
2.3.4.7	Equipos de Protección Personal	41
2.3.4.8	Manipuleo y Almacenamiento	42
2.3.4.9	Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas	42
2.3.4.10	Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios	42
2.3.4.11	Implementación de medidas en caso de incendio y explosión	43
2.3.4.12	Implementación de medidas para la disposición final de residuos	43
2.3.5	Hexano	44
2.3.5.1	Propiedades Físico - Químicas	44
2.3.5.2	Identificación de Riesgos	44
2.3.5.3	Estabilidad y Reactividad	45
2.3.5.4	Información Toxicológica	45
2.3.5.5	Riesgos de Incendio y Explosión	46
2.3.5.6	Efectos Ecotóxicos	46
2.3.5.7	Equipos de protección personal	46
2.3.5.8	Manipuleo y Almacenamiento	47
2.3.5.9	Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas	47
2.3.5.10	Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios	47
2.3.5.11	Implementación de medidas en caso de incendio y explosión	48
2.3.5.12	Implementación de medidas para la disposición final de residuos	48



2.3.6	1,1,1 Tricloroetano .....	49
2.3.6.1	Propiedades Físico - Químico .....	49
2.3.6.2	Identificación de Riesgos .....	49
2.3.6.3	Estabilidad y Reactividad.....	50
2.3.6.4	Información Toxicológica.....	51
2.3.6.5	Riesgos de Incendio y Explosión .....	52
2.3.6.6	Efectos Ecotóxicos .....	52
2.3.6.7	Equipos de Protección Personal .....	52
2.3.6.8	Manipuleo y Almacenamiento .....	53
2.3.6.9	Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas..	53
2.3.6.10	Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios .....	53
2.3.6.11	Implementación de medidas en caso de incendio y explosión 54	
2.3.6.12	Implementación de medidas para la disposición final de residuos 54	
<b>2.4</b>	<b>Métodos Estadístico .....</b>	<b>55</b>
2.4.1	Promedio .....	55
2.4.2	Mediana.....	55
2.4.3	Varianza y Desviación Estándar .....	55
2.4.4	Análisis ANOVA .....	56
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>Procedimientos de Laboratorio Previos al Análisis de Extracción. 57</b>	
3.1.1	Preparación de la muestra para ser utilizada como blanco .....	57
3.1.2	Preparación de la muestra con concentración conocida de hidrocarburos.....	57
3.1.3	Caracterización Físico – Química del suelo.....	58
3.1.3.1	Contenido de Humedad.....	58
3.1.3.2	Contenido de Materia Orgánica .....	58
3.1.3.3	Densidad del Suelo.....	59
<b>3.2</b>	<b>Análisis de Extracción de TPH mediante solventes orgánicos.....</b>	<b>59</b>
3.2.1	Preparación de las muestra de fondo (blanco) y de concentración de TPH conocido. ....	59
3.2.2	Proceso de Extracción .....	59
3.2.3	Destilación del Solvente.....	60
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterización Físico – Química del suelo .....</b>	<b>61</b>
4.1.1	Cálculo del Contenido de Humedad .....	61
4.1.2	Cálculo del Porcentaje de Materia Orgánica.....	61
4.1.3	Caracterización y Cálculo del Contenido de Materia Inorgánica ..	64
4.1.4	Cálculo de la Densidad del Suelo.....	65
<b>4.2</b>	<b>Análisis Granulométrico del Suelo. ....</b>	<b>66</b>
<b>4.3</b>	<b>Análisis Mineralógico del Suelo (Difracción de Rayos X):.....</b>	<b>69</b>

<b>4.4</b>	<b>Cálculo de la Cantidad del Material Orgánico Removido (MOR) por el Solvente .....</b>	<b>70</b>
4.4.1	Cálculo de la Concentración de Material Orgánico Removido MOR	71
<b>4.5</b>	<b>Cálculo de la Extracción de TPH mediante Solventes Orgánicos</b>	<b>78</b>
<b>4.6</b>	<b>Cálculo del Análisis Estadístico y de Varianza ANOVA.....</b>	<b>79</b>
4.6.1	Análisis Estadístico .....	79
4.6.2	Análisis ANOVA .....	80
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>86</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>93</b>
6.1	Conclusiones. ....	93
6.2	Recomendaciones. ....	95
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>98</b>
	<b>GLOSARIO DE TERMINOS.....</b>	<b>102</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>105</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1: Ensayos del Contenido de Humedad .....	63
Cuadro No. 2: Ensayos del Contenido de Materia Orgánica.....	64
Cuadro No. 3: Resumen del Contenido de Humedad .....	64
Cuadro No. 4: Resumen del Contenido de Materia Orgánica.....	64
Cuadro No. 5: Resumen de la Composición Porcentual del Suelo.....	65
Cuadro No. 6: Resultado de la Densidad del Suelo.....	67
Cuadro No. 7: Resumen del Análisis Físico – Químico .....	67
Cuadro No. 8: Extracción de TPH mediante Acetona.....	73
Cuadro No. 9: Extracción de TPH mediante Metanol.....	74
Cuadro No. 10: Extracción de TPH mediante Hexano.....	75
Cuadro No. 11: Extracción de TPH mediante Éter de Petróleo.....	76
Cuadro No. 12: Extracción de TPH mediante Xilenos (mezcla).....	77
Cuadro No. 13: Extracción de TPH mediante 1,1,1 Tricloroetano.....	78
Cuadro No. 14: Tiempos y Ciclos Requeridos en cada Ensayo de Extracción para cada Solvente.....	79
Cuadro No. 15: Resultados del Contenido de TPH para cada Ensayo (mg TPH / Kg de suelo).....	80
Cuadro No. 16: Análisis Estadístico en Hoja de Cálculo del Programa “Excel” .....	82
Cuadro No. 17: Datos Agrupados para la realización del Análisis Estadístico y de Varianza ANOVA.....	83
Cuadro No. 18: Resumen de Resultados del Análisis Estadístico.....	83
Cuadro No. 19: Análisis de Varianza ANOVA en Hoja de Cálculo del Programa “Excel” .....	84
Cuadro No. 20: Resultados del Análisis ANOVA.....	85
Cuadro No. 21: Tiempos de purga en 6 ciclos.....	90
Cuadro No. 22: Resumen del Porcentaje de Remoción.....	92
Cuadro No. 23: Constante Dieléctrica y Porcentaje de Remoción.....	93

## **INDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico No. 1: Composición Porcentual del Suelo.....	66
Gráfico No. 2: Contenido de Arena, Arcilla y Limo en la Fracción Mineralizada del Suelo.....	68
Gráfico No. 3: Identificación del tipo del suelo mediante el Triángulo de Texturas.....	69
Gráfico No. 4: Composición Mineralógica del Suelo (Según los Resultados del Análisis por Difracción de Rayos X).....	71
Gráfico No. 5: Diagrama del Análisis ANOVA.....	86

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla No. 1: Ensayo de Granulometría.....	67
Tabla No. 2: Tamaño de las Partículas de Suelo en mm.....	69
Tabla No. 3: Clasificación del suelo según el Contenido de Materia Orgánica.....	70
Tabla No. 4: Determinación de los Minerales.....	70

## **INDICE DE ANEXOS**

Tamiz de Rejilla de Diámetro 0.25cm.....	ANEXO 1
Equipo de Extracción Tipo Soxhlet.....	ANEXO 2
Equipo de Destilación Simple.....	ANEXO 3
Observaciones durante la Extracción de TPH.....	ANEXO 4
Equipos de Extracción Soxhlet usados en Laboratorio.....	ANEXO 5

## **Capítulo I**

### **1. INTRODUCCION**

En la actualidad la industria y el desarrollo son dos polos que resultan opuestos al ambiente, ya que mientras estos van extendiéndose hacen que los ecosistemas vayan deteriorándose y reduciéndose a la misma velocidad e intensidad que ellos. Es así que se necesita de nuevas técnicas de remediación ambiental como la extracción mediante solventes.

El análisis de extracción de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), es una técnica nueva de recuperación o remediación de suelos que han sufrido una contaminación por Hidrocarburos, por lo que no existen muchos estudios previos sobre este tema.

En la literatura no se encuentra una amplia gama de estudios sobre la remoción de TPH en suelos contaminados con hidrocarburos mediante los solventes que nos hemos planteado. Los pocos estudios que existen sobre la extracción de Hidrocarburos Totales de Petróleo no utilizan los solventes por separado sino mas bien los mezclan en relación de volumen (1/1). Este tipo de proyectos sobre tratamientos innovadores o de recursos de superfund son ejecutados principalmente por compañías estadounidenses, que pertenecen a la industria manufacturera, dado que los solventes son materias primas costosas que se pueden reutilizar.

A través del presente estudio se determina experimentalmente la eficiencia de seis solventes orgánicos (acetona, metanol, éter de petróleo, hexano, 1,1,1 tricloroetano, xileno) para extraer TPH de suelos contaminados con petróleo, realizando una comparación entre solventes para determinar el grado de remoción de los TPH que se encuentran en la muestra de suelo. Este proceso se lo lleva a cabo en un laboratorio que dispone de todos los equipos e implementos necesarios para preparar una muestra de suelo contaminado con una concentración conocida de hidrocarburos (50000 ppm) y así remover los

TPH presentes en el suelo contaminado mediante ensayos de extracción con seis solventes orgánicos distintos, utilizando un equipo extractor de Laboratorio tipo "Soxhlet". Para evaluar la eficiencia de remoción de los TPH, para cada solvente el presente estudio aplica criterios estadísticos para determinar la precisión de la técnica analítica utilizada y el comportamiento estadístico de los resultados obtenidos mediante el análisis ANOVA

El suelo amazónico empleado en este estudio está formado en su mayor parte por antiguos sedimentos improductivos de bajo contenido en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. Estos suelos también son muy pobres en nutrientes ya que su poder de retención es bajo, debido a las altas temperaturas, las precipitaciones y la historia geológica. La descomposición de la materia orgánica es la responsable de nutrir a la tupida vegetación del Oriente Ecuatoriano pero estos nutrientes no se retienen en su totalidad en el suelo ya que en este existen concentraciones de aluminio e hidrógeno que ocupan los espacios en los que los nutrientes deberían ser retenidos.

Cuando se destruye el bosque y se contamina el suelo, se corta el reciclaje de los nutrientes y los que preexisten son lavados por las intensas lluvias. Haciendo del ecosistema un lugar desértico, es decir, sin vida y peor aun, sin posibilidades de proporcionar vida.

## **Capítulo II**

### **2. MARCO TEORICO**

#### **2.1 Remediación de Suelos**

En la actualidad existen algunas técnicas o procedimientos para la remoción de hidrocarburos en suelos que han sido contaminados con petróleo como son:

##### **2.1.1 Estabilización, Solidificación y Confinamiento:**

La estabilización es una técnica donde se mezclan los aditivos con los residuos para acortar la velocidad de migración de los contaminantes del residuo y disminuir la toxicidad de éste.

La solidificación es el proceso en el que se añade cantidad suficiente de material solidificante, a los materiales peligrosos para originar una masa solidificada.

Los diferentes compuestos con silicato de sodio, cemento, cenizas de carbón y principalmente con cal viva, son materiales que se solidifican en reacción con agua, de modo que se forman cápsulas, que luego se empacan y amarran en telas de material sintético. Así se hacen los conocidos tamales, que luego se entierran.

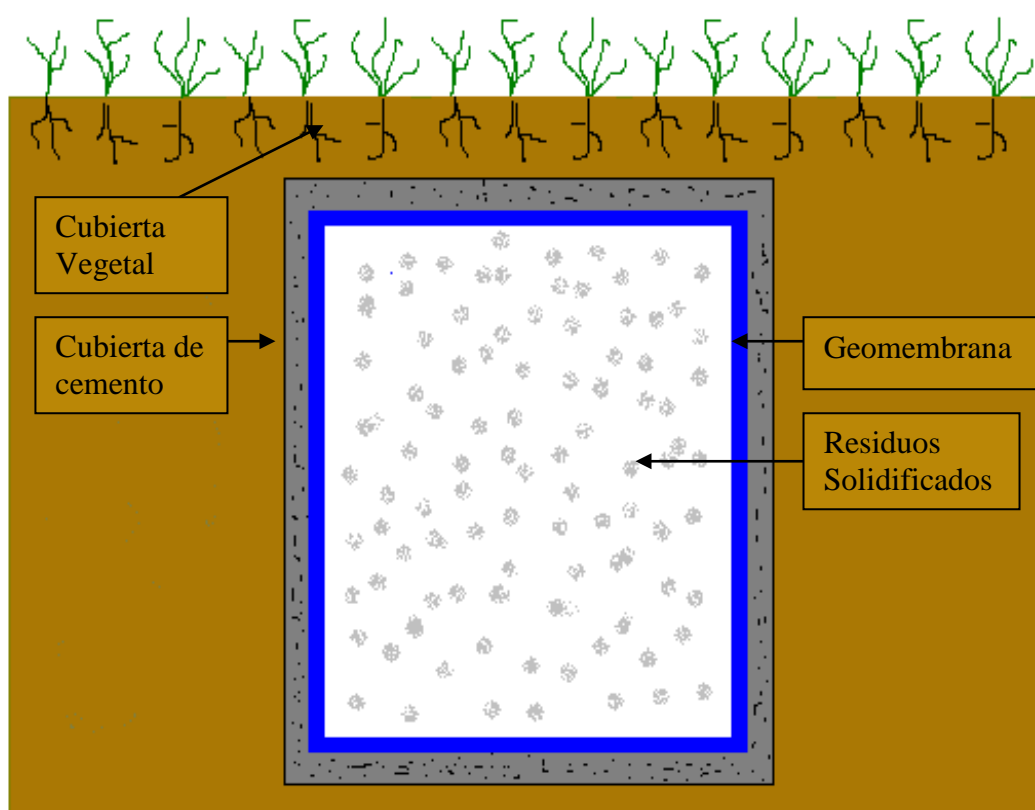
Los mecanismos para la estabilización pueden ser la macroencapsulación y la microencapsulación.

La macroencapsulación es una técnica en donde los residuos peligrosos quedan atrapados en una matriz estructural de mayor tamaño. Al igual que la microencapsulación al no estar el residuo químicamente ligado, la liberación del contaminante al medio aumenta al disminuir el tamaño de partícula.

La microencapsulación en cambio hace que los residuos peligrosos queden atrapados en el interior de la matriz solidificada cuando se lo mira en el microscopio

El potencial de pérdida de contaminantes de una masa estabilizada generalmente se determina mediante los ensayos de lixiviación.

Figura No. 1: Confinamiento de Residuos Peligrosos.<sup>1</sup>



### 2.1.2 Bioremediación:

Consiste en utilizar microorganismos como hongos y bacterias, para degradar las cadenas de hidrocarburos (complejos compuestos de hidrógeno, carbono y otros elementos químicos), en compuestos simples como el gas carbónico (CO<sub>2</sub>), agua y compuestos orgánicos simples.

<sup>1</sup> Figura de autoría propia, realizada por conocimientos adquiridos.



La Bioremediación como solución a problemas de contaminación, es una alternativa recomendable debido a su bajo impacto al medio ambiente, y sus bajos costos.

Los procesos de Bioremediación por lo general son procesos menos problemáticos que otras técnicas de remediación, ya que a los residuos tratados se los procesa mediante el uso de bacterias como máquinas de transformación y operación.

Estos procesos se basan en la capacidad de determinados microorganismos para eliminar del medio o degradar enzimáticamente gran número de compuestos tóxicos y peligrosos.

Hoy en día estos tratamientos solo se han conseguido buenos resultados en campos reducidos, pero los estudios van encaminados a crear en el laboratorio bacterias, levaduras y enzimas específicos para conseguir la degradación de los residuos mediante otras técnicas como la rotura de enlaces, absorción de metales pesados.

Este tipo de procesos suelen tardar mucho hasta poder ver los resultados, y están condicionadas por factores como la Biodegradabilidad de los contaminantes por las bacterias, la presencia de componentes inhibidores a la degradación, Temperatura, cantidad de oxígeno, pH, concentración de nutrientes y solubilidad de los contaminantes presentes.

Para conseguir una reducción razonable en los niveles de contaminación producida por TPH, requiere de un período de entre 90 y 150 días, aunque dependiendo de los factores previamente citados ese período podría extenderse hasta llegar a los 18 meses.

### **2.1.3 Desorción Térmica Indirecta e Incineración:**

El método de Desorción Térmica consiste en aplicar, durante aproximadamente 0,5 segundos, temperaturas superiores al punto de vapor del contaminante

(634°C) a los cortes y residuos que tienen hidrocarburos, en quemadores especiales. De ese modo se genera vapor, que se libera a la atmósfera o se vuelve a condensar después, para fabricar nuevos fluidos o para generar calor. La tierra quemada e inservible se deposita posteriormente en botaderos.

La incineración es un proceso de combustión en el que se sobrepasan temperaturas de 900 °C y en un medio oxidante.

