

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE INGENIERIA



***DETERMINACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE
HIDROCARBUROS EN SUELO DE LA BASE
ANTÁRTICA CHILENA O'HIGGINS***

CATALINA LORENA ROJAS MUJICA

2009

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE INGENIERIA



***DETERMINACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE
HIDROCARBUROS EN SUELO DE LA BASE
ANTÁRTICA CHILENA O'HIGGINS***



Trabajo de Titulación

presentado en conformidad a los requisitos para la obtención del

Titulo de Ingeniero Químico y Medio Ambiente

PROFESOR GUÍA: NANCY CALISTO

CATALINA LORENA ROJAS MUJICA

2009

AGRADECIMENTOS

Llegar al fin de una etapa tan importante como el finalizar una carrera universitaria implica grandes desafíos y barreras. Es en esta etapa donde recibí el apoyo necesario para superar los altos y bajos de este camino, y por ello debo partir dando mis agradecimientos a mi profesora guía, quien con su paciencia y sabiduría supo acompañarme en la realización de este trabajo de titulación. Mis más sinceros agradecimientos a Nancy Calisto.

También debo destacar el apoyo recibido de parte de la Doctora María Soledad Astorga del Departamento de Ciencias Universidad de Magallanes quien me entregó conocimientos fundamentales para el desarrollo del presente trabajo. También este último periodo le agradezco la dedicación a la profesora Margarita Garrido por su incondicional apoyo y dedicación que me permitió un mejor desarrollo de este trabajo y su exposición.

A mis padres y familia quienes fueron un pilar fundamental en esta última etapa que incondicionalmente, siempre me apoyaron en mis fracasos y mis logros, también les doy las gracias. A mis tías Irma Zavala Traslaviña y Norma Zavala Traslaviña quienes desarrollaron en mi actitudes que me llevaron a terminar esta última etapa. Aunque su presencia no fue física, siempre las llevé en mi ser recordándome lo buena que soy cuando me lo propongo. Gracias tías.

Durante esta etapa vivida en Punta Arenas y en la Universidad de Magallanes hubo personas que me ayudaron en diversos aspectos. A ellos, mis amigos, con los cuales comparto hasta el día de hoy, les agradezco por su paciencia y compañía, en especial la familia Barrientos Oporto por su apoyo incondicional hacia mi persona en todo momento.

“El presente trabajo está dedicado a Sergio Rojas Zavala y Nancy Mújica Pérez quienes del fruto de su esfuerzo y amor hicieron posible que cumpla el sueño de ser profesional”.

Gracias..

RESUMEN

El continente antártico ha sido foco de interés de la comunidad internacional desde su descubrimiento hace aproximadamente 100 años. Durante este tiempo las actividades humanas han tenido inevitablemente un impacto en el medioambiente. Sin embargo, gracias a los protocolos internacionales, se han determinado normativas sobre las actividades que pueden desarrollarse en el continente y el uso del suelo antártico.

Una de las principales fuentes de contaminación en la Base Antártica Chilena O'Higgins, es la operación de carga y descarga de combustible que se utiliza para dar la energía durante el funcionamiento de las bases. Aparejado a esto se genera contaminación con la quema de ese combustible, el uso de pinturas y otros materiales de construcción.

La matriz suelo es espacialmente variable y está demostrado que las propiedades químicas, tales como: pH, textura y materia orgánica, muestran una distribución altamente variable las cuales juegan un papel importante en la absorción del contaminante. En tanto, los suelos antárticos se clasifican como suelos secos de desierto polar y se encuentran en varios valles de desglaciación y en partes de la península Antártica.

Este trabajo se desarrolló con la finalidad de estudiar y caracterizar los suelos que han sido afectados por hidrocarburos derivados del petróleo que se encuentran en la Base Antártica Chilena O'Higgins, ubicada en el Islote Isabel Riquelme, cuya superficie no supera las dos hectáreas. Se encuentra en funcionamiento desde el año 1948 y lleva 61 años con actividad humana ininterrumpida.

En este estudio se identificaron y cuantificaron los hidrocarburos presente en seis muestras recolectadas en la Base Antártica Chilena O'Higgins en sectores próximos a los estanques de combustible y motores donde se apreciaba a simple vista la presencia de hidrocarburos. La metodología que se utilizó para el tratamiento y análisis de las muestras fue principalmente la recomendada en el "Antarctic Environmental Monitoring Handbook" (COMNAP/SCAR, 2000), con el apoyo de metodologías desarrolladas por la Enviromental

Protection Agency, EPA. Mientras que para la caracterización del suelo se utilizó metodologías recomendadas para suelos chilenos.

Los hidrocarburos totales del petróleo (HTP) presentaron una concentración que variaron en el rango de 0,26% a 4,74% de suelo seco. En el fraccionamiento de los HTP, se obtuvo como resultado que los hidrocarburos aromáticos no sobrepasan el 40%, en cambio los hidrocarburos alifáticos superaron el 80% de la concentración de HTP en la fracción de hidrocarburos alifáticos de cada muestra. Se destacan las de cadena C₁₄ a C₂₅ mayormente, y de la fracción de hidrocarburos aromáticos se identificaron los 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP's, recomendados por la EPA como prioritarios para su monitoreo ya que son probables carcinógenos humanos, en las muestras analizadas solo tres muestras que fueron SC1, SC4 y SC5 las cuales presentaron algún tipo de HAP's y se destacaron seis HAP's que fueron Pireno, Fluoranteno, Antraceno, Fenantreno, Fluoreno y Acenafteno, los cuales mostraron diversas concentraciones en cada una de las muestras, sin estar presentes todos ellos en las tres muestras.

En los análisis de Fósforo, Nitrógeno y materia orgánica los resultados observados dieron características para una biorremediación gracias a los nutrientes presentes en los puntos de muestreo en el suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins. Con ello la razón de las concentraciones de Carbono/Nitrógeno y Carbono/ Fósforo en los puntos SC1, SC4 y SC5 solo en Nitrógeno estarían dentro del rango, pero en la razón de Fósforo las muestras están bajo la razón recomendada. La falta de nutriente no ayudaría a una eficaz biorremediación en dichos puntos de muestreo, ya que para llevar a cabo este proceso en la Antártica es importante saber que solo durante 4 meses aproximadamente el área se encuentra sin nieve y con ello las temperaturas adecuadas para una biorremediación.

Los parámetros obtenidos nos llevan a la conclusión de que la biorremediación del suelo antártico debe ser eficiente y es óptimo no sobrepasar los meses sin nieve para lograr así un resultado evidente.

TABLA DE CONTENIDOS

RESÚMEN	iii
TABLA DE CONTENIDO	v
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE GRAFICAS	xi
INDICE DE CROMATOGRAMAS	xi
CAPITULO I	1
1.- Introducción	1
CAPITULO II	3
2.- Objetivo General	3
2.1.- Objetivos Específicos	3
CAPITULO III	4
3.- Marco Teórico	4
3.1.- El Suelo	4
3.1.1.- Formación del Suelo	4
3.1.2.- Composición del Suelo	5
3.1.2.1- Fracción mineral.	6
3.1.2.2- Fracción orgánica	6
3.1.2.3- Los componentes Sólidos, Líquidos y Gaseosos	7
3.1.3.- Textura del suelo	9
3.1.4.- Porosidad del Suelo	10
3.1.5.- Estructura	12
3.1.6.- Perfil del Suelo	13
3.2.- Tipos de Suelos	14
3.3.- Capacidad de Infiltración	16
3.4.- Contaminación de Suelos	16
3.4.1. - Metales pesados:	17
3.4.2.- Contaminantes Inorgánicos	17
3.4.3.- Contaminantes Orgánicos	17
3.4.3.1.- Hidrocarburos	18
3.4.3.1.1- Composición del Crudo de Petróleo	18
3.4.3.2.- Clasificación de Hidrocarburos	20

3.4.3.2.1- Hidrocarburos Alifáticos _____	21
3.4.3.2.2. Hidrocarburos Alicíclicos _____	21
3.4.3.2.3.- Hidrocarburos Aromáticos _____	22
3.4.3.3.- Consecuencias Ambientales de Derrame de Petróleo Crudo _____	24
3.4.3.4.- La Biodegradabilidad de los Hidrocarburos _____	26
3.4.3.5.- Antigüedad de la Contaminación por hidrocarburos _____	26
3.4.3.6.- Normativa para Hidrocarburos _____	27
3.5.- Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos _____	28
3.6.- Identificación y Cuantificación de hidrocarburos del petróleo por Cromatografía de Gases _____	32
3.7.- Suelos de la Región de la Antártica _____	33
3.7.1.- Contaminación de suelo en la Antártica _____	35
3.7.2.- Contaminación de suelo por Hidrocarburos, en Base Antártica Chilena O'Higgins. _____	35
 CAPITULO IV _____	 39
4.- Materiales, Equipos y Reactivos _____	39
4.1.- Materiales _____	39
4.2.- Equipos _____	40
4.3.- Reactivos _____	41
 CAPITULO V _____	 42
5.- Metodología _____	42
5.1.- Ubicación de la Zona de Muestreo _____	42
5.2.- Descripción de la Zona de Muestreo _____	42
5.3.- Recolección, Identificación y Traslado a Punta Arenas _____	43
5.4.- Preparación de la Muestra _____	46
5.5.- Determinación de Aceites y Grasas _____	47
5.6.- Determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo _____	48
5.7.- Determinación de Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos Policíclicos _____	49
5.7.1.- Separación de hidrocarburos aromáticos policíclicos de los alifáticos _____	49
5.7.2.- Identificación de Hidrocarburos Aromáticos y Alifáticos _____	50
5.7.2.1.- Hidrocarburos Alifáticos _____	51
5.7.2.2.- Hidrocarburos Aromáticos _____	53
5.8.- Determinación de Nitrógeno _____	54
5.9.- Determinación de Fósforo _____	55
5.10.- Determinación de pH _____	57

5.11.- Determinación de Materia Orgánica	58
CAPITULO VI	59
6.- Presentación y Discusión de los Resultados	59
6.1.- Extracción de Aceites y Grasas	59
6.2.- Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)	60
6.3.- Separación de HTP en Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos	61
6.3.1.- Resultados de la Identificación y Cuantificación de Hidrocarburos alifáticos en las muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins	63
6.3.1.1.- Hidrocarburos Alifáticos	63
6.3.1.2.- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	69
6.4.- Caracterización del Suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.	70
CAPITULO VII	73
7.- Conclusiones	73
CAPITULO VIII	74
8.- Bibliografía	74

INDICE DE TABLAS

CAPITULO III	4
Tabla n°3.1.- Propiedades del suelo según su composición	6
Tabla n°3.2.- Diámetro de las partículas del suelo Fuente: Ecología del Perú, PNUD, 2000.	10
Tabla n°3.3.- Capacidad de Filtración Fuente: Interpretación de Análisis de Suelos y recomendaciones; J. Guerrero; 1998.	16
Tabla n° 3.4.- Composición de las fracciones químicas contenidas en el petróleo crudo.	19
Tabla n°3.5.- Fracciones que se pueden obtener durante el refinado por destilación de un crudo de petróleo.	20
Tabla n°3.6.- Se muestra los 16 HAP de la EPA de los EE.UU. de prioridades de contaminantes, los HAP sin destacar son como los probables carcinógenos humanos (NTP, 2005) y sus propiedades fisicoquímicas (ATSDR, 2005)	24
Tabla n°3.7.- Dotación de la Base Antártica Chilena O'Higgins	36
Tabla n°3.8.- Temperaturas Promedio de la Base Antártica Chilena O'Higgins	36
CAPITULO V	42
Tabla n°5.1.- Fotografías de cada muestra de la Base Antártica Chilena O'Higgins y su ubicación.	44
Tabla n°5.2.- Masa de cada muestra inicialmente	47
Tabla n° 5.3.-Concentración de la solución estándar	52
Tabla n°5.4.- Concentración de Estándar de HPAs	53
Tabla n°5.5. Muestra de Diesel	54
CAPITULO VI	59
Tabla n°6.1.- Cantidad obtenida de Aceites y Grasas en cada muestra.	59
Tabla n°6.2.- Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo en cada muestra.	60

Tabla n°6.3.- Concentración de la fracción correspondiente a los Hidrocarburos Alifáticos en cada muestra.	62
Tabla n°6.4.- Concentración de la fracción de Hidrocarburos Aromáticos en cada muestra.	62
Tabla n°6.5.- Porcentajes obtenidos en el fraccionamiento de HTP.	62
Tabla n° 6.6.- Concentración de Hidrocarburos Alifáticos identificados en cada muestra de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins en unidades de ug/g de suelo seco.	64
Tabla n° 6.7.- Concentración e identificación de hidrocarburos aromáticos en muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins.	69
Tabla n°6.8.- Concentraciones de fósforo, nitrógeno, pH y materia orgánica en las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.	70
Tabla n°6.9.- Razon de carbono/nitrogeno, carbono/fósforo con respecto a lo recomendado	71

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO III	4
Figura n°3.1. Diagrama formación del suelo en cuatro etapas	5
Figura n° 3.2. Diagrama del Esqueleto del suelo y sus componentes.	8
Figura n° 3.3 Clases de Texturas. Departamento de edafología y Química Agrícola	10
Figura n° 3.4. Perfil del Suelo	14
Figura n° 3.5.- Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo	27
Figura n°3.6 Límites permitidos para cada tipos uso de suelo con concentraciones en (mg / kg) para la superficie del suelo.	28
Figura n° 3.7.Principios de la Biorremediación	29
Figura n° 3.8.- Fotografía tomada en enero 2009	37
Figura n° 3.9.- Fotografía tomada en octubre 2009	37
Figura n°3.10.- Ubicación y distribución de la Base Antártica Chilena O'Higgins	38
CAPITULO V	42
Figura n° 5.1.- Esquema de Zona de Muestreo	42
Figura n° 5.2.- Esquema de la trayectoria de las muestras	45

INDICE DE GRAFICAS

CAPITULO VI	59
Grafica n° 6.1. Contenido de Hidrocarburos alifáticos en las muestra SC6, SC2 y SC3.	66
Grafica n° 6.2. Contenido de Hidrocarburos alifáticos en las muestra SC1, SC5 y SC4.	67
Grafica n° 6.3. Contenido de Hidrocarburos alifáticos en una muestra de Diesel de petróleo.	67
Grafica n° 6.4. Hidrocarburos Aromáticos solo se encontraron en tres muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins.	69

INDICE DE CROMATOGRAMAS

CAPITULO V	42
Cromatograma n° 5.1.- Estándar de Hidrocarburos Alifáticos	52
CAPITULO VI	59
Cromatograma n° 6.1 Muestra SC1	65
Cromatograma n° 6.2 Muestra SC2	66
Cromatograma n° 6.3 Muestra SC3	66
Cromatograma n° 6.4. Muestra SC4	66
Cromatograma n° 6.5. Muestra SC5	66
Cromatograma n° 6.6. Muestra SC6	67

CAPITULO I

1.- Introducción

La Antártica se considera como uno de los ambientes más limpios y puros de nuestro planeta. No obstante, es indudable que en los últimos años la entrada del hombre a este continente ha generado modificaciones por efectos de la mayor actividad de las bases científicas y militares, y por la afluencia de visitantes amantes del ecoturismo. Estas actividades centradas en áreas específicas han motivado la preocupación de muchos gobiernos y científicos, generándose diversas regulaciones contenidas en el Tratado Antártico y en el Protocolo de Madrid.

Sin embargo, uno de los problemas para evaluar la evolución de la contaminación en la Antártica es encontrar modelos que permitan apreciar en forma segura y efectiva la tasa de velocidad de los cambios ambientales producidos en un determinado tiempo y lugar en forma global, esto incluyendo coordinadamente los diferentes medios físicos y biológicos.

Existen desde hace varios años estudios de ambientes físicos separados (agua, suelo y aire) en diferentes sitios de la Antártica. En la Península Antártica, Chile cuenta con algunas bases de investigación científica entre las cuales se destaca la Base O'Higgins caracterizada por ser una de las principales Bases Antárticas Chilenas, la cual se ubica en el islote Isabel Riquelme perteneciente a la Península Antártica.

Desde sus inicios la base ha tenido la necesidad de contar con combustibles para generar energía a la dotación presente, para lo cual se desarrolla una actividad de carga y descarga de petróleo. Si estas maniobras no se desarrollan con responsabilidad pueden provocar una contaminación por hidrocarburos presentes en el petróleo. La base presenta manchas en el entorno lo cual pueden estar causadas por derrames de petróleo. Bajo estas consideraciones, este trabajo consistirá en la identificación y cuantificación de hidrocarburos presentes en la Base Antártica O'Higgins realizando un estudio basado en la metodología impartida en el "Antarctic Environmental Monitoring Handbook", que permita una identificación de

presencia de hidrocarburos para posteriormente determinar si corresponden a hidrocarburos de tipo alifático o aromático. También se realizarán análisis de fósforo, nitrógeno, materia orgánica y pH para establecer un posible mecanismo de biorremediación. Para ello se tendrá en cuenta los diferentes tratados antárticos existentes que regulan las acciones en la Antártica, ya que se puede provocar alteraciones en el continente.

Finalmente con este trabajo se espera establecer un proceso de biorremediación con la finalidad de descontaminar los posibles focos de derrames por petróleo que pudiesen encontrarse en la Base Ohiggins. Para llevar a cabo lo antes mencionado se procederá a un proceso de elección basado en las diferentes mediciones ya nombradas anteriormente, obteniendo los parámetros que lograrán definir la mejor biorremediación a aplicar para este sector de la Antártica.

3.2.- Objetivos Específicos

- Determinar a través de análisis cuantitativos la cantidad de volátiles y grandes hidrocarburos totales del petróleo presentes en cada muestra de suelo recuperada en la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Identificar y cuantificar los hidrocarburos alifáticos presentes en las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Identificar y cuantificar los hidrocarburos aromáticos polocíclicos presentes en las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Cuantificar el contenido de Nitrógeno, Fósforo y Hierro en las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Analizar y recopilar información sobre los sitios donde se encuentran los focos de contaminación de suelo en la Base.

CAPITULO II

2.- Objetivo General

Este estudio tiene como objetivo identificar y cuantificar los hidrocarburos presentes en muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins contaminados por derrames de combustibles. Adicionalmente se realizará una caracterización del suelo y se recolectará información que permita determinar si es posible aplicar técnicas de biorremediación en estos suelos.

2.1.- Objetivos Específicos

- Determinar a través de análisis cuantitativos la cantidad de aceites y grasas e hidrocarburos totales del petróleo presentes en cada muestra de suelo recolectada en la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Identificar y cuantificar los hidrocarburos alifáticos presentes en las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Identificar y cuantificar los hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Cuantificar el contenido de Materia Orgánica, Fósforo y Nitrógeno y medir el pH de las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Revisar y recolectar antecedentes que permitan evaluar la factibilidad de aplicar biorremediación en suelos antárticos.

CAPITULO III

3.- Marco Teórico

3.1.- El Suelo

El suelo es la cubierta superficial de la Tierra y es una parte fundamental de los ecosistemas terrestres. Contiene agua y elementos nutritivos para los seres vivos que habiten en ella. En él se apoyan y se nutren las plantas en su crecimiento, por tanto, todo el desarrollo del ecosistema se produce en el suelo.

Desde el punto de vista de su composición, el suelo es un material complejo compuesto por sólidos (fracción mineral y fracción orgánica), líquidos (sobre todo el agua, que en ocasiones, es un componente más de las rocas) y gases (aire y vapor de agua, esencialmente). A su vez, los gases y los líquidos llevan sustancias disueltas o en suspensión que pueden adherirse a la matriz sólida.

3.1.1.- Formación del Suelo

El suelo puede formarse y evolucionar a partir de la mayor parte de los materiales rocosos, siempre que permanezcan en una determinada posición el tiempo suficiente.

La formación del suelo es un proceso en el que las rocas se dividen en partículas menores mezclándose con materia orgánica en descomposición. El lecho rocoso empieza a deshacerse por los ciclos de hielo-deshielo, por la lluvia y por otras fuerzas del entorno (figura n°3.1-I). El lecho se descompone en la roca madre que, a su vez, se divide en partículas menores (figura n° 3.1-II).

