



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA EN MEDIOAMBIENTE
INGENIERIA AMBIENTAL

**PROPUESTA COMPLEMENTARIA PARA EL CONTROL
DE HIDROCARBUROS EN EL ÁREA DEL PROYECTO
INMOBILIARIO LAS SALINAS POR MEDIO DE UN
PLAN DE BIORREMEDIACIÓN *IN SITU***

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Martín Traverso Romo

PROF. GUÍA:

Dr. Hugo Díaz Murillo

Valparaíso, 2022

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer tanto a los profesores como a la Universidad de Valparaíso por entregarme un espacio de conocimiento y reflexión, que me permitió desarrollar mis habilidades ingenieriles durante estos años.

De igual manera agradecer a la comunidad estudiantil por prestarme el apoyo académico y emocional, necesario para sobrellevar los momentos difíciles que se presentaron durante este viaje.

Y, por último, agradecer a mi familia, quienes estuvieron presentes durante este largo camino, brindándome apoyo, paciencia y compromiso para lograr finalizar con éxito este importante proceso en mi vida.

RESUMEN

El petróleo es hoy en día el combustible más utilizado para la mayoría de las actividades antropogénicas, alcanzando producciones que superan los cien millones de barriles diarios. Esta producción a gran escala provoca problemas ambientales asociados con el mal manejo de productos derivados del petróleo durante su explotación, producción, refinación y transporte.

Es en este contexto que este trabajo de titulación propuso soluciones para un área con alta presencia de hidrocarburos ubicada en la comuna de Viña del Mar, región de Valparaíso, la cual albergó durante casi 90 años empresas distribuidoras de gasolinas y otros derivados del petróleo. La propuesta consiste en la creación de un plan de biorremediación que combina diferentes técnicas *in situ*, el cual es un complemento a la biorremediación *ex situ* propuesta por los dueños del terreno, los cuales ya cuentan con un proyecto de saneamiento del sitio, el cual será destinado para el desarrollo inmobiliario.

La caracterización de la zona permitió identificar características idóneas en el sitio estudiado para la implementación de este plan de biorremediación alternativo, ya que no solo cumple con los parámetros climáticos tales como temperatura o humedad, sino que también el suelo posee alta permeabilidad por su textura, lo que facilita la instalación y desarrollo de un proyecto de este tipo.

Es por eso que se realizó un estudio de las diferentes tecnologías de biorremediación aplicables en el lugar, obteniéndose que la bioestimulación y bioventilación son las tecnologías *in situ* que mejor se podrían adecuar a las características del terreno, por lo que se planteó un análisis técnico de la implementación de estas tecnologías en simultáneo, con el motivo de mejorar la capacidad de recuperación del ecosistema y así mantener atenuada la liberación de los hidrocarburos en el lugar de estudio.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 SUELO	4
1.1.1 Definición:.....	4
1.1.2 Estructura:	5
1.1.3 Composición:.....	6
1.1.4 Clasificación:	7
1.2 PETRÓLEO	8
1.2.1 Definición y características:	8
1.2.2 Composición general:.....	8
1.2.3 Clasificación por familia:.....	8
1.2.4 Clasificación por tamaño de cadenas:	11
1.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO	12
1.3.1 Clasificación por tipo de contaminación:	12
1.3.2 Factores que influyen en la contaminación del suelo:	13
1.3.3 Contaminación de suelos con hidrocarburos:.....	14
1.4 BIORREMEDIACIÓN	15
1.4.1 Definición:	15
1.4.2 Parámetros que influyen en la biorremediación:	15
1.4.3 Técnicas de biorremediación:	17
1.5 NORMATIVA APLICABLE	19
1.5.1 Normativa Nacional:	19
1.5.2 Normativa Internacional:.....	20
1.6 MODELOS MATEMÁTICOS DE CRECIMIENTO BACTERIANO.....	21
1.6.1 Modelo cinético de Monod:	22
2. PROBLEMA:	23
3. OBJETIVOS.....	24
OBJETIVO GENERAL:.....	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	24

4.	METODOLOGÍA.....	25
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
4.1.1	Localización:.....	25
4.1.2	Antecedentes Históricos:	25
4.1.3	Clima y Meteorología:.....	25
4.1.4	Geología y geomorfología:	26
4.1.5	Caracterización fisicoquímica del terreno:.....	26
4.1.6	Hidrología:	27
4.2	METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA BIORREMEDIACIÓN DEL PROYECTO.	27
4.2.1	Establecimiento de los Niveles de Remediación Específicos:	28
4.2.2	Evaluación de tecnologías de remediación:.....	28
4.2.3	Tecnología seleccionada por la empresa para la biorremediación:	29
4.2.4	Justificación de la tecnología seleccionada:	30
4.2.5	Componentes del sistema de tratamiento:	30
4.2.6	Control del proceso de biorremediación:	31
4.3	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL PROYECTO.....	33
4.3.1	Evaluación de las tecnologías aplicables:	33
4.3.2	Ubicación de las perforaciones:	34
4.3.3	Diseño de la técnica de bioventilación:	34
4.3.4	Diseño de la técnica de bioestimulación:	35
4.4	MODELO DE PREDICCIÓN MATEMÁTICO:	36
4.5	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	37
4.5.1	Factores que determinan los costos del proceso:.....	37
4.5.2	Análisis de costos generales:.....	37
5.	RESULTADOS	39
5.1	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO:	39
5.1.1	Localización:.....	39
5.1.2	Antecedentes Históricos:	41
5.1.3	Clima y Meteorología:.....	42
5.1.4	Geología y Geomorfología:	46

5.1.5	Caracterización fisicoquímica del suelo:	48
5.1.6	Hidrología:	51
5.1.7	Análisis microbiológico del suelo:	53
5.2	MODELO DE PREDICCIÓN MATEMÁTICO	55
5.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE BIORRMEDIACIÓN <i>IN SITU</i>	57
5.3.1	Elección de tecnologías de biorremediación	57
5.3.2	Ubicación de las perforaciones:	59
5.3.3	Diseño del sistema de Bioventilación:.....	61
5.3.4	Diseño del sistema de bioestimulación:.....	65
5.4	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	66
5.4.1	Análisis de costos bioventilación:	66
5.4.2	Análisis de costos bioestimulación:.....	67
6.	DISCUSIONES	68
6.1	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	68
6.2	PREDICCIÓN DE RESULTADOS A TRAVÉS DE MODELO MATEMÁTICO	69
6.3	SISTEMA DE BIORRMEDIACIÓN <i>IN SITU</i>	69
6.4	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	71
7.	CONCLUSIONES	72
8.	BIBLIOGRAFÍA	74
9.	ANEXOS:	77

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1:</i> Normativa aplicable en la biorremediación.	19
<i>Tabla 1.2:</i> Valores de referencia, norma italiana N°152/2006.	21
<i>Tabla 4.2:</i> Características de la estación de monitoreo de Viña del Mar.	26
<i>Tabla 4.3:</i> Establecimiento de Niveles de remediación Específicos.	28
<i>Tabla 4.4:</i> Parámetros ideales para la biorremediación.	31
<i>Tabla 4.5:</i> Matriz Cuantitativa para elección de técnicas de biorremediación.....	33
<i>Tabla 4.6:</i> Costos de implementación estimados para la técnica de bioventilacion.....	38
<i>Tabla 5.1:</i> Superficie del terreno del Proyecto Inmobiliario.	40
<i>Tabla 5.1:</i> Concentraciones máximas de contaminantes registradas, valores de referencia y porcentaje de excedencia para suelos superficiales.....	48
<i>Tabla 5.2:</i> Concentraciones máximas de contaminantes registradas, valores de referencia y porcentaje de excedencia para suelos subsuperficiales.	49
<i>Tabla 5.3:</i> Densidad microbiana del paño norte del sitio estudiado, en UFC/g de suelo seco.	53
<i>Tabla 5.4:</i> Densidad microbiana del paño sur del sitio estudiado, en UFC/g de suelo seco.....	54
<i>Tabla 5.5:</i> Variables necesarias para aplicar el modelo matemático de Monod.	56
<i>Tabla 5.6:</i> Ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías de remediación aplicables.	57
<i>Tabla 5.7:</i> Matriz de valoración de las diferentes tecnologías aplicables.....	59
<i>Tabla 5.8:</i> Recomendaciones para la instalación de puntos de monitoreo.	63
<i>Tabla 6.1:</i> Parámetros ideales para la biorremediación microbiana.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1:</i> Procesos de formación del suelo (Fuente: Brainly)	5
<i>Figura 1.2:</i> Horizontes del suelo (Fuente: Agrilab, El suelo).....	6
<i>Figura 1.3:</i> Diagrama textural de clasificación de suelos (Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA).....	7
<i>Figura 1.4:</i> Clasificación de hidrocarburos según familia (Fuente: Elaboración propia).....	9
<i>Figura 1.5:</i> Estructura química de los compuestos BTEX (NCBI, 2019)	10
<i>Figura 1.6:</i> Estructura Química de 16 PAHs (NCBI, 2019).....	11
<i>Figura 4.1:</i> Esquema de bioventilacion y bioestimulación (Fuente: Imagen de internet).....	36
<i>Figura 5.1:</i> Localización Proyecto Inmobiliario Las Salinas. (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del Terreno las Salinas”).....	39
<i>Figura 5.2:</i> Perímetro del proyecto (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”)	40
<i>Figura 5.3:</i> Serie de tiempo de temperatura, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire).....	43
<i>Figura 5.4:</i> Serie de tiempo de velocidad del viento, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire).	44
<i>Figura 5.5:</i> Precipitación mensual año 2022 y precipitación acumulada año 2021 (Fuente: MeteoChile) 45	
<i>Figura 5.6:</i> Serie de tiempo de humedad relativa del aire, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire).	45
<i>Figura 5.7:</i> Serie de tiempo de radiación solar, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire)....	46
Figura 5.8: Unidades geomorfológicas colindantes al sitio de estudio (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”)	47
<i>Figura 5.9:</i> Subcuenca del estero Marga Marga (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”)	51
Figura 5.10: Mapa hidrográfico de los cuerpos de agua cercanos a la zona de estudio (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”).....	53
<i>Figura 5.11:</i> Modelo matemático que predice el comportamiento de la biomasa y el sustrato en función del tiempo.	56
<i>Figura 5.12:</i> Puntos donde se implementará las perforaciones (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”)......	60
<i>Figura 5.13:</i> Modelo de pozo de perforación (Fuente: EPA, 1995).	62
<i>Figura 5.14:</i> Modelo de soplador de aire regenerativo (Fuente: Epa, 1995).	64
<i>Figura 5.15:</i> Esquema del proceso de bioventilacion, incluyendo sopladores, filtros y equipos de monitoreo. (Fuente: Air Force Center for Envoromental Excellence, 1996).....	65

1. INTRODUCCIÓN

Sin lugar a duda el descubrimiento del petróleo significó un importante avance en la forma de vida de la humanidad. Sus variados usos han significado importantes utilidades para las distintas sociedades a lo largo de la historia. A pesar de no existir una fecha exacta de su descubrimiento, se han documentado sus primeros usos en los años 3.000 a.C., fecha en que los babilónicos utilizaban el crudo de petróleo brotado de la superficie de la tierra para impermeabilizar botes y como argamasa en la construcción. Los egipcios lo usaban en la preparación de momias, para ayudar a preservar de mejor manera los cadáveres (BBC, 2015).

No obstante, la industria petrolera, tal como la conocemos, nace a mediados del siglo XIX, específicamente en el año 1859 con el descubrimiento del primero pozo de petróleo comercialmente viable en Estados Unidos (BBC, 2015).

Durante los primeros años de este descubrimiento, fue utilizado principalmente para la creación de queroseno, el cual se hizo muy popular como combustible limpio y barato para iluminar los hogares. Años más tarde, la demanda del petróleo aumentó con la invención del primer auto en 1885 por parte de Karl Benz, el cual utilizada gasolina, la cual es un subproducto del petróleo. Sin embargo, fue en 1908 que la utilización de esta sustancia aumentó exponencialmente con la creación del modelo del auto modelo T de Ford, el cual tenía un valor asequible para la población de ese entonces (Favaro, 2001).

Con la proliferación de los automóviles, las grandes potencias mundiales buscaron nuevas fuentes de petróleo, las cuales fueron halladas en Medio Oriente y explotadas hasta 1956, cuando Egipto junto con otras naciones volvieron a tomar el control del recurso, en la denominada Crisis del Canal de Suez (BBC, 2015).

En los años posteriores, el petróleo siguió tomando importancia estratégica para las naciones, obligando a estas a mejorar sus tecnologías para conseguir el recurso, produciéndose incluso conflictos bélicos por el dominio de éste, como es el caso de la Guerra del Golfo en 1990.

Hoy en día el petróleo sigue siendo uno de los combustibles más importantes alrededor de todo el mundo, alcanzando una producción en promedio de 101.500.000 de barriles diarios el año 2021, luego de haber experimentado una baja en su precio y producción el año 2020, debido a la pandemia, llegando tan solo a 88.391.000 barriles al día (Favaro, 2001).

Este combustible, se define químicamente como una mezcla compuesta por hidrocarburos, los que a su vez se pueden definir como compuestos orgánicos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno. En la actualidad se conocen más de 200 tipos diferentes de hidrocarburos derivados del petróleo, los cuales se pueden clasificar según su familia (diferenciadas por la presencia de anillo bencénico en la molécula de hidrocarburo) o según el tamaño de sus cadenas (Andreoni y Gianfreda, 2007).

A pesar de la importancia ya mencionada del petróleo, las actividades de explotación, producción, refinación y transporte de este combustible y sus derivados conlleva ocasionalmente accidentes técnicos y operacionales que causan un severo deterioro del medio ambiente. Estos accidentes técnicos y operacionales se traducen generalmente en grandes derrames o mareas negras por el deterioro de algún oleoducto, pero también puede existir afloramientos naturales a través de las fisuras de la corteza terrestre, los cuales de igual manera producen contaminación en ecosistemas marinos o terrestres (Viñas, 2005).

Los hidrocarburos del petróleo al interactuar con el suelo producen potenciales efectos negativos sobre el sustrato, los cuales dependen de las características intrínsecas del suelo, las propiedades específicas de los productos contaminantes y del tiempo de exposición. Los factores más importantes que deben tomarse en cuenta a fin de determinar la persistencia y migración de los contaminantes en el medio físico son la densidad, viscosidad y saturación en el caso del contaminante, mientras que la porosidad y permeabilidad son las características de los suelos a tener en cuenta (Ritoré, 2021).

El grado de contaminación en sitios afectados por hidrocarburos puede verse reflejado en una serie de cambios que se producen en este, los que dependen de las características específicas tanto del medio como del contaminante. Entre los efectos más comunes, se encuentran (Ponce, 2014):

- Disminución del rendimiento de cultivos.
- Alteraciones en la población microbiana del suelo.
- Dificultad para el crecimiento vegetal.
- Cambios fisicoquímicos en aguas superficiales y subterráneas.
- Se impide el intercambio gaseoso con la atmósfera iniciando una serie de procesos físicos químicos simultáneos.
- Deterioro paisajístico en el sector afectado directamente.
- Pérdida en la calidad de productos agrícolas obtenidos del lugar.

Es en este contexto que la biorremediación es una de las opciones más convenientes para el saneamiento de los suelos alterados por hidrocarburos provenientes del petróleo, ya que consiste en la utilización de microorganismos para acelerar la tasa de degradación natural de los contaminantes, a través de una serie de técnicas que tienen como concepto adecuar las condiciones a rangos óptimos para el correcto desarrollo de las cepas bacterianas capaces de degradar los hidrocarburos (Medina, 2017).

Las técnicas de biorremediación pueden clasificarse según el sitio donde se realiza el saneamiento de tierra, en técnicas *in situ*, las cuales no necesitan grandes excavaciones de terreno y pueden desarrollarse a través de perforaciones en el mismo lugar de la contaminación y las técnicas *ex situ*, las que para su operación necesitan extraer grandes cantidades de material, el cual debe ser trasladado a otro lugar para realizar la descontaminación (CITME, 2007).

Estas tecnologías, a pesar de ser relativamente jóvenes, ya que sus primeras aplicaciones datan de los años 80, ya han sido desarrolladas exitosamente en numerosas ocasiones, tanto en Chile como en el resto del mundo, demostrando que los métodos biológicos son eficientes y adecuados para el tratamiento de cualquier tipo de suelo, debido a que causan menor impacto en el sitio del problema y se disminuyen las concentraciones de contaminantes considerablemente. (CITME, 2007).