La combustión es una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente (por ejemplo el oxígeno contenido en el aire) con producción de energía suficiente como para mantener la reacción misma, es decir que sea autosuficiente.

La reducción de los contaminantes produce gases contaminantes como; CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, y NO<sub>2</sub> así como la producción de cenizas tóxicas que deben ser alojadas en rellenos sanitarios.

En las cámaras de post-combustión se controla la emisión de subproductos orgánicos no quemados, haciendo que el volumen y tiempo de combustión se incrementen.

Los scrubbers o lavadores retiran físicamente de la corriente gaseosa de combustión las partículas, gases ácidos y compuestos orgánicos residuales.

Los incineradores emiten a la atmósfera pequeñas cantidades de ácido clorhídrico, dioxinas y furanos que son sustancias altamente tóxicas, así como las partículas de plomo, cadmio y mercurio. Es por eso que se debe tener mucho cuidado durante y después del funcionamiento de un incinerador.

Los costos de operación son muy elevados ya que la cantidad de energía que se tiene que producir es extremadamente elevada y el período en que esta debe funcionar dependerá de los compuestos que se vayan a incinerar.

#### **2.1.4 Extracción con Solventes:**

La extracción con solventes es una técnica de tratamiento que consiste en usar un solvente para separar o retirar contaminantes orgánicos peligrosos de fangos residuales, sedimentos o tierra. La extracción con solventes no destruye los contaminantes, sino que los concentra para que sea más fácil reciclarlos o destruirlos con otra técnica.

Cuando la tierra entra en el extractor, se separa en tres componentes o “fracciones”: solvente con contaminantes disueltos, sólidos y agua. Los distintos contaminantes se concentran en fracciones diferentes.

El proceso de extracción con solventes consta de cinco pasos:

- Preparación
- Extracción
- Separación de contaminantes concentrados del solvente
- Remoción del solvente residual
- Recuperación de los contaminantes, reciclaje o tratamiento ulterior.

El proceso se lo realiza en el campo, es decir In Situ. Como primer paso se prepara la muestra mediante el uso de cribas que separen las partículas de mayor tamaño, piedras, desperdicios, etc. La tierra puede tratarse por tandas, por semitandas o en forma continua.

Se coloca la tierra en el extractor, se añade solvente al extractor y se mezcla la tierra con el solvente. Los extractores en la práctica son de distinto tamaño. Algunos tratan 25 toneladas por día, mientras que otros tienen capacidad para más de 125 toneladas diarias y ocupan de 140 a 1.000 metros cuadrados o más.<sup>2</sup>

---

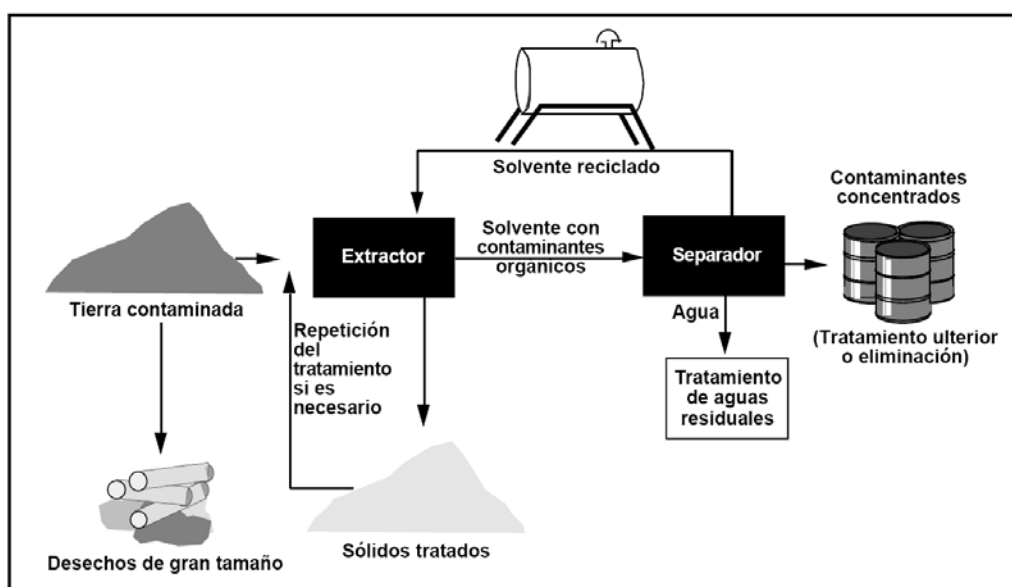
<sup>2</sup> EPA, Guía del Ciudadano, *La Extracción con Solvente*, Documento PDF, 1996

La velocidad con la que los contaminantes orgánicos se disuelven en el solvente va a depender de varios factores como la temperatura, el contenido de humedad y el grado de contaminación, entre otros. Cada uno de estos factores es decisivo para la concepción del tratamiento. Es necesario realizar estudios de tratabilidad en un laboratorio para determinar el solvente que se necesita y a fin de garantizar la máxima eficacia posible.

El proceso de extracción produce tres fracciones que requieren separación; la mezcla de solvente contaminado, la tierra tratada y el agua.

Después se separan los contaminantes del solvente usando un procedimiento de separación física. Quedando contaminantes concentrados que se retiran durante el proceso de separación, y el solvente pasa a un tanque para su reutilización

**Figura 2: Proceso de Extracción con Solventes<sup>3</sup>**



Para comprobar el procedimiento planteado se necesita desarrollarlo en laboratorio y conocer sobre los diferentes procesos que se realizan para el análisis del suelo y extracción de TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo). Así

<sup>3</sup> EPA, Guía del Ciudadano, *La Extracción con Solvente*, Documento PDF, 1996.

como de los distintos componentes que se encuentran en cada uno de estos procesos.

## **2.2 Suelos, Caracterización Físico – Química y Contaminación**

### **2.2.1 Suelo:**

El suelo procede de dos mundos diferentes, el inerte y el vivo, es decir de la litosfera y atmósfera y la biosfera. El suelo es el resultado de la descomposición de la roca madre por factores climáticos y la acción de los seres vivos.

La disgregación del suelo es una de las causas por la que la roca madre se descompone y este proceso puede ser o por factores físicos y mecánicos o por alteración o descomposición química. El producto de este proceso son elementos muy pequeños llamados coloides e iones.

Las características del suelo van a ser determinadas por el origen y el porcentaje de coloides e iones que existan en el.

### **2.2.2 Naturaleza del Suelo:**

Los suelos de tipo amazónico son suelos muy infértiles no aptos para la agricultura, su aparente fertilidad procede de la excesiva cantidad de materia orgánica que se descompone en la primera capa superficial del sustrato.

Los nutrientes en este tipo de suelos son escasos y tienen un bajo potencial de retención especialmente de Calcio, Potasio, Fósforo y Nitrógeno. Esto se debe en parte a la concentración de Aluminio e Hidrógeno que ocupan los espacios en que los nutrientes deberían ser retenidos. El Aluminio proviene de un alto porcentaje de los minerales del suelo y el Hidrógeno de los ácidos orgánicos producto de la descomposición de la materia orgánica.

### **2.2.3 Humedad:**

La unión entre el aire seco y vapor de agua es conocida con el nombre de aire húmedo, el cual es responsable de la humedad que adquieren los cuerpos.

La humedad contenida en la atmósfera procede de la continua evaporación que se produce sobre la tierra, especialmente de las superficies líquidas (océanos, ríos, lagos), como también en las plantas (evapotranspiración).

En cada una de las muestras se halla un porcentaje de humedad que se adquiere a través del aire húmedo que se encuentra en el ambiente.

El análisis del porcentaje de humedad ayuda a conocer la cantidad de agua que se disipa cuando se calienta la muestra. Este valor varía de acuerdo a la capacidad de retención de agua que tenga el suelo así como de las características climatológicas del entorno.

La materia tiende a equilibrarse con la cantidad de humedad que se encuentra en el ambiente hasta llegar a un punto de saturación, esta cantidad de agua atmosférica se la mide según la diferencia pesos entre la muestra humedad inicial y la muestra una vez que está seca.

#### **2.2.4 Análisis Granulométrico y Mineralógico**

*Para el análisis mineralógico se realizaron determinaciones cuantitativas y cualitativas por difracción de rayos X de minerales con cristalización definida. Se realizó en el laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, mediante un equipo Diafractómetro D8 ADVANCE, con el programa Diffrac plus cualificación y cuantificación. La clasificación del suelo según su textura se la realizó mediante un análisis granulométrico con el método ASTM C 136, ASTM D 422, así mismo en el laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional. <sup>4</sup>*

#### **2.2.5 Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH):**

---

<sup>4</sup> Chávez, G., 2002-2004. *Procesos de sorción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica ecuatoriana*. Tesis de Grado Inédita. Universidad Internacional SEK. Quito

Los TPH que por sus siglas en inglés significan Hidrocarburos Totales de Petróleo se usan para describir varios compuestos químicos que se originan por el petróleo crudo.

Debido a la gran variedad de productos químicos en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo no sería práctico medir a cada uno de estos de manera separada, por lo que se utiliza la medición de la cantidad total de TPH en un sitio.

Algunas sustancias químicas a las que se les nombra como TPH son; Hexano, aceites minerales, Benceno, Tolueno, Xilenos, productos de petróleo, y componentes de gasolina. Sin embargo, es probable que en las muestras solamente se encuentren algunas o una mezcla de estas sustancias químicas.

## 2.3 Solventes Orgánicos

### 2.3.1 Acetona<sup>4</sup>

#### 2.3.1.1 Propiedades Físico - Químicas

**Nombre químico:** Acetona

**Sinónimos:** Propanona/ Propan-2-ona/ Dimetil cetona

**Nº CAS:** 67-64-1

**Fórmula:** C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O/CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub>

**Aspecto y color:** Líquido incoloro

**Olor:** Característico

**Presión de vapor:** 24 KPa a 20°C

**Densidad relativa de vapor (aire=1):** 2.0

**Solubilidad en agua:** Miscible


**Punto de ebullición:** 56°C

**Peso molecular:** 58.1

**Densidad a 20°C:** 0.79 g/cm<sup>3</sup>

**Punto de fusión:** -17.8 °C

#### 2.3.1.2 Identificación de Riesgos

RIESGO PRINCIPAL	: Inflamable					0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo
CODIGO W & Z	:	2	4	1	0	
SALUD INFLAMABLE REACTIVO CONTACTO						
ROTULO DE TRANSPORTE:						



### 2.3.1.3 Estabilidad y Reactividad

La sustancia puede formar peróxidos explosivos en contacto con oxidantes fuertes tales como ácido acético, ácido nítrico y peróxido de hidrógeno. Reacciona con cloroformo y bromoformo en condiciones básicas, originando peligro de incendio y explosión. Ataca a los plásticos.

**Condiciones que deben evitarse:** Fuentes de calor e ignición.

**Materiales a evitar:** Oxidantes fuertes (ácido acético, ácido nítrico y peróxido de hidrógeno); cloroformo, bromoformo.

**Productos de descomposición:** Los oxidantes enérgicos en medio alcalino, la descomponen en ácido acético y ácido fórmico.

**Polimerización:** No aplicable.

### 2.3.1.4 Información Toxicológica

	Efectos agudos	Efectos crónicos
<b>Contacto con la piel</b>	Piel seca, enrojecimiento.	Puede producir dermatitis. El líquido desengrasa la piel.
<b>Contacto con los ojos</b>	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Posible daño en la córnea.	
<b>Inhalación</b>	Salivación, confusión mental, tos, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, dolor de garganta, pérdida del conocimiento. Probable lesión del hígado y riñón.	Puede afectar a la sangre y a la médula ósea.
<b>Ingestión</b>	Náuseas, vómitos.	Puede afectar a la sangre y la médula ósea.

**Límite en aire de lugar de trabajo:** 1780 mg/m<sup>3</sup>

**Límite biológico:** No establecido.

**Límite NIOSH REL:** TWA 250 ppm (590 mg/m<sup>3</sup>)

**Límite OSHA PEL:** TWA 1000 ppm (2400 mg/m<sup>3</sup>)

**Nivel guía para fuentes de agua de bebida humana:** No establecido.

(Ver en glosario de términos los significados de las siglas)

#### 2.3.1.5 Riesgos de Incendio y Explosión

**Incendio:** Altamente inflamable. El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.

**Explosión:** Las mezclas vapor/ aire son explosivas.

**Punto de inflamación:** -18°C (CC)

**Temperatura de auto ignición:** 465°C

#### 2.3.1.6 Efectos Ecotóxicos

DESTINO	POSIBLES EFECTOS
Al suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material se espera que se biodegrade rápidamente.</li><li>• Se espera que pueda lixivarse hasta llegar hacia aguas subterráneas.</li><li>• Al ambiente se evapora rápidamente.</li></ul>
Al agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material podría parcialmente biodegradarse</li><li>• Al ambiente se evapora rápidamente</li><li>• No se espera que se bioacumule significativamente.</li></ul>
Al aire	<ul style="list-style-type: none"><li>• Puede ser moderadamente degradado por reacción fotoquímica produciendo radicales hidroxilo</li><li>• Puede ser moderadamente degradado por fotólisis.</li><li>• Puede ser removido rápidamente de la atmósfera por medio de la lluvia.</li></ul>

**Toxicidad ambiental:** El material no se espera que sea toxico para la vida acuática. La DL50/96 horas para peces esta por encima de los 100 mg/l.

### **2.3.1.7 Equipos de Protección Personal**

**Protección respiratoria:** Sí

**Protección de manos:** Sí

**Protección de ojos:** Sí

**Protección del cuerpo:** Sí

**Protección especial:** Sí

**Instalaciones de seguridad:** Lavaojos.

### **2.3.1.8 Manipuleo y Almacenamiento**

**Condiciones de manipuleo:** Manipular lejos de fuentes de ignición, mantener la ventilación adecuada. Evitar todo tipo de contacto. Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.

**Condiciones de almacenamiento:** Almacenar en lugar a prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.

### **2.3.1.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas**

**Precauciones personales:** Protección personal completo, incluyendo equipo autónomo de respiración.

**Precauciones ambientales:** NO verterlo al alcantarillado.

**Métodos de limpieza:** Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintados, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.

### **2.3.1.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios**

**En general:** En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, acudir al médico.

**Contacto con la piel:** Despojar las ropas contaminadas y aclarar la piel con agua abundante o ducharse.

**Contacto con los ojos:** Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto, si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.

**Inhalación:** Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.

**Ingestión:** Enjuagar la boca y proporcionar asistencia médica.

#### **2.3.1.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión**

**Medidas de extinción apropiadas:** Utilizar polvo químico, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada y dióxido de carbono.

**Medidas de extinción inadecuadas:** No utilizar agua en chorro para evitar que el líquido se disperse o desparezca.

**Productos de descomposición:** Al quemarse genera gases tóxicos e inflamables.

**Equipos de protección personal especiales:** Trajes aluminados y equipo autónomo de respiración.

**Instrucciones especiales para combatir el fuego:** Mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

#### **2.3.1.12 Implementación de medidas para la disposición final de residuos**

Los restos de producto químico deberían eliminarse por incineración o mediante cualquier otro medio de acuerdo a la legislación local. No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua.

---

<sup>5</sup> <http://www.bu.edu/es/labsafety/ESMSDSs/MSAcetone.html>. Hojas de Seguridad Acetona.  
<http://www.digesa.minsa.gob.pe/Normas/Salud%20Ocupacional/3.pdf>. Normas de Seguridad para el Uso de Químicos.  
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1021>. Toxicología Acetona  
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Produccion.asp?idproduccion=5>. Toxicología de los Compuestos Químicos  
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Produccion.asp?idproduccion=5>. Toxicología de los Compuestos Químicos  
HOWARD. Philip H, *Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Volume II, Lewis Publishers, USA, 1990.

## 2.3.2 Metanol<sup>5</sup>

### 2.3.2.1 Propiedades Físico - Químicas

**Nombre químico:** Metanol

**Sinónimos:** Alcohol metílico/ Carbinol/ Monohidroximetano

**Nº CAS:** 67-56-1

**Fórmula:** CH<sub>3</sub>OH

**Aspecto y color:** Líquido incoloro.

**Olor:** Característico.

**Presión de vapor:** 12.3 KPa a 20°C

**Densidad relativa de vapor (aire=1):** 1.1

**Solubilidad en agua:** Miscible.


**Punto de ebullición:** 65°C

**Punto de fusión:** -94°C

**Peso molecular:** 32.0

**Densidad a 20°C:** 0.7910 g/cm<sup>3</sup>

### 2.3.2.2 Identificación de Riesgos

RIESGO PRINCIPAL	: Inflamable y Reactivo					0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo
CODIGO W & Z	:	3	4	4	0	
SALUD INFLAMABLE REACTIVO CONTACTO						
ROTULO DE TRANSPORTE						

### 2.3.2.3 Estabilidad y Reactividad

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y formaldehído. Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al plomo y al aluminio.