Los organismos de la zona contribuyen a la formación del suelo desintegrándolo cuando viven en él y añadiendo materia orgánica tras su muerte. Al desarrollarse el suelo, se forman capas llamadas horizontes (figura n°3.1-III). El horizonte "A", más próximo a la superficie,

suele ser más rico en materia orgánica, mientras que el horizonte "C" contiene más minerales y sigue pareciéndose a la roca madre. Con el tiempo, el suelo puede llegar a sustentar una cobertura gruesa de vegetación reciclando sus recursos de forma efectiva (figura nº3.1-IV). En esta etapa, el suelo puede contener un horizonte B, donde se almacenan los minerales lixiviados.

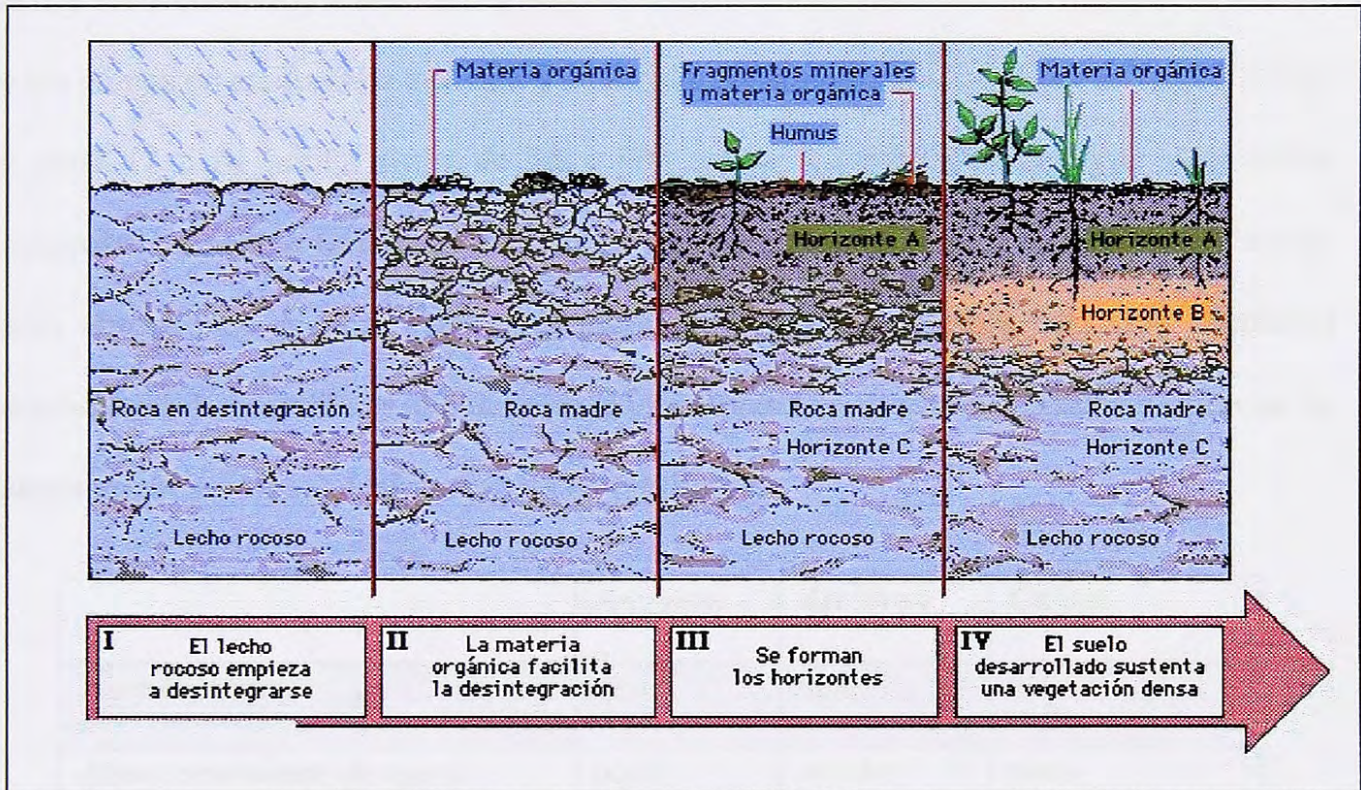


Figura nº3.1. Diagrama formación del suelo en cuatro etapas

3.1.2.- Composición del Suelo

En el suelo encontramos materiales procedentes de la roca madre fuertemente alterados, seres vivos y materiales descompuestos procedentes de ellos, además de aire y agua. Las múltiples transformaciones físicas y químicas que el suelo sufre en su proceso de formación llevan a unos mismos productos finales característicos en todo tipo de suelos: arcillas, hidróxidos, ácidos húmicos, etc.; sin que tenga gran influencia el material originario del que el suelo se ha formado. Por ello existe en el suelo una fracción mineral conjunta a una fracción orgánica.

3.1.2.1- Fracción mineral.

Respecto a su naturaleza química, en principio parecería que no debe haber relación entre tamaño y composición química, pero en un suelo medianamente maduro se ve que, como resultado de los procesos de formación que lo originan, la fracción de las arcillas está compuesta, principalmente, por silicatos con aluminio y hierro (caolinita, montmorillonita, etc.), y las arenas son, sobre todo, granos de cuarzo con algunas micas. El pequeño tamaño de los granos de arcilla hace que esta fracción del suelo tenga una gran superficie por unidad de masa (1 g de arcilla suma de 25 a 900 m² de superficie). Esto tiene importantes consecuencias porque facilita fenómenos que necesitan una gran superficie para producirse, como absorciones, algunas reacciones químicas, retención de agua, etc. Otra propiedad característica de la arcilla es que fluye cuando se encuentra sometida a presión por lo que las laderas arcillosas tienen deslizamientos con facilidad.

	<i>Arenoso</i>	<i>Arcilloso</i>	<i>Calizo</i>
<i>Permeabilidad</i>	<i>alta</i>	<i>mala</i>	<i>media</i>
<i>Almacenamiento de agua</i>	<i>poco</i>	<i>mucho</i>	<i>poco</i>
<i>Aireación</i>	<i>buena</i>	<i>mala</i>	<i>buena</i>
<i>Nutrientes</i>	<i>pocos</i>	<i>muchos</i>	<i>mucho calcio</i>

Tabla n°3.1 Propiedades del suelo según su composición

3.1.2.2- Fracción orgánica

En todo suelo hay materia orgánica, llamada humus. En un suelo del desierto puede estar en una proporción del 1%, mientras que en la turba la proporción llega al 100%. Una cifra media común a bastantes suelos sería la de un 5% (2% de carbono). Está formada por restos de organismos muertos, excreciones, etc.; tan profundamente transformados que ya no puede advertirse, normalmente, su estructura original.

Su composición química es muy variada, pero como conforme pasa el tiempo los productos orgánicos que son más fácilmente degradables van desapareciendo, al final van quedando en

mucha más proporción las moléculas orgánicas con enlaces resistentes a la degradación biológica (moléculas aromáticas con abundancia de ciclos y anillos, fenoles, funciones ácidas, etc.). El humus se encuentra, en su mayor parte, adherido a la arcilla.

3.1.2.3- Los componentes Sólidos, Líquidos y Gaseosos.

A) Sólidos

Este conjunto de componentes representa lo que podría denominarse el esqueleto mineral del suelo y entre estos componentes sólidos, del suelo destacan:

- Silicatos, tanto residuales o no completamente meteorizados, (micas, feldespatos, y fundamentalmente cuarzo). Como productos no plenamente formados, singularmente los minerales de arcilla, (caolinita, etc.).
- Óxidos e hidróxidos de Fe (hematites, limonita, goetita) y de Al (gibbsite, bohemita), liberados por un procedimiento similar al de las arcillas.
- Clastos y granos poliminerales como materiales residuales de la alteración mecánica y química incompleta de la roca originaria.
- Otros; diversos compuestos minerales cuya presencia o ausencia y abundancia condicionan el tipo de suelo y su evolución.
 - ✓ Carbonatos (*calcita, dolomita*).
 - ✓ Sulfatos (*aljez*).
 - ✓ Cloruros y nitratos.
- Sólidos de naturaleza orgánica o complejos órgano-minerales, la materia orgánica muerta existente sobre la superficie, el humus o mantillo:
 - ✓ Humus joven o bruto formado por restos distinguibles de hojas, ramas y restos de animales.
 - ✓ Humus elaborado formado por sustancias orgánicas resultantes de la total descomposición del humus bruto, de un color negro, con mezcla de derivados

nitrogenados (amoníaco, nitratos), hidrocarburos, celulosa, etc. Según el tipo de reacción ácido-base que predomine en el suelo, éste puede ser ácido, neutro o alcalino, lo que viene determinado también por la roca madre y condiciona estrechamente las especies vegetales que pueden vivir sobre el mismo.

B) Líquidos

Esta fracción está formada por una disolución acuosa de las sales y los iones más comunes como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- ,... así como por una amplia serie de sustancias orgánicas. La importancia de esta fase líquida en el suelo estriba en que éste es el vehículo de las sustancias químicas en el seno del sistema.

El agua en el suelo puede estar relacionada en tres formas diferentes con el esqueleto sólido:

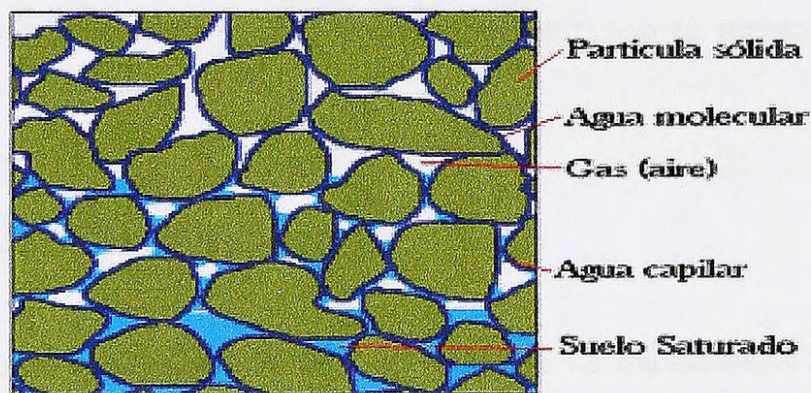


Figura n° 3.2. Diagrama del Esqueleto del suelo y sus componentes.

(Estados del agua en el suelo. Alfredobi. Guayaquil, 2006.)

Tipos de líquido en el suelo.

- La primera, está constituida por una película muy delgada, en la que la fuerza dominante que une el agua a la partícula sólida es de carácter molecular, y tan sólida que esta agua solamente puede eliminarse del suelo en hornos de alta temperatura. Esta parte del agua no es aprovechable por el sistema radicular de las plantas.

- La segunda es retenida entre las partículas por las fuerzas capilares, las cuales, en función de la textura pueden ser mayores que la fuerza de la gravedad. Esta porción del agua no percola, pero puede ser utilizada por las plantas.
- Finalmente, el agua que excede al agua capilar, que en ocasiones puede llenar todos los espacios intersticiales en las capas superiores del suelo, con el tiempo percola y va a alimentar los acuíferos más profundos. Cuando todos los espacios intersticiales están llenos de agua, el suelo se dice saturado.

B) Gases

La fracción de gases está constituida fundamentalmente por los gases atmosféricos y tiene gran variabilidad en su composición, por el consumo de O_2 , y la producción de CO_2 dióxido de carbono. El primero siempre menos abundante que en el aire libre y el segundo más, como consecuencia del metabolismo respiratorio de los seres vivos del suelo, incluidas las raíces. Otros gases comunes en suelos con mal drenaje son el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O).

3.1.3.- Textura del suelo

La textura del suelo está determinada por la proporción de los tamaños de las partículas que lo conforman. Para los suelos en los que todas las partículas tienen una granulometría similar, internacionalmente se usan varias clasificaciones, diferenciándose unas de otras principalmente en los límites entre las diferentes clases. En un orden creciente de granulometría pueden clasificarse los tipos de suelos en arcilla, limo, arena, grava, guijarros o bloques.

En función de cómo se encuentren mezclados los materiales de granulometrías diferentes, además de su grado de compactación, el suelo presentará características diferentes como su permeabilidad o su capacidad de retención de agua y su capacidad de usar desechos como abono para el crecimiento de las plantas.

La arena y la mayoría de los limos, son químicamente inertes. Las propiedades químicas del suelo dependen, básicamente, de la naturaleza de las partículas de arcilla, de la materia orgánica del suelo y de su capacidad para controlar la acidez, aglutinar, liberar nutrientes y componentes nocivos.

El término textura se usa para representar la composición granulométrica del suelo. Cada término textural corresponde a una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla. En los términos de textura se prescinde de los contenidos en gravas; se refieren a la fracción del suelo que se estudia en el laboratorio de análisis de suelos y que se conoce como tierra fina. Por ejemplo, un suelo que contiene un 25% de arena, 25% de limo y 50% de arcilla se dice que tiene una textura arcillosa. Los términos texturales se definen de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones.

3.1.4.- Porosidad del Suelo

La porosidad es de suma importancia en los suelos, es la responsable de proveer a las plantas con agua y aire en proporciones adecuadas. Los poros del suelo pueden ser clasificados en:

- A) Macroporos, comúnmente ocupados por aire y
- B) Microporos, ocupados por agua, reteniéndola por capilaridad.

La condición física de un suelo depende, en gran medida de la porosidad y del tamaño de los poros. En los suelos de textura fina es mayor la presencia de los microporos y los macroporos en los suelos constituidos por gravas. En ambos casos los poros presentan poca variación en sus dimensiones. En los suelos agregados la porosidad es de carácter intermedio, es decir, los poros son grandes y pequeños.

El ingreso de aguas residuales industriales en el suelo, modifica la porosidad del mismo, aumentando o disminuyendo la distribución y el tamaño de los poros en función de la escasez de los sólidos disueltos del volumen de líquido aplicado y de las condiciones climáticas. Los residuos químicos presentes en las aguas residuales pueden modificar los

agregados del suelo, provocando modificaciones estructurales que afectan la porosidad. Estas variaciones disminuyen en gran medida la calidad del suelo (Vásquez Absalon; 1993).

3.1.5.- Estructura

El término de textura es usado en relación al tamaño de las partículas del suelo, sin embargo, cuando se esta considerado el arreglo de las partículas, se utiliza el termino de *estructura*. La estructura se refiere a la agregación de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) en partículas compuestas o grupos de partículas primarias, las cuales están separadas de los agregados adyacentes por superficies de ruptura. La estructura de los diferentes horizontes del perfil de un suelo es una característica esencial del suelo, tal como son el color, la textura, o la composición química (Forth, 1979).

También se define el estado de agregación de las partículas componentes minerales u orgánicas. Depende de la disposición de sus partículas y de la adhesión de las partículas menores para formar otras mayores o agregados.

La permeabilidad del suelo al agua, aire y a la penetración de las raíces también depende de la estructura. La estabilidad estructural es la resistencia de los granos a disgregarse en condiciones de humedad.

La estructura se encuentra siempre cambiante, bajo la influencia de las fuerzas mecánicas y del movimiento del agua originada por la lluvia, la evaporación, la congelación, la descongelación y la absorción de agua por las raíces de las plantas (Bockman et al; 1993).

Los suelos dañados por la compactación o destrucción de los agregados pueden ser regenerados mediante procesos naturales, por ejemplo, mediante secado, congelación y por efecto de la actividad de los animales del suelo, sin embargo esta regeneración puede ser un proceso muy lento (Bockman, et al; 1993).

La estructura del suelo es el estado del mismo, que resulta de la granulometría de los elementos que lo componen y del modo cómo estos se hallan dispuestos. La evolución natural del suelo produce una estructura vertical "estratificada" (no en el sentido que tiene

estratificación en ecología) a la que se conoce como perfil. Las capas que se observan se llaman horizontes y su diferenciación se debe tanto a su dinámica interna como al transporte vertical.

Los componentes sólidos, no quedan sueltos y dispersos, sino más o menos aglutinados por el humus y los complejos órgano-minerales, creando unas divisiones verticales denominadas horizontes del suelo.

Se llama roca madre a la que proporciona su matriz mineral al suelo. Se distinguen suelos autóctonos, que se asientan sobre su roca madre, lo que representa la situación más común, y suelos alóctonos, formados con una matriz mineral aportada desde otro lugar por los procesos geológicos de transporte.

El transporte vertical tiene dos dimensiones con distinta influencia según los suelos:

1. La lixiviación o lavado la produce el agua que se infiltra y penetra verticalmente desde la superficie, arrastrando sustancias que se depositan sobre todo por adsorción.
2. La otra dimensión es el ascenso vertical por capilaridad, importante sobre todo en los climas donde alternan estaciones húmedas con estaciones secas.

3.1.6.- Perfil del Suelo

Los componentes del suelo maduro están dispuestos en una serie de zonas denominadas horizontes edáficos o perfil. Estos Horizontes nos indican el grado de desarrollo del suelo, cada uno de ellos tiene distinta textura y composición, que varían en los diferentes tipos de suelo. La mayor parte de los suelos maduros poseen al menos tres de los horizontes posibles, pero algunos suelos nuevos o pocos desarrollados carecen de ellos. Se pueden identificar dos grupos de Horizontes: Orgánicos y Minerales.

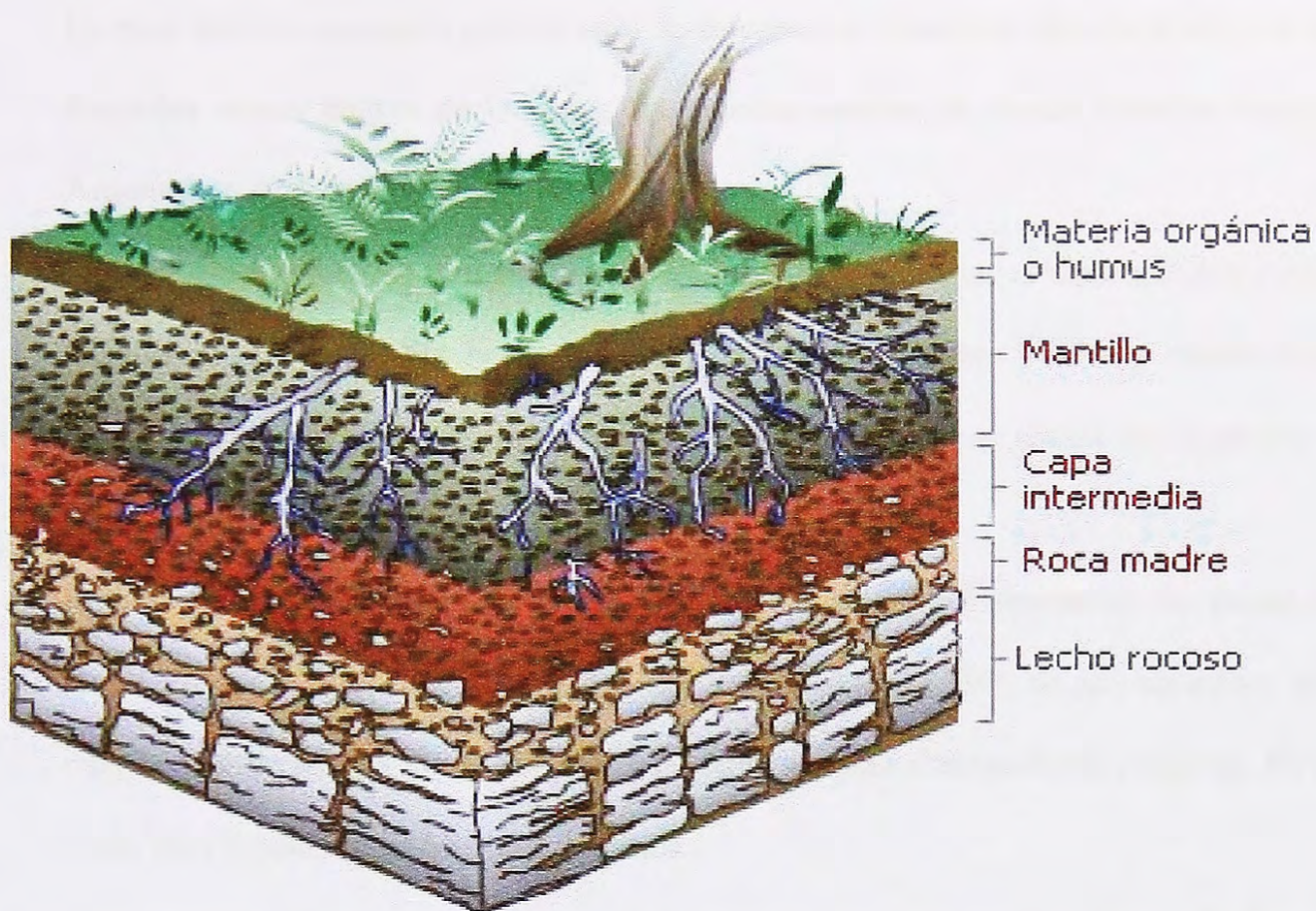


Figura n° 3.4. Perfil del Suelo (Legorrata Sánchez Arely Marinaly)

3.2.- Tipos de Suelos

En los suelos más simples, como los de alta montaña, las zonas árticas o los desiertos, sólo hay horizonte "C". Otros suelos tienen horizontes "A" y "C" pero no "B"; y, por último, están los que poseen los tres horizontes bien caracterizados.