Un ejemplo de esto se dio en la Ciudad de México, lugar en el que se realizó una descontaminación de tierras a través de la biorremediación de un céntrico sitio industrial utilizando el método *in situ*, más específicamente el método de Bioventeo, el cual fue implementado a través de la inyección de aire al subsuelo por medio de perforaciones. El proceso tuvo un tiempo de duración cercano a los 4 años y se consignaron disminuciones en las concentraciones totales de hidrocarburos.

Otro ejemplo de biorremediación, en este caso *ex situ*, se llevó a cabo en Italia, en la ciudad de Turín, más específicamente en el Campus Universitario Luigi Einaudi, ubicado en el centro de la ciudad. Este sitio fue utilizado entre los años 1850 y 1980 por la empresa Italgas, la cual producía gas de carbón y generaba numerosos residuos con altas concentraciones de hidrocarburos, los que fueron contaminando la tierra progresivamente el lugar.

Es por este motivo que se realizó un proceso de descontaminación a través de biopilas complementadas con bioventilación, proceso que disminuyó las concentraciones de hidrocarburos de la zona, permitiendo la construcción del campus universitario que hoy en día alberga cerca de 8.000 estudiantes.

1.1 SUELO

1.1.1 Definición:

El suelo es la capa superficial que cubre la corteza terrestre, se caracteriza por tener un grosor variable que puede ir desde unos cuantos centímetros a pocos metros. Cumple la función de ser la conexión entre litosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera, manteniendo intercambios energéticos y materiales entre ellas (Díaz, 2019). La formación y evolución del suelo se produce por la acción de los factores activos del medio, el clima y la vegetación, sobre la matriz mineral originaria, conocida como roca madre. Esta interacción de factores le otorga al suelo un carácter dinámico ya que sufre procesos de constante cambio en su formación, llamados edafogénesis. Los que se pueden clasificar en activos y pasivos de este proceso de formación y evolución del suelo, siendo los siguientes (figura 1.1):

1.1.1.1 Roca madre:

Representa el sustrato que define el mineral del suelo, destacándose tres parámetros que inciden en la formación y evolución del suelo; la composición mineralógica, la permeabilidad y granulometría de la roca madre (CITME, 2007).

1.1.1.2 El clima:

La acción del clima resulta determinante en la formación del suelo, ya que este regula la disponibilidad de agua y temperatura.

Respecto al flujo y disponibilidad de agua, esto afecta a los procesos edáficos a través de la intensidad de percolación o infiltración, la cual indica si en un suelo se produce suficiente exceso de agua como para producir el lavado y la translocación de materiales o si por el contrario el agua queda retenida sin que apenas se desplace hacia los horizontes profundos.

A su vez, la variación de precipitaciones y temperatura influirán conjuntamente en un aumento o disminución del porcentaje de materia orgánica, ya que ciertas condiciones estimulan o coartan el desarrollo de la cobertura vegetal (CITME, 2007).

1.1.1.3 Relieve:

Los procesos de desarrollo del suelo repercuten en el relieve y viceversa. Desde el punto de vista edáfico los elementos del relieve más importantes son: la inclinación y longitud de laderas, la posición fisiográfica y la orientación. El relieve ejerce tres acciones fundamentales para la evolución del suelo: transporte de materiales, circulación de agua y creación de microclimas (CITME, 2007).

1.1.1.4 Organismos:

Para la formación de suelos, los organismos tienen como función constituir la fuente de material original para la fracción orgánica del suelo y realizar procesos de humificación.

La siguiente figura muestra el proceso de formación de suelo, identificando 5 etapas principales, relacionadas con los factores mencionados anteriormente: 1. Roca madre, 2. Acción mecánica (cambios de temperatura, hielo, etc.), 3. Acción química del agua y sales minerales, 4. Acción de los seres vivos, 5. Acción conjunta de toda la materia orgánica e inorgánica (Castillo, 2009).

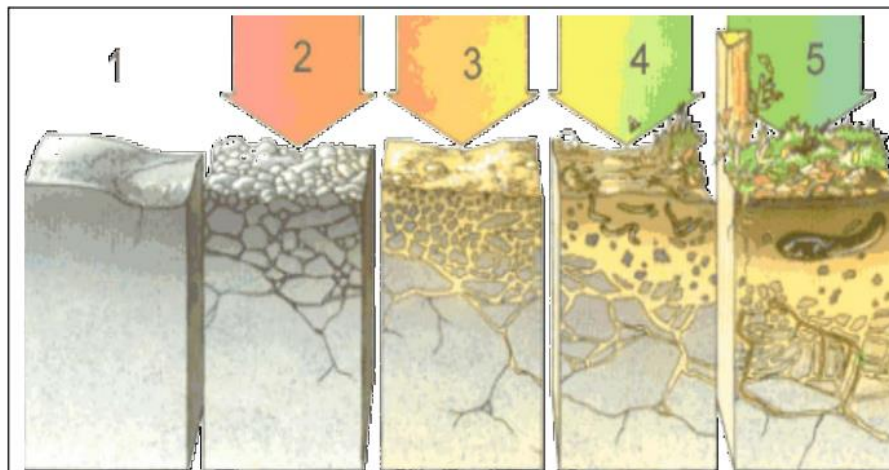


Figura 1.1: Procesos de formación del suelo (Fuente: Brainly).

1.1.2 **Estructura:**

Se puede definir como estructura de un suelo, a la disposición y organización de sus diferentes partículas. Por otro lado, el perfil del suelo es la denominación que recibe un corte vertical del mismo, mostrando todos sus horizontes, entendiéndose por tales, a las capas del suelo diferenciadas por características como el color, la estructura, textura, consistencia, tipo y cantidad de organismos presentes, grado de acidez o alcalinidad (Viñas, 2005).

Los horizontes se clasifican de la siguiente manera y se pueden observar en la figura 1.2:

Horizonte O: Es la capa superficial constituida por material orgánico poco descompuesto, presente en algunos tipos de suelo.

Horizonte A: Es el horizonte más superficial donde se encuentra la mayor parte del sistema radicular de las plantas. Su color es generalmente oscuro por la abundancia de material orgánico descompuesto o humus.

Horizonte B: Este horizonte carece prácticamente de humus, por lo que su color es más claro. En él se depositan los materiales arrastrados desde arriba, principalmente, materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos, carbonatos, etc., también puede haber costas calcáreas en climas áridos y corazas lateríticas en climas húmedos tropicales.

Horizonte C: Está constituido por la parte más alta del material rocoso, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y química.

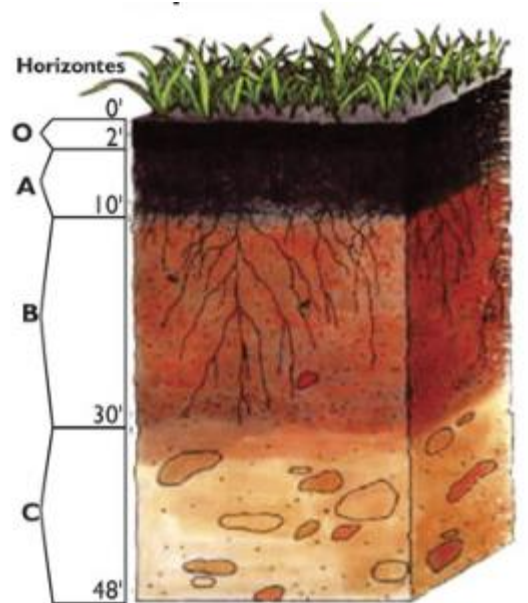


Figura 1.2: Horizontes del suelo (Fuente: Agrilab, *El suelo*)

1.1.3 Composición:

El suelo se forma partir de largos periodos en los que ocurren complejas interacciones entre diferentes materiales, como: minerales (rocas, arenas, depósitos de glaciares y eólicos, depósitos actuales: aluviones; coluviones) y restos orgánicos (humus, biomasa viva y muerta). Las propiedades físicas y químicas de estos materiales influyen en gran medida sobre la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la retención de agua y, por lo tanto, en la actividad biológica de los suelos. Las propiedades más importantes que se incluyen son el tamaño y distribución de partículas, la porosidad, la humedad, composición química, fracción de arcilla, capacidad de intercambio de cationes y fracción orgánica (Ponce, 2014).

Por otra parte, el suelo al ser un sistema abierto dinámico está constituido por las tres fases de la siguiente manera:

- Fase sólida: 45% de material inorgánico y un 5% de material orgánico.

- Fase líquida: 25 % de agua.
- Fase gaseosa: 25% de aire u otros gases.

1.1.4 Clasificación:

1.1.4.1 Clasificación por tamaño de partículas:

La clasificación según tamaño de partículas está basada en el análisis granulométrico por tamizado, método ASTM D422 (American Society for Testing and Materials), en donde la arcilla pasa por un tamiz de 0,002 mm (2 μ m), los limos quedan retenidos en el tamiz de 0,002 mm, pero pasan a través del tamiz de 0,05 mm y las arenas quedan retenidas en el tamiz de 0,05 mm, aunque pasan a través del de 2 milímetros. Aquellas partículas que quedan retenidas en el tamiz de 2 mm se clasifican como grava o piedra.

Las cantidades de arena, limo y arcilla en un suelo determinado definen el grupo al que pertenece dicho suelo. Se suele emplear un triángulo de texturas para la clasificación de un suelo según el tamaño del grano, dicho triángulo ha sido diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) y se representa por la figura 1.3:

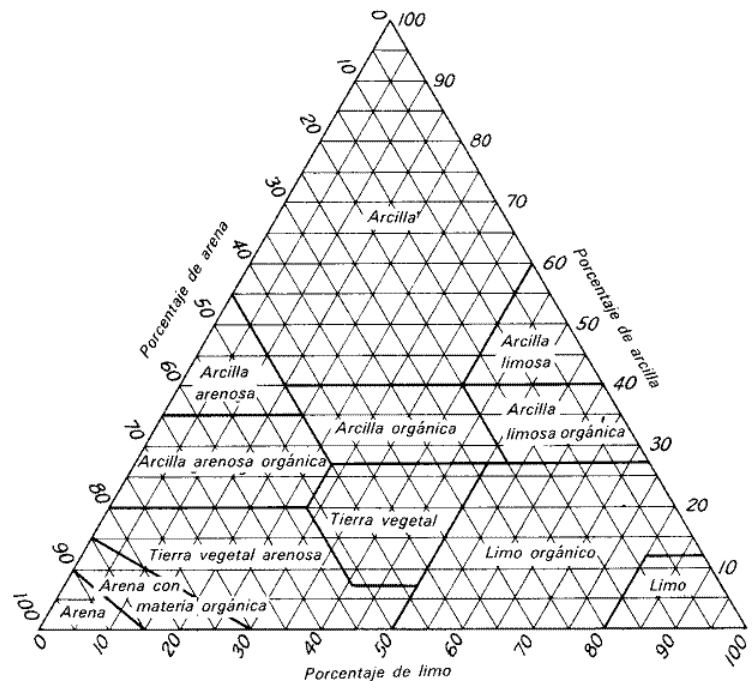


Figura 1.3: Diagrama textural de clasificación de suelos (Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA).

1.2 PETRÓLEO

1.2.1 Definición y características:

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. Etimológicamente el nombre de petróleo significa “aceite de piedra”, y su origen son los restos orgánicos que han sufrido la acción microbiana, y que fueron depositados en los fondos de mares de poca profundidad (Flores et al, 2004).

1.2.2 Composición general:

El petróleo es una mezcla extremadamente compleja y variable de compuestos orgánicos, los que mayoritariamente pertenecen a la familia de los hidrocarburos, alcanzando estos un porcentaje que varía entre el 50% y el 98% de la totalidad de la composición de este combustible (Castillo, 2009). A la fecha se conocen 200 hidrocarburos que forman parte del petróleo (Viñas, 2005).

De forma genérica el crudo de petróleo se encuentra elementalmente compuesto por: 83-87% de Carbono (C); 10-14% de Hidrógeno (H); 0,05-6% de Azufre (S) y 0,05-1,5% de Oxígeno (O); 0,1-2% Nitrógeno (N) y cantidades despreciables de ciertos metales, como el níquel (Ni) y el vanadio (Va) que se encuentran en concentraciones inferiores a los 1000 ppm (Madrid *et al*, 2017).

Cualquiera sea el origen y la localización del crudo, estas proporciones se mantienen dentro de los rangos anteriormente nombrados.

1.2.3 Clasificación por familia:

Una primera forma de clasificar a los hidrocarburos es en función de si poseen algún anillo bencénico, el que se define como es una estructura de forma hexagonal formada por 6 átomos de carbono que se unen entre sí, teniendo cada uno de ellos un solo doble enlace (Andreoni and Gianfreda, 2007).

Esta clasificación divide a los hidrocarburos en dos clases o familias, los hidrocarburos aromáticos (poseen anillo bencénico) y los hidrocarburos alifáticos (sin anillo bencénico), tal como se muestra en la figura 1.4.



Figura 1.4: Clasificación de hidrocarburos según familia (Fuente: Elaboración propia)

1.2.3.1 Hidrocarburos Alifáticos:

Los hidrocarburos alifáticos se dividen en función del tipo de enlace químicos que unen a los átomos de carbono, siendo todas estructuras lineales y ramificadas, con la diferencia que unos poseen enlace simple, doble o triple.

- **Hidrocarburos saturados:** Su estructura se forma mediante enlaces simple, su fórmula general es C_nH_{2n+2} y se les conoce como alcanos o parafinas, los cuales representan aproximadamente un 30% de los hidrocarburos del petróleo. Se distinguen alcanos de cadena lineal (ej.: noctano), los de cadena ramificada o isoprenoides volátiles (ej.: isobutano) e incluso algunos alcanos pueden formar anillos, los que son conocidos como cicloalcanos.

- **Hidrocarburos Insaturados:** Su estructura se forma por enlaces de diferentes energías, pero siempre incluyendo un enlace doble en el caso de los alquenos o un enlace triple en los alquinos. Los alquenos, también conocidos como olefinas poseen una fórmula general que es C_nH_{2n} , en cambio la fórmula general de los alquinos o acetilenos es C_nH_{2-n} .

1.2.3.2 Hidrocarburos Aromáticos:

Compuestos cíclicos con dobles enlaces conjugados. Se reconocen dos clases: los monocíclicos, de un solo anillo que pueden o no estar sustituidos con cadenas laterales; y los policíclicos o naftenos aromáticos con dos o más anillos aromáticos condensados (Andreoni and Gianfreda, 2007).

- **Monoaromáticos:** Constituidos por benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. A este grupo se le conoce como BTEX, los cuales son especialmente relevantes, debido a su abundancia y peligrosidad, ya que estos componentes se encuentran en abundantes proporciones en la gasolina, y su estructura se puede observar en la figura 1.5 (Andreoni y Gianfreda, 2007).

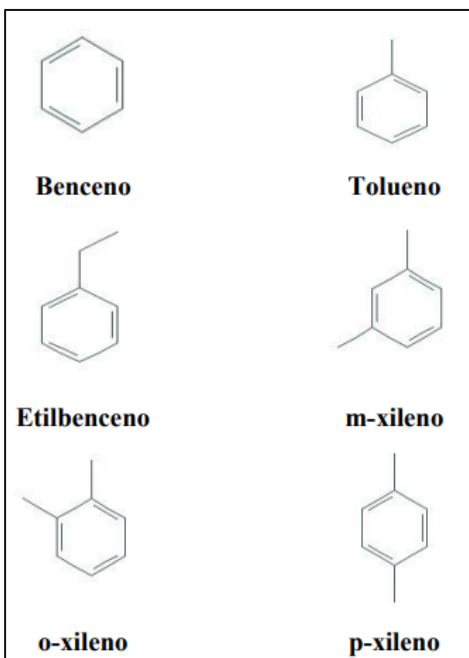


Figura 1.5: Estructura química de los compuestos BTEX (NCBI, 2019)

- **Poliaromáticos:** Grupo constituido por más de 100 compuestos con una estructura formada por anillos bencénicos fusionados, entre los cuales destacan el naftaleno, antraceno y fenantreno, que se pueden observar en la figura 1.6. A este grupo se le conoce, como PAHs por sus siglas en inglés de “*polycyclic aromatic hydrocarbons*” (Ponce, 2014).