**Condiciones que deben evitarse:** Fuentes de calor e ignición.

**Materiales a evitar:** Oxidantes, plomo y aluminio.

**Productos de descomposición:** Monóxido de carbono y formaldehído.

**Polimerización:** No aplicable.

### 2.3.2.4 Información Toxicológica

	Efectos agudos	Efectos crónicos
<b>Contacto con la piel</b>	PUEDE ABSORBERSE. Piel seca, enrojecimiento.	Dermatitis.
<b>Contacto con los ojos</b>	Enrojecimiento. Dolor.	Alteraciones en la visión.
<b>Inhalación</b>	Tos, vértigo, dolor de cabeza, náuseas	Puede afectar al sistema nervioso central, dando dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.
<b>Ingestión</b>	Dolor abdominal, jadeo, pérdida del conocimiento.	Puede producir ceguera y sordera.

**Límite en aire de lugar de trabajo:** 260 mg/m<sup>3</sup>

**Límite biológico:** No establecido.

**Límite NIOSH REL:** TWA 200 ppm (260 mg/m<sup>3</sup>)

**Límite OSHA PEL:** TWA 200 ppm (260 mg/m<sup>3</sup>)

**Nivel guía para fuentes de agua de bebida humana:** No establecido.  
(Ver en glosario de términos los significados de las siglas)

#### 2.3.2.5 Riesgos de Incendio y Explosión

**Incendio:** Altamente inflamable. Arde con una llama invisible.

**Explosión:** Explosivo. Las mezclas vapor/aire son explosivas.

**Puntos de inflamación:** 12 °C

**Temperatura de auto ignición:** 385 °C

#### 2.3.2.6 Efectos Ecotóxicos

DESTINO	POSIBLES EFECTOS
Al suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inhibición de la nitrificación.</li></ul>
Al agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• No existen datos</li></ul>
Al aire	<ul style="list-style-type: none"><li>• No existen datos</li></ul>

**Toxicidad ambiental:** Muerte por dosis de 250 ppm/11horas a peses dorados de aguas dulces. Bioacumulación.

#### 2.3.2.7 Equipos de Protección Personal

**Protección respiratoria:** Sí. Se recomienda protección respiratoria para vapores orgánicos especial combinada con la protección ocular.

**Protección de manos:** Sí. Guantes para evitar contacto con el producto.

**Protección de ojos:** Sí. Protección ocular para salpicaduras químicas.

**Protección del cuerpo:** Sí. Ropa de protección.

**Instalaciones de seguridad:** Sí. Ducha y lavaojos de seguridad

#### 2.3.2.8 Manipuleo y Almacenamiento

**Condiciones de manipuleo:** Evitar las llamas, no producir chispas y no fumar. No poner en contacto con oxidantes. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. Extracción localizada y protección respiratoria.

**Condiciones de almacenamiento:** A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco.

#### **2.3.2.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas**

**Precauciones personales:** Traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración.

**Precauciones ambientales:** La sustancia presenta una baja toxicidad para los organismos acuáticos y terrestres.

**Métodos de limpieza:** Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, eliminar el líquido derramado con agua abundante y el vapor con agua pulverizada.

#### **2.3.2.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios**

**En general:** En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.

**Contacto con la piel:** Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua o ducharse y proporcionar asistencia médica.

**Contacto con los ojos:** Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.

**Inhalación:** Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.

**Ingestión:** provocar el vómito (únicamente a personas Concientes) y proporcionar asistencia médica

#### **2.3.2.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión**

**Medidas de extinción apropiadas:** Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.



**Medidas de extinción inadecuadas:** Ninguna.

**Productos de descomposición:** Monóxido de carbono y formaldehído.

**Equipos de protección personal especiales:** Trajes aluminados y equipo de respiración autónomo.

**Instrucciones especiales para combatir el fuego:** Mantener fríos los recipientes de almacenamiento y demás instalaciones con agua.

#### **2.3.2.12 Implementación de medidas para la disposición final de residuos**

Los restos de producto químico deberían eliminarse por incineración o mediante cualquier otro medio de acuerdo a la legislación local.

El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico.

No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua.

---

<sup>6</sup> <http://www.bu.edu/es/labsafety/ESMSDSs/MSMethanol.html>. Hojas de Seguridad Metanol.  
<http://www.digesa.minsa.gob.pe/Normas/Salud%20Ocupacional/3.pdf>. Normas de Seguridad para el Uso de Químicos.

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Produccion.asp?idproduccion=5>. Toxicología de los Compuestos Químicos.

HOWARD. Philip H, *Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Volume II, Lewis Publishers, USA, 1990.

### 2.3.3 Xileno (mezcla)<sup>6</sup>

#### 2.3.3.1 Propiedades Físico - Químicas

**Nombre químico:** o-Xileno

**Sinónimos:** 1,2-Di metilbenceno/ o-Xilol

**Nº CAS:** 95-47-6

**Fórmula:**  $C_6H_4(CH_3)_2/C_8H_{10}$

**Aspecto y color:** Líquido incoloro.

**Olor:** Característico.

**Presión de vapor:** 0.7 KPa a 20°C

**Densidad relativa de vapor (aire=1):** 3.7

**Solubilidad en agua:** Ninguna.


**Punto de ebullición:** 144°C

**Peso molecular:** 106.2

**Densidad a 20°C:** 0.855 g/cm<sup>3</sup>

**Punto de fusión:** 25 °C

#### 2.3.3.2 Identificación de Riesgos

RIESGO PRINCIPAL	: Inflamable y Salud					0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo
CODIGO W & Z	:	3	3	2	0	
SALUD   INFLAMABLE   REACTIVO   CONTACTO						
ROTULO DE TRANSPORTE						

### 2.3.3.3 Estabilidad y Reactividad

Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.

**Condiciones que deben evitarse:** Fuentes de ignición o calor.

**Materiales a evitar:** Oxidantes fuertes.

**Productos de descomposición:** Monóxido de carbono.

**Polimerización:** No aplicable.

### 2.3.3.4 Información Toxicológica

	Efectos agudos	Efectos crónicos
<b>Contacto con la piel</b>	Piel seca, enrojecimiento.	Dermatitis.
<b>Contacto con los ojos</b>	Enrojecimiento, dolor.	No hay información disponible.
<b>Inhalación</b>	Vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, pérdida del conocimiento.	La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
<b>Ingestión</b>	Dolor abdominal, sensación de quemazón.	La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
<b>Otros</b>	La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.	

**Límite en aire de lugar de trabajo:** 435 mg/m<sup>3</sup>

**Ácido metil hipúrico en orina:** Fin de la jornada: 1.5 g/g. Luego de 4 horas del fin de la jornada- Creatinina: 2 mg/min.

**Límite NIOSH REL:** TWA 100 ppm (435 mg/m<sup>3</sup>)

**Límite OSHA PEL:** TWA 100 ppm (435 mg/m<sup>3</sup>)

**Nivel guía para fuentes de agua de bebida humana:** 10000 ug/l

(Ver en glosario de términos los significados de las siglas)

#### 2.3.3.5 Riesgos de Incendio y Explosión

**Incendio:** Producto inflamable.

**Explosión:** Por encima de los 32 °C puede formarse mezclas explosivas vapor/aire.

**Puntos de inflamación:** 32 °C.

**Temperatura de auto ignición:** 463 °C

#### 2.3.3.6 Efectos Ecotóxicos

DESTINO	POSIBLES EFECTOS
Al suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material se espera que se biodegrade moderadamente</li><li>• Se espera que pueda lixivarse hasta llegar hacia aguas subterráneas.</li><li>• Al ambiente se evapora moderadamente.</li></ul>
Al agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material podría parcialmente biodegradarse</li></ul>
Al aire	<ul style="list-style-type: none"><li>• Puede ser moderadamente degradado por reacción fotoquímica produciendo radicales hidroxilo</li><li>• En el aire tiene un tiempo de vida de menos de un día.</li></ul>

**Toxicidad ambiental:** Se estima que puede tener una ligera afectación al medio acuático. DL50/96 horas para peces están entre 10 y 100 mg/l.

#### 2.3.3.7 Equipos de Protección Personal

**Protección respiratoria:** Sí.

**Protección de manos:** Sí.

**Protección de ojos:** Sí.

**Protección del cuerpo:** No.

**Instalaciones de seguridad:** Lavaojos

### **2.3.3.8 Manipuleo y Almacenamiento**

**Condiciones de manipuleo:** Evitar las llamas, no producir chispas y no fumar, no comer, ni beber durante el trabajo.

**Condiciones de almacenamiento:** A prueba de incendios. Separado de oxidantes fuertes.

### **2.3.3.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas**

**Precauciones personales:** Usar los elementos de protección personal.

**Precauciones ambientales:** No permitir que este producto se incorpore al ambiente. Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente, debería prestarse atención especial a los peces y crustáceos.

**Métodos de limpieza:** Recoger, en la manera de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintados, Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.

### **2.3.3.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios**

**En general:** Higiene estricta. En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.

**Contacto con la piel:** Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua y jabón.

**Contacto con los ojos:** Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.

**Inhalación:** Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.

**Ingestión:** Enjuagar la boca, dar a beber una papilla de carbón activado y agua. No provocar el vómito y proporcionar asistencia médica

### 2.3.3.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión

**Medidas de extinción apropiadas:** Polvo, espuma o dióxido de carbono.

**Medidas de extinción inadecuadas:** Agua en chorros para evitar que el producto se desparrame.

**Productos de descomposición:** Monóxido de carbono.

**Equipos de protección personal especiales:** Traje de protección personal completa y equipo autónomo de respiración.

**Instrucciones especiales para combatir el fuego:** Mantener fríos los recipientes y demás instalaciones rociando con agua. Evitar el contacto directo con el producto

### 2.3.3.12 Implementación de medidas para la disposición final de residuos

Los restos de producto químico deberían eliminarse por incineración o mediante cualquier otro medio de acuerdo a la legislación local.

El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico.

No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua

---

<sup>7</sup> HOWARD. Philip H, *Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Volume II, Lewis Publishers, USA, 1990.

<http://www.cise.columbia.edu/clean/msds/xylenes.pdf>. Hojas de Seguridad Xilenos.

<http://www.digesa.minsa.gob.pe/Normas/Salud%20Ocupacional/3.pdf>. Normas de Seguridad para el Uso de Químicos.

<http://www.estrucplan.com.ar/Secciones/Hojas/resultado.asp>. Hojas de Seguridad.

[http://www.rawchem.co.uk/data\\_sheets/XYLENE.pdf](http://www.rawchem.co.uk/data_sheets/XYLENE.pdf). Xileno MSDS

### 2.3.4 Éter de Petróleo<sup>8</sup>

#### 2.3.4.1 Propiedades Físico - Químicas

**Nombre químico:** Éter de Petróleo 35 – 60

**Sinónimos:** Espíritu de petróleo - Ligroina

**Nº CAS:** 8032-32-4

**Fórmula:** No aplicable

**Aspecto y color:** Líquido incoloro.

**Olor:** Leve olor a hidrocarburos

**Presión de vapor a 20 °C:** 400 mmHg (Aproximadamente)

**Densidad relativa de vapor (aire=1):** 3.0 (aproximadamente)

**Solubilidad en agua:** Insoluble en el agua. Soluble en la mayoría de solventes orgánicos.

**Punto de ebullición:** 35 – 60 °C


**Peso molecular:** 74.12

**Temperatura de Fusión:** -40 °C

**Grupo Químico:** Hidrocarburo Alifático.

**Densidad a 20 °C:** 0.65 Kg/L

#### 2.3.4.2 Identificación de Riesgos

RIESGO PRINCIPAL		: Inflamable					0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo
CODIGO W & Z		:	1	4	0	1	
ROTULO DE TRANSPORTE		SALUD INFLAMABLE REACTIVO CONTACTO 					

### 2.3.4.3 Estabilidad y Reactividad

Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.

**Condiciones que deben evitarse:** Fuentes de ignición o calor.

**Materiales a evitar:** Oxidantes fuertes tales como Peróxidos, Nitratos y Perclorados

**Productos de descomposición:** Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono

**Polimerización:** No ocurre

### 2.3.4.4 Información Toxicológica

	Efectos agudos	Efectos crónicos
<b>Contacto con la piel</b>	Puede ser absorbido a través de la piel y producir efectos tóxicos.	Dermatitis.
<b>Contacto con los ojos</b>	El líquido y los vapores concentrados pueden causar irritación.	No hay información disponible.
<b>Inhalación</b>	Dolor de cabeza, náuseas y mareos	La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
<b>Ingestión</b>	Dolor abdominal, sensación de quemazón.	La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
<b>Otros</b>	No hay evidencia de efectos cancerígenos, mutágenos o teratógenos.	

**Límite permisible ponderado de exposición:** 320 ppm.

**Límite permisible absoluto de exposición:** 1600 ppm.



#### 2.3.4.5 Riesgos de Incendio y Explosión

**Incendio:** Producto inflamable en grado extremo

**Puntos de inflamación:** -49 °C.

**Temperatura de auto ignición:** 288 °C

**Límites de inflamabilidad:** 1.1% - 5.9%

**Productos de combustión:** Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono.

#### 2.3.4.6 Efectos Ecotóxicos

DESTINO	POSIBLES EFECTOS
Al suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material no se biodegrada.</li><li>• Se espera que pueda lixivarse hasta llegar hacia aguas subterráneas.</li><li>• Al ambiente se evapora rápidamente.</li></ul>
Al agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material no se biodegrada</li><li>• Se estima que el tiempo de vida en el agua es menor a un día</li><li>• Se estima que no se bioacumula</li></ul>
Al aire	<ul style="list-style-type: none"><li>• Puede ser moderadamente degradado por reacción fotoquímica produciendo radicales hidroxilo</li><li>• Se estima que el material no se degrada por fotólisis.</li><li>• Se estima que el tiempo de vida en el aire oscila entre 1 y 10 días.</li></ul>

**Toxicidad ambiental:** No se estima que sea toxico para la vida acuática.  
DL50/96 horas en peces supera los 100 mg/l.

#### 2.3.4.7 Equipos de Protección Personal

**Protección respiratoria:** Sí.

**Protección de manos:** Sí.

**Protección de ojos:** Sí.

**Protección del cuerpo:** Sí.

**Instalaciones de seguridad:** Lavaojos

#### 2.3.4.8 Manipuleo y Almacenamiento

**Condiciones de manipuleo:** Evitar las llamas, no producir chispas y no fumar, no comer, ni beber durante el trabajo.

**Condiciones de almacenamiento:** A prueba de incendios. Separado de oxidantes fuertes, lugar fresco, con buena ventilación y alejado de la luz solar.

#### 2.3.4.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas

**Precauciones personales:** Usar los elementos de protección personal y lavar la ropa contaminada, ventilar el área, alejar y/o apagar fuentes de ignición.

**Precauciones ambientales:** No permitir que este producto se incorpore al ambiente. Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente, debería prestarse atención especial a los peces y crustáceos.

**Métodos de limpieza:** Recoger, en la manera de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintados, Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.

#### 2.3.4.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios

**En general:** Higiene estricta. En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.

**Contacto con la piel:** Lavar con abundante agua y un jabón no abrasivo, a lo menos por 5 minutos.

**Contacto con los ojos:** Lavarse con abundante agua en el lavadero de ojos, por 5 minutos o hasta que la sustancia química haya sido removida.

**Inhalación:** Trasladar a la persona donde exista aire fresco, sino reacciona dar respiración artificial, si respira dificultosamente suministrar oxígeno.

**Ingestión:** Dar a beber 250 – 300 ml de agua para diluir, solo si la persona está conciente, inducir al vómito, dar atención médica.

#### 2.3.4.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión

**Medidas de extinción apropiadas:** Polvo químico seco, espuma o anhídrido Carbónico.

**Medidas de extinción inadecuadas:** Agua en chorros para evitar que el producto se desparrame.

**Productos de descomposición:** Monóxido de carbono y Dióxido de Carbono

**Equipos de protección personal especiales:** Traje de protección personal completa y equipo autónomo de respiración.

**Instrucciones especiales para combatir el fuego:** Mantener fríos los recipientes y demás instalaciones rociando con agua. Evitar el contacto directo con el producto

#### 2.3.4.12 Implementación de medidas para la disposición final de residuos

Para líquidos: Ver la posibilidad de recuperar por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura, también se puede evaporar en pequeñas cantidades y con precaución baja campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada y de acuerdo a la legislación local.

El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico, lejos de fuentes de iniciadoras de incendio.

No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua  
Cuando exista compromiso de corrosividad, se debe neutralizar antes de evacuar a pH entre 6 – 8.