Algunos de los principales tipos de suelos son:

- Suelo desértico: Con un horizonte "A" muy estrecho, con muy poco humus, apoyado directamente sobre depósitos minerales y rocas fragmentadas.
- Renzina: Se forma sobre calizas. Su horizonte "A" es negruzco o, en algunos casos, rojizo; y carece de horizonte "B". Es el suelo que se encuentra en muchas montañas calizas de la Península.
- Chernozem: Horizonte "A" de gran espesor y de color negruzco. Se forma sobre depósitos sueltos en zonas con fuertes heladas invernales. Carece de horizonte "B".

Es muy fértil y muy apto para el cultivo de cereales. Ejemplos de este suelo son las llamadas tierras negras de Ucrania, las grandes estepas de Rusia, Estados Unidos, Argentina o el Asia Central.

- Ranker. Horizonte "A" con suelo muy trabado, que hace que se arranque por piezas cuando se tira de él. Sin horizonte "B". Se desarrolla sobre una roca madre poco alterada. Es suelo típico de la alta montaña, sobre todo si se forma sobre granito u otras rocas ácidas.
- Podsol. Con los tres horizontes "A", "B" y "C" bien diferenciados. Se forma en zonas lluviosas y es un suelo muy lavado. Su horizonte "B", de acumulación, está muy bien marcado. A veces las acumulaciones forman costras duras y rojizas. Es un suelo muy frecuente en bosques de pinos.
- Tierra parda. Con los tres horizontes, pero menos lavados que los podsoles. El horizonte "B", de acumulación, está bien marcado. Es un suelo propio de zonas menos lluviosas y de latitudes más bajas que el podsol. Sería, por ejemplo, el característico de los bosques de hayas y robles.
- Lateritas. Se puede considerar como el suelo tropical típico, aunque no es propiamente el que tiene el bosque selvático, sino el que queda al talar la selva. Con la abundancia de lluvia en estas zonas el suelo es lavado muy intensamente y, al final, sólo queda una mezcla de óxidos e hidróxidos de aluminio, hierro, manganeso y otros metales. Contiene muy pocos elementos nutritivos porque su capa "A" es muy pequeña y es, por tanto, un suelo muy pobre para los cultivos.
- Permafrost. Es el suelo típico de las zonas cercanas a los polos. Está impregnado de agua y congelado. En el deshielo, que es superficial, se forman grandes charcos. Por sus características impide que muchos animales (por ej. lombrices) vivan en él.

3.3.- Capacidad de Infiltración

Es una propiedad hidrofísica muy importante del suelo y representa un fenómeno complejo mediante el cual se puede explicar tanto el ingreso del agua en el suelo y su correspondiente movimiento, así como la retención en su interior.

Capacidad de Infiltración en diversos tipos de suelo

<i>Clase Textural</i>	<i>Velocidad de infiltración en cm/h</i>	<i>Calificación</i>
<i>Arenoso</i>	<i>5.00</i>	<i>Muy rápida</i>
<i>Franco Arenoso</i>	<i>2.50</i>	<i>Rápida</i>
<i>Franco</i>	<i>1.30</i>	<i>Moderada</i>
<i>Franco Arcilloso</i>	<i>0.80</i>	<i>Lenta</i>
<i>Arcilloso</i>	<i>0.05</i>	<i>Muy Lenta</i>

Tabla n°3.3.- Capacidad de Filtración Fuente: Interpretación de Análisis de Suelos y recomendaciones; J. Guerrero; 1998.

3.4.- Contaminación de Suelos

Entre los múltiples elementos y compuestos que conforman un suelo natural, se encuentran sustancias que por sus características pudieran considerarse contaminantes, pero que salvo excepciones, se encuentran en el suelo en niveles traza. Se entiende por suelo contaminado una porción delimitada de terreno (superficial o subterráneo) cuyas cualidades originales han sido modificadas por la acción humana al incorporarse algún factor que según una de las clasificaciones de agentes contaminantes podría ser:

- Contaminación física: Con variaciones en parámetros como temperatura y radiactividad.
- Contaminación biológica: Al incluir putrefacción de especies o cepos patógenos.

- Contaminación química: Por la adición de elementos o compuestos en concentraciones que alteran la composición originaria del suelo.

El criterio para establecer el umbral máximo de concentración para posibles agentes contaminantes de los suelos debe ser su capacidad para degradar la calidad del mismo al perder características originales generándose por tanto un riesgo o daño al medio ambiente.

La variedad y cantidad de productos contaminantes de un suelo es prácticamente inabarcable por lo que solo recogemos aquí los grupos más característicos y peligrosos de contaminantes químicos.

3.4.1. - Metales pesados:

La presencia natural de metales en el suelo es en cantidad de traza. El riesgo se produce cuando se acumulan en grandes cantidades en el suelo.

3.4.2.- Contaminantes Inorgánicos:

Los contaminantes inorgánicos están presentes en el suelo de forma natural pero en concentraciones reguladas por los ciclos biológicos asociadas a cada suelo. La sobresaturación de alguno de ellos hace que se alcancen concentraciones considerables como contaminantes alterando así los ciclos de regulación.

3.4.3.- Contaminantes Orgánicos:

La contaminación con compuestos orgánicos en suelos y sedimentos es un problema ambiental importante por la cantidad de sitios contaminados que hoy en día podemos encontrar en diversas partes del mundo en especial lugares donde se extraiga petróleo.

Constituyen un grupo formado por un elevadísimo número de sustancias que en su gran mayoría están producidas por el hombre. Estas sustancias tienen diferentes efectos en el medio siendo muchas de ellas altamente tóxicas.

3.4.3.1.- Hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos formados exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno, y son la base común de todos los compuestos orgánicos. Se obtienen a partir del petróleo o del gas natural mediante destilación fraccionada. Podemos decir que los hidrocarburos son provenientes de procesos biológicos y químicos los cuales se han producido durante millones de años a consecuencia de estos fenómenos se produce petróleo crudo y de él se obtienen derivados los cuales son combustibles que son indispensable para el hombre.

3.4.3.1.1- Composición del Crudo de Petróleo

El crudo de petróleo se caracteriza por ser un líquido negro, viscoso y con una composición química sumamente compleja, pudiendo contener miles de compuestos, básicamente de la familia de los hidrocarburos (Rosini, 1960).

Los hidrocarburos componen la familia predominante de compuestos (un 50-98% de la composición), por lo que constituyen uno de los grupos de contaminantes ambientales más importantes, tanto por su abundancia, como por su persistencia en distintos compartimentos ambientales (Casellas *et al.*, 1995).

Mayoritariamente son alcanos de cadena lineal (*n*-alcanos o *n*-parafinas), alcanos ramificados (en menor cantidad), cicloalcanos (o naftenos) y cantidades variables de hidrocarburos aromáticos. (Fernández *et al.*, 1992).

La composición elemental de un crudo está condicionada por la predominancia de los compuestos tipo hidrocarburo: 84-87% de C, 11-14% de H, de 0-8% de S, y de 0-4% de O y N y metales como el níquel y el vanadio (Clark y Brown 1977; Howe-Grant, 1996).

Los principales componentes se subdividen y purifican en distintas fracciones en la Tabla n° 3.4 se muestra la fracción del petróleo.

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

Tabla n° 3.4.- Composición de las fracciones químicas contenidas en el petróleo crudo.

Para comprender la naturaleza química de los diferentes derivados del petróleo que potencialmente pueden ser contaminantes en el medio ambiente, hay que entender el proceso de refinado del crudo utilizado para la obtención de estos productos petrolíferos.

En el refinado el cual pasa por un proceso de destilación, obteniendo 4 fracciones principales: gasolina, queroseno, destilados medios (querosenos, gasoil, aceites y lubricantes) y un residuo, el cual se destila al vacío obteniéndose otros productos aceites y lubricantes (más pesados), ceras y parafinas y betumes asfálticos (alquitranes) en la Tabla n° 3.5 muestra la composición de cada fracción del petróleo crudo.

<i>Fracción</i>	<i>Tª ebullición °C</i>	<i>Composición aproximada</i>	<i>Usos</i>
<i>Gasolina ligera</i>	<i>20-100</i>	<i>C₅H₁₂-C₇H₁₆</i>	<i>Disolvente</i>
<i>Bencina</i>	<i>70-90</i>	<i>C₆-C₇</i>	<i>Limpieza en seco</i>
<i>Ligroína</i>	<i>80-120</i>	<i>C₆-C₈</i>	<i>Disolvente</i>
<i>Gasolina</i>	<i>20-180</i>	<i>C₆-C₁₁</i>	<i>Carburante de motores</i>
<i>Queroseno, let fuel</i>	<i>200-300</i>	<i>C₁₂-C₁₆</i>	<i>Alumbrado y carburante</i>
<i>Gasoil. Diesel</i>	<i>200-350</i>	<i>C₁₃-C₁₈</i>	<i>Carburante de motores</i>
<i>Aceite lubricante</i>	<i>200-350</i>	<i>C₁₆-C₂₀</i>	<i>Lubricantes</i>
<i>Grasas, vaselinas</i>	<i>240-400</i>	<i>C₁₈-C₂₂</i>	<i>Farmacéutica</i>
<i>Betum asfáltico (35% peso)</i>	<i>> 540</i>	<i>C₃₀-C₄₅</i>	<i>Alquitrán asfáltico</i>
<i>Cera de parafina</i>	<i>245-540</i>	<i>C₂₀-C₄₅</i>	<i>Velas</i>

Tabla n°3.5.- Fracciones que se pueden obtener durante el refinado por destilación de un crudo de petróleo.

3.4.3.2.- Clasificación de Hidrocarburos

Los hidrocarburos y sus compuestos derivados se pueden clasificar en general en tres grandes categorías:

- 1) Hidrocarburos Alifáticos
- 2) Hidrocarburos Alicíclicos
- 3) Hidrocarburos Aromáticos

3.4.3.2.1- Hidrocarburos Alifáticos

Formados por cadenas de átomos de carbono en las que no hay estructuras cíclicas. Se les denominan en general, hidrocarburos de cadena abierta o acíclicos.

Los hidrocarburos alifáticos son compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrógeno, en los cuales los átomos de carbono forman cadenas abiertas y ramificadas. Los hidrocarburos alifáticos de cadena abierta se clasifican en alcanos, alenos o alquenos y alquinos o alquinos. Una cadena alifática es una agrupación hidrocarbonada lineal con la fórmula: $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ Si la cadena alifática se cierra formando un anillo, se denomina hidrocarburo alicíclico, hidrocarburo alifático cíclico o Cicloalcano.

Los hidrocarburos alifáticos son compuestos frecuentemente utilizados como disolventes de aceites, grasas, caucho, resinas, etc., en las industrias de obtención y recuperación de aceites, fabricación de pinturas, tintas, colas, adhesivos, así como, materia prima de síntesis orgánica. Por esta razón, resulta de interés disponer de un método ensayado y validado para la determinación de vapores de hidrocarburos alifáticos en aire, con el fin de poder evaluar la exposición laboral a este tipo de compuestos.

3.4.3.2.2. Hidrocarburos Alicíclicos

Los hidrocarburos alicíclicos, o simplemente cíclicos, compuestos por átomos de carbono encadenados formando uno o varios anillos.



Ciclo Butano



Ciclo Pentano

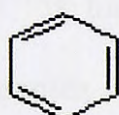


biciclo [4,4,0] decano

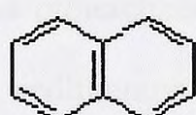
3.4.3.2.3.- Hidrocarburos Aromáticos

Los hidrocarburos aromáticos, que constituyen un grupo especial de compuestos cíclicos que contienen en general anillos de seis eslabones en los cuales alternan enlaces sencillos y dobles. Se clasifican, independientemente de los hidrocarburos alifáticos y alicíclicos, por sus propiedades físicas y químicas muy características.

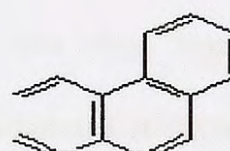
Benceno



Naftaleno



Fenantreno



Los hidrocarburos aromáticos, son polímeros cíclicos conjugados que cumplen la Regla de Hückel, es decir, que tienen un total de $4n+2$ electrones pi en el anillo. Para que se dé la aromaticidad deben cumplirse ciertas premisas, por ejemplo que los dobles enlaces resonantes de la molécula estén conjugados y que se den al menos dos formas resonantes equivalentes. La estabilidad excepcional de estos compuestos y la explicación de la regla de Hückel han sido explicadas cuánticamente, mediante el modelo de "partícula en un anillo". Originalmente el término estaba restringido a un producto del alquitrán mineral, el benceno y a sus derivados, pero en la actualidad incluye casi la mitad de todos los compuestos orgánicos; el resto son los llamados compuestos alifáticos. El máximo exponente de la familia de los hidrocarburos aromáticos es el benceno.

La estructura, una característica de los hidrocarburos aromáticos, es la coplanaridad del anillo o la también llamada Resonancia, debida a la estructura electrónica de la molécula. Al dibujar el anillo del benceno se le ponen tres enlaces dobles y tres enlaces simples. Dentro del anillo no existen en realidad dobles enlaces conjugados resonantes, sino que la molécula es una mezcla simultánea de todas las estructuras, que contribuyen por igual a la estructura electrónica. En el benceno, por ejemplo, la distancia interatómica C-C está entre la de un enlace sigma simple y la de uno pi (doble). Todos los derivados del benceno, siempre que se mantenga intacto el anillo, se consideran aromáticos. La aromaticidad puede incluso

extenderse a sistemas policíclicos, como el naftaleno, antraceno, fenantreno y otros más complejos, incluso ciertos cationes y aniones, como el pentadienilo, que poseen el número adecuado de electrones π y que además son capaces de crear formas resonantes. Estructuralmente, dentro del anillo los átomos de carbono están unidos por un enlace sp^2 entre ellos y con los de hidrógeno, quedando un orbital π perpendicular al plano del anillo y que forma con el resto de orbitales de los otros átomos un orbital π por encima y por debajo del anillo.

También los hidrocarburos aromáticos policíclicos o HAPs son una clase importante de contaminantes que persiste en suelos, sedimentos y material particulado suspendido en el aire. Son sustancias liposolubles que se forman como productos de la combustión del petróleo y residuos del procesamiento del carbón.

Puede decirse que son contaminantes ubicuos, derivados de la utilización del petróleo y del carbón, y sus consecuencias en el ambiente son nocivas, ya que tienen propiedades tóxicas, mutagénicas o cancerígenas. Ejemplos: naftaleno, fenantreno y antraceno.

Por su persistencia en el ambiente y la genotoxicidad, se realizan investigaciones para la remediación de estos compuestos, ya que son removidos de los sitios contaminados principalmente por la degradación microbiana. Sin embargo, pueden sufrir procesos tales como volatilización, fotooxidación, oxidaciones químicas, bioacumulación, adsorción y adhesión a la matriz del suelo.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos o HAPs con 4 ó 5 anillos de benceno son más resistentes a la biodegradación que aquellos constituidos por 2 ó 3 anillos. Su efecto cancerígeno y liposolubilidad implican que estas sustancias representan un riesgo para la salud humana y para el equilibrio ecológico.

Se han encontrado bacterias así como también cianobacterias, algas eucariontes y un cierto número de hongos inferiores y superiores, capaces de metabolizar naftaleno, fenantreno y antraceno.

La EPA de los EE.UU. ha clasificado a 16 de los HAP, como contaminantes basándose en criterios de toxicidad, la EPA considera siete HAP, benzo (a) antraceno, Chrysene, Benzo (a) pyreno, Benzo (b) fluoranteno, benzo (k) fluoranteno, dibenzo (a, h) antraceno, y el indeno (1,2,3-cd) pyreno, como probables carcinógenos humanos (NTP, 2005). Como se muestra en la Tabla n° 3.6, por lo general, los HAPs considerados como cancerígenos tienen mayor peso molecular, número de anillos aromáticos, y la menor presión de vapor y las constantes de solubilidad en comparación con los no cancerígenos.

<i>Hidrocarburo Aromático Policíclicos</i>	<i>Estructura (Numero de anillos)</i>	<i>Peso Molecular (g/mol)</i>	<i>solubilidad (mg/L)</i>
<i>Naftaleno</i>	2	128.17	31
<i>cenaphthene</i>	3	154.21	3.8
<i>Acenaphthylene</i>	3	152.20	16.1
<i>Antroceno</i>	3	178.23	0.045
<i>Phenamthrene</i>	3	178.23	1.1
<i>Fluorene</i>	3	166.22	1.9
<i>Fluoranthene</i>	4	202.26	0.26
Benzo (a) anthracene	4	228.29	0.011
Chrysene	4	228.29	0.0015
<i>Pyrene</i>	4	202.26	0.132
Benzo (a) pyrene	5	252.32	0.0038
Benzo (b)fluoranthene	5	252.32	0.0015
Benzo (k)fluoranthene	5	252.32	0.0008
Dibenzo (a,h) anthracene	6	278.35	0.0005
<i>Benzo (g,h,i) perylene</i>	6	276.34	0.00026
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	6	276.34	0.062

Tabla n°3.6.- Se muestra los 16 HAP de la EPA de los EE.UU. de prioridades de contaminantes, los HAP sin destacar son como los probables carcinógenos humanos (NTP, 2005) y sus propiedades fisicoquímicas (ATSDR, 2005)

3.4.3.3.- Consecuencias Ambientales de Derrame de Petróleo Crudo

En el caso del suelo, los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos fisico-químicos simultáneos, como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del

suelo y cantidad vertida pueden ser procesos mas o menos lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad.

Además de tener una moderada, alta o extrema salinidad, lo que dificulta su tratamiento, debido a que altos gradientes de salinidad pueden destruir la estructura terciaria de las proteínas, desnaturalizar enzimas y deshidratar células, lo cual es letal para muchos microorganismos usados para el tratamiento de aguas y suelos contaminados.

En el agua, al llegar a esta, la mancha generada por los hidrocarburos vertidos flota por diferencia de densidades impidiendo la entrada de luz y el intercambio gaseoso, dando comienzo a la solubilización de compuestos hidrosolubles y a la afección de diferentes poblaciones: la primera población afectada por un derrame es el plancton, en segundo lugar son afectados los macroinvertebrados, y la ultima población afectada son los bentos o población de macroinvertebrados que viven en los fondos de los ríos y ciénagas.

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

Así mismo, otros estudios evaluaron el efecto de los hidrocarburos poliaromáticos (PHA) en ecosistemas forestales y plantas madereras, demostrando un efecto de necrosis foliar y reportando que aproximadamente 3200 hectáreas son afectadas por los derrames y el 90% de estos son pantanos o zonas inundables aledañas a plantas con tuberías corroídas por tener mas de 50 años de antigüedad, al igual que se emplean pozos sin crudo para almacenamiento de los cuáles un 30% están contaminados con desechos aceitosos. Sin embargo, lo que complica la problemática actual de los sitios contaminados con hidrocarburos, es que hasta hace pocos años, prácticamente no existía una conciencia del grado de dificultad y del enorme costo de la remediación de suelos, cuerpos de agua y atmósfera contaminados, lo que representa hoy para la sociedad un gran costo económico. Dicha contaminación esta ocasionando el deterioro progresivo de la calidad del medio ambiente y genera una amenaza real a la salud pública, así como la extinción de gran cantidad de especies vegetales y animales. (Joaquín Benavides López de Mesa Msc1, 2006).

3.4.3.4.- La Biodegradabilidad de los Hidrocarburos

La biodegradabilidad de un compuesto orgánico se debe a que es utilizado por los microorganismos como fuente de carbono. No todos los compuestos se degradan con la misma facilidad (Niemi et al, 1987):

- Los compuestos alifáticos de cadena lineal (parafínicos) se degradan fácilmente, pero cuando se incluyen como sustituyentes alcanos de cadena larga, se forman estructuras ramificadas estéricamente inaccesibles para la degradación. De la misma forma, los compuestos alifáticos insaturados se degradan más lentamente que los saturados.
- Los compuestos aromáticos simples se degradan por diferentes aperturas del anillo. La incorporación de halógenos disminuye la degradabilidad por estabilización del anillo. También se pueden degradar los compuestos aromáticos policlorados como los policlorobencenos cuya biodegradabilidad disminuye al aumentar el número de átomos de Cloro en la molécula.
- Los compuestos nitrogenados y azufrados se degradan lentamente. Los compuestos más resistentes al ataque microbiano son las fibras sintéticas, aunque se están aislando microorganismos capaces de degradar estos compuestos (Niemi et al 1987; Rochkind et al, 1986; Vogel et al, 1987).