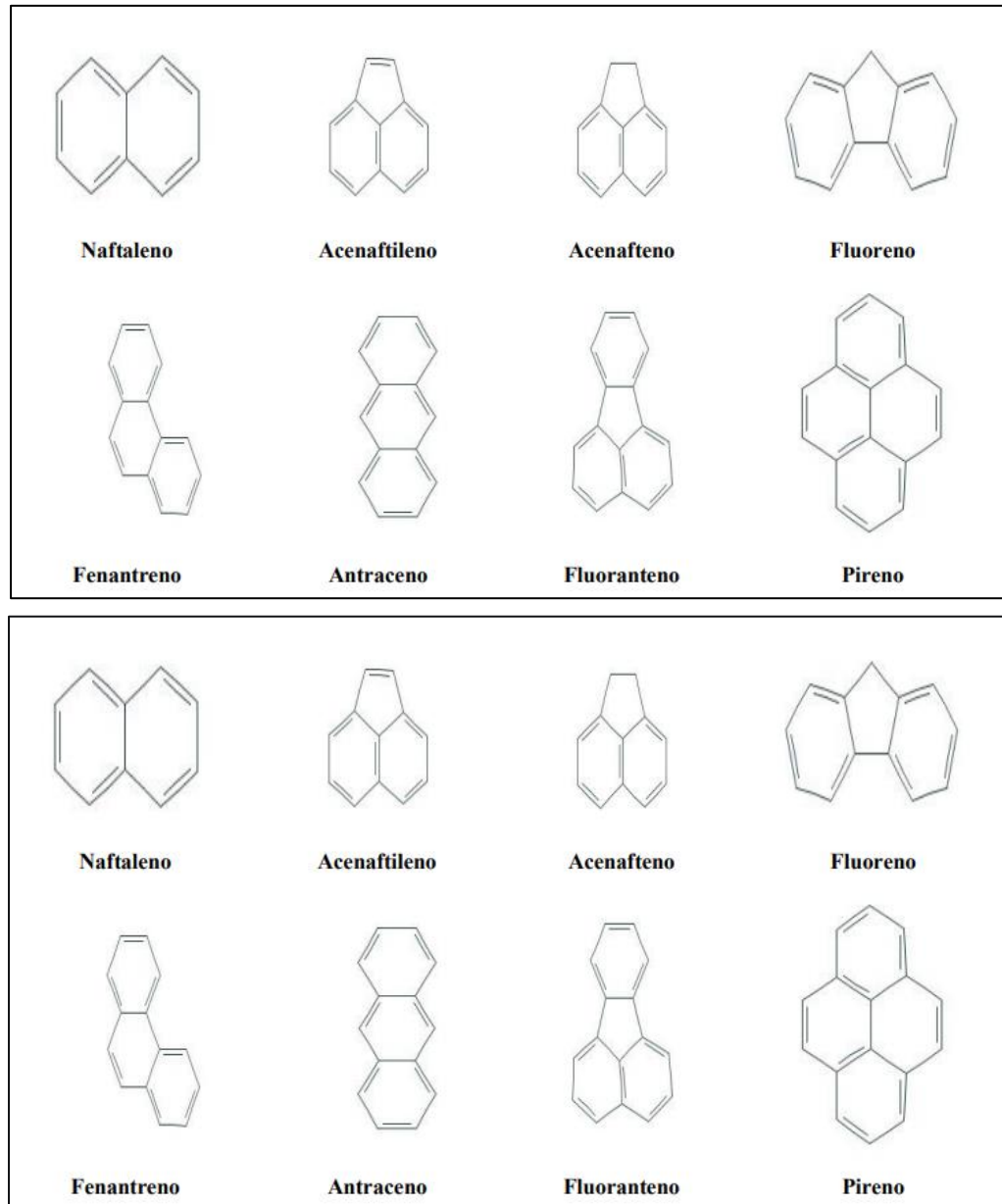


Figura 1.6: Estructura Química de 16 PAHs (NCBI, 2019)

1.2.4 Clasificación por tamaño de cadenas:

Los hidrocarburos también pueden clasificarse en función del tamaño de sus cadenas hidrocarbonadas. Es importante esta diferenciación pues su comportamiento en el medio ambiente depende en gran medida de esta característica. Tradicionalmente se diferencian en los 3 rangos siguientes (Diaz, 2019).

1.2.4.1 C4-C10:

Son los compuestos de menor tamaño y más volátiles. Son los compuestos que mayoritariamente forman parte de la gasolina, los GROs (“Gasoline Range Organics”).

1.2.4.2 C10-C21:

Son los compuestos de tamaño medio, contienen un gran número de hidrocarburos que forman el diésel, aunque diferentes autores estiman que el rango del diésel puede llegar hasta C25 o C28 (United States Environmental Protection Agency USEPA, 2000). Esta fracción se conoce como DROs (“Diesel Range Organics”).

1.2.4.3 C21-C35:

Es la fracción más pesada de los hidrocarburos del petróleo, formada por aceites pesados, en ella se incluyen los WOOs (“Waste Oil Organics”). En esta fracción se pueden encontrar hidrocarburos de hasta C40.

1.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Este concepto hace alusión a la presencia de sustancias o compuestos a ciertas concentraciones, que provocan una degradación química del suelo, afectando negativamente el comportamiento de este, lo que se traduce en la pérdida parcial o total de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas.

Esta degradación se produce cuando las sustancias tóxicas sobrepasan los niveles de concentración que puede amortiguar del suelo, perdiendo este parte o la totalidad de su capacidad productiva, lo que puede verse reflejado con la disminución cuantitativa y cualitativamente en el crecimiento y proliferación de microorganismos presentes, que también conlleva a la inminente distribución de la contaminación sobre cuerpos de aguas tanto superficiales como subterráneos y con ello generando problemas sanitarios para la población (Ñustez, 2012).

1.3.1 Clasificación por tipo de contaminación:

Debido al desarrollo de distintas actividades industriales, desde fines del siglo XVIII, se ha hecho necesario distinguir dos tipos de contaminación:

1.3.1.1 Contaminación natural o endógena:

Se produce por sustancias propias del medio que se encuentran en un nivel anormal, que resulte nocivo para el suelo. El ejemplo más relevante de este tipo de contaminación es el proceso de concentración y toxicidad que muestran determinados elementos metálicos, los cuales están presentes en los minerales originales de algunas rocas a medida que el suelo evoluciona (meteorización).

1.3.1.2 Contaminación antrópica o exógena:

Cuando la contaminación ocurre por sustancias introducidas en el medio por el ser humano, hablamos de contaminación antrópica o exógena. Generalmente se produce por fallas en la ejecución de las actividades antropogénicas que involucren sustancias tóxicas o peligrosas, por lo que se necesita una planificación al momento de manejar estas sustancias.

1.3.2 Factores que influyen en la contaminación del suelo:

La interacción entre el suelo y contaminantes orgánicos e inorgánicos se ve definida por una serie de factores característicos del medio, que influyen en la respuesta del suelo ante dichos contaminantes. Entre los factores más representativos se encuentran (CITME, 2007):

1.3.2.1 Vulnerabilidad de suelos:

Grado de sensibilidad del suelo frente a la agresión de los contaminantes. Este concepto está relacionado con la capacidad de amortiguación, de tal forma que, a mayor capacidad de amortiguación, menor vulnerabilidad. El grado de vulnerabilidad depende de la intensidad de afectación, del tiempo que debe transcurrir para que los efectos indeseables se manifiesten en las propiedades físicas, químicas y/o biológicas de un suelo y de la velocidad con que se producen los cambios secuenciales en las propiedades de los suelos en respuesta al impacto de los contaminantes.

1.3.2.2 Poder de amortiguación:

Este factor se define como la capacidad de neutralización del suelo tras la interacción con un contaminante, ya que este es capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, entre otros. Por lo anterior, el suelo actúa como barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos.

1.3.2.3 Biodisponibilidad:

Se entiende como la asimilación del contaminante por los organismos, y en consecuencia la posibilidad de causar algún efecto, negativo o positivo.

1.3.2.4 Movilidad:

Regula la distribución del contaminante y por lo tanto su posible transporte a otros sistemas. Persistencia: regula el período de actividad de las sustancias contaminantes (peligrosidad).

1.3.2.5 Carga crítica:

Representa la cantidad máxima de un determinado componente que puede ser aportado a un suelo sin que se produzcan efectos nocivos en el suelo (ejemplo: lluvia ácida).

1.3.3 Contaminación de suelos con hidrocarburos:

En la actividad petrolera, las disposiciones y el manejo habitual de hidrocarburos y combustibles, en algunos casos conlleva a la contaminación del ambiente, cuando tanques, oleoductos y diversas instalaciones sufren daños, produciéndose grandes derrames que afectan el medio físico. Los líquidos residuales migran hacia el suelo, subsuelo y hacia el agua subterránea, en tanto sus componentes volátiles a la atmósfera. No solo las contaminaciones se producen por roturas de los sistemas de almacenaje o de transporte, sino que el mal manejo del producto puede provocar impactos negativos en la ecología regional, dependiendo de la concentración y tiempo de exposición. (CITME, 2007)

El petróleo en el suelo, que pasa a considerarse como un contaminante, se convierte en un riesgo para la salud humana y el ecosistema. En algunos casos, la contaminación no solo provoca problemas de toxicidad, sino que además puede ocasionar grandes riesgos de explosiones y/o incendios.

La industria petrolera ha generado tal impacto ambiental, esto debido a la amplia gama de productos derivados del petróleo que se elaboran y la infraestructura que se necesita para elaborar, transportar y almacenar dichos productos. Esta infraestructura está integrada por:

- Pozos de explotación.
- Baterías de separación
- Complejos procesadores de gas.
- Centrales de almacenamiento y bombeo.

- Redes de ductos y piletas para el confinamiento de desechos sólidos y líquidos procedentes de la perforación y mantenimiento de los pozos.
- Transporte y distribución en general.
- Estaciones de servicio de combustible.

Estas instalaciones poseen riesgos inherentes de fugas de petróleo, diésel y gasolina por roturas de los ductos, por filtración de aguas aceitosas, por daños en las estructuras de almacenamiento y transporte, por malas prácticas, entre otras, lo cual genera un riesgo a nivel de la contaminación ambiental e impactos negativos a los ecosistemas (Medina, 2017).

1.4 BIORREMEDIACIÓN

1.4.1 Definición:

La biorremediación se define como todo aquel conjunto de tratamientos de recuperación, *ex situ* o *in situ*, que consiguen degradar a los contaminantes orgánicos y/o disminuir la toxicidad de los contaminantes inorgánicos. La actividad biológica natural es el mecanismo que realiza tales procesos. Los mayores responsables de llevar a cabo la biorremediación son los microorganismos (bacterias y hongos). Las reacciones químicas involucradas en la degradación de los contaminantes forman parte de sus procesos metabólicos, pues utilizan a los contaminantes orgánicos como fuente de carbono y energía. En algunos casos la degradación se produce de manera fortuita pues los microorganismos degradadores no obtienen ningún tipo de aporte nutricional o energético. La biorremediación no solo usa microorganismos, también pueden participar otros seres vivos como plantas, en el caso de la fitorremediación (Medina, 2017).

1.4.2 Parámetros que influyen en la biorremediación:

Uno de los principales problemas de la biodegradación, es que, en presencia de altas concentraciones del contaminante en el suelo, pueden existir efectos de toxicidad sobre la población microbiana. Otro, es la insuficiencia de nutrientes en el suelo, sin embargo, la presencia de cantidades mínimas de nitrógeno y fósforo permiten la biodegradación, aunque en tiempos más largos. Los factores ambientales que influyen en la biodegradación son: temperatura, pH, humedad, nutrientes, aceptores de electrones (oxígeno, nitrato, sulfato) y presencia de microorganismos (Ritoré, 2021).

1.4.2.1 Temperatura:

Es uno de los factores ambientales más importantes, esta tiene una gran influencia en la biodegradación por su efecto sobre la naturaleza física y química del petróleo y sus derivados (Pardo, J., et al., 2004). A bajas temperaturas la viscosidad de los hidrocarburos aumenta, la volatilización de alcanos de cadena corta se reduce y disminuye la solubilidad del O₂ en agua, afectando así la biodegradación. Las tasas de degradación generalmente aumentan cuando la temperatura incrementa (Viñas, 2005).

1.4.2.2 pH:

Influye en la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos, ya que determina el grado de adsorción de iones por las partículas del suelo, afectando así su solubilidad, movilidad, disponibilidad y sus formas (Viñas, 2005).

1.4.2.3 Humedad:

Este factor actúa como medio de transporte de nutrientes y oxígeno a la célula, ya que forma parte de su protoplasma bacteriano, este proceso es necesario para su crecimiento y desarrollo. Es conveniente mantener una humedad del orden del 20 - 75 % de la capacidad de campo, la cual se define como la masa de agua que admite el suelo hasta la saturación (Viñas, 2005).

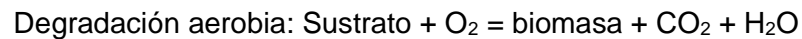
1.4.2.4 Nutrientes:

Los nutrientes son uno de los factores más relevantes por ser sustancias químicas necesarias para la actividad microbiana y metabólica de los microorganismos, por lo que estos constituyentes se deben encontrar disponibles para su asimilación y síntesis, la disponibilidad de estos aumenta la eficiencia y el buen desarrollo de la biorremediación (Viñas, 2005). Entre los nutrientes más comunes para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos se encuentran el nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P).

1.4.2.5 Aceptor de electrones:

Estos elementos aumentan la actividad de las poblaciones microbiana nativas o inoculadas, resultandos fundamentales en el proceso de transferencia de electrones. La energía necesaria para el crecimiento microbiano se obtiene durante el proceso de oxidación de materiales reducidos, donde las enzimas microbianas catalizan la transferencia de los electrones. Los aceptores más utilizados por los microorganismos son el oxígeno y los nitratos, para condiciones aerobias y anaerobias respectivamente (Viñas, 2005).

En el caso de la zona de estudio, se dan las condiciones para realizar una biorremediación aerobia, la cual puede esquematizarse de la siguiente manera:



1.4.2.6 Microorganismos:

Los microorganismos son los encargados de la oxidación de hidrocarburos a través de su actividad bioquímica, estos pueden ser bacterias, hongos, algas, etc. Algunas especies de microorganismos pueden metabolizar un número limitado de hidrocarburos, de manera que la presencia de poblaciones mixtas con diferentes capacidades metabólicas es necesaria para degradar mezclas complejas de hidrocarburos como el crudo. La degradación de hidrocarburos se lleva a cabo principalmente por bacterias, seguidas por los hongos, levaduras y algas, entre otros (Ñustez, 2012).

1.4.3 Técnicas de biorremediación:

Las tecnologías enfocadas a la remediación de suelos se pueden clasificar en dos tipos, dependiendo del lugar donde se lleve a cabo el saneamiento del terreno. Es así como esta técnica se puede llevar a cabo *in situ*, es decir, tratando el suelo en el sitio afectado por la contaminación. Mientras que el tratamiento *ex situ*, requiere de la realización de excavación del suelo desde el lugar contaminado, para posteriormente darle tratamiento en un área externa a la zona afectada. El método que se aplique responderá a las particularidades de cada sitio contaminado, además de considerar variables como el tipo y concentración del contaminante, características y extensión del área afectada y el costo económico (US EPA, 2006).

1.4.3.1 Biorremediación in situ:

Como ya se había mencionado, la biorremediación *in situ* consiste en tratar el suelo contaminado sin necesidad de grandes excavaciones. Para asegurar la eficiencia de la biorremediación *in situ* es clave la realización de una evaluación de las condiciones del sitio, la biodisponibilidad de los contaminantes y la evaluación de los factores abióticos limitantes, en caso de que sea necesaria alguna modificación durante el tratamiento (Díaz, 2019).

Las técnicas de biorremediación *in situ* más utilizadas son:

- **Oxidación química:** Inyección de oxidantes en el subsuelo, que generan reacciones de reducción/oxidación convirtiendo los contaminantes peligrosos en no peligrosos o en compuestos menos tóxicos (Ritoré, 2021).