---

<sup>8</sup> HOWARD. Philip H, *Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Volume II, Lewis Publishers, USA, 1990.  
<http://www.bu.edu/es/labsafety/ESMSDSs/MSMEther.html>. Hojas de Seguridad Éter.  
<http://www.digesa.minsa.gob.pe/Normas/Salud%20Ocupacional/3.pdf>. Normas de Seguridad para el Uso de Químicos.  
<http://www.estrucplan.com.ar/Secciones/Hojas/resultado.asp>. Hojas de Seguridad.

### 2.3.5 Hexano<sup>9</sup>

#### 2.3.5.1 Propiedades Físico - Químicas

**Nombre químico:** Hexano

**Sinónimos:** Hexano normal- Hidruro de hexilo

**Nº CAS:** 110-54-3

**Fórmula:** C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>

**Aspecto y color:** Líquido incoloro.

**Olor:** Suave olor a gasolina

**Presión de vapor:** 16 KPa a 20°C

**Densidad relativa de vapor (aire=1):** 3.0


**Solubilidad en agua:** a 20 °C 0.1 g/l

**Punto de ebullición:** 69°C

**Peso molecular:** 86.18

**Densidad a 20°C:**  $\geq 0.66 \text{ g/cm}^3$

#### 2.3.5.2 Identificación de Riesgos

<b>RIESGO PRINCIPAL</b>		<b>: Inflamable</b>					<b>0 = Ninguno</b> <b>1 = Ligero</b> <b>2 = Moderado</b> <b>3 = Severo</b> <b>4 = Extremo</b>
<b>CODIGO W &amp; Z</b>		:	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
<b>ROTULO DE TRANSPORTE:</b>		<div><div>SALUD</div><div>INFLAMABLE</div><div>REACTIVO</div><div>CONTACTO</div></div> <div></div>					

### 2.3.5.3 Estabilidad y Reactividad

Reacciona con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.

**Condiciones que deben evitarse:** Fuentes de ignición, calor e incompatibilidades.

**Materiales a evitar:** Agentes oxidantes (peligro de incendio y explosión)

**Productos de descomposición:** En caso de incendio puede desprender gases y vapores tóxicos (Ej. Monóxido de Carbono)

**Polimerización:** No aplicable.

### 2.3.5.4 Información Toxicológica

	Efectos agudos	Efectos crónicos
Contacto con la piel	Piel seca enrojecimiento	Puede causar dermatitis
Contacto con los ojos	Enrojecimiento, dolor.	
Inhalación	Vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, dificultad respiratoria, náuseas, debilidad, pérdida del conocimiento.	Poli neuropatías.
Ingestión	Dolor abdominal.	

**Límite en aire de lugar de trabajo:** 180 mg/m<sup>3</sup>

**Límite biológico:**

**1-5 hexanediona en orina:** Fin de la jornada: 5 mg/l

**n-hexano en aire exhalado (última porción):** Durante la jornada: 40 ppm

**Límite NIOSH REL:** TWA 50 ppm (180 mg/m<sup>3</sup>)

**Límite OSHA PEL:** TWA 500 ppm (1800 mg/m<sup>3</sup>)

**Nivel guía para fuentes de agua de bebida humana:** No establecido

(Ver en glosario de términos los significados de las siglas)

### 2.3.5.5 Riesgos de Incendio y Explosión

**Incendio:** Altamente inflamable. El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo, posible ignición en punto distante.

**Explosión:** Las mezclas vapor/aire son explosivas.

**Puntos de inflamación:** -22°C (copa cerrada)

**Temperatura de auto ignición:** 240°C

### 2.3.5.6 Efectos Ecotóxicos

DESTINO	POSIBLES EFECTOS
Al suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material puede biodegradarse de una manera moderada.</li><li>• No se espera que pueda lixivarse hasta llegar hacia aguas subterráneas.</li><li>• Al ambiente se evapora rápidamente.</li></ul>
Al agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material podría parcialmente biodegradarse</li><li>• Se estima que el tiempo de vida en el agua está entre 1 y 10 días.</li><li>• No se espera que se bioacumule significativamente.</li></ul>
Al aire	<ul style="list-style-type: none"><li>• Puede ser rápidamente degradado por reacción fotoquímica produciendo radicales hidroxilo</li><li>• Puede ser moderadamente degradado por fotólisis.</li><li>• Se estima que el tiempo de vida en el aire está entre 1 y 10 días.</li></ul>

**Toxicidad ambiental:** No existe información

### 2.3.5.7 Equipos de protección personal

**Protección respiratoria:** Si

**Protección de manos:** Si

**Protección de ojos:** Si

**Protección del cuerpo:** No

**Instalaciones de seguridad:** Lavaojos.

### 2.3.5.8 Manipuleo y Almacenamiento

**Condiciones de manipuleo:** Evitar las llamas. No producir chispas y no fumar. Usar sistema cerrado de ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosivos. No usar aire comprimidos para llenar, vaciar o manipular. Usar herramientas manuales.

**Condiciones de almacenamiento:** A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco y bien cerrado.

### 2.3.5.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas

**Precauciones personales:** Protección personal adicional. Equipo autónomo de respiración.

**Precauciones ambientales:** No verter al alcantarillado.

**Métodos de limpieza:** Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrame y el ya derramado en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro

### 2.3.5.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios

**En general:** En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios derivar al médico.

**Contacto con la piel:** Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón y proporcionar asistencia médica.

**Contacto con los ojos:** Enjuagar con agua abundante durante varios minutos. (Quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.

**Inhalación:** Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.

**Ingestión:** Enjuagar la boca, No provocar el vómito, reposo y proporcionar asistencia médica.

### 2.3.5.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión

**Medidas de extinción apropiadas:** Polvo, espuma, dióxido de carbono.

**Medidas de extinción inadecuadas:** Aguas en chorros.

**Productos de descomposición:** Monóxido de carbono.

**Equipos de protección personal especiales:** Equipo autónomo de respiración.

**Instrucciones especiales para combatir el fuego:** Mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

### 2.3.5.12 Implementación de medidas para la disposición final de residuos

Los restos de producto químico deberían eliminarse por incineración o mediante otro medio de acuerdo a la legislación local.

El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico.

No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> OILWATCH, *Manual de Monitoreo Ambiental para la Industria Petrolera*. Pdf, 1997.  
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=547>. Toxicología Hexano.  
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Produccion.asp?idproduccion=5>. Toxicología de los Compuestos Químicos.  
<http://www.jtbaker.com/msds/englishhtml/h2381.htm>. Hojas de Seguridad Hexano.  
<http://www.lomb.com.au/n-Hexane%20%2099%.pdf>. Hexano MSDS



### 2.3.6 1,1,1 Tricloroetano<sup>10</sup>

#### 2.3.6.1 Propiedades Físico - Químico

**Nombre químico:** 1,1,1- Tricloroetano

**Sinónimos:** Metilcloroformo/ a-Tricloroetano

**Nº CAS:** 71-55-6

**Fórmula:** C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>/CCl<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>

**Aspecto y color:** Líquido incoloro.

**Olor:** Característico.

**Presión de vapor:** 13.3 KPa a 20°C

**Densidad relativa de vapor (aire=1):** 4.6

**Solubilidad en agua:** Insoluble.


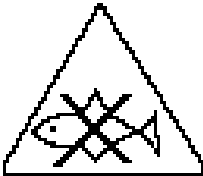

**Punto de ebullición:** 74°C

**Punto de fusión:** -30°C

**Peso molecular:** 133.4

**Densidad a 20°C:** 1.34 g/cm<sup>3</sup>

#### 2.3.6.2 Identificación de Riesgos

RIESGO PRINCIPAL		: Salud					0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo
CODIGO W & Z		:	3	1	2	W	
SALUD INFLAMABLE REACTIVO CONTACTO							
ROTULO DE TRANSPORTE:		<div></div>					

### 2.3.6.3 Estabilidad y Reactividad

El vapor es más denso que el aire.

La sustancia se descompone al calentarla intensamente o al arder, produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo fosgeno y cloruro de hidrógeno.

Reacciona violentamente con aluminio, manganeso y sus aleaciones, álcalis, oxidantes fuertes, acetona y cinc. Ataca al caucho natural. Las mezclas con potasio y sus compuestos son sensibles al choque. Reacciona lentamente con el agua, produciendo humos corrosivos de cloruro de hidrógeno.

**Condiciones que deben evitarse:** Fuentes de claror e ignición. Contacto con el agua.

**Materiales a evitar:** Aluminio, manganeso y sus aleaciones, álcalis, oxidantes fuertes, acetona, cinc, caucho natural, mezclas de potasio, agua.

**Productos de descomposición:** Humos tóxicos y corrosivos incluyendo fosgeno y cloruro de hidrógeno.

**Polimerización:** No aplicable.

#### 2.3.6.4 Información Toxicológica

	Efectos agudos	Efectos crónicos
<b>Contacto con la piel</b>	Piel seca. Enrojecimiento.	El líquido desengrasa la piel.
<b>Contacto con los ojos</b>	Enrojecimiento.	No hay información disponible.
<b>Inhalación</b>	Dolor de cabeza, vértigo, somnolencia, náuseas, ataxia, pérdida del conocimiento. La sustancia puede causar efectos en el corazón, sistema nervioso central, riñón, e hígado, dando lugar a alteraciones cardíacas, fallo respiratorio. La exposición a altas concentraciones puede producir la muerte. Alteraciones cardíacas.	La sustancia puede afectar al hígado.
<b>Ingestión</b>	Diarrea, náuseas, vómitos, somnolencia, ataxia, pérdida del conocimiento.	No hay información disponible.
<b>Otros</b>	El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Estabilizadores e inhibidores añadidos pueden influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia. Consultar a un experto.	

**Límite en aire de lugar de trabajo:** 1900 mg/m<sup>3</sup>

**Límite biológico:** No establecido.

**Límite NIOSH REL:** 350 ppm (1900 mg/m<sup>3</sup>) 15 minutos.

**Límite OSHA PEL:** TWA 350 ppm (1900 mg/m<sup>3</sup>)

**Nivel guía para fuentes de agua de bebida humana:** No establecido.

(Ver en glosario de términos los significados de las siglas)

#### 2.3.6.5 Riesgos de Incendio y Explosión

**Incendio:** Combustible en condiciones específicas. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. El calentamiento intenso puede producir aumento de presión con riesgo de estallido. Bajo ciertas condiciones pueden desarrollarse mezclas combustibles vapor/aire difíciles de inflamar. La sustancia arde únicamente en presencia de gran cantidad de oxígeno o en presencia de una fuente de ignición.

**Explosión:** No aplicable.

**Temperatura de auto ignición:** 537°C

#### 2.3.6.6 Efectos Ecotóxicos

DESTINO	POSIBLES EFECTOS
Al suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material puede rápidamente biodegradarse.</li></ul>
Al agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• El material podría parcialmente biodegradarse</li><li>• En el agua puede evaporarse rápidamente.</li><li>• No se espera que se bioacumule significativamente.</li></ul>
Al aire	<ul style="list-style-type: none"><li>• Puede ser moderadamente degradado por reacción fotoquímica produciendo radicales hidroxilo</li><li>• Se estima que el tiempo de vida en el aire está entre 1 y 10 días.</li></ul>

**Toxicidad ambiental:** Se estima que puede ser ligeramente toxico para el medio acuático. DL50/96 horas para peces oscila entre 10 y 100 mg/l.

#### 2.3.6.7 Equipos de Protección Personal

**Protección respiratoria:** Sí. Utilización de protección respiratoria.

**Protección de manos:** Sí. Se recomienda utilización de guantes protectores.

**Protección de ojos:** Sí. Anteojos ajustados de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.

**Protección del cuerpo:** No.

**Instalaciones de seguridad:** Duchas de seguridad y lavajojos.

#### **2.3.6.8 Manipuleo y Almacenamiento**

**Condiciones de manipuleo:** Evitar la formación de niebla del producto. No utilizar cerca del fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. No comer, beber, ni fumar durante el trabajo.

**Condiciones de almacenamiento:** Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Separado de alimentos, piensos, aluminio, manganeso y sus aleaciones, álcalis, oxidantes fuertes, acetona, cinc, caucho y agua.

Mantener en lugar fresco y seco. Ventilación a ras del suelo.

#### **2.3.6.9 Implementación de medidas en caso de derrames y/o fugas**

**Precauciones personales:** Equipo autónomo de respiración.

**Precauciones ambientales:** No permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos. Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial al aire y aguas subterráneas.

**Métodos de limpieza:** Ventilar. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.

#### **2.3.6.10 Implementación de medidas en caso de contacto con el producto - Primeros Auxilios**

**En general:** En todos los casos luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.

**Contacto con la piel:** Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón y proporcionar asistencia médica.

**Contacto con los ojos:** Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.

**Inhalación:** Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.

**Ingestión:** Enjuagar la boca. Dar a beber una papilla de carbón activado. No provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

#### **2.3.6.11 Implementación de medidas en caso de incendio y explosión**

**Medidas de extinción apropiadas:** En caso de incendio en el entorno están permitidos todos los agentes extintores, salvo los que contengan agua.

**Medidas de extinción inadecuadas:** Agua.

**Productos de descomposición:** Humos tóxicos y corrosivos incluyendo fosgeno y cloruro de hidrógeno.

**Equipos de protección personal especiales:** Equipo autónomo de respiración.

**Instrucciones especiales para combatir el fuego:** En caso de incendio mantener fríos los recipientes y demás instalaciones rociando con agua.

#### **2.3.6.12 Implementación de medidas para la disposición final de residuos**

Los restos de producto químico deberían disponerse de acuerdo a tecnología aprobada y a la legislación local. El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico. No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> HOWARD. Philip H, *Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Volume II, Lewis Publishers, USA, 1990.  
<http://www.cise.columbia.edu/clean/msds/tce.pdf>. Hojas de Seguridad de 1,1,1 Tricloroetano.  
<http://www.digesa.minsa.gob.pe/Normas/Salud%20Ocupacional/3.pdf>. Normas de Seguridad para el Uso de Químicos.  
<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=581>. Toxicología Tricloroetano.  
<http://www.intox.org/databank/documents/chemical/trichlor/ukpid29.htm>. Tricloroetano MSDS.  
<http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0079.htm>. Propiedades Físico Químicas Tricloroetano

## 2.4 Métodos Estadístico

Con el propósito de reducir el margen de error de los resultados se realiza el análisis estadístico mediante el cálculo de:

### 2.4.1 Promedio

Es el punto de equilibrio para un conjunto de datos. Mediante este análisis se evalúan todos los datos para obtener un valor medio.

#### Ecuación No. 1: Promedio

$$\bar{x} = \sum \frac{Xi}{\eta} = \frac{x1 + x2 + x3 + .....x\eta}{\eta}$$

Donde:

$\bar{x}$  = Promedio

$Xi$  = Datos obtenidos

$\eta$  = Numero total de Datos

$\sum$  = Sumaria de los valores

### 2.4.2 Mediana

Después de agrupar los valores se calcula la media que brinda el valor que se encuentra exactamente en la mitad.

#### Ecuación No. 2: Mediana

$$Me = \frac{\sum (f * \mu)}{\eta - 1}$$

Donde:

$Me$  = Mediana

$f$  = Frecuencia

$\mu$  = Punto medio

$\eta$  = Número de Datos

$\sum$  = Sumaria de los valores

### 2.4.3 Varianza y Desviación Estándar

La varianza y la desviación estándar nos brindan una medida más significativa sobre el punto hasta el cual se dispersan las observaciones alrededor de la media. Es decir que se encuentra la cantidad por la cual cada observación se desvía de la muestra.

**Ecuación No.3: Varianza**

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i^2 n_i - \bar{x}^2$$

**Ecuación No.4: Desviación Std.**

$$S = \sqrt{S^2}$$

Donde:

$S^2$  = Varianza

$\Sigma$  = Sumaria de los valores

n = Número de datos

x = Punto medio

$\bar{x}$  = Promedio

S = Desviación Estándar

$S^2$  = Variación

**2.4.4 Análisis ANOVA**

El análisis ANOVA (Analysis of Variance), es básicamente un análisis que se utiliza para corroborar si la significación de diferencias entre las medias de dos o mas grupos, son o no debidas al azar. Es decir que se plantean dos hipótesis; una hipótesis nula que establece que los seis solventes tiene la misma media y otra hipótesis verdadera que establece todo lo contrario (no poseen la misma media).

Esta herramienta verifica si el porcentaje de remoción de TPH depende de cada solvente o no.

El análisis consta de 3 pasos.

1. Determinar una estimación de la varianza de la población a partir de la varianza entre las medias de la muestra.
2. Determinar una segunda estimación de la varianza de la población desde la varianza dentro de las muestras.
3. Comparar estas dos estimaciones. Si su valor es aproximadamente igual, se aceptaría la hipótesis nula.



## **Capítulo III**

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Procedimientos de Laboratorio Previos al Análisis de Extracción.**

##### **3.1.1 Preparación de la muestra para ser utilizada como blanco**

Los suelos amazónicos son suelos sedimentarios con variaciones granulométricas y con partículas incorporadas al suelo como son piedras, madera, desechos, etc. Por lo que es necesario realizar un proceso previo de tamizado.