3.4.3.5.- Antigüedad de la Contaminación por hidrocarburos

A medida que transcurre el tiempo posterior a un derrame se va modificando la composición del hidrocarburo por acción de los agentes ambientales. Primero se pierden los volátiles y después se produce la eliminación de parafinas, ya sea por evaporación, por actividad fotoquímica o actividad biológica; luego se eliminan otros componentes. Como resultado de ello el contaminante se enriquece en compuestos pesados, más difíciles de degradar; por lo

que la velocidad de reaccion disminuye a medida que transcurre el tiempo desde que ocurre el derrame de petróleo o sus derivados en los suelos.

3.4.3.6.- Normativa para Hidrocarburos

Distintos países tienen normas que determinan el contenido máximo de hidrocarburos que pueden estar presentes en suelos según el uso definido para los mismos. Por ejemplo, en marzo de 2005 en la ciudad de México se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT/SS-2003, que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. En éste, se establecen los límites en función de las fracciones ligera, media y pesada, la Figura n° 3.5.

Fracción de hidrocarburos	Uso del suelo predominante ¹ (mg kg ⁻¹ base seca)		
	Agrícola ²	Residencial ³	Industrial
Ligera	200	200	500
Media	1,200	1,200	5,000
Pesada	3,000	3,000	6,000

¹ Para usos de suelos mixtos, deberá aplicarse la especificación al menor de los valores de usos de suelo involucrados.

² Incluye suelo forestal, recreativo y de conservación.

³ Incluye comercial.

Figura n° 3.5.- Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo (NOM-SEMARNAT/SS-2003).

La normativa de Canadá (CWS) para los hidrocarburos de petróleo en el suelo se establece de conformidad con el Acuerdo de 1998 entre Canadá y el Tratado de Armonización Ambiental de la Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) y su escala de Canadá

Normas ambientales Sub-Acuerdo.

La Figura n°3.6 nos muestra que la "fracción" se refiere al equivalente normal de hidrocarburos de cadena lineal (NC) de ebullición en los intervalos de punto (Fracción # 1: nC6 hasta nC10; Fracción # 2: > nC10 a nC16; Fracción # 3: > nC16 a nC34, y, Fracción # 4: nC35 +). Siguiendo "Coarse" significa suelo de textura gruesa con un tamaño de grano

medio de 75 μm tal como se define por la American Society for Testing and Materials (2008). Con ello "Fine" esto significa suelo de textura fina con una granulometría media de $<75\mu\text{m}$ según la definición de la American Society for Testing and Materials; los niveles sin paréntesis no incluyen la consideración del suelo a las aguas subterráneas vía de contaminación y los niveles entre paréntesis se incluye la protección de las aguas subterráneas.

Land Use	Soil Texture	Fraction 1	Fraction 2	Fraction 3	Fraction 4
Agricultural	Coarse-grained soil	30 ^b	150	300	2800
	Fine-grained soil	210 (170 ^a)	150	1300	5600
Residential/ Parkland	Coarse-grained soil	30 ^b	150	300	2800
	Fine-grained soil	210 (170 ^a)	150	1300	5600
Commercial	Coarse-grained soil	320 (240 ^a)	260	1700	3300
	Fine-grained soil	320 (170 ^a)	260 (230 ^a)	2500	6600
Industrial	Coarse-grained soil	320 (240 ^a)	260	1700	3300
	Fine-grained soil	320 (170 ^a)	260 (230 ^a)	2500	6600

* Additional Tier 1 levels are presented in Technical Supplement.

a= Where applicable, for protection of potable groundwater.

b= assumes contamination near residence

*Figura n°3.6 Límites permitidos para cada tipo de uso de suelo con concentraciones en (mg / kg) para la superficie del suelo.**

En la actualidad Chile no cuenta con normativa que determine niveles aceptables de hidrocarburos en suelos y en los tipos de uso de este.

3.5.- Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos

La biorremediación se define como el empleo de organismos vivos, tales como microorganismos y plantas, con la finalidad de reducir o eliminar, degradar y transformar contaminantes tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos. El principio básico del proceso de biorremediación consiste en la destrucción de la estructura de los hidrocarburos para convertirlos en los componentes no tóxicos de bióxido de carbono, agua y biomasa.

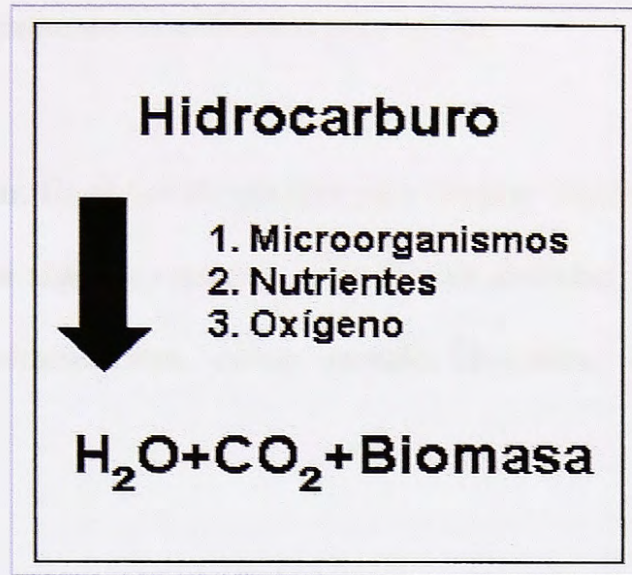


Figura 3.7. Principios de la Biorremediación

Básicamente, los procesos de biorremediación pueden clasificarse en tres tipos:

1) **Remediación microbiana:** Se refiere al uso de microorganismos directamente en el foco de la contaminación. Estos microorganismos pueden ya existir en ese sitio o pueden provenir de otros ecosistemas, en cuyo caso deben ser inoculados en el sitio contaminado (proceso de inoculación). Cuando no es necesaria la inoculación de microorganismos, suelen administrarse más nutrientes con el fin de acelerar el proceso. Hay bacterias y hongos que pueden degradar con relativa facilidad petróleo y sus derivados, benceno, tolueno, acetona, pesticidas, herbicidas, éteres, alcoholes simples, entre otros. También pueden degradar, aunque parcialmente, otros compuestos químicos como el PCB, arsénico, selenio, cromo. Los metales pesados como uranio, cadmio y mercurio no son biodegradables, pero las bacterias pueden concentrarlos de tal manera de aislarlos para que sean eliminados más fácilmente. Estas características también pueden lograrse por ingeniería genética.

2) **Degradación enzimática;** Consiste en el empleo de enzimas en el lugar contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas. Dichas enzimas son previamente producidas en bacterias transformadas genéticamente. Esta aplicación de la biotecnología

lleva décadas en el mercado y hoy las compañías biotecnológicas ofrecen las enzimas y los microorganismos genéticamente modificados para tal fin.

3) **Fitorremediación**; Es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos.

Pero además de esta clasificación la biorremediación del suelo, puede ser dividida de acuerdo a las técnicas de su aplicación, en estrategias in situ y ex situ. In situ corresponde a la biorremediación referente a tratamientos que no requieren excavación del suelo contaminado; ex situ es un método donde se excava el suelo o el material a tratar y se le maneja en un sistema controlado como una celda de landfarming o algún tipo de bio reactor.

Las técnicas de biorremediación in situ presentan una mayor ventaja sobre las ex situ por el menor costo y la disminución de la generación de residuos a eliminar en la superficie.

La biorremediación in situ es la más aplicada y utiliza microorganismos autóctonos, estos en el suelo pueden degradar un gran número de constituyentes de lodo pero su eficacia y su población son afectadas cuando algunos contaminantes tóxicos están presentes en altas concentraciones. La reintroducción de microorganismos aislados de un sitio contaminado ayuda a resolver este problema ya que los microorganismos pueden degradar los constituyentes y tiene una gran tolerancia a la toxicidad.

Los métodos más empleados en biorremediación son:

- ✓ **Biofiltración**, en esta entra el aire contaminado a unos bio reactores en los cuales la flora microbiana degrada los contaminantes volátiles en dióxido de carbono, agua y biomasa.
- ✓ **Bioventing**, el cuál es un proceso de biorremediación in situ que consiste en la ventilación forzada del suelo mediante la inyección de O₂ en la zona no saturada

mediante pozos de inyección; debido a la aireación se va a favorecer la degradación de los hidrocarburos por volatilización y migración de la fase más volátil del contaminante, y por biodegradación, ya que al incrementar la oxigenación del suelo se va a estimular la actividad microbiana.

- ✓ **Biosparging** es un método in situ que combina el efecto de la ventilación con la utilización de los microorganismos autóctonos para degradar compuestos orgánicos absorbidos por el suelo en la zona saturada. En este el aire y los nutrientes se inyectan en la zona saturada para mejorar la actividad de los microorganismos presentes. Esta técnica se utiliza para la degradación de compuestos orgánicos en el suelo y aguas subterráneas.
- ✓ **Las Biopilas**, son un tipo de biorremediación de tipo ex situ en condiciones no saturadas, consiste en la reducción de la concentración de contaminantes derivados del petróleo de suelos excavados mediante el uso de la biodegradación. La técnica consiste en la formación de pilas de material biodegradable de dimensiones variables formadas por suelos contaminados y materia orgánica, compost, en esta se aplica una aireación activa volteando la pila o pasiva por tubos de aireación. Este principio se puede aplicar a la mayoría de los compuestos orgánicos siendo más eficaz en los ligeros. Entre los factores que influyen en la aplicación de esta técnica se destacan: los hidrocarburos deben ser no halogenados con concentraciones en suelo menores a 50.000 ppm, superficie de trabajo relativamente grande, necesidad de una población microbiana mayor a 1.000UFC (Unidades Formadoras de Colonias) por gramo de suelo.
- ✓ **La Atenuación Natural**, es una técnica de biorremediación in situ de bajo costo, su característica principal es la utilización de los procesos fisicoquímicos de interacción contaminante suelo y los procesos de biodegradación tienen lugar de forma natural. Estos procesos se conocen como procesos de biotransformación natural, que van a reducir la concentración de los contaminantes. Entre ellos se encuentra la dilución, la dispersión, volatilización, adsorción, biodegradación y las reacciones químicas que se producen en el suelo.

3.6.- Identificación y Cuantificación de hidrocarburos del petróleo por Cromatografía de Gases.

Cuando se requiere un análisis a detalle del tipo de compuestos presentes en una muestra, se recomienda utilizar cromatografía de gases para identificar dichos compuestos. La cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (CG/EM) es una técnica analítica instrumental de alta sensibilidad capaz de identificar cualitativa y cuantitativamente cualquier tipo de mezclas de sustancias, mediante el análisis de su patrón de fragmentación.

La cromatografía de gases (CG) es una técnica que permite observar el perfil de contaminación de una muestra, y es capaz de diferenciar aquellos compuestos que provienen de la materia orgánica del suelo. Para los métodos basados en CG, los HTPs son definidos como cualquier compuesto extraíble mediante un solvente o gas de purga, y detectado por cromatografía de gases (CG) con un rango específico de carbonos. La principal ventaja de este tipo de método es que provee información acerca del tipo de petróleo en la muestra, además de su cuantificación, aunque la identificación del tipo de producto no es siempre sencilla (Weisman, 1998).

En la CG una muestra es separada dentro de sus componentes individuales cuando viaja a través de una columna. Para lograr la separación de hidrocarburos no volátiles y no polares por CG. La separación se lleva a cabo por una combinación de factores, incluyendo punto de ebullición, polaridad y diferencias de afinidad entre los diferentes componentes de la muestra y la columna, y mediante el uso de un gas acarreador inerte (He o N₂). El tiempo que un compuesto pasa sobre una columna específica es llamado tiempo de retención, y es reproducible y característico de un compuesto bajo parámetros experimentales establecidos y una columna específica. A medida que los componentes separados fluyen a través de la columna pueden ser detectados. La señal del detector es proporcional a la cantidad del compuesto presente.

3.7.- Suelos de la Región de la Antártica

Desde los años 50 se viene estudiando internacionalmente los suelos fríos antárticos pero recientemente se sugiere que su formación y desgaste químico se produce en mayor magnitud y que la formación de suelos en la Antártica es relativamente lenta. A partir de la década del 90 se observan en publicaciones internacionales trabajos intentando clasificar los suelos a través de distintos sistemas taxonómicos, debido a que estos han incorporado niveles exclusivos para clasificar con mayor grado de detalle a los suelos fríos. La World Reference Base for Soil Resources incluye los Cryosols y el Soil Taxonomy los Gelisols, incorporado a partir del Key to Soil Taxonomy, eighth edition, 1998.

Los estudios realizados sugieren que la formación de suelos y desgaste químico en los ecosistemas terrestres de las regiones costeras del continente antártico son de mayor magnitud que el esperado. La existencia de suelos dentro de una compleja forma de paisaje, con características pedológicas diferentes, muestran suelos que no presentan desarrollo o tienen un perfil genético incipiente, otros de débil desarrollo con formación in situ que permite observar lixiviación pero no indican iluviación y aquellos que presentan procesos de iluviación de arcilla que mostrarían que durante los supuestos espacios interglaciares (10.000 años) expresado por diferentes autores, el clima fue considerablemente más benigno que permitió estos procesos (paleosuelos).

La península antártica presenta diferencias climáticas contrastantes, la costa oeste tiene una temperatura estival más elevada, permitiendo la presencia de una nutrida y variada vegetación, desarrollo de suelos y ausencia de permafrost, mientras que la costa este es más fría, los suelos permanecen congelados todo el año, con una capa activa en verano que fluctúa en los 60 cm de profundidad, que produce diferencias taxonómicas importantes.

Los promedios de temperatura para Enero se encuentran entre los 0°C en la costa y -35°C en la meseta interior, siendo más elevada sobre la costa oriental llegando en algunos casos a los 10°C. La precipitación anual, 180 mm o menos según las zonas, es principalmente nieve, sin

embargo debido a las persistentes altas velocidades del viento, la penetración real del agua en el suelo es inferior.

Los suelos reconocidos se los identifica como los evolucionados en climas fríos con temperaturas inferiores a los 6°C y sin permafrost, están formados en superficies recientemente erosionadas, los horizontes diagnósticos están ausentes o han sido truncados. Se reconocieron los Typic, Aquic y Lithic Criorthents.

Los Typic Criorthents son moderadamente profundos por la presencia de roca a partir de los 50 cm., se desarrollan sobre materiales glacifluviales con una vegetación de musgos y líquenes en un paisaje de pendientes de fuerte gradiente (45 %). Presenta una secuencia de horizontes del tipo A-C-Cn, está bien provisto de materia orgánica, es ácido y las texturas son esqueléticas arenosas. El sodio de intercambio no supera el 3 % y no son salinos.

Los Aquic Criorthents son profundos (más de 100 cm), evoluciona a partir de dos materiales originarios y en un paisaje de terrazas marinas bajo una vegetación de gramíneas. Tiene una secuencia de horizontes AC-2Cn, muy bien provisto de materia orgánica, es ácido y las texturas son gravilosas y esquelética gravilosa respectivamente. Es salino y con hasta 3 % de sodio de intercambio.

Los Lithic Criorthents es un suelo muy somero (15 cm), desarrollado sobre materiales glacifluviales en pendientes superiores al 25 % de gradiente (morenas) y en sectores relativamente planos desprovistos de vegetación. Este suelo sufre procesos de crioturbación produciendo erosión hídrica durante el deshielo, facilitando el arrastre de los materiales superficiales e internos,. Tiene un horizonte AC que es interrumpido por la presencia de roca, está moderadamente provisto de materia orgánica, es ácido y la textura es franco gravilosa. (Fuente "La Antartida" por Agr. Ruben E. Godagnone - Sistema de Información Geográfica Arq. Juan C. de la Fuente (Técnicos del Instituto de Suelos)).

3.7.1.- Contaminación de suelo en la Antártica

La Antártica es una de las áreas más grandes y más prístinas del planeta. Las principales actividades humanas en esta región son investigación, turismo y pesca, todas estas actividades requieren combustibles para el transporte y la generación de energía. Por esta razón, las regiones marinas y las zonas desprovistas de hielo se consideran particularmente vulnerables a la contaminación por hidrocarburos de petróleo. Siendo esta la fuente más probable de la contaminación en la Antártida (Cripps & Priddle, 1991).

La contaminación de suelo por el uso de los hidrocarburos, en la antártica, es debido a la descarga de petróleo, rebalses de los estanque de petróleo y filtraciones de los estanques de combustible de los motores en las bases Antárticas. Dicho combustible almacenado en los estanques son necesario para la generación de electricidad, calefacción y movimiento de vehículos presentes en las bases y las estaciones científicas, por las maniobras con el petróleo resulta en infinidad de pequeños o medianos derrames de hidrocarburos los cuales son Petróleo Diesel, gasolina 97 octanos y lubricantes. A esto se suma la necesidad del transporte de estos combustibles, con el riesgo potencial que esto implica a las Bases Antárticas.

Los hidrocarburos presentes en la Antártida y sus derivados son sustancias de alto peso molecular, mayormente insolubles en agua, que resultan muy tóxicas para los organismos vivos y los seres humanos. La mayoría de los microorganismos del suelo no pueden crecer en presencia de hidrocarburos y mueren. Debido a dichas maniobras con hidrocarburos los suelos antárticos son afectados.

3.7.2.- Contaminación de suelo por Hidrocarburos, en Base Antártica Chilena O'Higgins.

La Base Antártica Chilena O'Higgins es una de las principales bases antárticas chilenas; se encuentra ubicada en el islote Isabel Riquelme, en la península antártica, sus coordenadas geográficas son $63^{\circ}19'15''S$ $57^{\circ}53'55''W$, fue fundada en 1948 y ha funcionado ininterrumpidamente bajo la administración del Ejército de Chile. Durante sus más de 60

años de operación a tenido una dotación que ha variado entre 6 y 23 personas, en la tabla n° 3.7 se observa la variación de dotación de la base atreves de los años.

<i>Año</i>	<i>Dotación</i>	<i>Año</i>	<i>Dotación</i>	<i>Año</i>	<i>Dotación</i>
1948	6	1969	11	1990	15
1949	8	1970	11	1991	19
1950	6	1971	10	1992	20
1951	7	1972	12	1993	18
1952	7	1973	12	1994	20
1953	7	1974	11	1995	21
1954	7	1975	13	1996	23
1955	8	1976	12	1997	23
1956	8	1977	13	1998	23
1957	18	1978	17	1999	15
1958	16	1979	19	2000	15
1959	12	1980	20	2001	18
1960	9	1981	21	2002	16
1961	8	1982	20	2003	18
1962	9	1983	23	2004	19
1963	9	1984	23	2005	19
1964	9	1985	23	2006	18
1965	9	1986	22	2007	22
1966	8	1987	21	2008	22
1967	11	1988	22	2009	23
1968	9	1989	22	Total	936

Tabla n°3.7.- Dotación de la Base Antártica Chilena O'Higgins

La base se encuentra activa durante todo el año, pero solo se encuentra sin nieve a sus alrededores durante algunos meses aproximadamente 4 meses que se dan durante la época de primavera y el verano los demás son completamente con nieve. Por ello las temperaturas son muy variables en la tabla n°3.8 se muestra las temperaturas promedio que registran en la Base Antártica Chilena O'Higgins durante el año 2008-2009.

ESTACIÓN	PROMEDIO
Primavera 2008	-1.9° C
Verano 2009	0.6° C
Otoño 2009	-3.0° C
Invierno 2009	-9.3° C

Tabla n°3.8.- Temperaturas Promedio de la Base Antártica Chilena O'Higgins

Las siguientes fotografías dan a conocer el cambio radical entre invierno y verano durante el año 2009, observándose en la primera de ellas la base casi completamente sin nieve (23-01-09) y en la segunda, lo contrario (12-10-09).