- **Bioestimulación:** Consiste en mejorar las condiciones ambientales de los microorganismos, generalmente mediante el aporte de nutrientes. Los microorganismos autóctonos del suelo son los encargados de llevar a cabo la biodegradación, una vez que se hayan adaptado a las condiciones que se han implementado.
- **Bioaumentación:** Consiste en añadir al medio uno o varios tipos de microorganismos, que no forman parte de la comunidad microbiana natural del suelo, para optimizar la remediación del suelo contaminado.
- **Bioventilación:** Consiste en la inyección de aire en el subsuelo para mejorar la biodegradación de los contaminantes, proporcionando condiciones aeróbicas.
- **Fitobiorremediación:** Eliminación de los contaminantes del suelo superficial y subsuperficial mediante el uso de plantas. Los contaminantes son transformados en productos inocuos o acumulados en la biomasa vegetal.
- **Atenuación Natural Monitoreada:** La reducción de la concentración de contaminantes se debe únicamente a mecanismos naturales: dilución, dispersión, degradación química y biológica, etc. (CITME, 2007).

1.4.3.2 Biorremediación ex situ:

Esta tecnología requiere que se excave la parte que se encuentra afectada por contaminantes, para que luego se traslade a una planta de tratamiento y proceder con la restauración. La biorremediación *ex situ*, permite configurar y mantener un mayor control sobre los parámetros abióticos, que influyen la biodegradación y con ello, optimizar las tasas de descontaminación (CITME, 2007).

Las tecnologías *ex situ* mayormente utilizadas, se describen a continuación:

- **Excavación y disposición:** El suelo impactado es removido vía excavación, para disposición en un relleno fuera del sitio.
- **Excavación y biorremediación en biopila:** El suelo impactado es removido vía excavación y tratado en biopilas de suelo conformadas en la superficie para apoyar la biodegradación eficiente de los contaminantes mediante microorganismos (Ritoré, 2021).
- **Excavación y lavado de suelo:** También conocido como soil washing, El suelo impactado es removido vía excavación y tratado en el sitio usando agua y productos químicos para eliminar los contaminantes del suelo.

- **Landfarming:** Esta técnica consiste en excavar los suelos contaminados, extenderlos sobre un área suficientemente amplia y estimular las variables de incidencia en el proceso para promover la actividad de los microorganismos encargados de degradar los hidrocarburos. Antes de extender el suelo contaminado se deben adecuar las condiciones de la superficie para controlar los lixiviados y las aguas lluvias.
- **Bio-reactores:** El procedimiento consiste en excavar el suelo contaminado y luego introducirlo en un reactor añadiendo nutrientes, agua, y los cultivos microbianos adecuados para que se lleve a cabo la degradación. Se mezcla bien y se airea la suspensión hasta que las transformaciones de los compuestos seleccionados para su eliminación alcanzan el nivel deseado (Suarez, 2013).

1.5 NORMATIVA APLICABLE

Chile es uno de los pocos países de la OCDE que no cuenta con un Ley para la protección de suelos, es decir no existe normativa que defina valores críticos para contaminantes específicos en suelo, en este caso hidrocarburos y sus derivados, tales como BTEX, PAHs, TPH.

A continuación, se presenta un recuento de normas chilenas y extranjeras, aplicables al proceso de biorremediación propuesto.

1.5.1 Normativa Nacional:

A pesar de no haber una normativa nacional que especifique valores de referencia para la concentración de hidrocarburos en suelos, existe otra normativa específica aplicable, que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1.1: Normativa aplicable en la biorremediación.

Normativa	Artículo	Texto
Ley 19300 SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE, Ministerio secretaria general de la Presidencia	TÍTULO I Disposiciones Generales Artículo 1°	El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia.
	TÍTULO I Disposiciones Generales Artículo 3°	Sin perjuicio de las sanciones que señale la ley, todo el que culposa o dolosamente cause daño al medio ambiente, estará obligado a repararlo materialmente, a su costo, si ello fuere posible, e indemnizarlo en conformidad a la ley.
	Párrafo 3° Del procedimiento sancionatorio Artículo 47	El procedimiento administrativo sancionatorio podrá iniciarse de oficio, a petición del órgano sectorial o por denuncia.
Decreto 148, APRUEBA REGLAMENTO	TÍTULO I, Artículo 6	Durante el manejo de los residuos peligrosos se deberán tomar todas las precauciones necesarias para prevenir su inflamación o reacción, entre ellas su separación y

Normativa	Artículo	Texto
SANITARIO SOBRE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS, Ministerio de Salud		protección frente a cualquier fuente de riesgo capaz de provocar tales efectos.
	TÍTULO II, Artículo 11	Para los efectos del presente reglamento las características de peligrosidad son las siguientes: a) toxicidad aguda, b) toxicidad crónica, c) toxicidad extrínseca, d) inflamabilidad, e) reactividad y f) corrosividad. Bastará la presencia de una de estas características en un residuo para que sea calificado como residuo peligroso.
	TÍTULO II, Artículo 18	Los residuos incluidos en los siguientes listados de categorías se considerarán peligrosos a menos que su generador pueda demostrar ante la Autoridad Sanitaria que no presentan ninguna característica de peligrosidad. El generador podrá proponer a la Autoridad Sanitaria los análisis de caracterización de peligrosidad a realizar sobre la base del conocimiento de sus residuos y de los procesos que los generan, sin perjuicio de lo cual, la Autoridad Sanitaria podrá exigir análisis adicionales a los propuestos conforme a lo señalado en los artículos 12 al 17.
	TÍTULO IV Artículo 33	Los sitios donde se almacenen residuos peligrosos deberán cumplir las siguientes condiciones: a) Tener una base continua, impermeable y resistente estructural y químicamente a los residuos. b) Contar con un cierre perimetral de a lo menos 1,80 metros de altura que impida el libre acceso de personas y animales. c) Estar techados y protegidos de condiciones ambientales tales como humedad, temperatura y radiación solar. d) Garantizar que se minimizará la volatilización, el arrastre o la lixiviación y en general cualquier otro mecanismo de contaminación del medio ambiente que pueda afectar a la población. e) Tener una capacidad de retención de escurrimientos o derrames no inferior al volumen del contenedor de mayor capacidad ni al 20% del volumen total de los contenedores almacenados. f) Contar con señalización de acuerdo con la Norma Chilena NCh 2.190 Of 93

Fuente: Elaboración propia a partir de Ley 19.300/1994 y DS 148/2004.

1.5.2 Normativa Internacional:

Los valores de referencia, que nos indican las concentraciones límite de contaminación en el suelo (superficial y profundo), fueron obtenidas de la norma italiana llamada “Decreto Legislativo N°152/2006”, del cual solo se consideraron los compuestos inorgánicos derivados del petróleo considerados para un área de uso residencial y área verde pública o privada. Las concentraciones de estos contaminantes se pueden apreciar en la tabla 1.2:

Tabla 1.2: Valores de referencia, norma italiana N°152/2006.

Grupo:	Contaminante:	Valor límite de referencia, norma italiana(mg/kg):
BTEX	Benceno	0,1
	Etilbenceno	0,5
	Tolueno	0,5
	Xileno	0,5
PAH	Antraceno	5
	Benzo(a)antraceno	0,5
	Benzo(k)fluoranteno	0,5
	Benzo(a)pireno	0,1
	Benzo(ghi)pirileno	0,1
	Criseno	5
	Fluoranteno	5
	Indeno(123cd) pireno	0,1
	Naftaleno	5
	Fenantreno	5
	TPH Orgánico	TPH GRO
TPH DRO		50
TPH ORO		50

Fuente: Norma Italiana "Decreto Legislativo 152/2003"

Los motivos para seleccionar la norma italiana son las características similares de fondo geológico y clima existentes en Chile, siendo mucho más representativa la norma ya mencionada, respecto a la norma de suelos de otros países como Países Bajos, Australia, Estados Unidos, entre otros.

Se ha incluido las partes más representativas de ese instrumento legal en el **ANEXO 1**.

1.6 MODELOS MATEMÁTICOS DE CRECIMIENTO BACTERIANO

Un modelo matemático es una abstracción simplificada de la realidad a través de ecuaciones matemáticas, su importancia radica principalmente en que, gracias a estos, se puede predecir el comportamiento de una de las variables evaluadas en función del resto. Además, permite comparar los distintos niveles asignados a las variables controladas (conocidas, preestablecidas e independientes) para poder determinar las principales causas de variación de la respuesta en función de los valores asignados.

1.6.1 Modelo cinético de Monod:

El modelo de Monod describe la interacción entre el crecimiento de microorganismos en un cultivo por lotes y la utilización del sustrato limitativo del crecimiento en aquellos sistemas donde prácticamente todo el sustrato es transformado en biomasa. Este aplica cuando el sustrato no inhibe el crecimiento de la biomasa bacteriana.

El modelo cinético de Monod es representado por la siguiente ecuación:

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{(S + K_S)}$$

2. PROBLEMA:

La problemática surge a partir del año 1915, periodo en el cual el terreno aledaño a Playa Las Salinas, fue adquirido por distintas empresas, las que lo destinaron los primeros años para el almacenaje de combustible, posteriormente fue utilizado en la fabricación de lubricantes y químicos agrícolas.

Los derivados del petróleo de estas actividades fueron alterando el suelo del sitio con hidrocarburos, los cuales se acumularon principalmente en la zona donde se ubicaban estas empresas, terreno privado de 160 mil metros cuadrados perteneciente a empresas Copec. Este parque industrial se mantuvo hasta 2003, año en el que fue desmantelado tras un cambio en el Plan Regulador Comunal de la comuna de Viña del Mar, acompañado de la expansión urbana de la ciudad.

Empresas Copec ya cuenta con un proyecto de biorremediación para la zona de estudio, el cual se denomina “Saneamiento del Terreno Las Salinas” y se encuentra aprobado por el SEIA. Su instalación está prevista para dentro de unos meses, debido a una serie de reclamaciones hechas por la comunidad viñamarina, que piden la revocación de su RCA.

Es en este contexto que este proyecto de título plantea la implementación de un sistema biorremediación *in situ* complementario al planteado por la empresa, mezclando técnicas de biorremediación biológicas, las cuales serán aplicadas con posterioridad al sistema planteado por el titular del terreno, con el fin de aumentar la capacidad de recuperación del terreno y así atenuar la presencia de hidrocarburos en la zona.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Proponer una metodología de biorremediación *in situ* complementaria como mecanismo de control para mantener atenuada la presencia de hidrocarburos en el área de la Inmobiliaria Las Salinas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Realizar una caracterización de la zona en la que se emplaza la Inmobiliaria Las Salinas a través de la recopilación de información de diferentes estudios realizados en el área afectada por hidrocarburos.
2. Realizar un modelamiento matemático que represente la biorremediación *ex situ* planteada por la empresa.
3. Generar una combinación de técnicas de biorremediación *in situ* que favorezcan la atenuación de hidrocarburos en el área de la Inmobiliaria Las Salinas, para ser empleado posterior a la mejora planteada por la empresa.
4. Evaluar la factibilidad económica del conjunto de técnicas de biorremediación *in situ* escogidas.

4. METODOLOGÍA

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio fue caracterizada a través de la recopilación de información de diferentes fuentes bibliográficas.

4.1.1 Localización:

Para establecer la ubicación del terreno “Las Salinas” se recurrió a la cartografía existente en el Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del Terreno Las Salinas”, ingresado al SEIA el año 2018. Se utilizó la misma fuente para obtener los datos referentes a la superficie del sitio de estudio.

4.1.2 Antecedentes Históricos:

Se realizó una breve reseña histórica con respecto a lo que fue antiguamente el terreno que hoy en día alberga la Inmobiliaria Las Salinas. Esto se llevó a cabo con apoyo bibliográfico, además de información externa proporcionada por la Organización “Un Parque para Las Salinas”.

4.1.3 Clima y Meteorología:

4.1.3.1 Clima:

La metodología empleada para la caracterización climatológica se basó en la revisión bibliográfica de estudios a escala regional de la zona, enfocándose principalmente en la clasificación climática de Köppen. Para la caracterización del clima local se analizaron los registros de vientos de las estaciones monitoras ubicadas en zonas aledañas al Proyecto.

4.1.3.2 Meteorología:

La descripción meteorológica se realizó en base a datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al Proyecto y la que corresponde a la estación de monitoreo de Viña del Mar, la que fue instalada en el año 2004 y sus datos meteorológicos están disponibles en línea en el sitio web del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). En la tabla 4.2 se resume la ubicación, la distancia al área estudiada y las variables medidas en esta estación.

Tabla 4.1: Características de la estación de monitoreo de Viña del Mar.

N°	Receptor	Coordenadas UTM Datum WGS84 - Huso 19 S		Uso	Distancia al área estudiada (m)	Información meteorológica
		Norte (m)	Este (m)			
1	Estación Viña del Mar	6.343.569	261.803	19H	1700	VV, DV, Temperatura, HR, Rad, PA, PP

Fuente: Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA).

4.1.4 Geología y geomorfología:

Se definió como área de estudio la cuenca del Estero Marga-Marga (Viña del Mar), con el objeto de realizar una caracterización del entorno de la zona de estudio y poder incorporar las unidades geológicas y geomorfológicas.

4.1.4.1 Geología:

La componente geológica se basó principalmente en la revisión de antecedentes bibliográficos e información técnica existente y disponible, antecedentes públicos y virtuales, especialmente en lo concerniente la geología y geomorfología a escala regional o distrital en el entorno de la Comuna de Viña del Mar. La caracterización de la geología regional se realizó a partir de los mapas geológicos disponibles del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin).

4.1.4.2 Geomorfología:

Respecto a la caracterización geomorfológica, la identificación de unidades a escala regional se basó en el mapa geomorfológico de Chile de Börgel (1983), mientras que a escala local se basó en la interpretación de imágenes satelitales disponibles en internet.

4.1.5 Caracterización fisicoquímica del terreno:

La caracterización fisicoquímica del suelo se ha llevado a cabo a través de fuentes bibliográficas relacionadas con la zona de estudio, principalmente contenidas en la línea de base del proyecto “Saneamiento del Terreno Las Salinas” presentado por Inmobiliaria Las Salinas en 2017.

Los datos fueron obtenidos a través de diferentes campañas de muestreos realizados por la empresa propietaria del terreno, en las cuales se midieron la concentración de diferentes elementos químicos de interés, la mayoría de estos relacionados con los hidrocarburos derivados de las actividades industriales antes realizadas en la zona. Los elementos químicos considerados en el análisis son los que se han estudiado históricamente en el terreno: benceno, tolueno,

etilbenceno y xilenos (BTEX), hidrocarburos poliaromáticos (PAH), hidrocarburos totales de petróleo (TPH), metales, pesticidas, bifenilos policlorados (PCB), Ester ftalato y fenoles clorados.

4.1.5.1 Caracterización del suelo superficial:

La caracterización del suelo superficial fue obtenida luego del muestreo y posterior análisis realizado por la Inmobiliaria Las Salinas, como parte de las actividades de verificación del saneamiento del suelo superficial del proyecto "Recuperación del Terreno de Las Salinas" del 2014.

El Monitoreo de verificación final consistió en el muestreo de suelos superficiales (entre 0 y 1 mbns) en 88 sondajes que generaron una malla de muestreo de suelo superficial que abarcó toda la superficie del lugar.

4.1.5.2 Caracterización suelo subsuperficial:

Para determinar la calidad del suelo subsuperficial en la zona de estudio se consideraron los resultados del Plan de Muestreo 2015-2016, desarrollado por Golder Associates. Este plan fue desarrollado en base a los requerimientos de la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con potencial presencia de Contaminantes, del Ministerio del Medio Ambiente en conjunto con Fundación Chile.

4.1.6 Hidrología:

El estudio hidrológico se hizo en base a la revisión de antecedentes bibliográficos, información técnica existente y disponible, incluyendo informes internos tales como la línea de base biótica realizada por la inmobiliaria Las Salinas y antecedentes públicos (SEIA, DGA) de la Comuna de Viña del Mar y Región de Valparaíso.

4.2 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA BIORREMEDIACIÓN DEL PROYECTO.

La Inmobiliaria Las Salinas especifica las metodologías utilizadas para la remediación de los suelos de la zona alterada en su estudio de impacto ambiental denominado "Saneamiento del Terreno las Salinas", el cual fue publicado el año 2018 por la empresa consultora Golder Associates S.A

4.2.1 Establecimiento de los Niveles de Remediación Específicos:

Para el establecimiento de niveles de remediación específicos para cada compuesto derivado de la acción de la industria petroquímica, la Inmobiliaria instauró las concentraciones para el suelo subsuperficial que protegen la salud de las personas, esto a través de la Evaluación de Riesgos para la Salud Humana, realizada anteriormente, obteniendo los siguientes resultados expuestos en la tabla 4.3:

Tabla 4.2: Establecimiento de Niveles de remediación Específicos.