El tamiz utilizado en la granulometría para dejar al suelo libre de escombros tiene un diámetro de rejilla de 0.25 cm. (ANEXO 1)

Se tamizó alrededor de 2 kilogramos de suelo. Un Kilogramo se destinó para la mezcla con hidrocarburos para conseguir la concentración deseada y el otro Kilogramo fue utilizado con cada uno de los 6 solventes estudiados como muestras blancos en el proceso de extracción mediante el uso del equipo “Soxhlet”.

##### **3.1.2 Preparación de la muestra con concentración conocida de hidrocarburos**

El petróleo ecuatoriano se encuentra en yacimientos ubicados en la región amazónica, el cual ha sido explotado por las compañías petroleras nacionales y extranjeras. A través de una de estas compañías, se obtuvo una muestra de crudo para la realización del presente estudio.

Utilizando la balanza monoplato pesamos  $1000 \pm 0,1$  g de suelo. Para luego verter el petróleo en el suelo hasta conseguir un peso de 50 gramos.

Una vez terminada la operación anterior se comenzó a mezclar el suelo con el petróleo hasta obtener una muestra homogénea con una concentración de 50000 ppm (mg de petróleo/Kg de suelo).

### **3.1.3 Caracterización Físico – Química del suelo.**

Para el análisis físico-químico se secó el suelo a temperatura ambiente por 24 horas para que obtenga un equilibrio con el aire y la humedad del entorno.

#### **3.1.3.1 Contenido de Humedad**

##### **Procedimiento**

- Pesar 10 g. de suelo en un vidrio reloj.
- Secar la muestra en la estufa eléctrica a 105 C° durante 24 horas.
- Dejar enfriar en el desecador
- Pesar la muestra en la balanza analítica

##### **Materiales**

Vidrio reloj, Balanza analítica, Estufa eléctrica, Desecador, Espátula.

#### **3.1.3.2 Contenido de Materia Orgánica**

##### **Procedimiento**

- Pesar en la balanza analítica 25 gramos de suelo sobre un vidrio reloj.
- Introducir la muestra en la mufla eléctrica a 550 C° durante 30 minutos.
- Dejar enfriar en el desecador
- Pesar la muestra en la balanza analítica

##### **Materiales**

Balanza analítica, Espátula, Crisoles, Vidrio reloj, Mufla eléctrica, Desecador.

### **3.1.3.3 Densidad del Suelo**

#### **Procedimiento**

- Pesar la probeta de 100 ml en la balanza analítica
- Con la ayuda de un vaso de precipitación verter el suelo en la probeta hasta alcanzar los 100 ml graduados en ella
- Pesar la probeta con los 100 ml de suelo en la balanza analítica

#### **Materiales**

Probeta de 100 ml, Vaso de precipitación de 250 ml, Balanza analítica, Espátula.

### **3.2 Análisis de Extracción de TPH mediante solventes orgánicos**

#### **3.2.1 Preparación de las muestra de fondo (blanco) y de concentración de TPH conocido.**

#### **Procedimiento**

- Secar el suelo en la estufa eléctrica por 24 horas a 105 °C.
- Pesar 20 gramos de suelo una vez enfriada la muestra.
- Enrollar el suelo en el filtro y sellar para que no ocurran fugas.
- Colocar la muestra en el cartucho de extracción

#### **Materiales**

Vidrio reloj, Balanza analítica, Espátula, Papel filtro, Cartuchos de Extracción, (Extraction Thimbles)

#### **3.2.2 Proceso de Extracción**

#### **Procedimiento**

- Armar el equipo de extracción tipo “Soxhlet”. (ANEXO 2)
- Colocar de cartucho con la muestra en la cámara de extracción del Soxhlet.
- En los balones de ebullición colocar 125ml de solvente con la ayuda de una probeta y un vaso de precipitación.
- Encender la placa eléctrica y contar 6 ciclos a partir de la primera gota que cae en la cámara de extracción del Soxhlet.

### **Materiales y Solventes**

Equipo de extracción tipo “Soxhlet”, Balones de ebullición de 125 ml, Vaso de precipitación de 250 ml, Probeta de 100 ml, Placa eléctrica, Solventes (Acetona, Metanol, Hexano, Éter de petróleo, Xileno (mezcla), 1,1,1 Tricloroetano).

### **3.2.3 Destilación del Solvente**

#### **Procedimiento**

- Armar el equipo de destilación simple en los balones de ebullición utilizados en la extracción. (ANEXO 3)
- Encender la placa eléctrica.
- Secar el solvente hasta obtener una cantidad mínima del líquido.
- Secar el balón de ebullición en la estufa eléctrica.
- Dejar enfriar en desecador.
- Pesar el balón de ebullición en la balanza analítica.

#### **Materiales**

Equipo de destilación, Pinzas, Estufa eléctrica, Desecador, Balanza analítica.

## Capítulo IV

### 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### 4.1 Caracterización Físico – Química del suelo

Para el análisis del contenido de Humedad y Materia Orgánica, se realizaron tres ensayos, cuyos resultados se agruparon para obtener el valor promedio de cada parámetro.

##### 4.1.1 Cálculo del Contenido de Humedad

Para la determinación de la cantidad de Humedad se utilizó la siguiente relación:

$$\% \text{Humedad} = \{ (\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso de la muestra después de secar en la Estufa}) / (\text{Peso inicial de la muestra}) \} \times 100.$$

##### Ecuación No. 5: Porcentaje de Humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso.muestra.húmeda} - \text{peso.muestra.sec a}) \times 100}{\text{peso.muestra.húmeda}}$$

Ejemplo:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(25.0006 - 19.5902) \times 100}{25.0006} = 21,6\%$$

##### 4.1.2 Cálculo del Porcentaje de Materia Orgánica

Para la determinación del Porcentaje de Materia Orgánica se utilizó la siguiente relación:

% Materia Orgánica = {(Peso de la muestra inicial – Peso de la muestra después de ser calcinada en la Muffla) / (Peso de la muestra)} x100.

#### Ecuación No.6: Porcentaje de Materia Orgánica

$$\%Materia.Orgánica = \frac{(peso.muestra.inicial - peso.muestra.calcinada) \times 100}{peso.muestra.inicial}$$

Ejemplo:

$$\%Materia.Orgánica = \frac{(5.0046 - 3.326) \times 100}{5.0046} = 35,3\%$$

Los resultados obtenidos fueron agrupados para calcular el valor promedio que corresponde a cada uno de los parámetros.

#### Cuadro No. 1: Ensayos del Contenido de Humedad

MUESTRA DE SUELO ORIGINAL				
Ensayo No.	Peso inicial del suelo	Peso del suelo seco	Cantidad de Agua	% Humedad
1	25.0006 g	19.5902 g	5.4104 g	21.6 %
2	25.0046 g	19.5867 g	5.4179 g	21.7 %
3	24.9910 g	19.9333 g	5.0577 g	20.2 %

**Cuadro No. 2: Ensayos del Contenido de Materia Orgánica**

MUESTRA DE SUELO ORIGINAL				
Ensayo No.	Peso inicial del suelo	Peso del suelo calcinado	Cantidad de Agua	% MO
1	5.0068 g	3.2382 g	1.7686 g	35.3 %
2	5.0074 g	3.2312 g	1.7762 g	35.5 %
3	5.0058 g	3.2583 g	1.7475 g	34.9 %

**Cuadro No. 3: Resumen del Contenido de Humedad**

Resultados del Porcentaje de Humedad	
Ensayo No. 1	21.6 %
Ensayo No. 2	21.7 %
Ensayo No. 3	20.2 %
<b>Promedio (<math>\bar{x}</math>)</b>	<b>21.2 %</b>
<b>Desviación (S)</b>	<b>0.8 %</b>

**Cuadro No. 4: Resumen del Contenido de Materia Orgánica**

Resultados del Porcentaje de MO	
Ensayo No. 1	35.3 %
Ensayo No. 2	35.5 %
Ensayo No. 3	34.9 %
<b>Promedio (<math>\bar{x}</math>)</b>	<b>35.2 %</b>
<b>Desviación (S)</b>	<b>0.3 %</b>

#### 4.1.3 Caracterización y Cálculo del Contenido de Materia Inorgánica

Mediante los valores porcentuales obtenidos de Humedad y Materia Orgánica se determinó por la diferencia del 100 % para obtener el valor porcentual de las Arcillas, Arenas y Limos (Componentes Inorgánicos del Suelo).

##### Ecuación No. 7: Porcentaje de Materia Inorgánica

$$\%Materia\ Inorgánica = (100\% - \%Humedad - \%Contenido\ de\ M.O)$$

Ejemplo:

$$\%Materia\ Inorgánica = (100\% - 21.18\% - 35.23\%)$$

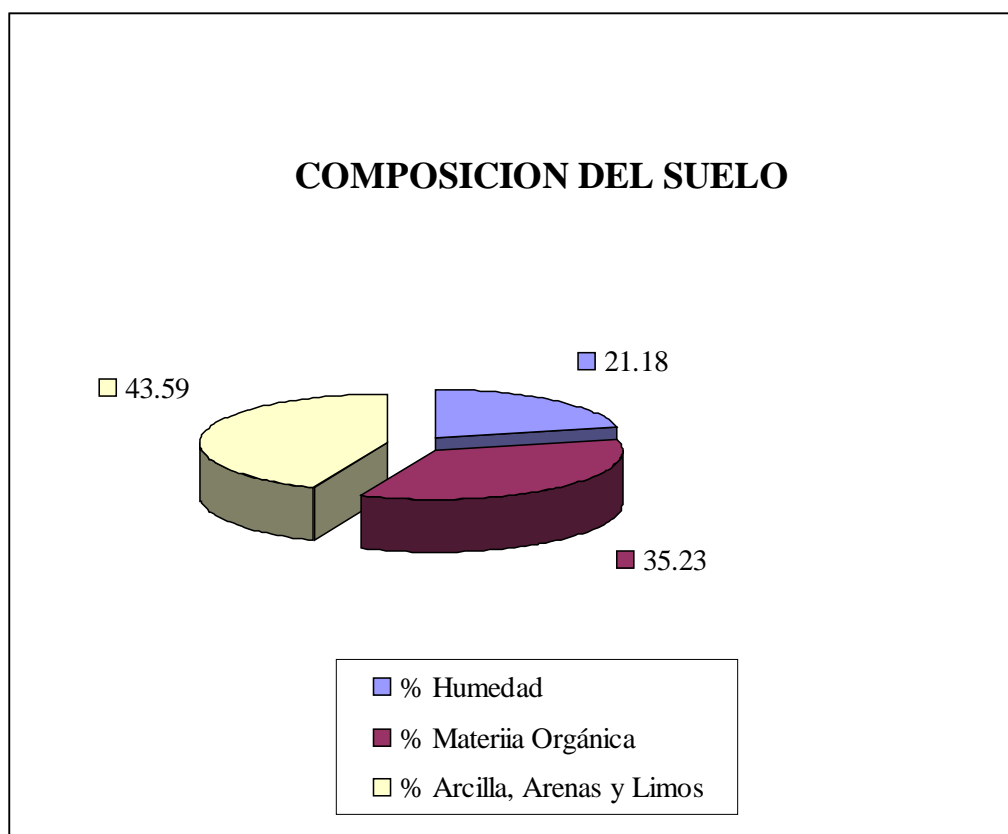
$$\%Materia\ Inorgánica\ (Arenas,\ Limos,\ Arcillas) = 43.59\%$$

##### Cuadro No. 5: Resumen de la Composición Porcentual del Suelo

COMPOSICION DEL SUELO		
% Humedad	21.18	%
% Materia Orgánica	35.23	%
% Arcilla, Arenas y Limos	43.59	%
Total	100	%



**Gráfico No. 1: Composición Porcentual del Suelo**



#### 4.1.4 Cálculo de la Densidad del Suelo

Densidad del suelo se la obtiene mediante el peso del suelo dividido para el volumen del suelo.

#### Ecuación No. 8: Densidad del Suelo

$$Densidad.del.Suelo = \frac{Peso.del.Suelo}{Volumen.del.Suelo} = \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

Ejemplo:

$$Densidad.del.Suelo = \frac{65.30}{100} = 0.6530 \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

**Cuadro No. 6: Resultado de la Densidad del Suelo**

DENSIDAD DEL SUELO		
Peso suelo	65.3000	g
Volumen Probeta	100.0000	cm <sup>3</sup>
Densidad	0.6530	g/cm <sup>3</sup>

**Cuadro No. 7: Resumen del Análisis Físico – Químico**

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje de Humedad (%)	Porcentaje de Materia Orgánica (%)	Porcentaje de Materia Inorgánica (%)
0.6530	21.2 ± 0.8	35.2 ± 0.3	43.6

#### 4.2 Análisis Granulométrico del Suelo.

**Tabla No. 1: Ensayo de Granulometría.<sup>11</sup>**

TAMIZ No.	TAMAÑO (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMULADO (%)	PASA (%)
3 1/2"	90	0	0	0	100
3"	75	0	0	0	100
2 1/2"	63	0	0	0	100
2"	53	0	0	0	100
1"	26.5	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	13.20	0	0	0	100
3/8"	9.50	0	0	0	100
4"	4.75	0	0	0	100
10"	2.00	0.1	0	0	100
40"	0.43	0.2	0	0	100
200"	0.08	5.88	6	6	94

<sup>11</sup> Chávez, G., 2002-2003. *Procesos de sorción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica ecuatoriana*. Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK. Quito

**Gráfico No. 2: Contenido de Arena, Arcilla y Limo en la Fracción Mineralizada del Suelo.**

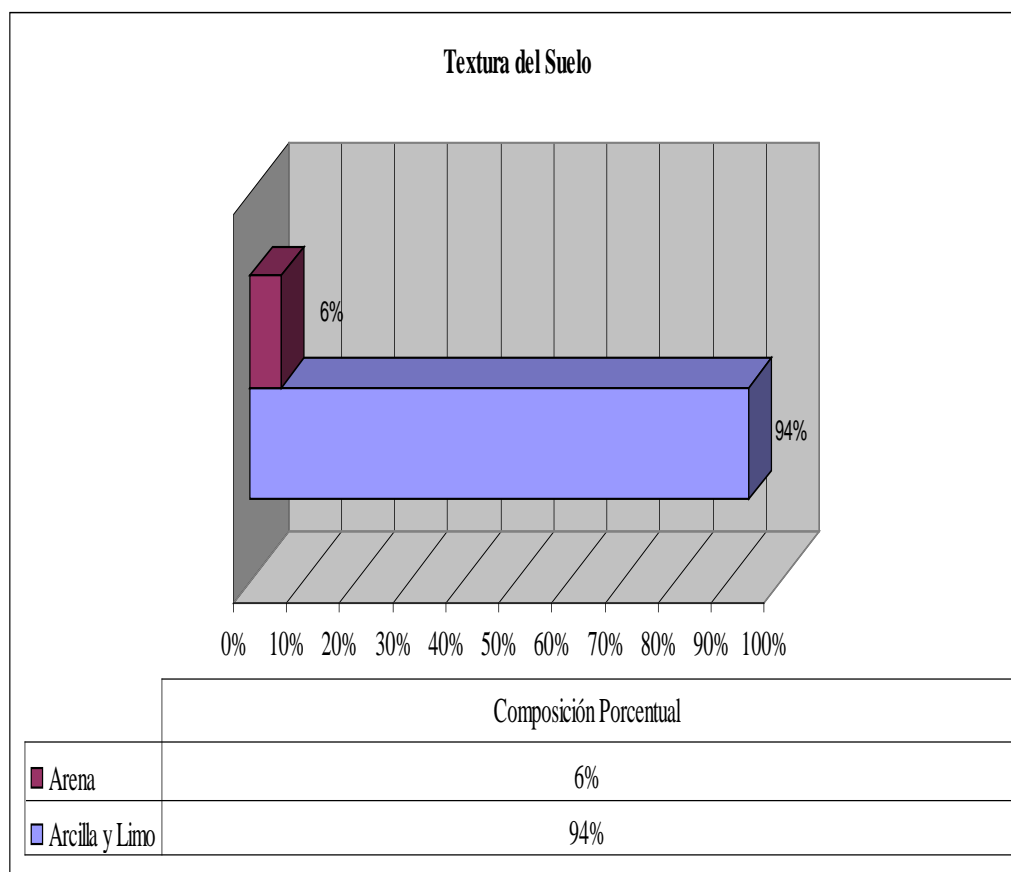
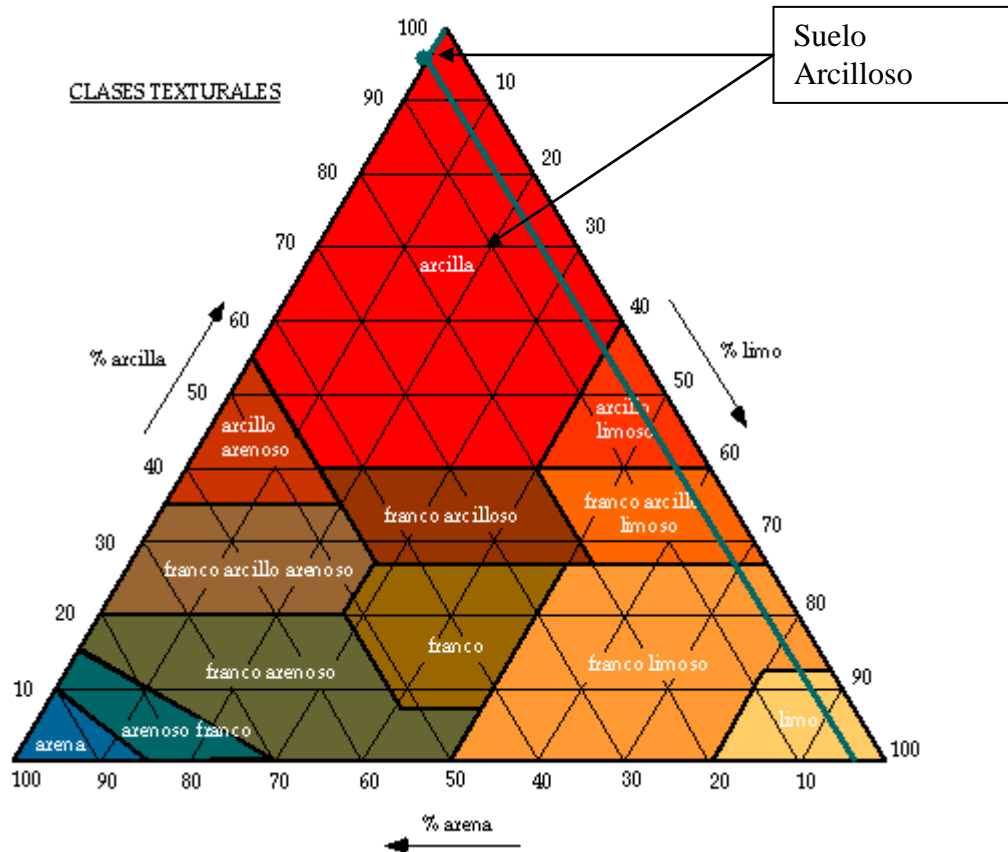