Figura n° 3.8.- Fotografía tomada en enero 2009

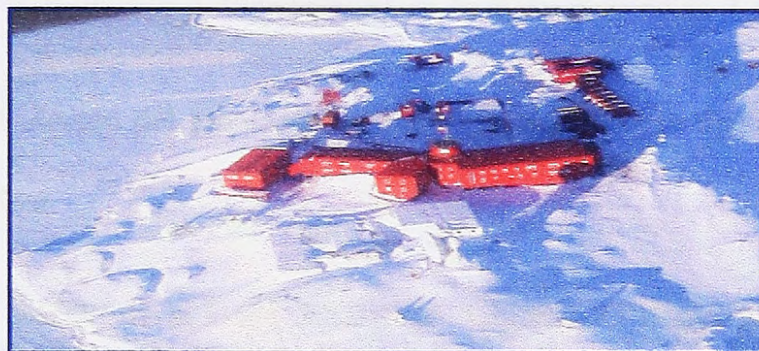


Figura n° 3.9.- Fotografía tomada en octubre 2009

La Base Antártica Chilena O'Higgins realiza dos faenas anuales de combustible, el cual se almacena en tanques, esta carga de combustible se lleva a cabo durante el periodo estival, el primer abastecimiento de la base se realiza a fines del mes de noviembre y el último abastecimiento se realiza a fines del mes de marzo, estas fechas pueden variar de acuerdo a condiciones climáticas. La descarga de combustible se realiza por mangueras de alta presión desde el buque directo a los estanques de almacenamiento

En la Figura n° 3.9 Se muestra la distribución de la Base Antártica Chilena O'Higgins en la actualidad, adicionalmente se indican en la misma la ubicación antigua de los tanques de almacenamiento de combustibles de la Base Antártica Chilena O'Higgins.



Figura n°3.10.- Ubicación y distribución de la Base Antártica Chilena O'Higgins

- El punto n° 1 Zócalo del gimnasio, costado norte de la base un Motor PERKINS año 2001, de 65 Kva.
- El punto n°2 zócalo de la Base Antártica Chilena O'Higgins, lado surdos Motores DEUTZ 1015 año 1996, de 295 Kva. Estos motores funcionaron en la base antigua hasta el 2003, luego se cambiaron a su actual.
- El punto n°3 exterior de la Base Antártica Chilena O'Higgins, Sur Este en container un Motor DEUTZ 1015 año 2004, de 304 Kva y un Motor DEUTZ 1013 año 2009, de 130 Kva.
- El punto n°4 Exterior de la Base Antártica Chilena O'Higgins (Sur Este) ocho estanques de combustible (petróleo diesel) de 20.000 litros. (año 1991), un estanque de combustible (petróleo diesel) de 21.000 litros. (año 2008), tres estanques de combustible (petróleo diesel) de 16.800 litros. (año 2008), cuatro estanques de combustible (petróleo diesel) de 5.000 litros. (año 2008)

Durante el año 2008 se retiraron los antiguos estanques de combustible de la Base Antártica Chilena O'Higgins antigua y durante la campaña 2010 se proyecta instalar una serie de nuevos estanques de acero inoxidable para el almacenar combustible.

CAPITULO IV

4.- Materiales, Equipos y Reactivos

Los materiales y equipos utilizados durante este estudio para analizar las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins, son los propuestos por cada método de análisis son:

4.1.- Materiales

- Matraz elermeyer de 50 ml
- Matraz elermeyer de 25 ml
- Vaso precipitado de 500 ml
- Vaso precipitado de 250 ml
- Vaso precipitado de 100 ml
- Probetas de 100 ml
- Balón de 50 ml
- Balón de 100 ml
- Balón de 250 ml
- Matraz aforado de 100 ml
- Matraz aforado de 50 ml
- Matraz aforado de 10 ml
- Matraz aforado de 1000 ml
- Gotarios
- Columnas de Cromatografía (1 cm)
- Frascos pequeños con tapa de 25ml prox.
- Tamiz de 2 mm
- Extracción Soxhelt

- Calefactor eléctrico
- Dedales de filtro
- Crisoles de porcelana
- Tubos de digestión
- Balón kjeldahl de 500 ml
- Agitador reciproco
- Papel filtro libre de fosforo

4.2.- Equipos

- Balanza Analítica
- Equipo de digestión, Marca Velp Cientifica UDK-127
- Equipo de destilación UDK126A VELP SCIENTIFICA
- Estufa regulable a 105 °C, Marca Binder
- Bomba, Marca Thomas modelo 1132D
- Rota vapor, Marca Buchi R-124
- Cromatógrafo de Gases, Marca Shimadzu Moledo GC-9^a
- Espectrofotómetro
- Micropipeta de 100 – 1000 µl, Socorex
- Microgeringa 5 µl, SGE
- Monitor e impresora compatibles, C- R3A, Shimadzu
- Generador de hidrogeno, General Electric
- Columna capilar , SGE code SOQC3/BPS IO serial N° 60277

4.3.- Reactivos

- Diclorometano CH_2CL_2 calidad cromatográfica
- Hexano calidad cromatográfica
- Silica gel p.a.
- Oxido de Aluminio p.a
- H_2SO_4 p.a
- NaOH p.a.
- Na_2SO_4 p.a.
- Carbón activado
- Fosfato dihidrógeno de potasio KH_2PO_4 p.a.
- NaHCO_3 p.a.
- Sulfato de sodio Na_2SO_4 p.a.
- Sulfato de cobre Cu_2SO_4 p.a.

CAPITULO V

5.- Metodología

5.1.- Ubicación de la Zona de Muestreo

La zona de muestreo fue la Base Antártica Chilena O'Higgins, la cual se encuentra ubicada en la Península Antártica, en el islote Isabel Riquelme, cuyas coordenadas geográficas son $63^{\circ} 19'S$ $57^{\circ} 54' W$, con una altitud de 10 m, a una distancia aproximada con la ciudad de Punta Arenas de 1365,57 km. Las muestras fueron recolectadas en el mes de enero periodo en que la base se encuentra sin nieve en sus alrededores

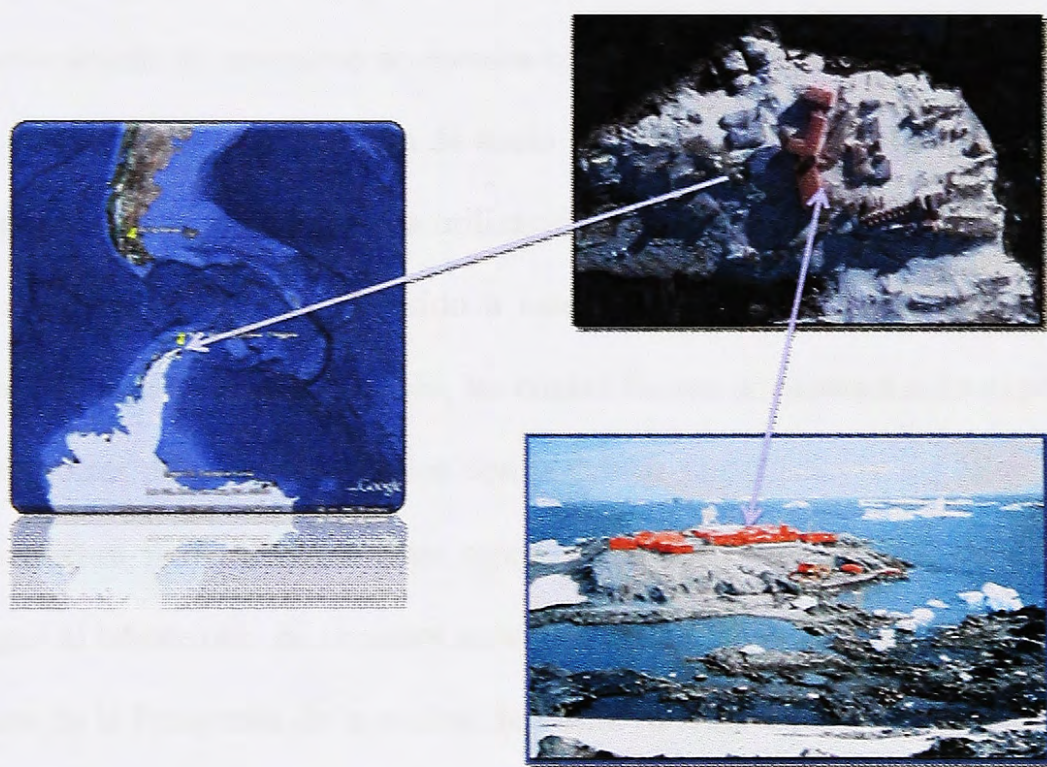


Figura 5.1.- Esquema de Zona de Muestreo

5.2.- Descripción de la Zona de Muestreo

En la Base Antártica Chilena O'Higgins, durante el periodo de muestreo, se contó con poca nieve sobre la superficie (suelo), lo cual facilitó la labor de toma de muestras y permitió que se observaran manchas sobre la superficie, las cuales se deberían a derrames de petróleo o

lubricantes utilizados para el abastecimiento energético de la Base Antártica Chilena O'Higgins.

Se determinó muestrear seis puntos ubicados en los alrededores de la base especialmente donde se encontraban los estanques de combustibles y motores donde se presentaron las manchas de hidrocarburos. Adicionalmente, se muestreó en un sitio donde no existía evidencia visual de contaminación por hidrocarburos, con el objeto de tener una referencia del contenido de hidrocarburos en suelos donde no han ocurrido derrames de hidrocarburos, en esta oportunidad no se tomaron muestras blanco ya que sólo en las proximidades de la Base Antártica Chilena O'Higgins existía suelo libre de nieve.

5.3.- Recolección, Identificación y Traslado a Punta Arenas

En cada punto elegido de muestreo se contaba con una capa rocosa de material, la que debía ser retirada para obtener cada muestra de suelo. Para la extracción de muestra, en cada uno de los seis puntos, se hizo necesaria la utilización de una pequeña pala metálica con la cual se excavó alrededor de 10 cm. Seguido a este procedimiento, se extrajo de cada punto alrededor de 500 gr de muestra de suelo, las cuales fueron almacenadas en papel aluminio y colocadas en bolsas plásticas tipo Ziploc con la debida identificación del lugar de muestreo. El almacenamiento final se dispuso en cajas herméticamente selladas, de esta manera se hicieron llegar al laboratorio de recursos naturales de la Universidad de Magallanes, ubicado en el Instituto de la Patagonia de la ciudad de Punta Arenas, tomando todas las providencias de seguridad en el traslado de las muestras.

En la siguiente tabla se detalla la identificación, fecha, ubicación y la imagen respectiva al momento de llevar a cabo la toma de muestra.

MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	UBICACIÓN UTM WGS-84	IMAGEN
SC1	23/01/2009	454927 2978308	
SC2	23/01/2009	454921 2978326	
SC3	23/01/2009	454888 2978356	
SC4	23/01/2009	454956 2978302	
SC5	23/01/2009	454967 2978311	

Tabla n° 5.1.- Fotografías de cada muestra de la Base Antártica Chilena O'Higgins y su ubicación.

El origen de los derrames de cada una de las muestra (SC1, SC2, SC3, SC4, SC5 y SC6) en la Base Antártica Chilena O'Higgins se presenta a continuación historial, el año en que se produjo el derrame y si es que han tomado las precauciones en dichos lugares.

- **SC1** Fue por rebalse de los estanques de combustible de los motores esto ocurrió en el año 2008, en este punto se tomaron medidas de seguridad ante las acciones de llenado de estanques de la sala de motores.
- **SC2** Fue por rebalse de los estanques de combustible de los motores esto ocurrió 2008 solo se han tomado medidas de seguridad ante los derrames.

- **SC3** Corresponde al sector de los motores generadores de la Base Alemana. No se tiene conocimiento de la fecha en que ocurrió el derrame con ello se han tomado las precauciones ante cualquier derrame.
- **SC4** Fue por rebalse del estanque de combustible del motor esto ocurrió 2004, Se han tomado todas las medidas de seguridad sobre derrames, con dedicación exclusiva en el llenado de los estanques de sala de motores.
- **SC5** Por filtraciones de llaves de paso en estanques de combustibles esto ocurre el año 2008 se han tomado todas las medidas de seguridad sobre derrames de petróleo, se cambiaron las llaves con filtración en los estanques.
- **SC6** Es la muestra sin evidencia de derrame obtenida en Base Antártica Chilena O'Higgins.

En el siguiente esquema se muestran, de manera resumida, los pasos a seguir en la elaboración de este proyecto.

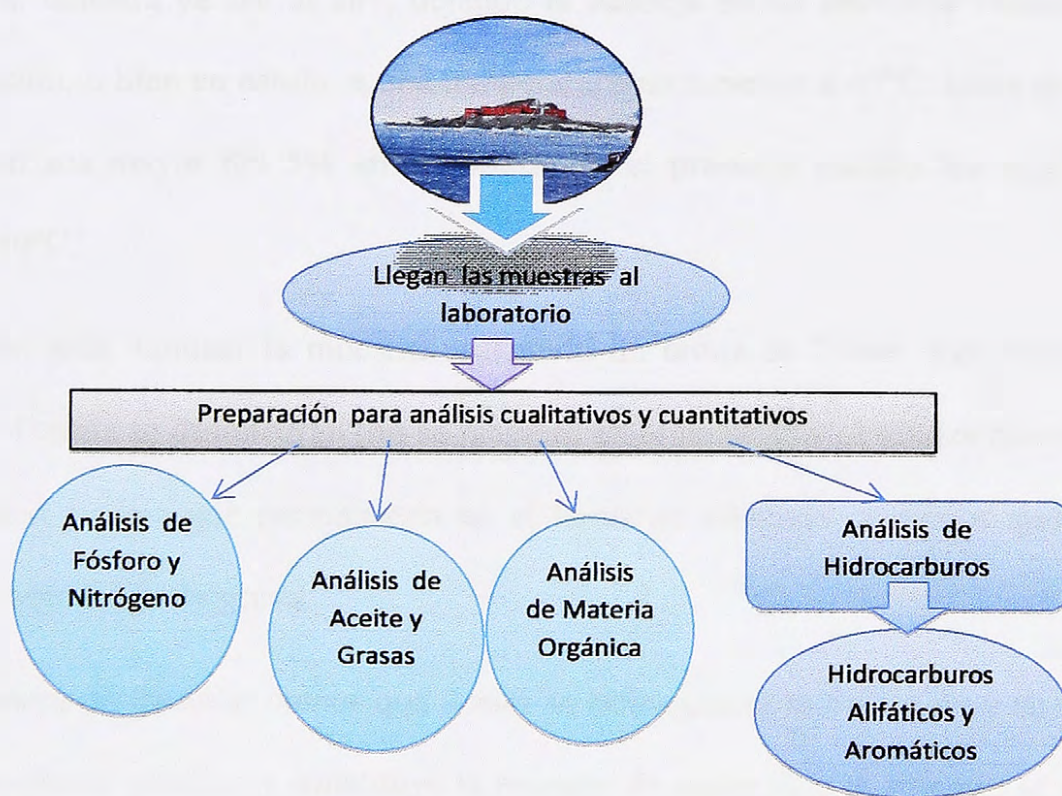


Figura n° 5.2.- Esquema de la trayectoria de las muestras

5.4.- Preparación de la Muestra

La preparación de muestras para análisis se basó en el Método 1.1 de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (año 2004).

El objetivo de la preparación es homogeneizar la muestra de suelo para ser usada en los análisis posteriores, los cuales, generalmente se determinan en la fracción fina de suelo (<2 mm).

Procedimiento

- Para homogeneizar la muestra de terreno se deben disgregar los terrones manualmente o mediante presión con un mortero, eliminando los residuos de mayor tamaño y mezclar bien.
- Separar una fracción de al menos 500 g de la muestra de terreno, esparcirla sobre una bandeja, donde el espesor de la capa de muestra no debe ser superior a 15 mm.
- Secar la muestra ya sea al aire, dejando la bandeja en un ambiente ventilado libre de contaminación, o bien en estufa a una temperatura no superior a 40°C, hasta que la pérdida de masa no sea mayor del 5% en 24 horas. En el presente estudio las muestras fueron secadas a 40°C.
- Una vez seca, tamizar la muestra utilizando un tamiz de 2 mm. Los terrones que no pasan por el tamiz se desintegran (no se muelen) en el mortero y se tamiza nuevamente. Los fragmentos o piedras que permanecen en el tamiz se eliminan, a menos que se requiera conocer el porcentaje de grava.
- La muestra de fracción menor que 2 mm se homogeniza nuevamente y se almacena en una bolsa o frasco plástico y constituye la muestra de suelo seco al aire que se somete a los procedimientos analíticos usuales y que permanece como contra-muestra. En el presente estudio las muestras fueron almacenadas en recipientes de vidrio debido a que se analizarían aceites y grasas e hidrocarburos.

5.5.- Determinación de Aceites y Grasas

El procedimiento para calcular aceites y grasas fue de acuerdo al Método 8.4 descrito en el Antarctic Environmental Monitoring Handbook, Chapter 8 de soil/sediments (2000).

Procedimiento

- Se pesan 10 gramos de muestra de suelo en un dedal para extracción limpio. En la Tabla 5.2 se muestra la masa exacta pesada para cada muestra.

Muestra	Peso g.
SC1	10,0371
SC2	10,2173
SC3	10,3211
SC4	10,3719
SC5	10,0990
SC6	10,6090
Blanco	0

Tabla n° 5.2.- Masa de cada muestra inicialmente

- Se lava un balón de extracción de 250 ml para el equipo soxhlet que luego se seca en una estufa a 105 ° C. Una vez seco y limpio se pesa para obtener la masa del balón.
- Se instala el equipo de extracción soxhlet junto a la muestra, agregando al balón de extracción 150 ml de diclorometano. Se pone en marcha el equipo durante 4 horas para extraer todos los aceites y grasas de las muestras.
- El balón que contiene solvente más muestra extraída se coloca en un equipo rota vapor a una temperatura menor a 70° C dejando en el balón 1 ml de solvente aproximadamente.
- Se seca el balón, se pesa y por diferencia de peso se obtienen los aceites y grasas de las muestras.

Cálculo Aceites y Grasas en (mg/g)

$$\text{Aceite y grasas (mg/g)} = \frac{(A - B)}{m}$$

A = Masa de balón más muestra (g)

B = Masa de balón solo (g)

m = gramos de muestra

5.6.- Determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo

Este análisis se basó en el método 8.4 del Antarctic Environmental Monitoring Handbook, Chapter 8 de soil/sediments (2000).

Procedimiento

Para la determinación de hidrocarburos totales se toman las muestras finales obtenidas en el análisis de aceites y grasas y se someten al siguiente tratamiento:

- Se activa el reactivo sílica gel a 130°C por un tiempo aproximado de una hora.
- Se instalan las columnas de cromatografías asegurando que se encuentren limpias (se lavan con el solvente que se utiliza).
- Se lava, seca a 105°C y se pesa un balón de extracción.
- En una columna de cromatografía se colocan entre 8 a 10 g de sílica gel activa.
- Bajo la columna de cromatografía se coloca el balón de extracción.
- Se comienza a agregar la muestra obtenida de aceites y grasas al interior de la columna de cromatografía.
- Una vez agregada toda la muestra, se añaden entre 50 a 75ml de solvente diclorometano, considerando que la velocidad de trabajo de la columna no puede ser superior a 2ml por minuto.

- Una vez que ha dejado de precipitar muestra de la columna de cromatografía se toma el balón y se lleva a una rota vapor, hasta que quede alrededor de un ml en el balón.
- Se deja secar el balón, permitiendo la evaporación del solvente residual y por gravimetría se obtiene la cantidad de hidrocarburos totales del petróleo.

Cálculo de Hidrocarburos Totales de Petróleo

$$\text{HTP (mg/g)} = \frac{\text{(C - D)}}{m}$$

C = Masa de frasco mas muestra

D = Masa de frasco

m = Masa de muestra inicial

5.7.- Determinación de Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos

Policíclicos

5.7.1.- Separación de hidrocarburos aromáticos policíclicos de los alifáticos

En este análisis se determinarán cuantitativamente y se identificarán los hidrocarburos, para lo cual se comienza separando de los hidrocarburos totales, los aromáticos policíclicos y alifáticos.