Parámetro	SSCL (mg/kg)	Concentración máxima en el Sitio (mg/kg)
Benceno	0,45	2
Etilbenceno	1,6	13
Tolueno	400	0,38
Xilenos total	50	2,3
Naftaleno	5 ⁽²⁾	49
TPH alifático C10-C12	Csat	1600 ⁽¹⁾
TPH aromático C10-C12	Csat	460 ⁽¹⁾
TPH alifático C12-C16	Csat	5100 ⁽¹⁾
TPH aromático C12-C16	Csat	1800 ⁽¹⁾
TPH GRO	Csat	2.600 ⁽²⁾
TPH DRO+ORO	Csat	23.980 ⁽²⁾
Suma TPH	Csat	24.120
Aldrin	10	1,3
Dieldrin	10	1,1
PCB (Aroclor 1260)	10	0,26

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del terreno Las Salinas"

4.2.2 Evaluación de tecnologías de remediación:

En base al análisis de la caracterización de la zona de estudio, se realizó una evaluación de alternativas de remediación, que se inició con una revisión de las tecnologías disponibles en base al conocimiento teórico-práctico de diversos consultores con experiencia a nivel nacional e internacional y a través de la revisión de datos de experiencias en otros países. Considerando las características de los compuestos y condiciones a remediar se identificó una lista con las alternativas de tecnologías de las cuales se seleccionaron, en una primera etapa, aquellas que se consideraron apropiadas bajo las condiciones y limitaciones del lugar.

Las siguientes tecnologías para la remediación del suelo fueron seleccionadas para la evaluación preliminar:

Tecnologías *ex situ*:

- Excavación y disposición.
- Excavación y remediación en biopila.

- Excavación y lavado del suelo (soil washing).

Tecnologías *in situ*:

- Oxidación química *in situ* (in-situ chemical oxidation, ISCO).
- Bioventilación (BV).
- Desorción térmica *in situ*.
- Lavado del suelo *in situ* (soil flushing).
- Biorremediación *in situ*
- Fitorremediación.

Atenuación natural monitoreada (monitored natural attenuation, MNA).

4.2.3 Tecnología seleccionada por la empresa para la biorremediación:

La tecnología seleccionada por la empresa para el saneamiento del suelo fue la **excavación y tratamiento en biopilas** del suelo que excede los Niveles de Remediación Específicos establecidos para la zona de estudio.

Esta tecnología de biorremediación en biopila implica la formación de pilas de suelo con presencia de hidrocarburos y la estimulación de la actividad microbiana aeróbica de los suelos capaz de degradar los constituyentes a base de petróleo adsorbidos a las partículas del suelo, reduciendo así las concentraciones de compuestos. La biorremediación se llevará a cabo a través de la adición de compost (que mejora la retención de humedad y provee de nutrientes y microorganismos ambientales), adición de agua y aire, y el monitoreo permanente de aquellos factores ambientales que garanticen tasas de degradación eficientes.

Las biopilas se construyen generalmente sobre una base impermeable para reducir el potencial de migración de lixiviados al subsuelo. Para la aireación, se requiere de la instalación de una red de tuberías perforadas, que están conectadas a un soplador que facilita la aireación de la pila. En algunos casos, se requiere de la construcción de un sistema de recolección de lixiviados, especialmente cuando se ha instalado un sistema de adición de humedad. Las pilas generalmente están cubiertas con una membrana impermeable para prevenir la liberación de emisiones y para proteger el suelo del viento y las lluvias.

Adicionalmente, para aquellas porciones de suelo cuyas tasas de degradación no sean las esperadas para el proceso, se propone la adición de microorganismos ambientales con capacidades degradativas (Bioaumentación).

4.2.4 Justificación de la tecnología seleccionada:

El método de excavación y tratamiento en biopilas fue seleccionado en base a una serie de aspectos favorables para la implementación de esta tecnología, entre los que se encuentran:

- La textura del suelo existente en el Sitio (arenas homogéneas) es adecuada para el tratamiento en biopilas, ya que es posible de airear y de distribuir la humedad y nutrientes.
- El producto químico de preocupación (DRO, hidrocarburos de rango medio) es biodegradable por microorganismos.
- Las concentraciones máximas registradas en la zona de estudio están dentro del rango de tratamiento eficiente de la tecnología.
- Las condiciones climáticas predominantes en el área en donde se encuentra la zona de estudio son propicias para la actividad microbiana en el suelo. Se ha demostrado que ésta puede disminuir significativamente a temperaturas menores que 10 °C. No obstante, la temperatura promedio en el Sitio no es menor que 10 °C, a lo largo de todo el año.
- Es un tratamiento que se realiza dentro del terreno perteneciente al Proyecto (On-Site), sin necesidad de transportar los suelos hacia un sitio de disposición final.
- Se considera que la tecnología de biorremediación mediante biopila es apropiada para el Sitio dadas las características de los impactos identificados, que corresponden a hidrocarburos de petróleo que pueden ser tratables y a la presencia de bacterias DH en diversos suelos del Sitio, según los análisis microbiológicos realizados. Sin embargo, algunos suelos podrían requerir la adición de microorganismos nativos.

4.2.5 Componentes del sistema de tratamiento:

- Un sistema de aireación con bombas de vacío para forzar el aire a través del suelo apilado y mantener la biopila en depresión con respecto al ambiente externo.
- Un sistema de recolección del lixiviado generado por la biopila.
- Un sistema de irrigación para asegurar un nivel suficiente de humedad, nutrientes y microorganismos en el suelo apilado.
- Una base impermeable para prevenir la dispersión de lixiviados al suelo.
- Un sistema de impermeabilización superficial para prevenir la dispersión de gases al aire.
- Un sistema de tratamiento del aire extraído por medio de filtros (ej.: carbón activado).
- Uno o más puntos de monitoreo.

4.2.6 Control del proceso de biorremediación:

El proceso de biorremediación *ex situ* planteado por la Inmobiliaria Las Salinas propone principalmente controlar la operación de las biopilas, monitoreando que las concentraciones de contaminantes a lo largo del proceso disminuyan significativamente. Para que la biorremediación sea eficiente se requiere de condiciones apropiadas de humedad, pH, temperatura, nutrientes y fuente de carbono. En la siguiente tabla 4.4 se presentan los parámetros de control que deberán ser registrados periódicamente durante el proceso, estos sirven para realizar ajustes o variaciones que permitan verificar la disminución de las concentraciones de hidrocarburos presentes en los suelos.

Tabla 4.3: Parámetros ideales para la biorremediación.

Parámetro	Criterio
Densidad de la población bacteriana	$> 10^5$ UFC/gramo de suelo seco
pH del suelo	$6 < \text{pH} < 8$
Humedad del suelo	$40\% < \text{capacidad de campo} < 85\%$
Temperatura del suelo	$10^\circ\text{C} < \text{temperatura de suelo} < 45^\circ$
Concentración de nutrientes Relación carbono (C): nitrógeno (N): fósforo (P)	100:10:1 a 100:1:0,5

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del terreno Las Salinas"

A continuación, se describen los parámetros de control para la operación de una biopila:

4.2.6.1 Densidad de la población bacteriana:

Las bacterias constituyen el grupo más numeroso y bioquímicamente activo presente en los suelos, ya se encuentran normalmente en toda clase de suelos. Estos microorganismos aerobios requieren de una fuente de carbono para realizar su crecimiento celular, que en este caso serían los hidrocarburos, y una fuente de energía para mantener las funciones metabólicas, la cual pueden ser nutrientes inorgánicos tales como el fósforo y el nitrógeno, los que se agregan a la biopila en caso de ser necesario para mantener las poblaciones bacterianas.

Para evaluar la presencia y población de bacterias naturales del suelo, se necesita realizar un análisis de laboratorio con muestras de suelo del lugar, el que debe incluir un conteo de placas para bacterias heterotróficas totales, el que normalmente se informa en términos de unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo. Las densidades de población microbiana en suelos típicos oscilan entre 1×10^4 y 1×10^7 UFC/gramo de suelo. Para que las biopilas sean eficientes, el recuento mínimo de placas heterotróficas debe ser de 1×10^5 UFC/gramo o mayor.

Los recuentos de placas inferiores a 1×10^3 UFC/gramo podrían indicar la presencia de concentraciones tóxicas de compuestos orgánicos o inorgánicos (por ejemplo, metales).

4.2.6.2 pH del suelo

Para un óptimo crecimiento bacteriano, se recomienda que el pH del suelo tenga un valor de aproximadamente 7 (neutro), aunque si este se encuentra dentro del rango de 6 a 8 también se considera aceptable. Los suelos con valores fuera de este rango podrán requerir ajuste de pH durante la construcción de la biopila, utilizando cal para incrementarlo y azufre elemental para disminuirlo.

4.2.6.3 Humedad del suelo:

Los suelos deben ser húmedos, pero no en exceso, ya que esto provocaría la restricción de movimiento del aire en la biopila, reduciendo así la disponibilidad de oxígeno, el cual es vital para las bacterias.

El rango ideal para la humedad del suelo es entre 40% y 85% de la capacidad de retención de agua (capacidad de campo) del suelo o entre 12% y 30% en peso.

4.2.6.4 Temperatura del suelo:

La actividad microbiana del suelo disminuye significativamente a temperaturas inferiores a 10°C y esencialmente se detiene por debajo de 5°C . Por otra parte, el exceso de temperatura tampoco favorece la degradación de hidrocarburos, consignándose una disminución en la tasa de biodegradación cuando las temperaturas superan los 45°C .

El rango ideal de temperatura para este proceso oscila entre los 10°C y 45°C , duplicándose la tasa de actividad microbiana por cada 10°C de aumento de temperatura.

4.2.6.5 Concentración de nutrientes:

Para apoyar el crecimiento celular se requiere la adición de nutrientes inorgánicos tales como el nitrógeno y fósforo, los cuales se encuentran disponibles en la mayoría de los suelos, pero en ocasiones no son suficientes para mantener el microbiota. La relación recomendada carbono, hidrógeno y fósforo necesaria para la biodegradación está en el rango de 100:10:1 a 100:1:0,5, dependiendo de los constituyentes específicos y de los microorganismos implicados en el proceso de biodegradación.

4.3 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL PROYECTO

Esta metodología propuesta, se ha llevado a cabo a través de la recopilación de información bibliográfica, utilizando plataformas tales como Google Scholar, Scielo, Dialnet, Sistema de Información Científica Redalyc, entre otros.

4.3.1 Evaluación de las tecnologías aplicables:

Para realizar una evaluación de las posibles tecnologías aplicables en sitio del Proyecto Inmobiliario Las Salinas, se utiliza el documento “Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos” publicado el año 2013 por Roland Suarez.

Este documento postula una matriz cuantitativa, en el que se relacionan los métodos de biorremediación disponibles con una serie de características, a través de un valor correspondiente para cada uno. Cada una de estas características tiene una valoración en porcentaje, la que sumada nos dará un valor de significancia para cada tecnología de biorremediación.

El cuadro utilizado será llenado a través de información bibliográfica y seguirá el mismo formato que el siguiente:

Tabla 4.4: Matriz Cuantitativa para elección de técnicas de biorremediación.

DISEÑO DE SELECCIÓN									
CARACTERÍSTICAS	Bioventeo	Inyección de aire a presión	Atenuación Natural	Bioestimulación	Bioaumentación	Landfarming	Biopilas	Biorreactor	Valoración
Tiempo									10%
Area Terreno									10%
Costo									20%
Residuos									10%
Impacto Entorno									5%
Maquinaria									3%
Complejidad									3%
Uso energía									6%
Uso Surfactantes									3%
Humedad									10%
Temperatura									10%
Nutrientes									5%
pH									5%
Valor Final									

Fuente: Suarez, 2013

También se realizó un cuadro de ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías propuestas, utilizando datos obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas, las cuales serán expuestas en los resultados.

4.3.2 Ubicación de las perforaciones:

El número y ubicación de las perforaciones dependerá de la cantidad de puntos de muestreo en los que se supere la norma internacional establecida en el estudio de impacto ambiental denominado “Saneamiento del Terreno las Salinas”. Esto se determinará con el mismo estudio de impacto ambiental, a través de la línea de base consolidada, que nos entrega los puntos de muestreo en los que se sobrepasa la norma, calificándolos como compuestos químicos de potencial preocupación (COPC).

4.3.3 Diseño de la técnica de bioventilación:

El diseño del sistema de bioventilación para el sitio de estudio fue realizado con el manual llamado “Principles and Practices of Bioventing, Volume II: Bioventing Design” realizado por el Centro de Excelencia Ambiental de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (U.S. Air Force Center for Environmental Excellence) en colaboración con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency).

4.3.3.1 Pozos de ventilación:

Los pozos de ventilación son los encargados de transportar el aire captado a las napas más profundas del suelo para que este haga interacción con los microorganismos nativos, por lo que en su diseño se deben considerar aspectos tales como el material más óptimo a utilizar para las tuberías, el diámetro de estas y el método de perforación óptimo que se debe utilizar, considerando las propiedades físicas y químicas del suelo a tratar.

4.3.3.2 Puntos de monitoreo de gas de suelo:

Se deben crear puntos de control para medir periódicamente la presión y temperatura de los gases del suelo y así asegurar un funcionamiento óptimo del sistema de inyección de aire. La ubicación de los puntos de monitoreo se basa en una serie de recomendaciones realizadas en el documento guía, donde la georreferenciación y posicionamiento de estos depende del tipo de suelo tratado y de la profundidad donde se encuentran las mayores concentraciones de contaminantes, información entregada por la caracterización del sitio.

4.3.3.3 Sistema de inyección de aire:

En esta sección se deben definir los equipos utilizados en el sistema, considerando el tipo de suelo que se está tratando, escogiendo los equipos más idóneos para aplicar en la zona donde se realizará la biorremediación complementaria. También se debe definir una serie de especificaciones para los equipos de ventilación, tales como el flujo de aire necesario, potencia del motor y consumos energéticos.

4.3.4 Diseño de la técnica de bioestimulación:

Para crear el diseño de la bioestimulación se recurrió a fuentes bibliográficas, siendo los documentos más utilizados el reporte de prueba piloto de la biorremediación mejorada, planteado por la empresa inmobiliaria Las Salinas en colaboración con Golder Associates. También se utilizó información de la agencia gubernamental estadounidense Federal Remediation Technologies Roundtable.

4.3.4.1 Pozos de inyección:

Se determinan las especificaciones de los pozos de inyección.

4.3.4.2 Sistema de inyección de nutrientes:

En esta sección se dan detalles de los equipos utilizados para inyectar las corrientes acuosas a los suelos contaminados, además de la capacidad de estos para realizar las labores.

4.3.4.3 Reactivo para utilizar:

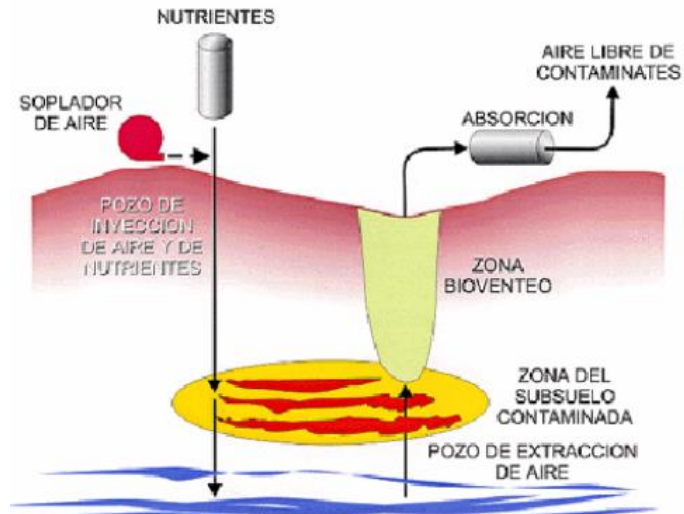
El reactivo que inyecta en las napas subterráneas del suelo fue escogido a través de referencias bibliográficas que describen experiencias similares a la biorremediación planteada y donde el uso de reactivos tuvo éxito.