Gráfico realizado en base a la tabla No. 1 <sup>13</sup>

<sup>13</sup> Chávez, G., 2002-2003. *Procesos de sorción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica ecuatoriana*. Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK. Quito

**Gráfico No. 3: Identificación del tipo del suelo mediante el Triángulo de Texturas.<sup>14</sup>**



El tipo de suelo es que se trató en cada una de las muestras es un suelo de Tipo de Textura Arcillosa.

**Tabla No. 2: Tamaño de las Partículas de Suelo en mm.<sup>15</sup>**

INTERNACIONAL						
piedra	grava	arena gruesa	arena fina	limo	arcilla	
	20	2	0,2	0,02	0,002	mm
USDA						
piedra	grava	arenas				
		muy gruesa	gruesa	media	fina	muy fina
20		2	1	0,5	0,25	0,1
						0,05
					limo	arcilla
					0,002	mm

<sup>14</sup> <http://club.telepolis.com/geografo/biogeografia/suelo.htm>. Clasificación y Características del Suelo.

<sup>15</sup> <http://club.telepolis.com/geografo/biogeografia/suelo.htm>. Clasificación y Características del Suelo.

**Tabla No. 3: Clasificación del suelo según el Contenido de Materia Orgánica<sup>17</sup>**

<b>M.O. (%)</b>	<b>Arenosos &lt;10% Arcilla</b>	<b>Limosos 10-30% Arcilla</b>	<b>Arcillosos &gt;30% Arcilla</b>
<b>Muy Pobre</b>	<b>&lt;1,25</b>	<b>&lt;1,00</b>	<b>&lt;1,50</b>
<b>Pobre</b>	<b>1,25-2,00</b>	<b>1,00-1,75</b>	<b>1,50-2,50</b>
<b>Normal</b>	<b>2,00-3,00</b>	<b>1,75-2,50</b>	<b>2,50-3,50</b>
<b>Alto</b>	<b>3,00-4,00</b>	<b>2,50-3,50</b>	<b>3,50-4,50</b>
<b>Excesivo</b>	<b>&gt;4,00</b>	<b>&gt;3,50</b>	<b>&gt;4,50</b>

#### 4.3 Análisis Mineralógico del Suelo (Difracción de Rayos X):

**Tabla No. 4: Determinación de los Minerales<sup>18</sup>**

<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Contenido de Minerales con Cristalización Definida (%)</b>
Albita	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	66,9
Cuarzo	$\text{Si O}_2$	11,2
Kyanita	$\text{Al}_2 \text{Si O}_5$	12,6
Hematina	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	5,5
Paravauxita	$\text{Fe Al}_2 (\text{PO}_4)_2 (\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	3,8
<b>TOTAL</b>		100%

<sup>17</sup> Chávez, G., 2002-2003. *Procesos de sorción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica ecuatoriana*. Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK. Quito

<sup>18</sup>Chávez, G., 2002-2003. *Procesos de sorción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica ecuatoriana*. Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK. Quito

**Gráfico No. 4: Composición Mineralógica del Suelo (Según los Resultados del Análisis por Difracción de Rayos X).**

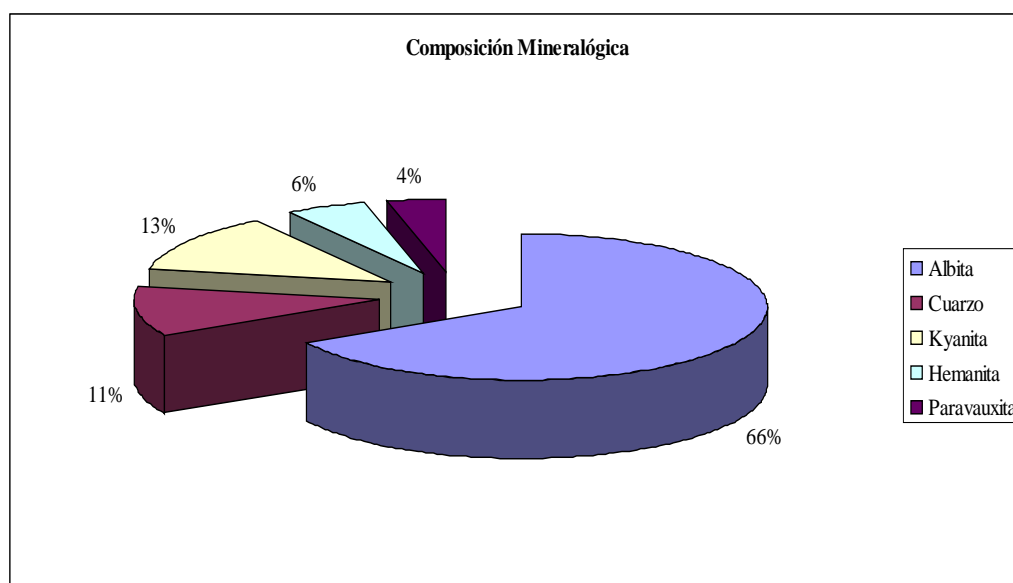


Gráfico realizado en base a la tabla No. 4<sup>19</sup>

#### 4.4 Cálculo de la Cantidad del Material Orgánico Removido (MOR) por el Solvente

##### Ecuación No. 9: Material Orgánico Removido

$$MOR = \text{Peso balón final del proceso} - \text{Peso balón inicial}$$

Ejemplo:

$$MOR = 110.5720 \text{ (g)} - 110.9302 \text{ (g)}$$

$$MOR = 0.3582 \text{ g.}$$

<sup>19</sup> Chávez, G., 2002-2003. *Procesos de sorción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica ecuatoriana*. Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK. Quito

#### 4.4.1 Cálculo de la Concentración de Material Orgánico Removido MOR

##### Ecuación No. 10: Concentración del Material Orgánico Removido

$$Concentracion.MOR = \frac{Cantidad.estrada(mg)}{Peso.suelo.inicial(Kg)} \left[ \frac{1Kg.de.suelo}{1Kg.de.suelo} \right]$$

Ejemplo:

$$Concentracion.Muestra1 = \frac{358.2(mg)}{0.0200102(Kg)} \left[ \frac{1Kg.de.suelo}{1Kg.de.suelo} \right]$$

$$Concentracion.Muestra1 = 17901 \frac{mg}{Kg}$$

**Cuadro No. 8: Extracción de TPH mediante Acetona**

**EXTRACCION CON ACETONA**

CONCENTRACION DE FONDO BLANCO			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	112.4954 g	Balón	114.4751 g
Suelo seco	19.9751 g	Suelo seco	20.0037 g
Peso total sin suelo	112.5222 g	Peso total sin suelo	114.5041 g
Cantidad extraída	0.0268 g	Cantidad extraída	0.0290 g
Concentración	1342 mg/Kg	Concentración	1450 mg/Kg

SUELO CONTAMINADO (50000 ppm deTPH)			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	110.5720 g	Balón	112.4993 g
Suelo seco	20.0102 g	Suelo seco	20.2514 g
Peso total sin suelo	110.9302 g	Peso total sin suelo	112.8696 g
Cantidad extraída	0.3582 g	Cantidad extraída	0.3703 g
Concentración	17901 mg/Kg	Concentración	18285 mg/Kg
ENSAYO 3		ENSAYO 4	
Balón	112.5030 g	Balón	114.4853 g
Suelo seco	20.0385 g	Suelo seco	20.0008 g
Peso total sin suelo	112.855 g	Peso total sin suelo	114.8344 g
Cantidad extraída	0.3520 g	Cantidad extraída	0.3491 g
Concentración	17566 mg/Kg	Concentración	17454 mg/Kg



**Cuadro No. 9: Extracción de TPH mediante Metanol**

**EXTRACCION CON METANOL**

CONCENTRACION DE FONDO BLANCO			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	66.6532 g	Balón	114.4664 g
Suelo seco	20.0309 g	Suelo seco	20.0309 g
Peso total sin suelo	66.7532 g	Peso total sin suelo	114.5611 g
Cantidad extraída	0.1000 g	Cantidad extraída	0.0947 g
Concentración	4992 mg/Kg	Concentración	4728 mg/Kg

SUELO CONTAMINADO (50000 ppm deTPH)			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	58.9552 g	Balón	66.6591 g
Suelo seco	20.0729 g	Suelo seco	20.0470 g
Peso total sin suelo	59.1606 g	Peso total sin suelo	66.8968 g
Cantidad extraída	0.2054 g	Cantidad extraída	0.2377 g
Concentración	10233 mg/Kg	Concentración	11857 mg/Kg
ENSAYO 3		ENSAYO 4	
Balón	58.9543 g	Balón	114.4740 g
Suelo seco	20.0183 g	Suelo seco	20.0183 g
Peso total sin suelo	59.1768 g	Peso total sin suelo	114.7275 g
Cantidad extraída	0.2225 g	Cantidad extraída	0.2535 g
Concentración	11115 mg/Kg	Concentración	12663 mg/Kg

**Cuadro No. 10: Extracción de TPH mediante Hexano**

<b>EXTRACCION CON HEXANO</b>
------------------------------

CONCENTRACION DE FONDO BLANCO			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	58.9545 g	Balón	66.6498 g
Suelo seco	20.0087 g	Suelo seco	20.0283 g
Peso total sin suelo	59.0226 g	Peso total sin suelo	66.7159 g
Cantidad extraída	0.0681 g	Cantidad extraída	0.0661 g
Concentración	3404 mg/Kg	Concentración	3300 mg/Kg

SUELO CONTAMINADO (50000 ppm deTPH)			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	58.9479 g	Balón	114.4573 g
Suelo seco	20.0025 g	Suelo seco	20.0280 g
Peso total sin suelo	59.1239 g	Peso total sin suelo	114.6063 g
Cantidad extraída	0.1760 g	Cantidad extraída	0.1490 g
Concentración	8799 mg/Kg	Concentración	7440 mg/Kg
ENSAYO 3		ENSAYO 4	
Balón	66.6553 g	Balón	58.9577 g
Suelo seco	20.0159 g	Suelo seco	20.0165 g
Peso total sin suelo	66.8671 g	Peso total sin suelo	59.1840 g
Cantidad extraída	0.2118 g	Cantidad extraída	0.2263 g
Concentración	10582 mg/Kg	Concentración	11306 mg/Kg

**Cuadro No. 11: Extracción de TPH mediante Éter de Petróleo**

**EXTRACCION CON ETER DE PETROLEO**

CONCENTRACION DE FONDO BLANCO			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	66.6507 g	Balón	58.9503 g
Suelo seco	20.0194 g	Suelo seco	20.0304 g
Peso total sin suelo	66.7495 g	Peso total sin suelo	59.0470 g
Cantidad extraída	0.0988 g	Cantidad extraída	0.0967 g
Concentración	4935 mg/Kg	Concentración	4828 mg/Kg

SUELO CONTAMINADO (50000 ppm deTPH)			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	58.9588 g	Balón	66.6583 g
Suelo seco	20.0169 g	Suelo seco	20.0185 g
Peso total sin suelo	59.2218 g	Peso total sin suelo	66.8665 g
Cantidad extraída	0.2630 g	Cantidad extraída	0.2082 g
Concentración	13139 mg/Kg	Concentración	10400 mg/Kg
ENSAYO 3		ENSAYO 4	
Balón	114.4763 g	Balón	66.6462 g
Suelo seco	20.0030 g	Suelo seco	20.0100 g
Peso total sin suelo	114.6990 g	Peso total sin suelo	66.8693 g
Cantidad extraída	0.2227 g	Cantidad extraída	0.2231 g
Concentración	11133 mg/Kg	Concentración	11149 mg/Kg

**Cuadro No. 12: Extracción de TPH mediante Xilenos (mezcla)**

**EXTRACCION CON XILENOS (MEZCLA)**

CONCENTRACION DE FONDO BLANCO			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	58.9534 g	Balón	66.6540 g
Suelo seco	20.0174 g	Suelo seco	20.0264 g
Peso total sin suelo	59.0300 g	Peso total sin suelo	66.7452 g
Cantidad extraída	0.0766 g	Cantidad extraída	0.0912 g
Concentración	3827 mg/Kg	Concentración	4554 mg/Kg

SUELO CONTAMINADO (50000 ppm deTPH)			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	66.6455 g	Balón	114.4727 g
Suelo seco	20.0070 g	Suelo seco	20.0764 g
Peso total sin suelo	66.9856 g	Peso total sin suelo	114.8198 g
Cantidad extraída	0.3401 g	Cantidad extraída	0.3471 g
Concentración	16999 mg/Kg	Concentración	17289 mg/Kg
ENSAYO 3		ENSAYO 4	
Balón	58.9538 g	Balón	66.6535 g
Suelo seco	20.0354 g	Suelo seco	20.0053 g
Peso total sin suelo	59.3384 g	Peso total sin suelo	67.0395 g
Cantidad extraída	0.3846 g	Cantidad extraída	0.3860 g
Concentración	19196 mg/Kg	Concentración	19295 mg/Kg

**Cuadro No. 13: Extracción de TPH mediante 1,1,1 Tricloroetano**

**EXTRACCION CON 1,1,1-TRICLOROETANO**

CONCENTRACION DE FONDO BLANCO			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	66.6435 g	Balón	114.4644 g
Suelo seco	20.0133 g	Suelo seco	20.0020 g
Peso total sin suelo	66.6652 g	Peso total sin suelo	114.4806 g
Cantidad extraída	0.0217 g	Cantidad extraída	0.0162 g
Concentración	1084 mg/Kg	Concentración	810 mg/Kg

SUELO CONTAMINADO (50000 ppm deTPH)			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Balón	76.2095 g	Balón	78.5982 g
Suelo seco	20.0149 g	Suelo seco	20.0038 g
Peso total sin suelo	76.4931 g	Peso total sin suelo	78.8940 g
Cantidad extraída	0.2836 g	Cantidad extraída	0.2958 g
Concentración	14169 mg/Kg	Concentración	14787 mg/Kg
ENSAYO 3		ENSAYO 4	
Balón	76.2185 g	Balón	78.6066 g
Suelo seco	20.0010 g	Suelo seco	20.0142 g
Peso total sin suelo	76.5157 g	Peso total sin suelo	78.9028 g
Cantidad extraída	0.2972 g	Cantidad extraída	0.2962 g
Concentración	14859 mg/Kg	Concentración	14799 mg/Kg

**Cuadro No. 14: Tiempos y Ciclos Requeridos en cada Ensayo de Extracción para cada Solvente.**

<b>Solvente</b>	<b>No. De Ciclos de Extracción</b>	<b>Tiempo Aproximado Requerido (minutos)</b>
Acetona	6	42
Metanol	6	75
Hexano	6	31
Éter de Petróleo	6	20
Xilenos (mezcla)	6	80
1,1,1 Tricloroetano	6	50

#### **4.5 Cálculo de la Extracción de TPH mediante Solventes Orgánicos**

##### **Ecuación No. 11: Hidrocarburos Totales de Petróleo**

$$TPH(mg / Kg) = MOR(mg / Kg) - Muestra.Blanco(mg / Kg)$$

Ejemplo:

$$TPH(mg / Kg) = 17901(mg / Kg) - 1396(mg / Kg)$$

$$TPH(mg / Kg) = 16505(mg / Kg).$$

**Cuadro No. 15: Resultados del Contenido de TPH para cada Ensayo (mg TPH / Kg de suelo)**

Solvente	No. De Ensayo	Extracción Total	Blanco promedio	Extracción TPH
Acetona	1	17901	1396	16505
	2	18285	1396	16889
	3	17566	1396	16170
	4	17454	1396	16059
Metanol	1	10233	4860	5373
	2	11857	4860	6997
	3	11115	4860	6255
	4	12663	4860	7803
Hexano	1	8799	3352	5447
	2	7440	3352	4088
	3	10582	3352	7230
	4	11306	3352	7954
Éter de Petróleo	1	13139	4881	8257
	2	10400	4881	5519
	3	11133	4881	6252
	4	11149	4881	6268
Xilenos (mezcla)	1	16999	4191	12808
	2	17289	4191	13098
	3	19196	4191	15005
	4	19295	4191	15104
1,1,1 Tricloroetano	1	14169	947	13222
	2	14787	947	13840
	3	14859	947	13912
	4	14799	947	13852

#### 4.6 Cálculo del Análisis Estadístico y de Varianza ANOVA

Se utilizó como herramienta de obtención y análisis de datos, al Programa de Cálculo “Excel” de Microsoft Office, en el cual se creó en una de sus hojas de cálculo, una “Macros” para facilitar la obtención de los resultados.