Para realizar el análisis antes descrito se utilizó el método EPA 3611B denominado:

ALUMINA COLUMN CLEANUP AND SEPARATION OF PETROLEUM WASTE

Procedimiento

Para la separación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y alifáticos se toman las muestras finales obtenidas en el análisis de hidrocarburos totales y se someten al siguiente tratamiento:

- Pesar aproximadamente 10g de óxido de aluminio (Al_2O_3), para ser agregados en una columna de cromatografía.
- Una vez preparada la columna, se adiciona a ella la muestra dejándola caer sobre un balón de extracción de 100ml.
- Inmediatamente agregar 50ml de hexano, procurando que la velocidad de trabajo de la columna no supere los 2ml por minuto.
- Cuando el nivel de hexano sobre la columna sea de aproximadamente 0,5ml, se cambia el balón que se encuentra bajo la columna por uno sin uso e inmediatamente se agrega a la columna 100ml de diclorometano.

Nota: Con el primer balón, que se encontraba bajo la columna de cromatografía se determinan los hidrocarburos alifáticos y con el segundo los aromáticos policíclicos.

- Los dos balones obtenidos anteriormente, se llevan a un equipo rota vapor dejando aproximadamente 1 ml de solvente, el cual se deja evaporar y la masa obtenida finalmente en cada uno de ellos corresponderá a los hidrocarburos señalados anteriormente.

5.7.2.- Identificación de Hidrocarburos Aromáticos y Alifáticos

En esta etapa se realiza un análisis de cromatografía gaseosa para identificar por separado los hidrocarburos aromáticos y alifáticos.

La cromatografía de gases es el método que actualmente resuelve el análisis de estas mezclas complejas de modo sencillo, rápido y selectivo y así lo justifica el que haya sido adoptado como método analítico de estos compuestos por diversos laboratorios y organismos de orden internacional como la Environmental Protection Agency (EPA).

Procedimiento

- Antes de utilizar el equipo de cromatografía se definen los parámetros de operación del equipo.

Parámetros de Operación de Cromatografía de Gases

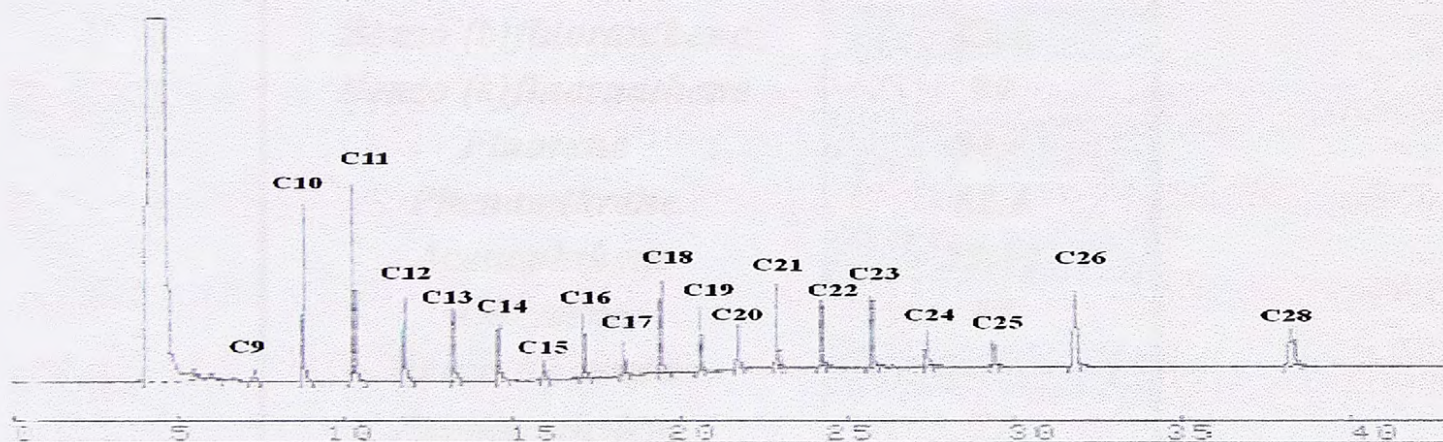
- ✓ Rango de temperatura se inicia a 80°C hasta 300°C, rampa 12°C
 - ✓ Rango del tiempo para alifáticos se inicia en tiempo 0 hasta 45 minutos
 - ✓ Rango del tiempo para aromáticos es de tiempo 0 hasta 100 minutos
 - ✓ Pendiente < 45
 - ✓ Mínima área 100
 - ✓ Helio gas flujo 6 kg/cm²
 - ✓ Nitrogeno flujo 0,5 kg/cm²
 - ✓ Aire instrumentas flujo 0,2 kg/cm²
- Se inyecta un milicrolitro (ul) de solvente para limpiar la columna a utilizar repitiendo esta operación dos veces.

5.7.2.1.- Hidrocarburos Alifáticos

- Para la identificación de los hidrocarburos alifáticos se preparo un estándar con concentración conocida, el estándar contenía hidrocarburos de cadenas de carbono de C9 hasta C26 y C28 como se muestra en la tabla n° 5.3, se eligieron estas cadenas por que son las que están presentes en el petróleo y las muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins fueron tomadas donde se encontraba presencia derrames de petróleo, en el equipo de Cromatografía de Gases se inyectaba siempre primero el estándar para obtener los tiempos y áreas de cada cadena de carbono y luego se inyectaba la muestra para comparar los tiempos y áreas presentes en el estándar de cada cadena.

STD	
Carbono	Concentración (ug/g)
C9	0,0103
C10	0,0114
C11	0,0094
C12	0,0125
C13	0,0111
C14	0,0177
C15	0,0095
C16	0,0075
C17	0,0114
C18	0,0111
C19	0,0184
C20	0,0111
C21	0,0151
C22	0,0203
C23	0,0159
C24	0,0117
C25	0,0101
C26	0,0127
C27	0,012

Tabla n° 5.3.-Concentración de la solución estándar



Cromatograma n° 5.1.- Estándar de Hidrocarburos Alifáticos

- Las muestras obtenidas de la separación se diluyen a un volumen perfectamente conocido, utilizando matraces aforados de distintos volúmenes, en función de la concentración de hidrocarburos presentes utilizando como solvente n-Hexano.
- Se inyecta al equipo de cromatografía un microlitro (ul) de estándar para conocer los tiempos, áreas, cuantificar e identificar que hidrocarburos se encuentran en las

muestras, y se puede observar en el cromatograma n° 5.1 las señales al inyectar un microlitro del estándar de alifáticos.

5.7.2.2.- Hidrocarburos Aromáticos

- Se prepara un estándar compuesto que contiene hidrocarburos aromáticos policíclicos con una concentración conocida cada uno de ellos.
- Para la identificación y cuantificación de los hidrocarburos Aromáticos se preparo un estándar con concentración conocida. Para verificar los tiempos y áreas para luego comparar con las muestras analizadas con ello lograr saber que hidrocarburos aromáticos están presentes, en la Tabla n° 5.4 se muestra la concentración de los HAPs que se utilizaron en el estándar y también las concentraciones de los mismos.

<i>HAPs</i>	<i>Concentración (ug/ml)</i>
<i>Naftaleno</i>	<i>84,48</i>
<i>Pyreno</i>	<i>-</i>
<i>Antroceno</i>	<i>94,4</i>
<i>Fluoranthene</i>	<i>70,8</i>
<i>Benzo (b)fluoranthene</i>	<i>82,4</i>
<i>Benzo (k)fluoranthene</i>	<i>90</i>
<i>Fluorene</i>	<i>84,8</i>
<i>Phenamthrene</i>	<i>62,4</i>
<i>Acenaphthene</i>	<i>75,32</i>
<i>Chrysene</i>	<i>80</i>
<i>Benzo (a) pyrene</i>	<i>-</i>
<i>Acenaphthylene</i>	<i>72</i>
<i>Diben (a,h) anthracene</i>	<i>-</i>
<i>Benzo (a) anthracene</i>	<i>17,4</i>

Tabla n° 5.4.- Concentración de Estándar de HPAs

De los HAPs propuestos por la EPA, se inyectaron de a uno para verificar los tiempo retención en lo que se encontraban pero dos HAP salieron después de los 80 minutos tomando encuentra que las muestras no presentaban señales a esos tiempos se descartaron por tal motivo no se incluyeron en el estándar compuesto.

- Las muestras obtenidas de la separación se diluyen a un volumen perfectamente conocido, utilizando matraces aforados de 25 ml, en función de la concentración de hidrocarburos presentes utilizando como solvente n-Hexano.
- Se inyecta al equipo de cromatografía un microlitro de estándar para conocer los tiempos, áreas, cuantificar e identificar que hidrocarburo se encuentra en la muestra.

Para verificar si estamos en presencia de Hidrocarburos que se encuentran presente en el combustible utilizado en la Base Antártica Chilena O'Higgins, se analizo una muestra de diesel la tabla n° 5.5, se observa el número de cadenas de carbonos y la concentración de cada uno de ellos.

<i>Concentración</i>	
<i>Carbono</i>	<i>(ug/g)</i>
<i>C12</i>	<i>2550,82</i>
<i>C13</i>	<i>4753,00</i>
<i>C14</i>	<i>16985,15</i>
<i>C15</i>	<i>23283,94</i>
<i>C16</i>	<i>5492,64</i>
<i>C17</i>	<i>20493,17</i>
<i>C18</i>	<i>5262,26</i>
<i>C19</i>	<i>11212,81</i>
<i>C20</i>	<i>7447,62</i>
<i>C21</i>	<i>4228,86</i>
<i>C22</i>	<i>4169,37</i>
<i>C23</i>	<i>2133,93</i>
<i>C24</i>	<i>1354,61</i>

Tabla n° 5.5. Muestra de Diesel

5.8.- Determinación de Nitrógeno

El procedimiento para medir Nitrógeno fue de acuerdo al Método basado en la Norma Chilena Oficial de alimentos NCh513.EO68.

Procedimiento

- Se usaron muestras secas y cada análisis se realizó por duplicado.

- Se pesaron entre 2 – 2,5 grs. de cada muestra.
- Las muestras junto con 1,25 grs. de Sulfato de sodio y 0,15 grs. de Sulfato de cobre y 4 ml de Acido Sulfúrico, fueron puesto dentro de un tubo de ensayo en un digestor marca Velp, durante 4 horas.
- Una vez digeridas las muestras, fueron llevadas a un destilador marca Velp, hasta que todo el NH_3 haya destilado, se recogió en los matraces Erlermeyer más de 150 ml del destilado.
- Se titulo el exceso de ácido, en los matraces Erlermeyer, con una solución normalizada de H_2SO_4 1,5152 N.

Cálculos Nitrógeno

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$N = ((V_1 - B) \times N_1) / m) \times 28$$

En donde:

N = contenido de nitrógeno (mg/g)

V_1 = volumen en ml del acido sulfúrico gastado en la titulación.

B = volumen en ml de solución estándar de H_2SO_4 gastados en los blancos

N_1 = Normalidad del acido sulfúrico corregido.

28 = factor de conversión del contenido de nitrógeno.

m = masa en g de la muestra usada

5.9.- Determinación de Fósforo

El procedimiento para medir Fosforo fue de acuerdo al Método 6 descrito en el CNA Comisión de Normalización y Acreditación Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, año 2004.

Procedimiento

- Se Pesa 2,50 g de muestra seca en frascos plásticos e incluyendo 2 blancos.
- Se Agregan 0,3 g de carbón activado a cada frasco.
- Se Agregaron 50 ml de solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L inmediatamente se taparon los frascos dejando agitar por 30 minutos aprox. con una temperatura de 21 °C con un agitador recíproco.
- Luego del tiempo de agitación se procedió a filtrar cada muestra a través de papel filtro.
- De cada filtrado se tomo 5 ml incluyendo los blancos llevándolo a matraces de 50 ml. Y lentamente se agrego 20 ml de reactivo para desarrollar el color.
- Se desarrollo una escala de estándar de 0-1-2-5-10-25-50 ml en matraces aforado de 100 ml agregándole 50 ml de solución de bicarbonato de sodio 1 mol/L a cada una de ellas consiguiendo una concentración en cada estándar 0,0-0,1-0,2-0,5-1,0-2,5-5,0 mg/L de P.
- De cada estándar se extrajo 5 ml agregándole 20 ml de reactivo para desarrollar color en matraces de 50 ml.
- Se dejaron reposar y luego en el espectrofotómetro se comenzó a leer la absorbancia de cada estándar a 400 nm.
- Luego se procedía a leer la absorbancia de cada muestra de la Base Antártica Chilena O'Higgins.

Cálculos utilizados para determinar Fósforo

Se Dibuja una curva de calibración con las concentraciones de P en la serie de estándares en el eje de las X y las absorbancias en el eje de las Y. se obtuvo la ecuación de regresión de mejor ajuste.

Calcular la concentración de P en la muestra según:

$$P \text{ (mg/kg)} = (a - b) \times d \times 20$$

Donde:

a = mg/L de P en el extracto de la muestra

b = mg/L promedio de P en los blancos

d = factor de dilución del extracto de la muestra (si se requiere)

5.10.- Determinación de pH

El procedimiento para medir pH fue de acuerdo al Método 3 descrito en el Comisión de Normalización y Acreditación Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, CNA, año 2004.

Nota: Se prepara una suspensión de suelo con agua, en una proporción suelo: solución de 1:2,5, y en el sobrenadante se determina el valor del pH-H₂O.

Procedimiento

- Se pesaron 4g de suelo seco en un vaso precipitado, se ingreso 10 ml de agua destilada
- La solución se agitó durante 5 min usando el agitador
- Se verificó que el medidor de pH este calibrado con soluciones tampones de pH 7,00, pH 4,00 y pH 10,00.
- Al agitar la suspensión e inmediatamente se introdujo el electrodo.
- Una vez estabilizada la lectura con dos decimales se procedió a leer el pH de cada muestra.

5.11.- Determinación de Materia Orgánica

El procedimiento para obtener materia orgánica fue de acuerdo al Método 7 descrito en el *Manual de Procedimientos de Laboratorio de Suelos*, Comisión de Normalización y Acreditación Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, CNA, año 2004.

Procedimiento

- Se pesaron 30- 40 g de suelo seco a temperatura ambiente en un crisol de porcelana previamente pesado sin muestra.
- Se llevo a la Mufla durante un periodo de 2 horas a una temperatura de 400 °C.
- Terminado su tiempo en la mufla se dejaron en secadores durante 20 minutos.
- Luego se procedió a pesar los crisoles en una balanza analítica, y por diferencia de pesada se obtiene la materia orgánica.

Calcular la concentración de Materia Orgánica en la muestra según:

$$\text{Materia Organica (mg/g)} = (a - b) / d$$

Donde:

a = masa de la muestra mas masa del crisol de porcelana después de estar a 400 °C

b = masa de la porcelana sola

d = masa en g de la muestra usada.

CAPITULO VI

6.- Presentación y Discusión de los Resultados

En este capítulo se presentarán los resultados de los análisis realizados a cada muestra de suelo obtenida en la Base Antártica Chilena O'Higgins y la discusión de los mismos.

Tanto los resultados como las discusiones están presentados según el orden entregado en la metodología.

6.1.- Extracción de Aceites y Grasas

Las concentraciones de aceites y grasas obtenidas por medio de extracción Soxhlet con Diclorometano (CH_2Cl_2), se muestran en la Tabla n°6.1. En unidades de mg/kg de suelo seco.

<i>Muestra</i>	<i>Aceites y Grasas (mg/kg)</i>
<i>SC1</i>	<i>37331,50</i>
<i>SC2</i>	<i>6107,29</i>
<i>SC3</i>	<i>17071,82</i>
<i>SC4</i>	<i>48515,70</i>
<i>SC5</i>	<i>61134,77</i>
<i>SC6</i>	<i>7493,64</i>

Tabla n° 6.1.- Cantidad obtenida de Aceites y Grasas en cada muestra.

Como se puede apreciar en la Tabla n°6.1 las mayores concentraciones fueron registradas en las muestras SC1, SC4 y SC5 con valores de 37331,5 mg/kg, 61134,77 mg/kg y 48515,7 respectivamente, mientras que la menor concentración fue registrada para la muestra SC2 cuyo valor es de 6107,29 mg/kg. Estas diferencias de concentración pueden ser explicadas por el hecho de que cada muestra fue obtenida de diferentes sectores afectados por derrames de combustibles dentro del área aledaña a la Base Antártica Chilena O'Higgins. Las mayores concentraciones obtenidas en la determinación de aceites y grasa comprenden las áreas de muestreo próximas a los sitios en donde se localizan los estanques de almacenamiento de combustible.

6.2.- Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)

Después de pasar cada muestra por una columna de Silica Gel se obtuvieron los HTP para las muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins, en la Tabla n°6.2 se muestra los valores correspondientes a las concentraciones expresadas en unidades de mg/kg de suelo seco.

<i>Muestra</i>	<i>HTP (mg/kg)</i>
<i>SC1</i>	<i>29470,66</i>
<i>SC2</i>	<i>2583,85</i>
<i>SC3</i>	<i>11103,47</i>
<i>SC4</i>	<i>47368,37</i>
<i>SC5</i>	<i>41231,81</i>
<i>SC6</i>	<i>2950,33</i>

Tabla n°6.2.- Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo en cada muestra.

Las mayores concentraciones de HTP se encontraron en los puntos de muestreo SC4 y SC5 con valores de 47368,37mg/kg y 41231,81 mg/kg respectivamente. Por el contrario, el sitio con menor concentración de HTP es el punto SC2 con un valor de 2583,85 mg/kg, ver Tabla n° 6.2. Estos resultados coinciden con el patrón de concentración observado para los aceites y grasas, se puede inferir que los mayores focos de contaminación se encuentran en las zonas cercanas al área de estanques de almacenamiento de combustibles. Las causas de contaminación en los suelos de la Base Antártica Chilena O'Higgins próximas a los estanques de almacenamiento están relacionadas con eventos de rebalse de estanques y filtraciones de llaves en cada estanque esto fueron causados en el año 2008 y otros 2004.

Es importante destacar que para las muestras SC6 sólo el 39% de los aceites y grasas corresponden a HTP, esto puede estar relacionado con la presencia de pingüinos en este sector que aportan compuestos grasos y algunos hidrocarburos de origen natural.

De acuerdo a las normativas que hay en México y en Canadá los resultados de las concentraciones de HTP superan lo permitido en han vas normativas en todos los punto de muestreo, el suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins no cumple con las normativas internacionales.

6.3.- Separación de HTP en Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos.

En la separación de HTP por medio de una columna de óxido de aluminio Al_2O_3 se obtuvieron dos fracciones las cuales corresponden a los hidrocarburos alifáticos y a los aromáticos, las concentraciones totales de estas dos fracciones se presentan en las Tabla n°6.3 y en la Tabla n°6.4.

<i>Muestra</i>	<i>Hidrocarburos alifáticos (mg/kg)</i>
<i>SC1</i>	<i>24538,96</i>
<i>SC2</i>	<i>1683,42</i>
<i>SC3</i>	<i>8506,85</i>
<i>SC4</i>	<i>38421,12</i>
<i>SC5</i>	<i>38687,00</i>
<i>SC6</i>	<i>1564,71</i>

Tabla n°6.3.- Concentración de la fracción correspondiente a los Hidrocarburos Alifáticos en cada muestra.

<i>Muestra</i>	<i>Hidrocarburos Aromáticos (mg/kg)</i>
<i>SC1</i>	<i>2968,99</i>
<i>SC2</i>	<i>802,56</i>
<i>SC3</i>	<i>1666,49</i>
<i>SC4</i>	<i>8542,31</i>
<i>SC5</i>	<i>534,71</i>
<i>SC6</i>	<i>1281,93</i>

Tabla n°6.4.- Concentración de la fracción de Hidrocarburos Aromáticos en cada muestra.

<i>Muestra</i>	<i>% Hidrocarburos Alifáticos</i>	<i>% Hidrocarburos Aromáticos</i>
<i>SC1</i>	<i>83,27</i>	<i>10,07</i>
<i>SC2</i>	<i>65,15</i>	<i>31,06</i>
<i>SC3</i>	<i>76,61</i>	<i>15,01</i>
<i>SC4</i>	<i>81,11</i>	<i>18,03</i>
<i>SC5</i>	<i>93,83</i>	<i>1,30</i>
<i>SC6</i>	<i>53,04</i>	<i>43,45</i>

Tabla n°6.5.- Porcentajes obtenidos en el fraccionamiento de HTP.

En la Tabla n°6.5 se aprecia que los mayores porcentajes obtenidos al fraccionar los HTP son las concentraciones de Tabla n°6.3 de la fracción alifática, se encontró en el sitio de muestreo SC5 con un valor de 93,83% y una concentración de 38687,0 mg/kg, SC4 con 81,11% y una concentración de 38421,12 mg/kg y SC1 con 83,27% y una concentración de 24538,96 mg/kg. Para el caso de las menores concentraciones se observa que éstas fueron obtenidas en el sitio de muestreo SC6 registrando un valor de 53,04% y una concentración de 1564,71 mg/kg. Nuevamente se obtienen las mayores concentraciones en los puntos cercanos a los depósitos de combustibles.