4.3.4.4 Puntos de monitoreo:

Los puntos de monitoreo deben ubicarse en puntos estratégicos para que sus mediciones sean totalmente representativas. En esta sección se dan a conocer las especificaciones técnicas para la ubicación de estos puntos, además de que variables se miden.

En la siguiente figura 4.1, se pueden observar las dos técnicas de biorremediación propuestas, tanto el bioventilación como la Bioestimulación.

Figura 4.1: Esquema de bioventilación y bioestimulación (Fuente: Imagen de internet)



4.4 MODELO DE PREDICCIÓN MATEMÁTICO:

Para determinar el nivel de saneamiento en el terreno “Las Salinas” se ha recurrido a un modelo matemático que determina la concentración final de hidrocarburos una vez finalizado el tratamiento con biopilas propuesto por el titular del sitio estudiado.

El modelo de Monod es el escogido, ya que determina la cinética de crecimiento de los microorganismos nativos en relación con la concentración de sustrato disponible, que en este caso se trataría de la concentración de hidrocarburos.

La ecuación de Monod es el siguiente:

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{(S + K_S)}$$

Donde:

μ_{max} = q_s es máxima tasa de crecimiento del microorganismo (h^{-1}).

μ es la tasa de crecimiento específica de los microorganismos.

S es la concentración del sustrato limitante para el crecimiento.

K_S es la constante de media velocidad (g/L)

Para llevar a cabo el modelo de consumo de sustrato se necesita acoplar otros modelos biológicos de crecimiento bacteriano, como es el caso del modelo de Aborthey-Willamson, el cual no involucra la acumulación de metabolitos en el medio de cultivo y su ecuación es la siguiente:

$$q_s = m_s + \frac{\mu}{y_{xs}}$$

Donde:

y_{xs} es el rendimiento de sustrato a biomasa (g célula – g sustrato)

m_s es el consumo del sustrato realizado en actividades de mantenimiento celular.

También se necesita la ecuación de crecimiento celular específico:

$$x_2 = x_1 * e^{\mu * \Delta t}$$

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

Y la definición de consumo de sustrato específico:

$$S_2 = S_1 - q_s * x_1 * \Delta t$$

4.5 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

La información sobre los costos de las tecnologías aplicadas fue obtenida del sitio oficial del FRTR (Federal Remediation Technologies Roundtable), del gobierno de los Estados Unidos.

4.5.1 Factores que determinan los costos del proceso:

- El área de superficie es el principal generador de costos, ya que influye directamente en el número de pozos de inyección/extracción instalados.
- El tipo de suelo es determinante para el análisis de costos, ya que se ha documentado que los suelos que poseen buena permeabilidad (como suelos compuestos principalmente por arena o grava) produjeron costos significativamente más bajos al reducir el número de pozos de ventilación.

4.5.2 Análisis de costos generales:

La siguiente tabla representa los costos estimados (por unidad de medida común) para aplicar la tecnología de bioventilación en sitios de diferente tamaño y complejidad. Los parámetros analizados para la creación de esta tabla se presentan en el **ANEXO 2**.

Tabla 4.5: Costos de implementación estimados para la técnica de bioventilación.

TECNOLOGÍA DEL SUELO: Bioventilación								
PARÁMETROS DE CARRERA	Escenario A		Escenario B		Escenario C		Escenario D	
	Sitio pequeño				Sitio grande			
	Fácil	Difícil	Fácil	Difícil	Fácil	Difícil	Fácil	Difícil
COSTO POR PIE CÚBICO	\$26		\$27		\$2		\$3	
COSTO POR METRO CUBICO	\$928		\$970		\$79		\$109	
COSTO POR YARDA CUBICA	\$709		\$742		\$60		\$84	

Fuente: Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR)

5. RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO:

5.1.1 Localización:

5.1.1.1 Ubicación:

El área de estudio se encuentra ubicada en la Región y Provincia de Valparaíso, en la Comuna de Viña del Mar, sector conocido como "Las Salinas", específicamente frente a los sectores de playa conocidos como Los Marineros y Playa Blanca, tal como se muestra en la figura 5.1.

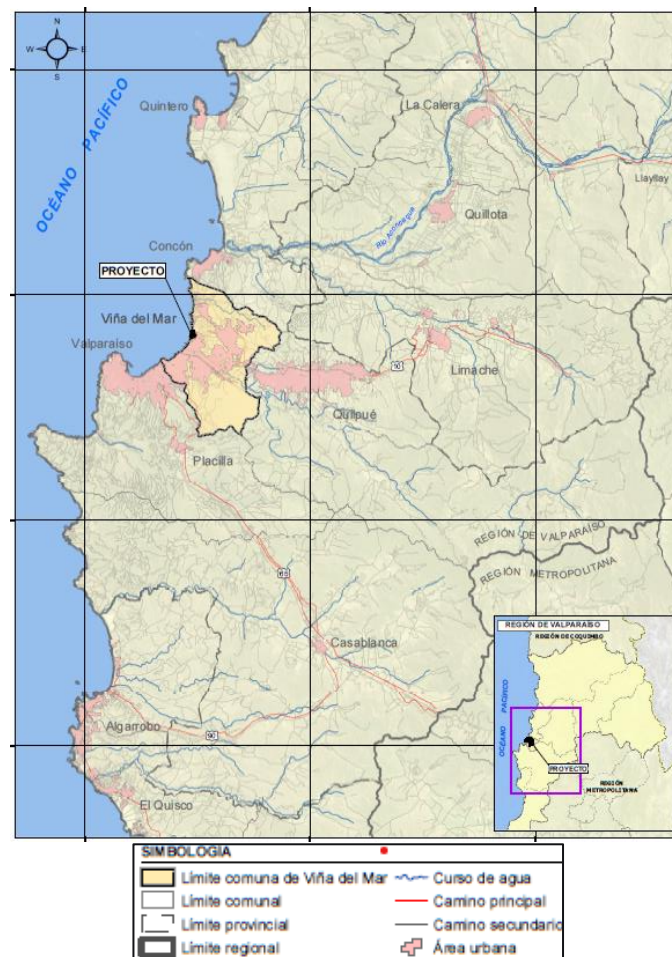


Figura 5.1: Localización Proyecto Inmobiliario Las Salinas. (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del Terreno las Salinas")

5.1.1.2 Superficie:

El área de estudio, perteneciente al proyecto Inmobiliario Las Salinas cuenta con un predio de aproximadamente 15,8 hectáreas, distribuidas en dos paños, tal como se muestra en la siguiente tabla 5.1:

Tabla 5.1: Superficie del terreno del Proyecto Inmobiliario.

Paño	Superficie aproximada (ha)
Paño Sur	6,9
Paño Norte	8,9
Total	15,8

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”

El perímetro de la superficie estudiada es representado por el siguiente plano (figura 5.2), en el que se identifican los dos paños en los que se llevara a cabo la biorremediación:

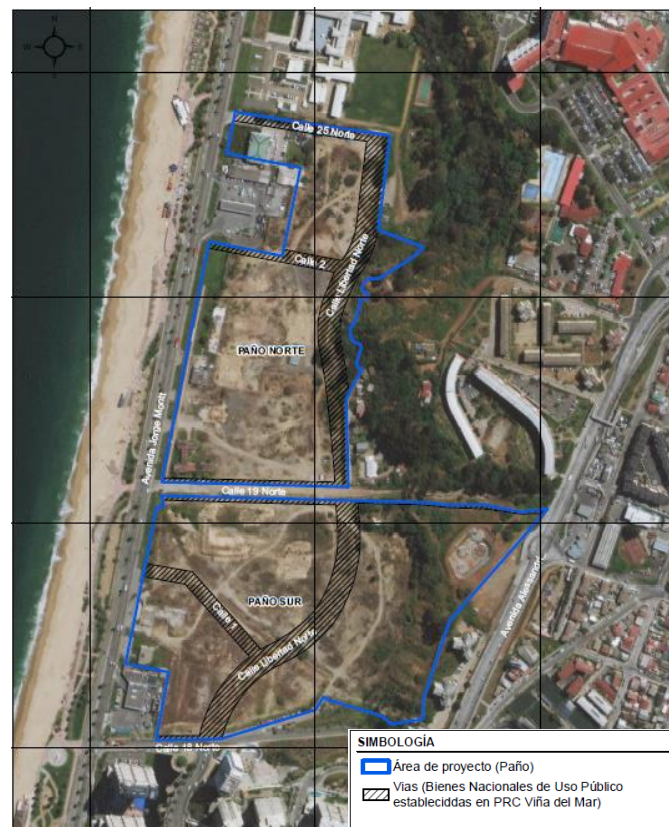


Figura 5.2: Perímetro del proyecto (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”)

5.1.2 Antecedentes Históricos:

La zona de estudio corresponde a un terreno privado de 160.000 m² aproximadamente ubicado en el sector de Las Salinas, en la ciudad de Viña del Mar. Este sector no fue siempre el balneario que hoy en día se conoce, ya que, desde sus orígenes, este sector se caracterizó por albergar actividades productivas, tales como almacenaje y distribución de combustible, lo que ha delineado las características de su paisaje y modificado su morfología. Es así como, en el siglo XIX, se desarrollaron labores de extracción de sal, a lo cual se debe el nombre con el que todavía se conoce a este sector viñamarino. A comienzos del siglo XX, en tanto, desde esta zona de la ciudad se extrajo la roca necesaria para la construcción del molo del puerto de Valparaíso. Esto transformó la geografía del sector, dándole el carácter escarpado que aún le distingue. (Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del Terreno las Salinas”).

Pocos años después, a partir de 1915, se inician en el actual terreno de Las Salinas las primeras operaciones petroleras desarrolladas por Shell y Esso. Este destino industrial se consolida en la década del 30, con la instalación de Copec y las estaciones para la distribución de combustibles al detalle pertenecientes tanto a esta empresa como a Shell, lo cual coincide con el desarrollo de un polo fabril en la zona norte de Viña del Mar. (Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del Terreno las Salinas”).

A partir de la década del sesenta, en tanto, se inicia el proceso de expansión de Viña del Mar hacia el norte, lo que conllevó años más tarde, para el sector Las Salinas la instalación de una serie de servicios destinados al turismo, lo que finalmente desencadenó el año 2003 en el cierre definitivo de las empresas mencionadas anteriormente, que operaron durante más de 80 años.

Previo a la finalización de las operaciones realizadas por las empresas ya mencionadas, en los años 2001 y 2002 se realizaron diversas investigaciones en el suelo y el agua subterránea a través de las cuales se identificaron áreas impactadas por compuestos derivados de las actividades allí desarrolladas. A partir de los resultados de estas investigaciones se definió un proyecto de remediación con actividades asociadas al tratamiento de la capa más superficial del suelo, abarcando el primer metro de profundidad, el cual fue ejecutado entre los años 2009 y 2013 (Memoria Chilena, 2010).

5.1.3 Clima y Meteorología:

5.1.3.1 Clima:

El clima es un fenómeno natural que se da a nivel atmosférico, caracterizado por una serie de parámetros meteorológicos como temperatura, humedad relativa, presión, precipitaciones y viento entre otros, los cuales dependen de la geografía de una región en particular (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile).

El Área de Estudio se ubica en la Región de Valparaíso, zona en la que predomina el clima templado cálido con estación seca prolongada y gran nubosidad. Este clima se presenta en la zona litoral desde los 32°S por el Norte hasta la desembocadura del río Mataquito. Se caracteriza por abundante nubosidad, poco persistente. La nubosidad y la cercanía con la costa definen una amplitud térmica de 10°C aproximadamente. La región presenta un régimen térmico marcado en su parte central por el valle transversal del río Aconcagua el que deja ver claramente su influencia con un gradiente térmico de 2°C entre Los Andes y Concón. En tanto el sector cordillerano presenta una disminución de hasta 4°C en sus valores de temperatura media anual, en relación con aquellas zonas ubicadas más hacia el oeste de la región (Luebert, 2012).

El régimen pluviométrico es básicamente de origen frontal, manifestándose mayormente en los meses de mayo a agosto, cuando precipita el 80% del total de un año normal. El comportamiento de las precipitaciones anuales en la región presenta valores significativos en el sector costero, las que aumentan a medida que se incrementa la latitud, superando los 400 mm anuales. En tanto, la zona intermedia registra precipitaciones que, a pesar de ser menores respecto a la parte costera sur de la región, no dejan de ser significativos, superando los 300 mm al año (Luebert, 2012).

La circulación de los vientos predominante es del Suroeste, registrándose vientos calmos durante todo el día, con una intensidad aproximada de 18 km/h (5 m/s).

5.1.3.2 Meteorología:

Se utilizaron los datos obtenidos de la plataforma web del Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA), específicamente de la Estación de Monitoreo Viña del Mar con una serie de tiempo que incluye valores del año 2021 (entre el 1 de enero de 2021 y el 1 de enero de 2022) para las variables de velocidad de viento, dirección de viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación.

Temperatura: La serie de tiempo de la temperatura de la figura 5.3 muestra para el último año un marcado ciclo estacional, con mayores temperaturas en el periodo estival (diciembre a febrero) que superan 30°C durante la mayoría de los días y mínimas cercanas a 10°C. Durante los meses de invierno la mayoría de los días tiene máximas inferiores a 20°C y mínimas cercanas a 5°C, especialmente entre los meses de junio y julio. El valor medio de la temperatura durante el año 2021 alcanza los 14,7°C, con máximo de 31,6°C y una mínima de 3,1°C.

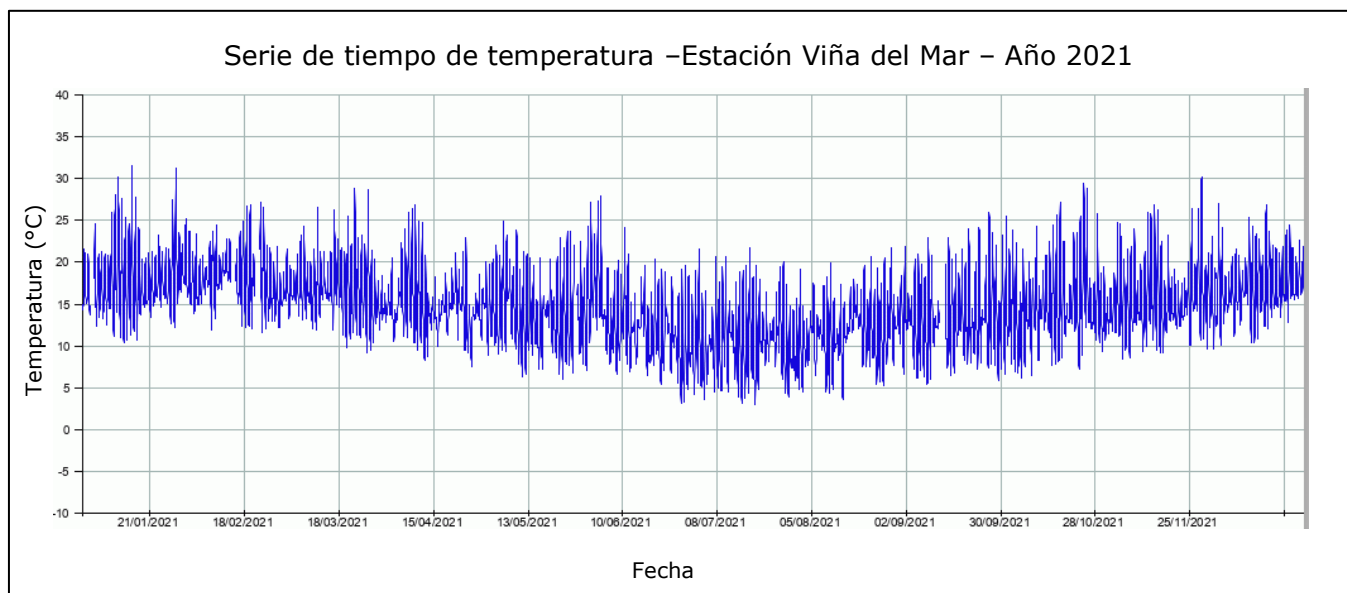


Figura 5.3: Serie de tiempo de temperatura, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire).

Velocidad del viento: La serie de tiempo de la velocidad del viento de la figura 5.4 muestra para el año 2021, que durante la época estival las velocidades del viento son mayores a lo observado en época invernal. No obstante, durante el invierno se presentan algunos días con valores más altos de velocidad de viento producto del ingreso de sistemas frontales al área de estudio. Los valores fluctúan entre 0,0 y 5,6 m/s, con un bajo promedio de velocidad para el año 2021 de 0,76 m/s.