##### 4.6.1 Análisis Estadístico

Los principales análisis estadísticos que presenta la tabla final de la Macros son los siguientes:

- Promedio Aritmético
- Mediana
- Varianza
- Desviación Estándar

- Análisis ANOVA

#### **4.6.2 Análisis ANOVA**

El análisis ANOVA se lo realizó utilizando el mismo programa de cálculo.

##### **Procedimiento del análisis ANOVA**

- Se agrupan los datos por columnas según el solvente.
- Dentro del menú de herramientas seleccionar “Análisis de Datos”.
- Escoger la opción “ANOVA, un solo Factor”.
- En la ventana del ANOVA ingresar “El Rango de Entrada” y el “Rango de Salida”.

El resultado final son dos tablas; en la primera calcula un resumen sobre los datos antes analizados (Promedio, Variación, Desviación estándar y la Suma total de cada uno de los ensayos hechos con cada uno de los solventes). En la segunda tabla se encuentra el análisis ANOVA en sí (Variación entre y dentro de los grupos, Suma de los cuadrados, Grados de libertad, promedio de los cuadrados, Distribución “F”, Valor Probable y Valor Crítico)



**Cuadro No. 16: Análisis Estadístico en Hoja de Cálculo del Programa  
“Excel”**

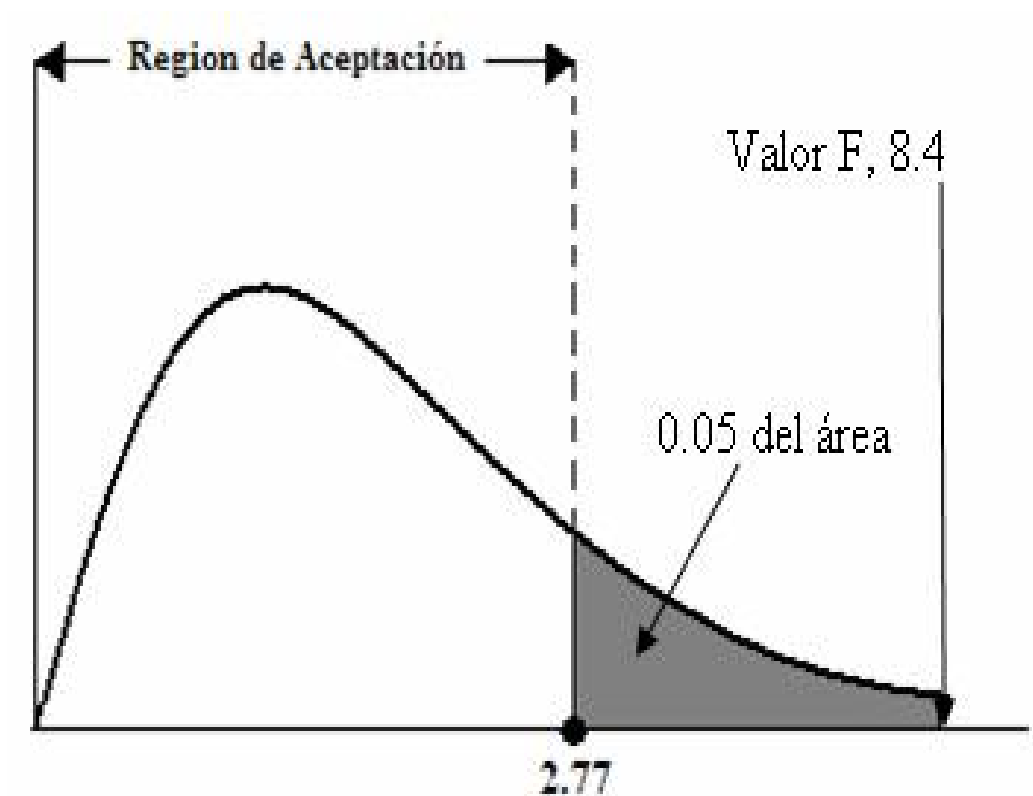
**Cuadro No. 17: Datos Agrupados para la realización del Análisis Estadístico y de Varianza ANOVA**

**Cuadro No. 18: Resumen de Resultados del Análisis Estadístico.**

**Cuadro No. 19: Análisis de Varianza ANOVA en Hoja de Cálculo del Programa “Excel”**

**Cuadro No. 20: Resultados del Análisis ANOVA.**

**Gráfico No. 5: Diagrama del Análisis ANOVA**



Prueba de la hipótesis sobre si la varianza entre solventes es o no igual entre ellos, mediante un nivel de significancia de 0.05, en este grafico se muestra la región de aceptación y el valor de F de la muestra.

## Capítulo V

### 5. DISCUSIÓN

- El suelo se lo analiza para conocer sobre sus características específicas y poder tener una noción mas clara de cómo va a ser su comportamiento al momento de la extracción con los solventes.
- Los suelos amazónicos, por lo general, son suelos muy húmedos debido a la cantidad significativa de precipitaciones y el elevado porcentaje de humedad ambiental llegando a límites de alrededor del 80%. En el caso de este estudio las muestras de suelo permanecieron a la intemperie de la Ciudad de Quito, por lo que su humedad se redujo, dando como resultado un porcentaje de humedad del 21,2.
- La humedad que se encuentra en la muestra se pierde al momento de ser calentada por encima de su punto de ebullición. El estudio del porcentaje de humedad es importante ya que los resultados de los análisis dependen mucho de la diferencia de los pesos de las distintas muestras.
- Por normas de seguridad todos los ensayos se realizaron dentro del extractor de gases y humos.
- De los solventes utilizados en el presente trabajo son miscibles en agua la Acetona y el Metanol. Ligeramente miscibles al momento de ser calentados son el Hexano y el Éter de petróleo y no miscibles el Xileno y. 1,1,1 Tricloroetano
- La descomposición de la materia orgánica aporta al suelo diferentes minerales y gases como amoniaco, nitratos, fosfatos, etc.; en su mayoría con un pH ácido. Estos son elementos esenciales para el metabolismo de

los seres vivos y conforman la reserva trófica del suelo para las plantas, además de garantizar su estabilidad.

- Los Ácidos Fúlvicos, Húmicos, ceras, etc. productos de la descomposición de la materia orgánica, son extraídos conjuntamente con los TPH por los solventes orgánicos, por lo que su medición es importante al momento de obtener el porcentaje de remoción de TPH. (Muestra blanco).
- La cantidad de materia orgánica es del 35.23%. este valor es bastante alto, debido a que la muestra fue tomada en el primer horizonte del suelo (Horizonte A), en donde ocurren los principales procesos de descomposición.
- Los resultados de la extracción de materia orgánica para el suelo denominado blanco demostró que los solventes con mayor remoción de materia orgánica son el Éter de petróleo y el Metanol con resultados promedios de 4881 ppm y 4860 ppm respectivamente.
- El suelo se clasifica por su textura (fina o gruesa), por su estructura (floculada, agregada o dispersa) o por sus características mineralógicas. Esta clasificación permite conocer sobre el comportamiento del solvente al momento de estar en contacto con el suelo, por ejemplo si ocurre una mayor o menor circulación de solvente en la muestra de suelo.
- Si sustraemos el valor del porcentaje de humedad y porcentaje de materia orgánica del peso total del suelo, obtenemos el valor porcentual de materia inorgánica (43.59%).
- El análisis granulométrico indica que el suelo posee un 96% de arcillas y limos y el 6% restante pertenece a las arenas; este estudio se lo realizó mediante el uso de varios tamices de diferente medida, como lo indica la tabla No. 1. La retención del suelo es de un 6% en los tamices de 0.05 a

2 mm y el 94% restante no se pudo obtener una separación de las arcillas y limos ya que el tamiz menor corresponde al No. 400 con tamaño de 0.038 mm. y debido a que las arcillas tienen tamaños de partícula menores a los 0.002 mm no se disponía de tamices para realizar dicho ensayo.

- Según el diagrama de Texturas del gráfico No. 3, localizando la cantidad de arena (6%) y mediante la línea patrón de las arcillas, se ubica un valor del 94%, como no existen datos de los limos, se utiliza la referencia bibliográfica para clasificar al suelo como arcilloso.
- Los porcentajes de Humedad (21.2%), Materia Orgánica (35.23%) y Materia Inorgánica (43.59%), demuestran que el suelo esta compuesto por una significativa cantidad de materia orgánica como lo demuestra la tabla No. 3.
- La cantidad de masa de suelo que se encuentra en un centímetro cúbico, nos facilitó obtener una noción mas precisa del espacio que va a ocupar la muestra por unidad de masa en cada uno de los análisis a realizar.
- La diferencia de pesos entre la probeta vacía y la probeta con el suelo, dio como resultado un valor único sobre la cantidad en gramos del suelo. Este valor dividido por el del nivel de suelo registrado en la probeta ( $100\text{ cm}^3$ ), es el resultado final de la densidad ( $0.6530\text{ g/cm}^3$ ).
- La densidad aparente de nuestro suelo es de  $0.6520\text{ g/cm}^3$ , este dato nos ayuda a conocer sobre la compactación del suelo y como el solvente va a fluir a través de la muestra. Este dato también es necesario para transformar los resultados de los análisis del suelo expresados en peso por valores expresados en volumen.
- Mediante el análisis estadístico de los valores de Contenido de Humedad y de Materia Orgánica, podemos encontrar un rango de desviación de los



datos, y así tener una mejor visión del resultado final. Así el contenido de Humedad es  $21.18\% \pm 0.82\%$ . Contenido de Materia Orgánica  $35.23\% \pm 0.29\%$ .

- Ciertos compuestos del suelo tienen caracteres coloidal con cargas eléctricas que producen intercambios de iones y cationes por lo que se puede argumentar que el porcentaje de remoción de TPH debido a los solventes orgánicos se ve afectado; si es que los solventes son polares o apolares al momento de entrar en contacto con la muestra.
- Para cada uno de los ensayos con los solventes se cumplieron seis ciclos a partir de la primera gota que condensa en la cámara de extracción del Soxhlet. Se registraron los tiempos que emplea cada solvente en completar los seis ciclos.
- El tiempo que emplearon los solventes en completar seis ciclos en el equipo Soxhlet fue el siguiente:

Cuadro No. 21: Tiempos de purga en 6 ciclos.

GRUPOS	Tiempo (minutos)	
Eter de Petróleo	20	aproximadamente
Acetona	30	aproximadamente
Metanol	40	aproximadamente
Hexano	45	aproximadamente
1,1,1 Tricloroetano	60	aproximadamente
Xilenos (mezcla)	90	aproximadamente

- El tiempo que se requiere para completar los ciclos depende de la temperatura de ebullición de cada solvente, ya que se aplicaron las mismas condiciones de calor, con excepción del Éter de Petróleo.
- Al cuarto ciclo del ensayo en el caso de la acetona se observa que se produce una disminución en la tonalidad del color del líquido de la cámara de extracción, en el quinto ciclo se reduce aun más esta

tonalidad y en el sexto se observa que el solvente se vuelve cada vez más cristalino. (ANEXO 4)

- En el ensayo con metanol se nota claramente que en cuarto ciclo el color del solvente en la cámara de extracción del Soxhlet esta parcialmente cristalino. Lo mismo sucede con el ensayo de extracción del solvente Hexano.
- Durante los primeros ensayos con el Éter de Petróleo, se presentaron problemas debido a que el punto de ebullición es muy bajo, haciendo que el solvente hierva en la cámara de extracción del Soxhlet, las burbujas que se formaban por este proceso físico, hacía que se perdiera la presión en el sifón del extractor y causara que no se sifone por completo el solvente llegando solamente hasta la mitad. Por lo tanto se tuvo que encender el Extractor de gases durante todo el ensayo para disipar el calor y enfriar la cámara principal del Soxhlet.
- El Éter de Petróleo no logra obtener un color tan oscuro como los de otros solventes y en el sexto ciclo se observa que mantiene el mismo color que tenía desde el primer ciclo.
- Los Xilenos (o mezcla de xilenos), comienzan a disminuir su tonalidad a partir del quinto ciclo.
- Para el Ensayo del solvente 1,1,1 Tricloroetano, se observó que el color deja de incrementarse después del cuarto ciclo y a partir de este el solvente comienza a tornarse cristalino. Esta observación fue posible por el uso de dos equipos de extracción diferentes, los cuales varían en el volumen de la cámara principal. (ANEXO 5)
- Los resultados estadísticos de los valores finales de extracción en orden descendente según el Porcentaje de Remoción son:

Cuadro No. 22: Resumen del Porcentaje de Remoción

GRUPOS	% Remoción	% Desviación (S)
ACETONA	33	1
XILENOS (Mezcla)	28	2
1,1,1 TRICLOROETANO	27	1
METANOL	13	2
ETER DE PETROLEO	13	2
HEXANO	12	3

- Para lograr obtener un verdadero valor de TPH removido se realizaron dos muestras para tomarlas como blanco con cada uno de los solventes. A estos valores se sacó un valor promedio para ser restado con cada uno de los resultados de los ensayos con muestras contaminadas con hidrocarburos. Y así obtener el valor único de TPH removido.
- El Resultado final del análisis ANOVA demuestra que; nuestra distribución F 8.4. sobrepasa el valor crítico F de 2.77. así como el valor de probabilidad 3.41E-11 es muchísimo menor que el valor inicial planteado de 0.05. Este resultado se lo puede observar en el gráfico No. 5, en donde claramente se ve que el valor de F de 8.4 se encuentra fuera de la región de probabilidad de que la varianza entre los solventes sea aproximadamente igual entre ellos. Esto demuestra que el porcentaje de remoción de TPH depende de cada Solvente por lo que sus valores son muy diferentes uno del otro.
- Según otros estudios realizados para extraer otro tipo de compuestos se señala que el solvente que mayor porcentaje de remoción será aquel con mayor polaridad. Esta afirmación no se aplica en este estudio ya que los TPH son una mezcla de distintos compuestos con diferentes polaridades que dependen del lugar de origen y de su composición química, hecho que puede ocasionar que la solubilidad sea diferente para cada elemento.

Cuadro No. 23: Constante Dieléctrica y Porcentaje de Remoción

<b>GRUPOS</b>	<b>Constante Dielectrica</b>	<b>% Remoción</b>
<b>Metanol</b>	<b>33.00</b>	<b>13</b>
<b>Acetona</b>	<b>21.40</b>	<b>33</b>
<b>Eter de Petróleo</b>	<b>4.30</b>	<b>13</b>
<b>1,1,1 Tricloroetano</b>	<b>3.40</b>	<b>27</b>
<b>Xilenos (mezcla)</b>	<b>2.50</b>	<b>28</b>
<b>Hexano</b>	<b>1.90</b>	<b>12</b>

- Para la realización del análisis ANOVA se agruparon los datos finales en el programa de Microsoft Excel y se utilizaron sus herramientas para minimizar la complejidad del proceso.

## Capítulo V

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones.