A los porcentajes y las concentraciones obtenidas en el fraccionamiento de hidrocarburos aromáticos se puede observar que éstos no siguen el patrón encontrado tanto para los aceites y grasas como para los HTP y los hidrocarburos alifáticos, registrándose las mayores concentraciones en las estaciones de muestreo SC6 con un valor de 1281,93 mg/kg con un porcentaje 43,45% de los HTP y SC2 con una concentración de 2968,99 mg/kg y un porcentaje de 31,06% de los HTP. Esta diferenciación dentro de los resultados entre los hidrocarburos aromáticos y alifáticos puede radicar en que la composición del Diesel, principal combustible utilizado en la Base Antártica Chilena O'Higgins no presenta altas concentraciones de hidrocarburos aromáticos.

6.3.1.- Resultados de la Identificación y Cuantificación de Hidrocarburos alifáticos en las muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins

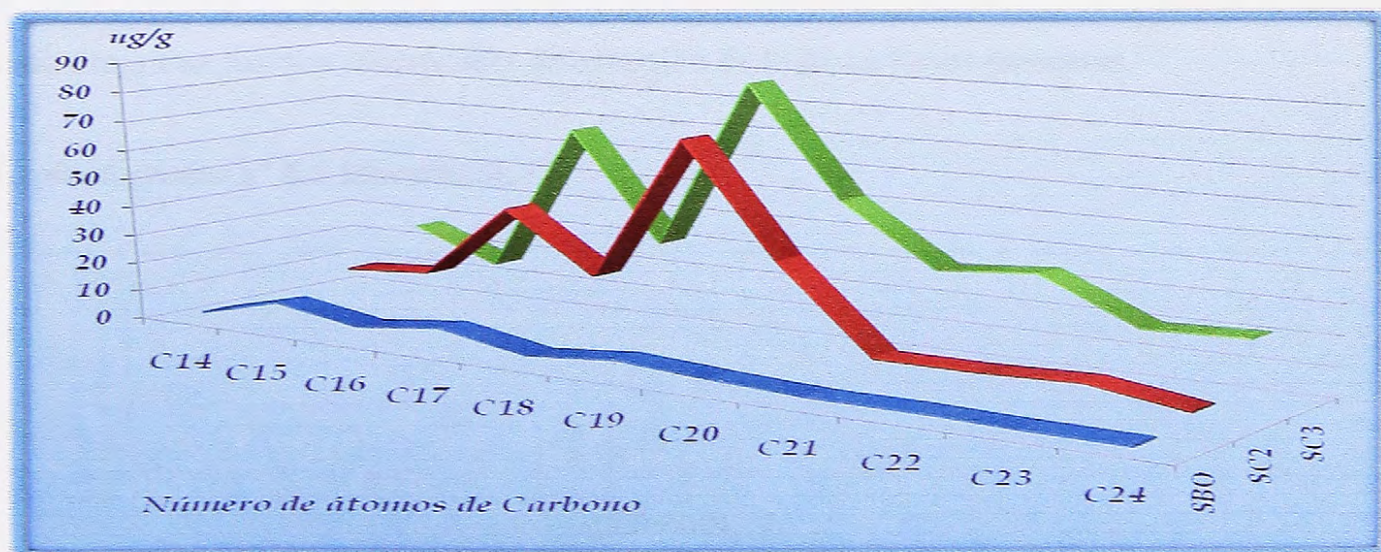
6.3.1.1.- Hidrocarburos Alifáticos

Con el estándar preparado se realizaron varias corridas y luego de cada una de las muestra, lo que permitió comparar los tiempos y áreas de cada señal identificada en los cromatogramas obteniéndose la identificación de hidrocarburos alifáticos los que se indican en la Tabla n°6.6, adicionalmente se incluye en la misma tabla la suma de las concentraciones individuales de los hidrocarburos alifáticos identificados para tener la concentración total de los mismos.

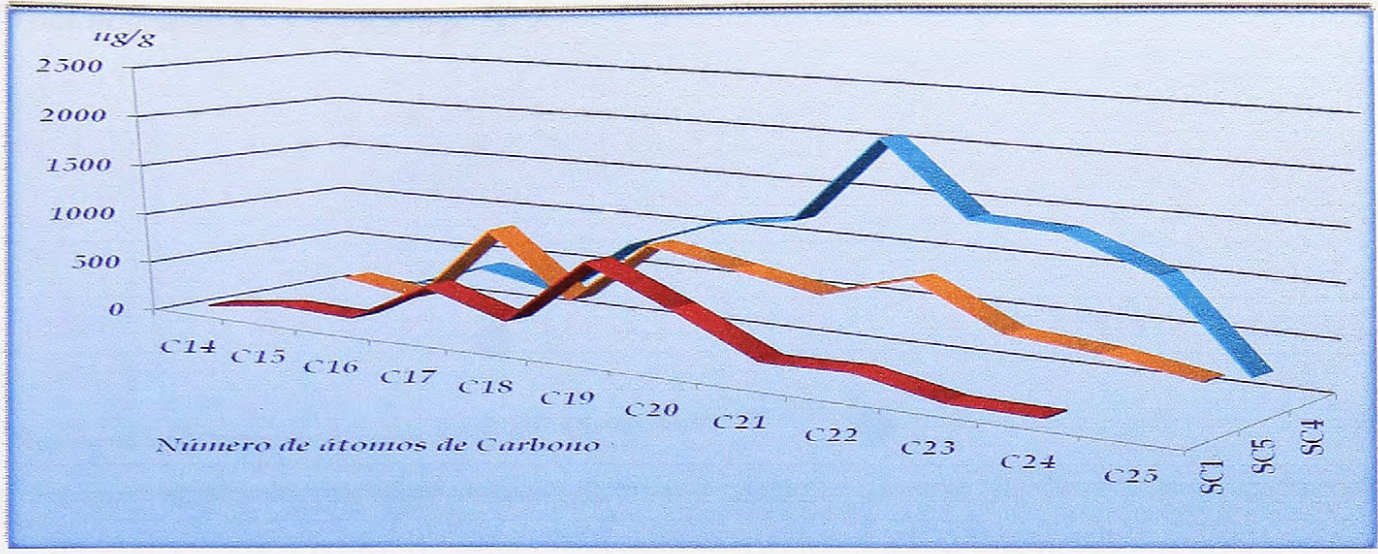
<i>Concentración en (ug/g) en cada Muestra</i>						
<i>Carbono</i>	<i>SC1</i>	<i>SC2</i>	<i>SC3</i>	<i>SC4</i>	<i>SC5</i>	<i>SC6</i>
<i>C14</i>	53,246	-	-	-	-	2,315
<i>C15</i>	160,611	16,613	27,735	-	330,691	9,491
<i>C16</i>	135,667	18,667	16,768	115,920	214,354	4,932
<i>C17</i>	547,644	44,179	67,483	390,748	982,039	8,269
<i>C18</i>	290,301	24,290	30,879	229,588	353,522	2,945
<i>C19</i>	951,865	72,850	87,656	788,073	991,192	5,383
<i>C20</i>	598,509	35,963	51,490	1073,598	843,123	3,418
<i>C21</i>	212,320	8,053	31,577	1194,819	696,199	1,932
<i>C22</i>	227,971	7,992	33,994	2054,720	928,507	1,850
<i>C23</i>	61,086	8,969	19,956	1366,442	529,523	1,048
<i>C24</i>	47,132	4,465	20,974	1331,158	453,096	0,916
<i>C25</i>	-	-	-	1016,253	313,708	-
<i>C26</i>	-	-	-	191,439	-	-
<i>TOTAL</i>	3286,352	242,041	388,511	9752,757	6635,96	42,500

Tabla n° 6.6.- Concentración de Hidrocarburos Alifáticos identificados en cada muestra de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins en unidades de ug/g de suelo seco.

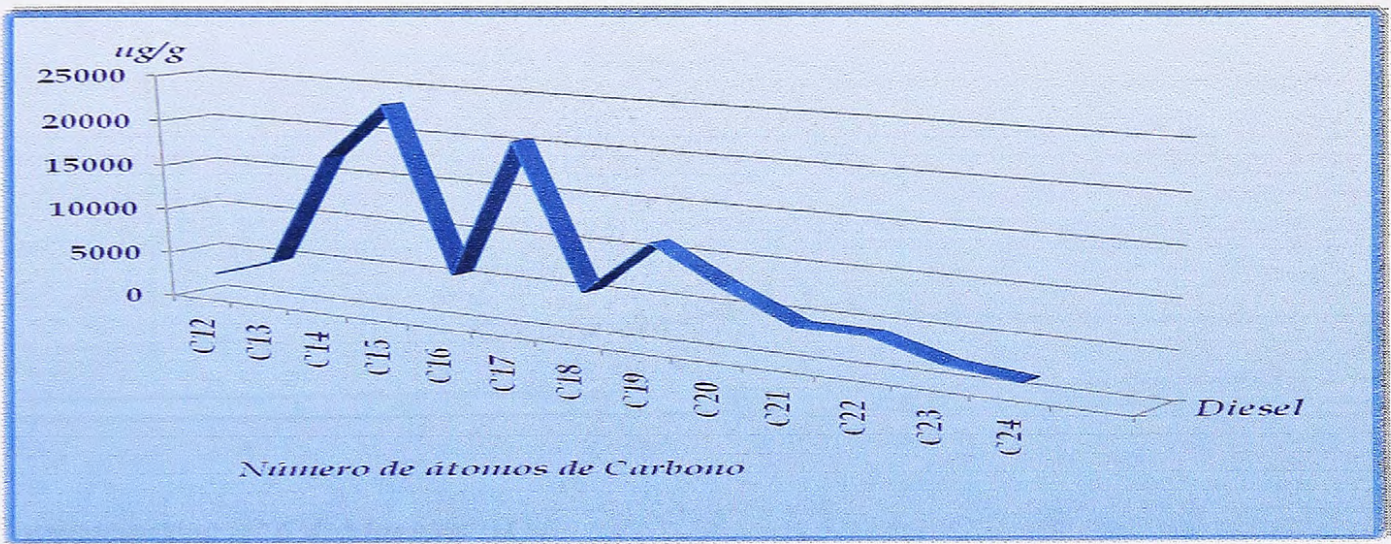
En las Graficas n°6.1 y n°6.2 se muestra las concentraciones de los hidrocarburos alifáticos presentes en cada muestra y en la Grafica n° 6.3 la concentración de hidrocarburos alifáticos presentes en Diesel.



Grafica n°6.1.- Contenido de Hidrocarburos alifáticos en las muestra SC6 (SBO), SC2 y SC3.



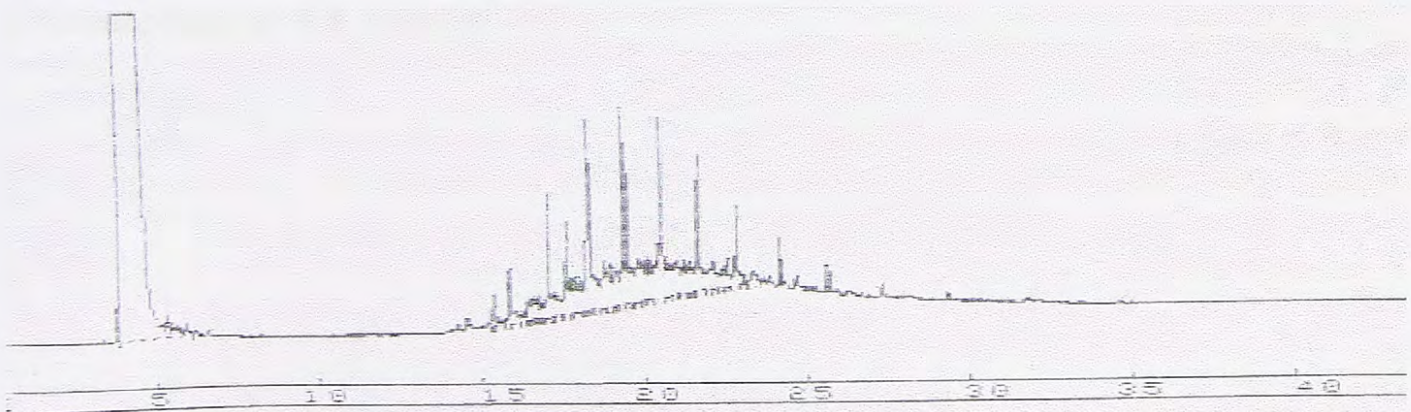
Grafica n° 6.2.- Contenido de Hidrocarburos alifáticos en las muestra SC1, SC5 y SC4.



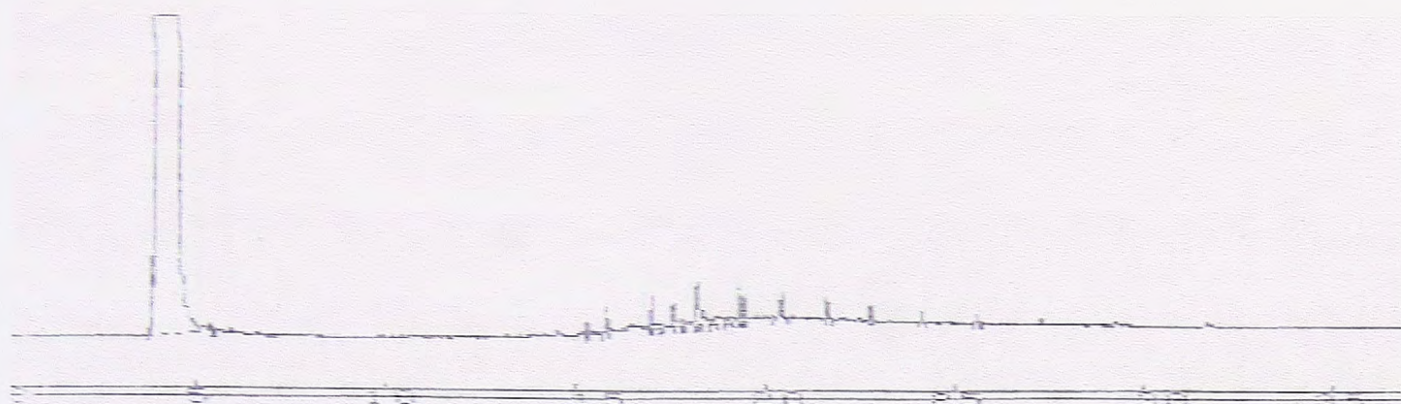
Grafica n°6.3.- Contenido de Hidrocarburos alifáticos en una muestra de Diesel de petróleo.

Cada muestra analizada por el equipo de cromatografía de gases se registró mediante cromatograma los que muestran la distribución de hidrocarburos presentes.

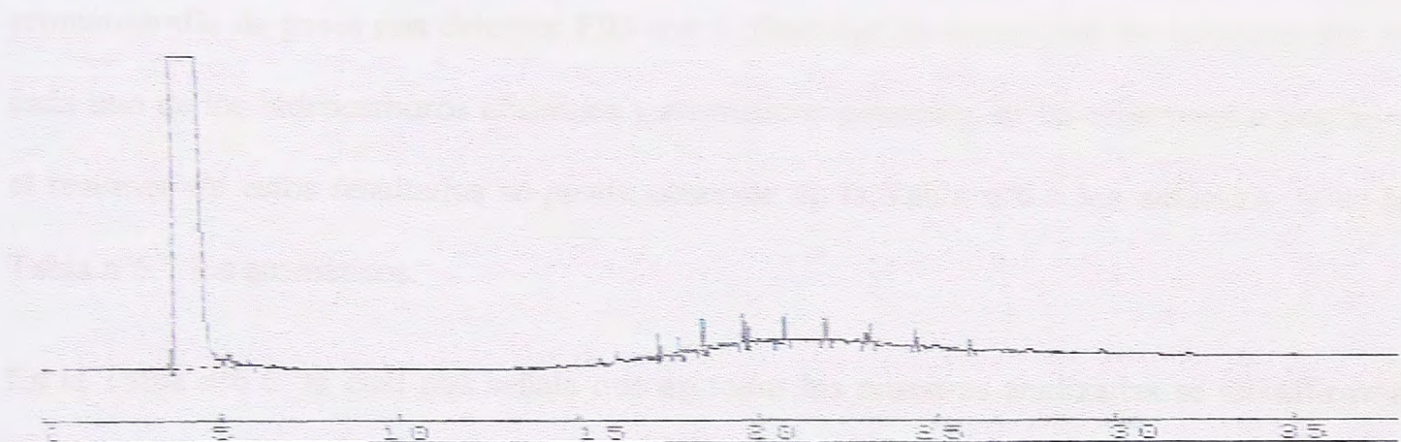
Cromatograma n° 6.1 Muestra SC1



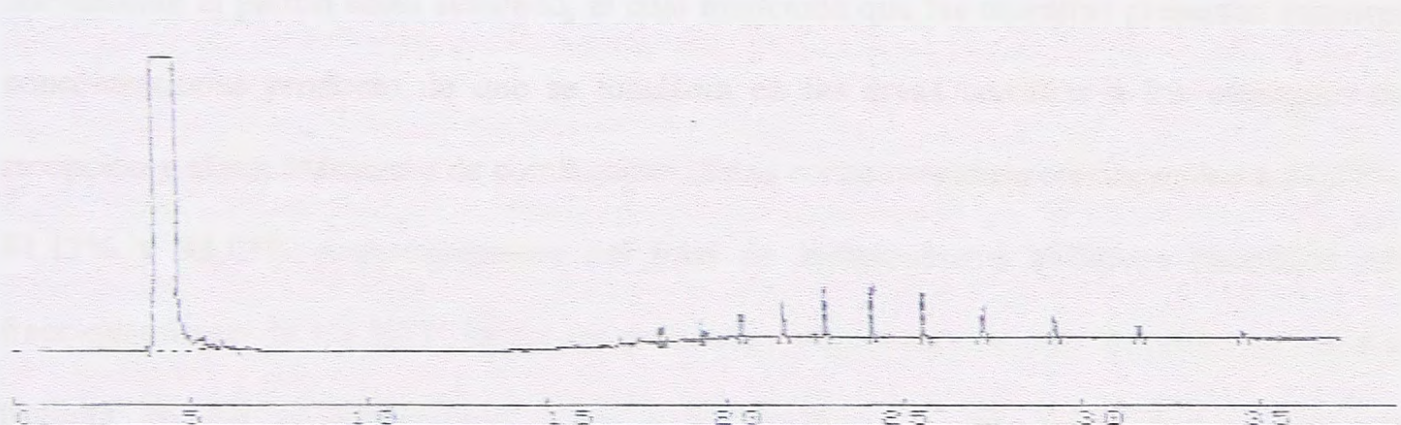
Cromatograma n° 6.2 Muestra SC2



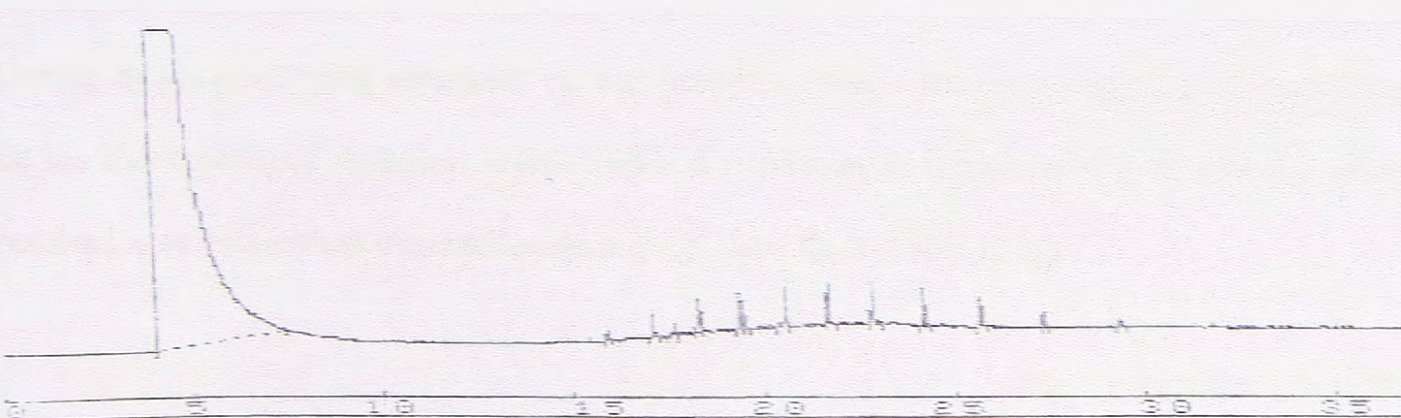
Cromatograma n° 6.3 Muestra SC3

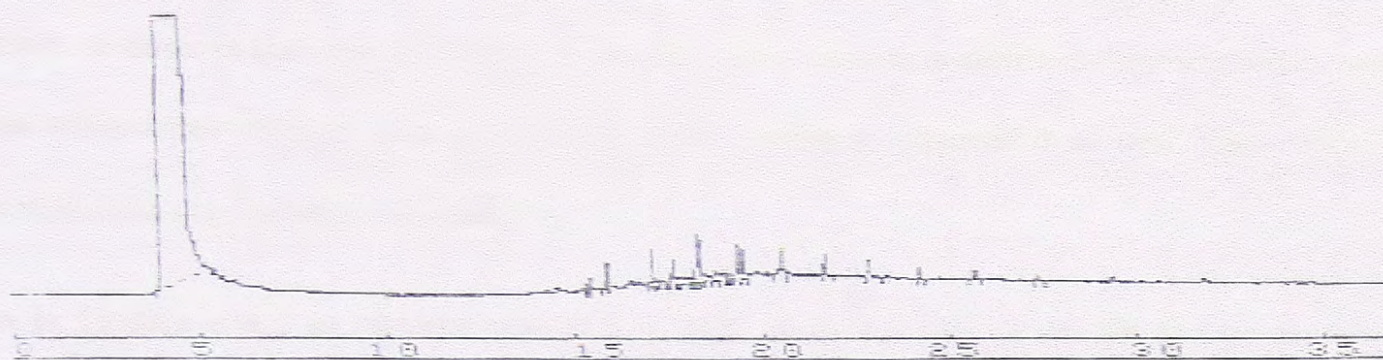


Cromatograma n° 6.4. Muestra SC4



Cromatograma n° 6.5. Muestra SC5



Cromatograma n° 6.6. Muestra SC6

Las muestras obtenidas luego del fraccionamiento fueron identificadas a través de cromatografía de gases con detector FID con la finalidad de determinar la concentración de cada uno de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos presentes en las diferentes muestras y el resumen de estos resultados se puede observar en la Tabla n°6.6 los alifáticos y en la Tabla n°6.7 los aromáticos.