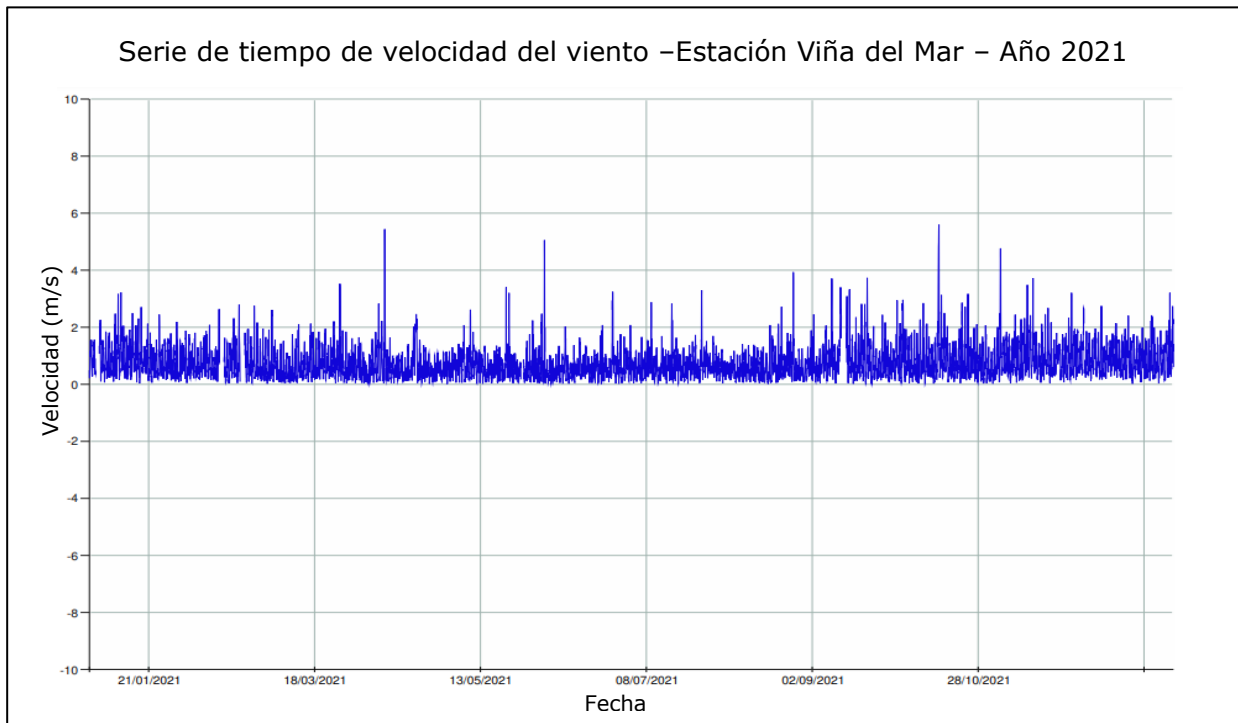


Figura 5.4: Serie de tiempo de velocidad del viento, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire).

Precipitaciones: La figura 5.5 presenta la serie de precipitaciones mensuales para lo que va del año 2022, además de una comparación con el año 2021. La precipitación en Viña del Mar y alrededores es de carácter frontal principalmente, aunque episodios intensos de vaguada costera pueden dejar algunos pocos mm en los meses estivales y comienzo del otoño. Los principales episodios de lluvias se registraron entre los meses de mayo y julio del año pasado, alcanzando máximos acumulados por sobre 200 mm para ese año. Respecto a los datos del año 2022, es destacable que el presente mes de julio, ya presenta precipitaciones por sobre los 140mm.



Figura 5.5: Precipitación mensual año 2022 y precipitación acumulada año 2021 (Fuente: MeteoChile)

Humedad Relativa del Aire: La serie de tiempo de la humedad relativa presentada en la figura 5.6, muestra que durante todo el año 2021 se alcanzan valores de humedad con un rango entre 80% a 25%. Desde mayo a septiembre se aprecia que los valores máximos de humedad son cercanos a 100%. Para el año 2021 el promedio de humedad fue 70,89%, con un máximo de 100% y un mínimo de 21,4%.

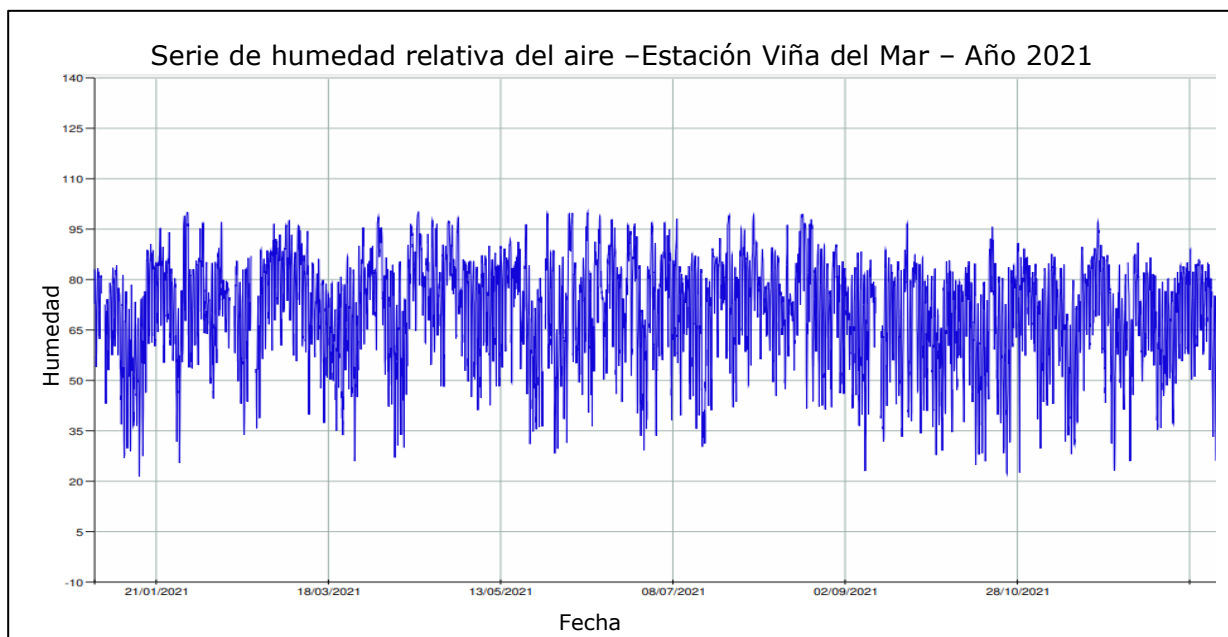


Figura 5.6: Serie de tiempo de humedad relativa del aire, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire).

Radiación Solar: La serie de tiempo de radiación presentada en la figura 5.7 muestra un ciclo anual para el año 2021 con mayores valores de radiación en la época estival y menores en la época invernal. Algunos días tienen bajos valores de radiación producto de la nubosidad, especialmente en días de mayo y junio. En verano se registran los máximos horarios de radiación solar con valores que superan 1150 W/m^2 y en meses de invierno los máximos diarios de la mayoría de los días son cercanos a 700 W/m^2 . Entre mayo y agosto se registran algunos días con la radiación solar más baja del año con valores inferiores a 150 W/m^2 . Además, el promedio de radiación durante todo el año es de 209 W/m^2 .

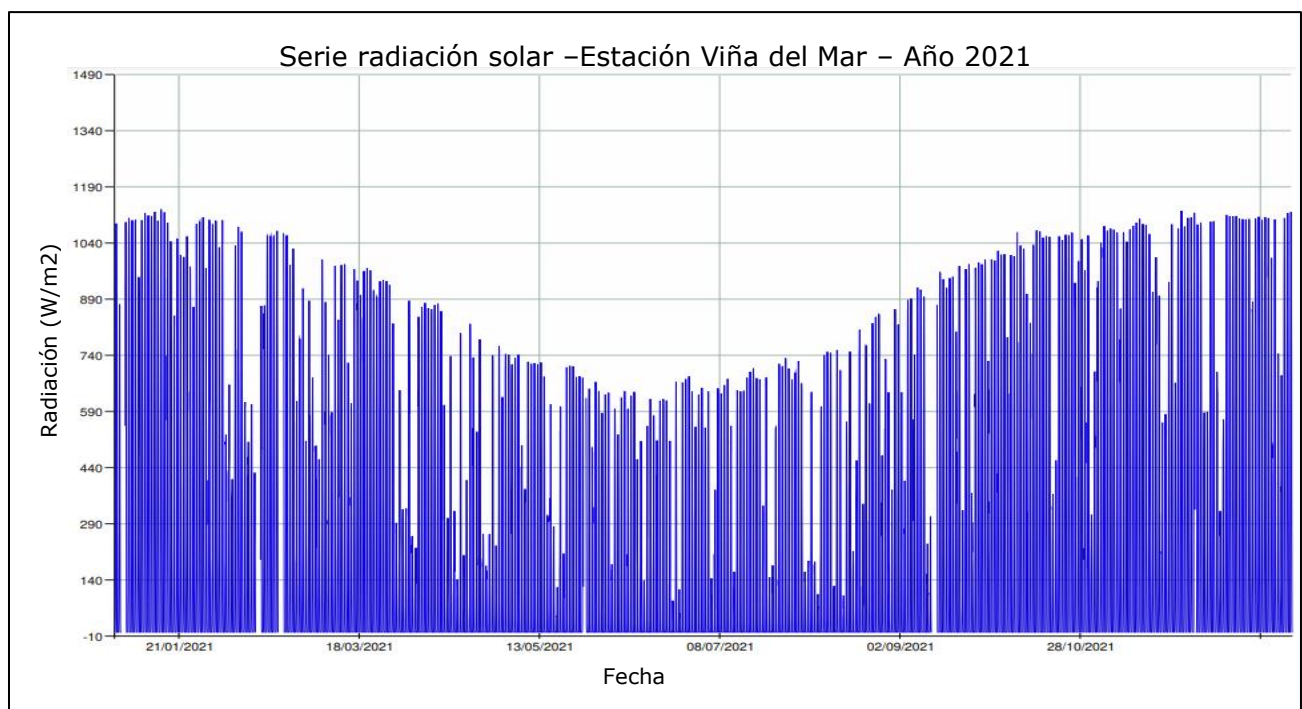


Figura 5.7: Serie de tiempo de radiación solar, 2021 (Fuente: Sistema Nacional de Calidad del Aire).

5.1.4 Geología y Geomorfología:

El área de estudio se localiza en el margen oriental de la unidad fisiográfica Cordillera de la Costa. En dicha área afloran principalmente extensos cuerpos intrusivos del arco magmático jurásico, emplazados en cuerpos plutónicos paleozoicos, correspondiente al basamento rocoso de la cordillera costera. Los afloramientos de los cuerpos paleozoicos se distribuyen mayormente en el borde costero y tienen una envergadura considerablemente menor que los cuerpos jurásicos.

Geológicamente, se pueden reconocer a nivel regional tres unidades de suelo, las que corresponden a depósitos litorales y eólicos actuales (Qe), los cuales datan del Holoceno y se

describen como depósitos sedimentarios no consolidados de playa, identificándose arenas y gravas bien redondeadas. Por otro lado, se encuentran los depósitos marinos (Qm), los que también datan del Holoceno y corresponden a depósitos sedimentarios no consolidados, que varían entre marinos y transicionales, destacándose los limos, arenas y gravas como ejemplos de esta unidad de suelo. La última unidad de suelo identificada es la terraza de abrasión (QTt), la que se caracteriza por ser un depósito sedimentario no consolidado compuesto por arenas de origen marino ricas en cuarzo.

En cuanto a la geomorfología de la zona de estudio, a nivel local se encuentra inserta entre planicies marinas y fluvio-marinas, las cuales se han desarrollado a través de procesos naturales dinámicos y evolutivos.

El terreno de Las Salinas se caracteriza por ser una zona plana, que se encuentra a unos 15 msnm en promedio y corresponde a una antigua terraza marina. Cercanas al área de estudio, se pueden identificar otras unidades geomorfológicas, las cuales son acantilado costero, llano de sedimentación fluvial, terraza marina y terraza de abrasión, las cuales pueden diferenciarse en la figura 5.8:



Figura 5.8: Unidades geomorfológicas colindantes al sitio de estudio (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del terreno Las Salinas")

5.1.5 Caracterización fisicoquímica del suelo:

5.1.5.1 Caracterización de suelo superficial:

Los análisis realizados para determinar la calidad del suelo en la zona de estudio son presentados a continuación, en la tabla 5.1, la cual contrasta las concentraciones máximas obtenidas durante la campaña completada el año 2013, en el marco del monitoreo de verificación final del proyecto “Recuperación del Terreno de Las Salinas” con las concentraciones de referencias obtenidas de la norma italiana llamada “Decreto Legislativo N°152/2006” el cual regula las concentraciones máximas permitidas de ciertos contaminantes para un área de uso residencial y área verde pública o privada.

Además, se ha identificado el porcentaje de concentraciones que exceden la normativa de referencia escogida respecto al total de muestras., lo que queda en evidencia en la tabla 5.1.

Tabla 5.2: Concentraciones máximas de contaminantes registradas, valores de referencia y porcentaje de excedencia para suelos superficiales.

Grupo	Parámetro	Valor de referencia (mg/kg)	Máxima concentración en muestreo (mg/kg)	Excedencias		N° muestras analizadas
				N°	%	
BTEX	Benceno	0,1	<0,2	0	0,0%	88
	Etilbenceno	0,5	<0,1	0	0,0%	88
	Tolueno	0,5	<0,2	0	0,0%	88
	Xilenos	0,5	<0,2	0	0,0%	88
PAH	Antraceno	5*	<0,5	0	0,0%	88
	Benzo(a)antraceno	0,5	<0,5	0	0,0%	88
	Benzo(k)fluoranteno	0,5	0,4	0	0,0%	88
	Benzo(a)pireno	0,1	0,99	9	10,2%	88
	Benzo(ghi)perileno	0,1	0,98	11	12,5%	88
	Criseno	5	1,36	0	0,0%	88
	Fluoranteno	5*	1,85	0	0,0%	88
	Indeno(123cd)pireno	0,1	0,24	3	3,4%	88
	Naftaleno	5*	<0,5	0	0,0%	88
	Fenantreno	5	0,66	0	0,0%	88
TPH	HTP (suma) - IWA	50	1130	19	21,6%	88
METALES	Cromo VI	2	2,87	1	1,1%	88
	Cobre	120	1406	1	1,1%	88
	Plomo	100	203	3	3,4%	88
	Mercurio	1	1,155	1	1,1%	88

Grupo	Parámetro	Valor de referencia (mg/kg)	Máxima concentración en muestreo (mg/kg)	Excedencias		N° muestras analizadas
				N°	%	
	Níquel	120	17	0	0,0%	88
	Vanadio	90	90,5	1	1,1%	88
	Zinc	150	181, 75	3	3,4%	88
PESTICIDA	Aldrin	0,01	<0,01	0	0,0%	88
	DDT	0,01	<0,01	0	0,0%	88
	Dieldrin	0,01	<0,002	0	0,0%	88
	Endrin	0,01	<0,005	0	0,0%	88
	HCH total	0,01	<0,002	0	0,0%	88
PCB	PCB total	0,06	0,43	15	17,7%	88
ESTER FTALATO	Bis(2-ethylhexyl)ftalato	10	0,27	0	0,0%	88
FENOL CLORADO	2-monoclorofenol	0,5	<0,02	0	0,0%	88
	Pentaclorofenol	0,01	<0,02	0	0,0%	88

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del terreno Las Salinas"

5.1.5.2 Caracterización del suelo subsuperficial:

Los análisis realizados para determinar la calidad del suelo subsuperficial en la zona de estudio son presentados a continuación, en la tabla 5.2, la cual contrasta las concentraciones máximas obtenidas durante la Plan de Muestreo 2015-2016 con las concentraciones de referencias obtenidas de la norma italiana llamada "Decreto Legislativo N°152/2006" el cual regula las concentraciones máximas permitidas de ciertos contaminantes para un área de uso residencial y área verde pública o privada.

Además, se ha identificado el porcentaje de concentraciones que exceden la normativa de referencia escogida respecto al total de muestras, como se muestra a continuación en la tabla 5.2:

Tabla 5.3: Concentraciones máximas de contaminantes registradas, valores de referencia y porcentaje de excedencia para suelos subsuperficiales.