- Al recolectar partículas menores a 0.25 cm. La mezcla del suelo con el petróleo se hace más fácil de homogenizar y por lo tanto se garantizan resultados confiables.
- El contenido de Materia Orgánica y Humedad cumplen un papel muy importante dentro del estudio, ya que de ellos depende el cálculo final para la obtención de un resultado más real sobre la remoción de TPH.
- Las características físico – químicas del suelo influyen en la capacidad de retención del solvente en el momento de los ensayos de extracción ya que de éstas depende la circulación que tiene el solvente en la muestra.
- El alto Contenido de Materia Orgánica se debe al proceso natural de descomposición de materia orgánica que poseen los suelos amazónicos, producto de la actividad bacteriana, de la humedad y del pH ligeramente ácido de los mismos.
- Los compuestos del suelo que tienen estructura coloidal y se hallan cargados eléctricamente, producen intercambios de iones y cationes por lo que se puede argumentar que el porcentaje de remoción de TPH debido a los solventes orgánicos conlleva una remoción implícita de metales pesados (componentes del crudo) que son retenidos en las estructuras coloidales antes mencionadas; si es que los solventes son polares o apolares al momento de pasar por la muestra.
- Según las reglas de la solubilidad, los solventes orgánicos disuelven compuestos orgánicos. En la muestra de suelo original existe un alto

contenido de materia orgánica, que también será removida por el solvente. Es por esta razón que es imprescindible determinar el blanco para poder sustraer de la muestra contaminada y así tener una mejor apreciación de la cantidad de TPH que se extrajo de la muestra de suelo.

- El tiempo en que se terminan los seis ciclos va a depender del punto de ebullición y de las condiciones de temperatura en que se encuentre el equipo de extracción. Mediante observaciones a la tonalidad del color del solvente en la cámara de extracción del Soxhlet se pudo constatar que el líquido es cristalino al final del último ciclo, por lo que no se necesita optar por expandir la cantidad de ciclos para cada solvente. Salvo el caso del 1,1,1 tricloroetano y acetona en donde el tono no llega a ser cristalino totalmente.
- El extractor de gases, disipa el calor de la placa eléctrica haciendo que los tiempos entre ciclo y ciclo se extiendan, retardando el proceso de lixiviación en la muestra.
- El bajo punto de ebullición del Éter de Petróleo, obliga a enfriar la cámara de extracción del equipo Soxhlet, para que este pueda completar el ciclo de sifonamiento.
- La cantidad de TPH que se remueve depende de cada solvente empleado; este hecho se puede observar a simple vista según como va variando el color del solvente en la cámara de extracción en cada ensayo.
- La acetona es el mejor de los 6 solventes para remover hidrocarburos según las condiciones en las que los análisis fueron realizados; llegando a remover el 33% del total de hidrocarburos de la concentración inicial
- El hexano resultó ser el menos apropiado en la extracción de hidrocarburos, al obtener un resultado de remoción únicamente del 12%.

- Realizar un análisis estadístico es fundamental, ya que éste señala el rango en que se dispersan los valores promedios de los resultados obtenidos y así poder conocer su precisión.
- Mediante el análisis ANOVA se comprobó que los resultados de remoción van de acuerdo al tipo de solvente que se utilice porque cada uno de éstos tiene un poder diferente de remoción que el resto ya que el valor crítico F es menor que el valor de F. Por esta razón se pudo determinar que la cantidad de TPH extraído depende del solvente que se utilice.
- Según los valores obtenidos en cada uno de los ensayos para cada solvente se determinó que los resultados son precisos pero no exactos. Los datos de los valores de extracción se repiten y no varían en gran escala unos de otros. Sin embargo, no son exactos porque no remueven en totalidad los hidrocarburos originales, solamente extraen hasta un 33% del total.
- Se pudo constatar que el programa de Microsoft Excel facilitó las operaciones de cálculo y manejo de datos para los análisis estadísticos que se utilizaron en este estudio.

## **6.2 Recomendaciones.**

- La muestra de suelo contaminada con hidrocarburos no debe ser secada para realizar el ensayo de extracción de TPH, pues en la práctica este proceso no sucede.
- Al momento de realizar la extracción de TPH en suelos húmedos y con alto contenido de arcillas, los solventes no polares debido a su baja miscibilidad con el agua podrían remover los hidrocarburos en menor escala de la prevista para el estudio. Se recomienda mezclar estos

solventes con solventes más polares para obtener un porcentaje de remoción más elevado. Ejemplo; Hexano con Acetona.

- Se debe continuar con el estudio hasta conocer no solo el mejor solvente de remoción sino también los factores que intervienen para un mejor resultado del proceso. Como son: Temperatura, tiempo de retención, número de ciclos y cantidad de muestra.
- Los solventes orgánicos empleados son tóxicos, si no se siguen las instrucciones que señalan las hojas de seguridad de cada producto. Así como la utilización correcta del Equipo de Protección Personal, los niveles de Exposición, el control de Derrames y demás.
- Para obtener resultados más exactos sobre los valores de remoción de los Hidrocarburos Totales de Petróleo, se debe realizar un mayor número de ensayos para cada uno de los análisis. De esta forma reduciríamos el margen de error en los resultados finales.
- Al decidir sobre el mejor solvente a utilizar para procesos de extracción, no solo se debe tomar en cuenta el mayor porcentaje de remoción, sino también los efectos nocivos que éste podría ocasionar a la salud y al Ambiente durante y después del análisis. Otro de los criterios a utilizar debería ser sobre el nivel de dificultad sobre la degradación del solvente en el suelo ya tratado.
- Los costos de operación para realizar la extracción en campo son altos ya que se necesita de energía para calentar a los solventes hasta llegar a su punto de ebullición.  
De igual manera los costos de materia prima (solventes) en el mercado son elevados. Sin embargo, a los solventes se los puede reciclar mediante un proceso de destilación, lo que permite el ahorro.



- Un buen conocimiento del programa de Microsoft Excel resulta conveniente en el manejo y procesamiento de datos para cualquier tipo de análisis estadístico.

## Capítulo VI

### 7. BIBLIOGRAFIA

BLOCK, Stanley y HIRT, Geoffrey, *Fundamentos de Administración Financiera*, CECSA, Mexico, 1992.

Chávez, G., 2002. *Procesos de porción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica Ecuatoriana*. Tesis de Grado. Universidad Internacional SEK. Quito.

DEAN, Jhon, Editor, Lange's, *Handbook of Chemistry*, McGraw-Hill, USA, 1973.

ESPOSITO, Anthony, *Fluids Power with Applications*, Prentice Hall, New Jersey. 1988.

HEIN, Morris, et al, *Collage Chemistry*, Brooks /Cole Publishing Company, Monterey, 1984.

HOWARD. Philip H, *Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Volume II, Lewis Publishers, USA, 1990.

LEVIN, Richard y RUBIN, David, *Estadística para Administradores*, Prentice Hall, Mexico, 1996.

Ministerio de Energía y Minas, *Gestión Ambiental Hidrocarburífera*, Relaciones Institucionales Petroecuador, Ecuador, 2005.

MOCHÓN, Francisco, *Economía Básica*, McGraw-Hill, Madrid, 1992.

PETROECUADOR Y Universidad Central Ecuador, *Glosario de Términos Ambientales*, Relaciones Institucionales Petroecuador, Ecuador, 2004.

RAVEN, Peter, y BERG, Linda, *Environment*, Harcourt College Publishers, Florida, 2001.

ROBALINO, Anibal, *Meteorología General*, Quito, 2000.

ROMO S. Luis A, *Coloideofísica Coleoideoquímica Fenómenos de la Superficie*, Editorial Universitaria, Ecuador, 1981.

ROSENBERG, Jerome y ETSTEIN, Lawrence, *Química General*, McGraw-Hill, Mexico, 1988.

RUIZ. Patricio, *Guía de la Legislación y Términos Aplicables a la Actividad Minera*, Delta S.C.C, Ecuador, 2001.

CORAL. K, *Suelos*, Ingeniería Ambiental, 4to año, Ecuador.

WATSON R. Hougen, *Principios de los Procesos Químicos*, Balances de Materia y Energía Volumen I, Editorial Reverté, Barcelona, 1982.

OILWATCH, *Manual de Monitoreo Ambiental para la Industria Petrolera*. Pdf, 1997.

EPA, Guía del Ciudadano, *La Extracción con Solventes*, pdf, 1998.

[http://www.peruecologico.com.pe/lib\\_c13\\_t10.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c13_t10.htm). Suelos Amazónicos.

<http://club.telepolis.com/geografo/biogeografia/suelo.htm>. Clasificación y Características del Suelo.

<http://helios.bto.ed.ac.uk/bto/statistics/tress8.html>. Analysis of variance (ANOVA) for factorial combinations of treatments

<http://support.microsoft.com/default.aspx?kbid=828103&product=xl2003>.

Diferencias entre Desv. Y Desvp.

<http://tena.gov.ec/paginas/uchutican/supay5.html>. Suelos Amazónicos Ecuatorianos

<http://web.usal.es/~jralonso/web2001/glosario.htm>. Glosario de Términos Químicos.

<http://www.aga.com.ec/International/SouthAmerica/WEB/sg/HiQGloss.nsf/terms?open&country=Ecuador&site=Resellers&initial=c>. Glosario de Términos AGA Ecuador.

<http://www.bu.edu/es/labsafety/ESMSDSs/MSAcetone.html>. Hojas de Seguridad Acetona.

<http://www.bu.edu/es/labsafety/ESMSDSs/MSMethanol.html>. Hojas de Seguridad Metanol.

<http://www.bu.edu/es/labsafety/ESMSDSs/MSMEther.html>. Hojas de Seguridad Éter.

<http://www.camindustriales.org.ec/paginas/biblioteca/secundaria.htm>.

Legislación Medio Ambiente Ecuatoriano.

<http://www.cise.columbia.edu/clean/msds/tce.pdf>. Hojas de Seguridad de 1,1,1 Tricloroetano.

<http://www.cise.columbia.edu/clean/msds/xylenes.pdf>. Hojas de Seguridad Xilenos.

<http://www.crodecelaya.edu.mx/ExtracionSoxhlet.html>. Extracción Soxhlet.

<http://www.digesa.minsa.gob.pe/Normas/Salud%20Ocupacional/3.pdf>. Normas de Seguridad para el Uso de Químicos.

<http://www.drpez.com/diccionario/term/afaa5ca55eaaabb0,.xhtml>. Ácidos Húmicos.

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1021>. Toxicología Acetona

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=550>. Toxicología Xileno.

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=547>. Toxicología Hexano.

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=581>. Toxicología Tricloroetano.

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Produccion.asp?idproduccion=5>. Toxicología de los Compuestos Químicos.

<http://www.estrucplan.com.ar/Secciones/Hojas/resultado.asp>. Hojas de Seguridad.

<http://www.georgetown.edu/departments/psychology/researchmethods/glossary.htm>. Glosario de Términos Estadísticos.

<http://www.georgetown.edu/departments/psychology/researchmethods/statistics/inferential/anova.htm>. Definición de ANOVA

<http://www.infojardin.net/glosario/acicula/acido-fulvico-acidos-fulvicos.htm>. Ácidos Fulvicos.

<http://www.intox.org/databank/documents/chemical/trichlor/ukpid29.htm>. Tricloroetano MSDS.

<http://www.jtbaker.com/msds/englishhtml/h2381.htm>. Hojas de Seguridad Hexano.

<http://www.laits.utexas.edu/~orkelm/excel/EXCEL/ANOVA2ONE.HTM>. Herramienta para el Análisis de Datos ANOVA

<http://www.lomb.com.au/n-Hexane%20%2099%.pdf>. Hexano MSDS

<http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0079.htm>. Propiedades Físico Químicas Tricloroetano

[http://www.rawchem.co.uk/data\\_sheets/ACETONE.pdf](http://www.rawchem.co.uk/data_sheets/ACETONE.pdf). Acetona MSDS

[http://www.rawchem.co.uk/data\\_sheets/XYLENE.pdf](http://www.rawchem.co.uk/data_sheets/XYLENE.pdf). Xileno MSDS

<http://www.sas.com/software>. Sistemas Asociados de Software.

[www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts123.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.pdf). ATSDR. TPH.

<http://www.ugr.es/~quiorred/lab/ctes/ctes.htm>, Tablas físico-químicas

## GLOSARIO DE TERMINOS

**Litosfera:** Capa superficial de la tierra en donde ocurre la mayor cantidad de eventos físicos, químicos y biológicos.

**Coloides:** Partículas del suelo con tamaños que oscilan entre 0,2 y 0,1 micras, 10 y 10000 ángstrom (de 1 a 1000 nanómetros).

**Solvente:** Líquido capaz de disolver otra sustancia (soluto).

**Fango residual:** Material parecido al barro que se forma a partir de desechos industriales o cloacales.

**Reciclaje:** Recuperación o reutilización de un producto.

**Hidrocarburos:** Compuestos químicos orgánicos formados de carbono e hidrógeno en todas las combinaciones posibles de compuestos orgánicos.

**Petróleo:** Disolución compleja de hidrocarburos saturados (gases, líquidos y sólidos) cuyo número de átomos de carbono va generalmente de 1 a 50.

**Evaporación:** Transformación de un líquido ha estado gaseoso a cualquier temperatura.

**No. CAS:** Por sus siglas en ingles significa; Chemical Abstract Service. Es un sistema que identifica las sustancias unívocamente con una descripción de su estructura molecular, incluyendo todos los detalles estereo-químicos, en un lenguaje computacional. A cada sustancia se le asigna un número (conocido como número CAS). Este número no tiene significado químico y es asignado en el orden secuencial en que la sustancia fue ingresada en el registro.

**Miscibilidad:** Capacidad de una sustancia para formar soluciones. Si se logra una solución a cualquier condición de presión o temperatura se conoce como

miscible y si no se logra una solución tan solo llegando a una mezcla, se lo conoce como inmiscible.

**Límite NIOSH:** The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) es la agencia federal responsable del manejo de la investigación y sobre las recomendaciones hechas para la prevención sobre los daños y perjuicios relacionados al lugar de trabajo

**TWA:** Abreviación de "Threshold Limit Value - Time Weighted Average" Se refiere a la concentración promedio en tiempo de exposición, para un día laborable de 8 horas y una semana 40 horas, a las que casi cualquier trabajador puede ser expuesto día tras día, sin efectos adversos.

**Limite OSHA:** Organización del Department of Labor (Departamento de Trabajo) de EUA que establece estándares para asegurar condiciones de trabajo seguras y salubres para los empleados

**Lixiviación:** Proceso mediante el cual, se hace que un líquido atraviese una sustancia pulverizada, y se logra extraer todos los principios solubles que sean en dicho líquido.

**MSDS:** Documento que contiene información de seguridad de diversos materiales industriales. Incluye características, riesgos, precauciones para la manipulación y procedimientos de emergencia y primeros auxilios, entre otros. También conocido por sus siglas en Ingles MSDS (Material Safety Data Sheet).

**LD50/96 horas:** Dosis Letal 50. La dosis letal sencilla de una sustancia que causa la muerte del 50% de la población animal en 96 horas.

**PEL:** LIMITE DE EXPOSICION PERMISIBLE (PEL). Sustancias en concentraciones (y condiciones) bajo las cuales se presume que cualquier trabajador puede ser expuesto en forma repetitiva día tras día sin efectos adversos para su salud emitidos por la OSHA

**Remoción:** Separar o extraer algunas de las partes que conforman un cuerpo.

**Textura:** Clasificación de los constituyentes del suelo según su tamaño de partícula.

**Estructura:** Modo de agregación o unión de los constituyentes del suelo.

**Molécula polar:** Molécula en la que existe una distribución polarizada de las cargas positivas y negativas debido a una distribución desigual de los electrones. Las moléculas polares pueden ser solubles en el agua.

**Molécula no polar:** Molécula que no tiene acumulación asimétrica de cargas positivas o negativas; tales moléculas generalmente no son soluble en el agua.

**Arenas:** Roca sedimentaria constituida por partículas de tamaño entre 0.02 y 2 mm.

**Arcillas:** Roca sedimentaria clástica poco consolidada, constituida por una mayoría de partículas de tamaño inferior a 0.02 mm.

**Limos:** Depósito sedimentario Detrítico constituido por partículas de infinitésimo tamaño.

**Polimerización:** Reacción química, generalmente llevada a cabo con un catalizador, frecuentemente a alta presión, en la que un gran número de moléculas relativamente simples se combinan para formar un compuesto en forma de extensas cadenas de moléculas



## **ANEXOS**

## **ANEXOS 1**

**Tamiz de Rejilla de Diámetro 0.25cm**

## **ANEXOS 2**

### **Equipo de Extracción Tipo Soxhlet**

### **ANEXOS 3**

#### **Equipo de Destilación Simple**

#### **ANEXOS 4**

##### **Observaciones durante la Extracción de TPH**

## **ANEXOS 5**

### **Equipos de Extracción Soxhlet usados en Laboratorio**