En la Tabla n°6.6 la cual nos señala que en todas las muestras analizadas se identificaron desde el C₁₄ hasta el C₂₅, registrándose las mayores concentraciones en las estaciones de muestreo SC1, SC4 y SC5, (3286,352 (µg/g), 9752,757 (µg/g), 6635,96 (µg/g)) repitiéndose nuevamente el patrón antes señalado, el cual menciona que las muestras presentan mayores concentraciones producto de que se localizan en las áreas cercanas a los estanques de recepción y almacenamiento de combustible. Estas concentraciones corresponden a 83.27%, 81,11% y 93,83% respectivamente del total de hidrocarburos alifáticos obtenidos por fraccionamiento de los HTP, existe un porcentaje importante de esta fracción que no fue resuelta en los cromatogramas o no correspondieron a los hidrocarburos alifáticos estudiados. Por el contrario, los menores valores en concentración fueron obtenidos en SC6 42,500 (µg/g) y SC3 388,511 (µg/g).

Dentro de los resultados obtenidos en este trabajo se obtuvieron las concentraciones totales de los hidrocarburos alifáticos identificados a través de la cromatografía de gases y estos resultados se encuentran expresados en la parte final de la Tabla n° 6.6.

Al observar la Gráfica n° 6.1 se puede señalar que las muestras SC2 y SC3 presentan patrones similares de concentraciones y carbonos identificados, a diferencia de SC6 en donde se observa que a pesar de que la muestra tiene presencia similares hidrocarburos, las concentraciones en este sitio de muestreo son inferiores, observándose una línea menos pronunciada que las otras dos muestras.

En la Gráfica n°6.2 se observa que SC1 y SC5 presentan una tendencia similar de sus concentraciones, siendo éstas inferiores a la concentración de SC4. Se puede mencionar que dentro de la identificación de hidrocarburos alifáticos en la muestra SC4 las mayores concentraciones se registraron en las cadenas de hidrocarburos más pesadas.

Si se comparan las Gráficas n°6.1 y n°6.2 se observan que las muestras SC6, SC2 y SC3 tienden a presentar las mayores concentraciones en los hidrocarburos de menor peso (C15, C17, C18, C19), a diferencia de la Gráfica n° 6.2 en donde se registra que las mayores concentraciones corresponden a las cadenas de hidrocarburos de mayor peso (C20, C21, C22, C23, C24, C25).

En la Gráfica n°6.3 se aprecia la composición del combustible más utilizado en la Base Antártica Chilena O'Higgins. Se puede observar que las mayores concentraciones de hidrocarburos se registran en las cadenas de menor peso molecular (C13, C14, C15, C16, C17). Estos resultados al ser comparados con la Gráfica n°6.1 y n°6.2 nos indican que los patrones de hidrocarburos identificados en las seis muestras son similares a los hidrocarburos que componen el diesel. En el diesel las concentraciones más altas de hidrocarburos se presentan para los de menor cadenas(C13, C14, C15, C16, C17), éstos, al mismo tiempo, se caracterizan por ser más volátiles que los de cadenas más pesadas, las cuales se caracterizan por fijarse en el suelo, permaneciendo un mayor tiempo en este medio. Por esta razón, resulta razonable encontrar en los seis puntos de muestreos concentraciones altas de hidrocarburos de cadena altas, como es el caso de C₂₁ al C₂₄.

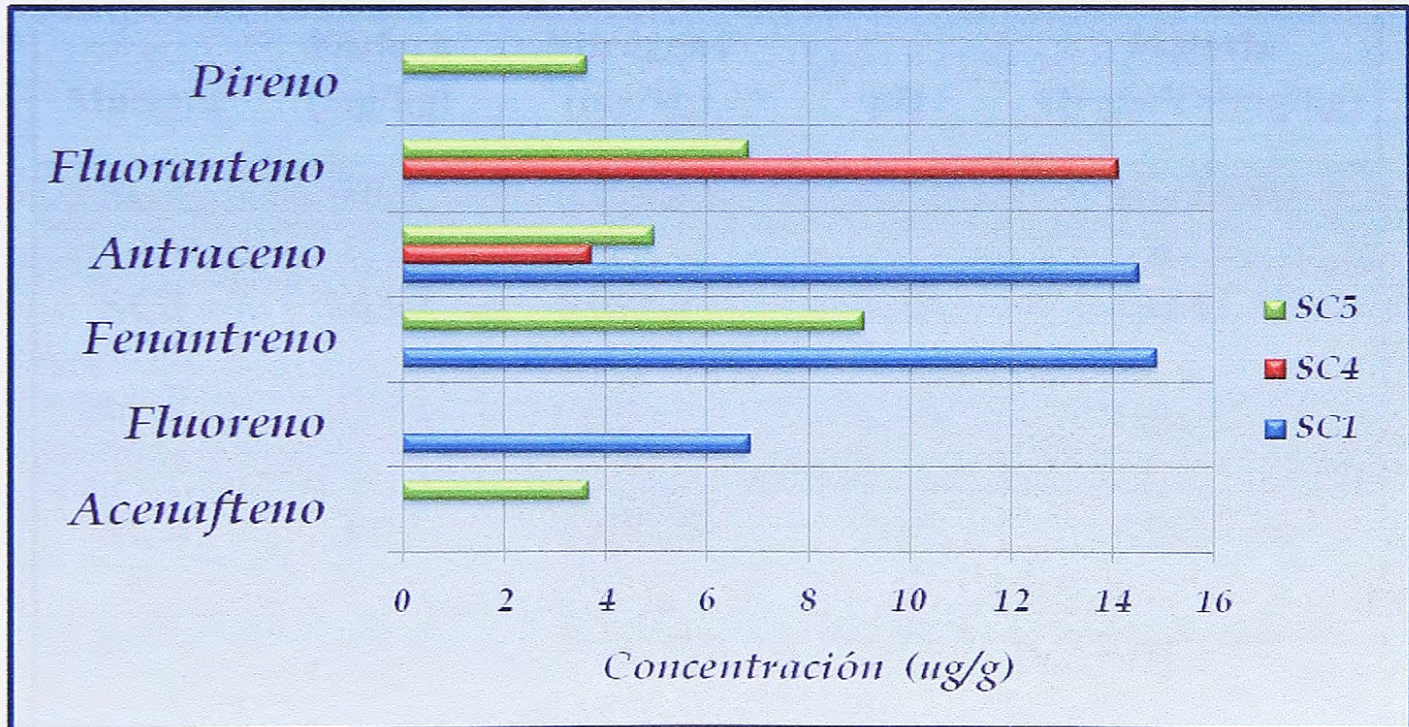
En los Cromatogramas n°6.1, n°6.2, n°6.3, n°6.4, n°6.5 y n°6.6 observamos las diferentes señales las cuales nos indican las concentraciones de cada una de las muestras de la Base

tomando en cuenta que en la muestra SC1 es la que contiene mayor cantidad de señales, pero esto no indica mayor concentración de Hidrocarburos Alifáticos como se muestra en la Tabla n°6.6.

6.3.1.2.- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

Hidrocarburos Aromáticos	Concentración (ug/g)		
	SC1	SC4	SC5
<i>Acenafteno</i>	0,0	0,0	3,666
<i>Fluoreno</i>	6,848	0,0	0,0
<i>Fenantreno</i>	14,872	0,0	9,083
<i>Antraceno</i>	14,528	3,7340	4,968
<i>Fluoranteno</i>	0,0	14,123	6,840
<i>Pireno</i>	0,0	0,0	3,636

Tabla n° 6.7.- Concentración e identificación de hidrocarburos aromáticos en tres muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins.



Gráfica n° 6.4.- Concentración de Hidrocarburos Aromáticos encontrados en tres muestras de la Base Antártica Chilena O'Higgins.

En la Tabla n° 6.7 se observa que de un total de las seis muestras estudiadas sólo en tres de ellas se han identificado alguno de los 16 HAPs recomendados por la EPA como prioritarios para su monitoreo, estas muestras corresponden a SC1, SC4 y SC5.

Los 6 HAPs identificados en las muestras son los siguientes: Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno y Pireno.

En la Grafica 6.4 se puede observar que el HAPs encontrado en mayor cantidad de muestras fue el Fenantreno y la muestra que presentó más cantidad de HAPs fue la SC5 donde se encontraron 5 de los 6 HAPs identificados.

6.4.- Caracterización del Suelo de la Base Antártica Chilena

O'Higgins.

Con la finalidad de caracterizar el suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins y tener información que permita determinar si es posible realizar una biorremediación en estos suelos se determinaron la concentración de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y pH. Estos resultados se muestran en la Tabla n°6.8.

Muestra	Fósforo (mg/kg)	Nitrógeno (mg/kg)	pH	Materia Orgánica(mg/kg)
SC1	36,8	6285,95	7,12	26428,00
SC2	143,2	9302,37	7,70	43442,48
SC3	107,2	24150,71	6,24	243487,49
SC4	39,2	4332,80	7,46	43380,34
SC5	49,6	6782,67	7,56	123109,53
SC6	172	39142,98	6,53	125895,84

Tabla n°6.8.- Concentraciones de fosforo, nitrógeno, pH y materia orgánica en las muestras de suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins.

<i>Muestras de Acuerdo a lo Recomendado</i>			
Referencia	Carbono/Nitrógeno	Carbono/Fósforo	pH
Recomendada	10:1 y 50:1	100:1 y 500:1	6 y 8
SC1	5,939	1014,443	7,12
SC2	0,657	42,649	7,7
SC3	0,707	159,252	6,24
SC4	11,197	1237,645	7,46
SC5	9,013	1232,556	7,56
SC6	0,191	43,568	6,53

Tabla n°6.9.- Razón de carbono/nitrógeno, carbono/fósforo con respecto a lo recomendado.

Un estudio basado en la determinación del método más óptimo para realizar biorremediación en la Antártica (Dorbez, 2008) señala que una de las características esenciales es la presencia de una relación óptima carbono-nitrógeno y carbono-fósforo. Esta autora señala que una elevación en la concentración de hidrocarburos está directamente relacionada con una disminución en las concentraciones de nitrógeno y fósforo presentes en el sistema.

En la Tabla n°6.9 se presenta la relación Carbono /Nitrógeno y Carbono/Fósforo para cada muestra de suelo analizada junto a los valores recomendados por Ercoli en el (2001) para aplicación de técnicas de biorremediación, y al comparar ésta con los resultados obtenidos en este estudio se puede señalar que las concentraciones de nitrógeno no representan un limitante para aplicar técnicas de biorremediación ya que para ninguna muestra la cantidad de Carbono supera la relación recomendada como óptima. En relación a la razón Carbono/Fósforo se puede observar en la tabla que lo recomendado se encuentre entre 100:1 y 500:1 por lo que al comparar estos valores con los resultados obtenidos podemos señalar que los puntos de muestreo SC2, SC3 y SC6 presentarían condiciones favorables para realizar una biorremediación, ya que no presentan deficiencia de este nutriente. Finalmente, al observar el pH recomendado por Ercoli, se puede mencionar que este autor señala como

pH óptimo un rango entre 6 y 8, por lo que suelos con pH sobre o bajo este rango, deben sufrir modificaciones si se desea realizar una biorremediación. Al comparar el rango señalado por el autor con los valores obtenidos en este estudio se puede mencionar que si se desea realizar una biorremediación en los diferentes puntos se deberá considerar lo siguiente:

Para los sitios SC1, SC5 y SC4 los parámetros de recomendados para C/N y C/P solo se encontrarían dentro de los rangos para realizar una biorremediación, pero con las concentraciones de fósforo muy altas, se deberá modificar el suelo ya que los valores obtenidos en este trabajo no se encuentran dentro del rango señalado por lo recomendado, por el contrario, teniendo la precaución de realizar estudios previos para ver la respuesta de una biorremediación y la capacidad de carga del medio ambiente, evitándose así, un menor daño al sistema.

En las muestras SC2, SC3 y SC6 se observa en la Tabla n°6.9 que la razón entre carbono/nitrógeno hay presencia de una alta concentración de nitrógeno esto puede ser debido a la localización de estos puntos ya que es una zona con presencia de pingüinos.

De estos resultados se infiere que lo más adecuado en eventos de contaminación sería la aplicación de procesos de biorremediación con microorganismos autónomos del sector afectado que posibiliten una efectiva biodegradación, ya que debido al tratado antártico no pueden introducirse especies. Sin embargo, cuando el suelo presenta una historia de contaminación previa, la bioestimulación necesita cantidades adecuadas de N y P, también la temperatura promedio es de 10°C a 15°C lo cual representa una desventaja para la biorremediación del suelo antártico, ya que algunos puntos de muestreo de la Base Antártica Chilena O'Higgins presentan concentraciones de fósforo insuficientes para un óptima biorremediación por ello se debería desarrollar un estudio más enfocado a la biorremediación en la base tomando en cuenta que solo contamos con 4 meses, aproximadamente, sin nieve en la base. Pero esto no quiere decir que no resulte, sino que se requiere de nuevos estudios enfocados en las concentraciones con el fin de ver si hay alguna degradación natural.

CAPITULO VII

7.- Conclusiones

- Entre las muestras analizadas se puede observar que los mayores contenidos de HTP corresponden a los sectores más próximos a los estanques de almacenamiento de combustible. Encontrándose concentraciones de 47368,37 mg/g y 41231,81 mg/g.
- Los hidrocarburos alifáticos presentaron su mayor concentración 9752,757 $\mu\text{g/g}$ en la muestra SC4.
- Los hidrocarburos alifáticos identificados son los de cadena de C_{14} a C_{26}
- Los patrones de distribución de hidrocarburos encontrados coinciden con el patrón de distribución de estos compuestos en el Diesel de petróleo, combustible utilizado en mayor cantidad en la Base Antártica Chilena O'Higgins.
- Los hidrocarburos alifáticos que presentaron mayores concentraciones son C_{17} , C_{19} , C_{20} , C_{21} y C_{22} .
- Sólo en tres muestras se observaron HAPs, SC1, SC5 y SC4.
- En sólo en la muestra SC5 presento más de cinco HAPs de los 16 HAPs recomendados por la EPA.
- El HAPs que se detectó en más muestras fue el Antraceno, encontrado en la muestras SC1, SC4 y SC5.
- La cuantificación de nutrientes presente en el suelo indica que existe una relación C/N y C/P muy alta lo que indica que para implementar tecnologías de biorremediación se requiere incorporación de nutrientes.
- Uno de los principales problemas para la aplicación de biorremediación radica en las bajas temperaturas que no superan en promedio los -1.9°C durante la temporada estival y la cobertura de nieve presente en el suelo por aproximadamente 8 meses al año.

CAPITULO VIII

8.- Bibliografía

1. BOCKMAN OLUT et al: Agricultura y Fertilizantes, Hydro Agmi, Noruega, 1993.
2. CANTER W. LARRY: Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, Mac Graw Hill, USA, 2da ed., 1998.
3. FASSBENDER, H.W. y BORNERMISZA, E.: Química de Suelos con Énfasis e Suelos de América Latina, IICA, San José, Costa Rica, 1987.
4. VASQUEZ, ABSALON: El Riego, Editorial La Molina, 1994.
5. Pedro Augusto Brissio. Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburífera, 2005.
6. Fundamentos de la ciencia del suelo. H. D. Foth; L. M. Turk; G. E. Milla; traducción de Q. B. Juan Nava Díaz, 1979.
7. US EPA 3610B. 1996. Alumina Cleanup. SW 846 Test methods forevaluating solid waste, physical/chemical methods. (Revisión 2).1996.
8. US EPA 3611B. Alumina column cleanup and separation of petroleumwastes. SW 846 Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods.1996.
9. Fundación Mafre, Manual de la contaminación ambiental, editorial Mafre, 1994.
10. Marc Viñas Canals, Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. Barcelona 2005.
11. Casellas, M., P. Fernández, J. M. Bayona y A. M. Solanas. Bioassay-directed chemical analysis of genotoxic components in urban airborne particulate matter from Barcelona (Spain). Chemosphere 1995.
12. Rosini, F. D. Hydrocarbons in petroleum. Journal of Chem.Educ. 1960.

13. Fernández, P., M. Grifoll, A. M. Solanas, J. M. Bayona y J. Albaigés. 1992. Bioassay-directed chemical analysis of genotoxic components in coastal sediments. *Environ. Sci. Technol.* 1992.
14. Clark, R. C. y D. W. Brown. Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. En: D. C. Malins (Ed.), *Effects of Petroleum on arctic and subarctic environments and organisms*. Academic Press Inc. London, 1977.
15. Howe-Grant, M. Petroleum. *Encyclopedia of chemical technology* 4th ed. Wiley Interscience Publication. New York, 1966.
16. Constanza Dorbez- AgenciaCyTA. Logran mejores metodos para descontaminar de hidrocarburos los suelos de la Antartica, 2008.
17. Joaquín Benavides López de Mesa Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo, 2006.
18. Benavides J , Roldan F, Ocampo A, Londoño M, Pardo A, Perdomo C. Efecto de la adición de nutrientes (nitrógeno y fósforo) e identificación de microorganismos degradadores de hidrocarburos de suelos contaminados con petróleo. (Fase I). Trabajo de grado (Ingeniera (s) ambiental). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería ambiental. Bogotá, 2004.
19. Dr. Wini Schmidt, Suelos Contaminados con Hidrocarburos: La Biorremediación como una Solución Ecológicamente Compatible.
20. Antarctic Environmental Monitoring Handbook (CHAPTER 8. SOILS/SEDIMENTS), *COMNAP/SCAR*, 2000.
21. Angélica Sadzawka R., María Adriana Carrasco, CNA (Comisión de Normalización y Acreditación) Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos Chilenos, Revisión 2004.
22. Heidi K. Bojes *, Peter G. Pope Characterization of EPA's 16 priority pollutant polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in tank bottom solids and associated contaminated soils at oil exploration and production sites in Texas. 2007.
23. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/suelos.html>
24. <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/05PrinEcos/110Suelo.htm>

***Determinación e Identificación de Hidrocarburos en
Suelo de la Base Antártica Chilena O'Higgins***

*Catalina Lorena Rojas Mújica
Profesor Guía: Nancy Calisto*