Grupo	Parámetro	Valor de referencia (mg/kg)	Máxima concentración en muestreo (mg/kg)	Excedencias		N° muestras analizadas
				N°	%	
BTEX	Benceno	0,1	2	4	0,7%	609
	Etilbenceno	0,5	190	8	1,4%	609
	Tolueno	0,5	63	2	0,3%	609
	Xilenos totales	0,5	1400	15	2,5%	609

Grupo	Parámetro	Valor de referencia (mg/kg)	Máxima concentración en muestreo (mg/kg)	Excedencias		N° muestras analizadas
				N°	%	
PAH	Antraceno	5*	0,52	0	0,0%	609
	Benzo(a)antraceno	0,5	1,6	1	0,2%	609
	Benzo(k)fluoranteno	0,5	1,1	1	0,2%	609
	Benzo(a)pireno	0,1	1,8	4	0,7%	609
	Benzo(ghi)perileno	0,1	1,3	8	1,3%	609
	Criseno	5	1,9	0	0,0%	609
	Fluoranteno	5*	3,4	0	0,0%	609
	Indeno(123cd)pireno	0,1	1	8	1,3%	609
	Naftaleno	5*	100	29	4,8%	609
	Fenantreno	5	15	18	3,0%	609
TPH	TPH GRO	10	8000	87	14,3%	609
	TPH DRO +	50	23980	204	33,5%	609
METALES	Cromo VI	2	32	1	0,2%	609
	Cobre	120	650	4	0,7%	609
	Plomo	100	1200	3	0,5%	609
	Mercurio	1	0,49	0	0,0%	609
	Níquel	120	140	1	0,2%	609
	Vanadio	90	250	14	2,3%	609
	Zinc	150	96	0	0,0%	609
PESTICIDA	Aldrin	0,01	1,3	4	1,2%	344
	DDT	0,01	0,045	5	1,5%	344
	Dieldrin	0,01	1,3	9	2,6%	344
	Endrin	0,01	1,5	3	0,9%	344
	HCH alfa	0,01	0,0065	0	0,0%	344
	HCH beta	0,01	0,053	2	0,6%	344
	HCH gama	0,01	0,001	0	0,0%	344
PCB	PCB total	0,06	0,26	2	0,6%	458
ESTER FTALATO	Bis(2-ethylhexyl)ftalato	10	6,3	0	0,0%	609
FENOL CLORADO	2-monoclorofenol	0,5	<1,70	0	0,0%	609
	Pentaclorofenol	0,01	0,45	6	1,0%	609

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del terreno Las Salinas"

5.1.6 Hidrología:

Para el estudio y caracterización de los recursos hidrológicos cercanos a la zona donde se emplaza el proyecto Inmobiliario Las Salinas se ha definido un área de estudio que corresponde a la subcuenca del estero Marga Marga, la que se localiza en la Provincia y Región de Valparaíso, y se encuentra inserta dentro la Cuenca Costera Sur, que se extiende entre Los Molles, por el Norte y Las Rocas de Santo Domingo por el Sur, abarcando parte de las provincias de Petorca, Valparaíso y San Antonio, abarcando una superficie aproximada de 3.510 km². La subcuenca del estero Marga Marga se representa en la figura 5.9:

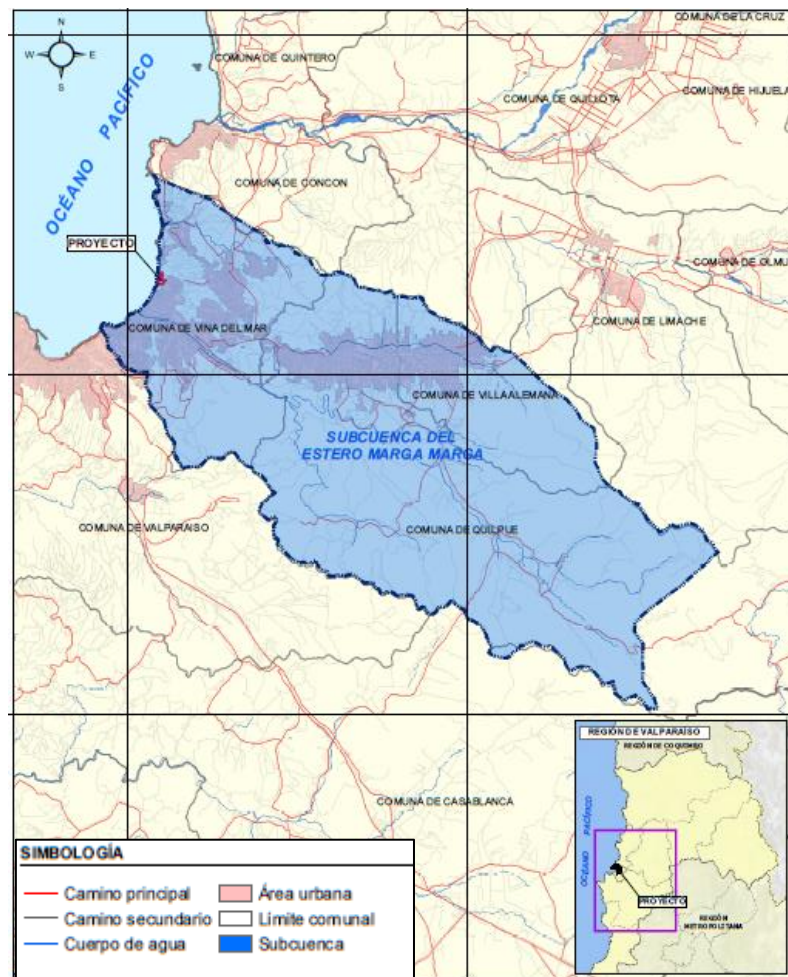


Figura 5.9: Subcuenca del estero Marga Marga (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Sanearamiento del terreno Las Salinas”)

La red de drenaje se caracteriza por conformarse por esteros y quebradas y es esencialmente de origen pluvial, por lo que su escorrentía está estrechamente relacionada con la distribución estacional de las precipitaciones.

La subcuenca del estero Marga Marga tiene una extensión de 422 km² y considera a los esteros tributarios de este, los cuales son descritos a continuación:

Esteros Marga Marga: Se encuentra a 2 km del área de estudio y se forma de la unión del estero El Fulero, que proviene del sudeste, y del estero Los Coihues, que proviene del noreste. El primero tiene 5,5 km y el segundo, 10 km de longitud.

Esteros Viña del Mar: Corresponde al tramo final de la cuenca del estero Marga-Marga. El estero se conforma por la confluencia de los esteros Marga-Marga y Quilpué, a 7 km aguas arriba. Su cauce atraviesa la ciudad de Viña del Mar, desembocando finalmente en la playa.

Esteros Quilpué: Este estero confluye con el Marga Marga y origina el Estero Viña del Mar. Toma rumbo oeste pasando por las ciudades de Villa Alemana, El Bolloto y Quilpué, luego toma dirección sur hasta la junta con el Marga Marga.

Esteros Moscoso: Nace al pie del cerro Cruz de los Perales y desarrolla curso Oeste–Noroeste. Este estero incorpora además dos pequeños embalses llamados Los Leones y El Recreo.

Esteros Las Palmas: Este estero desemboca en el estero Marga Marga, aguas arriba de la unión con el estero Quilpué. El estero recibe a las quebradas El Patagual y El Vaquero.

Los principales cuerpos de agua descritos anteriormente se ven representados en la siguiente figura 5.10:

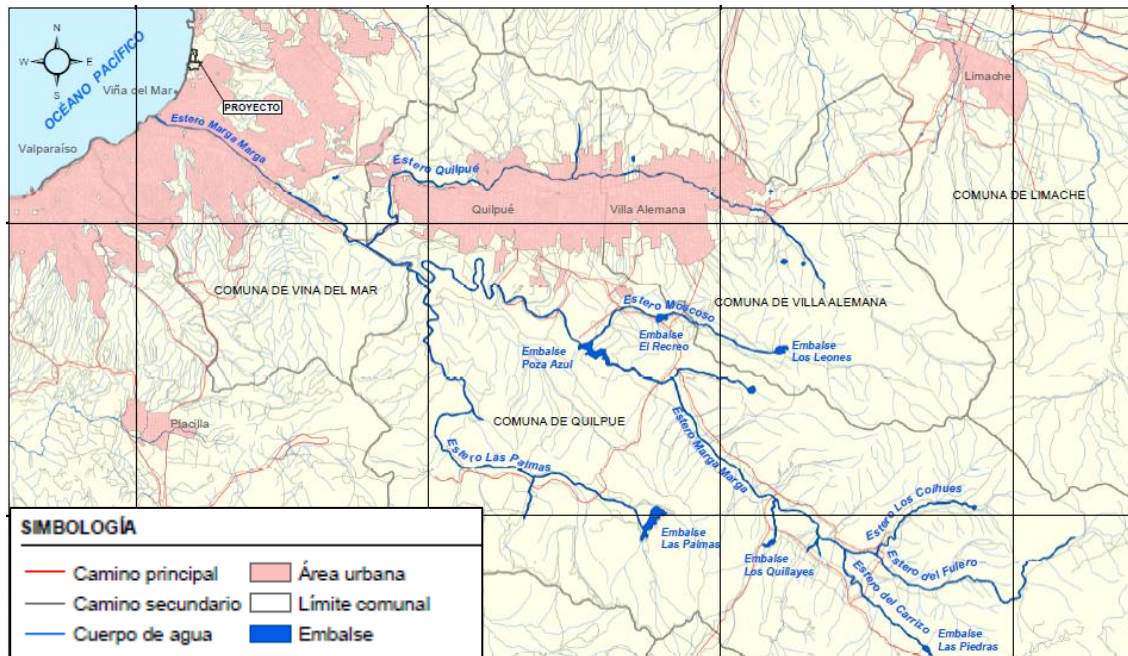


Figura 5.10: Mapa hidrográfico de los cuerpos de agua cercanos a la zona de estudio (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental “Saneamiento del terreno Las Salinas”)

5.1.7 Análisis microbiológico del suelo:

Para la determinación de la densidad microbiana perteneciente a la zona de estudio se han considerado los resultados del conteo realizado por la Universidad Técnica Federico Santa María en el terreno de Las Salinas, el año 2015. Este análisis es parte del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de saneamiento propuesto por la Inmobiliaria.

El análisis muestra la cantidad de bacterias degradadoras de hidrocarburos (DH) en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco ensayado (UFC/g suelo), tanto para el paño norte como para el paño sur del proyecto.

5.1.7.1 Paño Norte:

Tabla 5.4: Densidad microbiana del paño norte del sitio estudiado, en UFC/g de suelo seco.

Muestra	Humedad (%)	pH	DH (UFC/g suelo)
1	10,57	7,40	9,90 x 10 ⁵
2	5,15	7,10	6,09 x 10 ⁵
3	9,54	4,31	1,48 x 10 ⁴

Muestra	Humedad (%)	pH	DH (UFC/g suelo)
4	10,18	3,76	0,00
5	9,42	5,20	8,49 x 10 ⁵
6	14,43	6,65	1,45 x 10 ⁷
7	7,86	3,09	0,00
8	5,79	4,98	1,00 x 10 ⁶
9	10,85	3,50	0,00
10	11,04	5,08	5,27 x 10 ⁵
11	11,51	7,42	1,01 x 10 ⁶
12	7,36	5,81	5,85 x 10 ⁵
13	10,17	6,58	7,11 x 10 ⁶
14	13,44	7,10	5,03 x 10 ⁶
15	9,19	7,32	0,00
16	5,6	6,35	1,44 x 10 ⁶
17	7,89	6,50	4,32 x 10 ⁵
18	7,51	6,13	5,26 x 10 ⁵
19	2,81	7,02	1,75 x 10 ⁵
20	11,54	8,23	1,29 x 10 ⁶
21	8,12	7,60	1,29 x 10 ⁶
22	1,88	7,26	4,73 x 10 ⁴
23	9,97	7,82	6,96 x 10 ⁵
24	18,15	7,41	5,96 x 10 ⁵
25	17,55	6,91	7,48 x 10 ⁶
26	10,04	7,32	0,00
27	4,45	6,97	4,01 x 10 ⁵
28	5,68	5,40	1,08 x 10 ⁵
29	8,82	5,38	5,50 x 10 ⁵
30	8,12	3,45	0,00
31	8,08	5,66	0,00
32	22,76	6,89	1,34 x 10 ⁸

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Sanearamiento del terreno Las Salinas"

5.1.7.2 Paño sur

Tabla 5.5: Densidad microbiana del paño sur del sitio estudiado, en UFC/g de suelo seco.

Muestra	Humedad (%)	pH	DH (UFC/g suelo)
1	11,79	5,53	1,41 x 10 ⁶
2	8,6	6,43	1,03 x 10 ⁶
3	8,03	3,50	0,00
4	9,87	2,78	3,03 x 10 ⁴
5	6,45	6,27	1,59 x 10 ⁶

Muestra	Humedad (%)	pH	DH (UFC/g suelo)
6	15,77	5,37	1,37 x 10 ⁶
7	9,54	6,43	7,06 x 10 ⁶
8	10,93	5,36	4,50 x 10 ⁵
9	7,42	6,64	3,96 x 10 ⁴
10	5,61	5,33	6,54 x 10 ⁵
11	7,62	6,60	3,35 x 10 ⁵
12	7,98	4,33	1,04 x 10 ⁴
13	9,37	5,96	1,51 x 10 ⁶
14	16,94	6,62	3,00 x 10 ⁵
15	7,84	4,00	9,93 x 10 ⁵
16	15,46	6,31	4,51 x 10 ⁴
17	6,93	6,41	7,69 x 10 ⁵
18	7,74	4,58	1,37 x 10 ⁵
19	10,97	2,99	6,12 x 10 ⁴
20	4,96	2,94	0,00
21	2,57	8,60	6,59 x 10 ⁴
22	3,08	8,35	6,48 x 10 ⁵
23	6,09	8,50	1,32 x 10 ⁵
24	2,59	9,06	4,24 x 10 ⁵
25	2,95	8,47	8,12 x 10 ⁶
26	3,09	8,12	1,59 x 10 ⁶
27	22,76	6,89	1,34 x 10 ⁸

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del terreno Las Salinas"

5.2 MODELO DE PREDICCIÓN MATEMÁTICO

Para implementar el modelo de Monod, contamos con dos datos que se pueden ingresar en este, los cuales son la concentración de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), los que representan la concentración de sustrato en el modelo (S) y la densidad microbiana en varios puntos de muestreo, los cuales fueron promediados y representan la biomasa (X). Para obtener el valor del sustrato en (g/L), se multiplicó la concentración total de hidrocarburos (mg/kg) por el peso específico de los hidrocarburos, que es 0,85 (kg/L).

$$24.780 \frac{mg}{kg} * 0,85 \frac{kg}{L} = 210.630 \frac{mg}{L} * \frac{g}{1000 mg} = 210,63 \frac{g}{L}$$

Para obtener el valor de la biomasa, en primer lugar, obtenemos el promedio de todos los puntos en los que se haya detectado unidades formadoras de colonias, obteniendo 7.250.244 (UFC/g).

Los otros parámetros fueron obtenidos a través de referencias bibliográficas, excepto el intervalo de tiempo que fue escogido de manera aleatoria. Los valores obtenidos fueron los siguientes (Duarte, 1998):

Tabla 5.6: Variables necesarias para aplicar el modelo matemático de Monod.

Parámetros	Valor
Biomasa inicial (X_0)	0,05 g celula/L
Sustrato Inicial (S_0)	210,63 g sustrato/L
Tasa crecimiento máximo (μ_{max})	0,2 h ⁻¹
Concentración de sustrato al alcanzar la mitad de la velocidad específica (K_s)	0,8 g sustrato/L
Consumo de sustrato (m_s)	0,2 (g sustrato/g celula)* h
Rendimiento de sustrato (Y_{xs})	0.5 g celula/g sustrato
Δt	1,4 h

Ya obteniendo estos 7 parámetros y utilizando las ecuaciones mencionadas en la metodología, podemos obtener un modelo que predice el comportamiento de la biomasa (microorganismos degradadores de hidrocarburos) en relación con el sustrato (Concentración de hidrocarburos totales de petróleo), lo cual queda demostrado en la tabla figura 5.11:

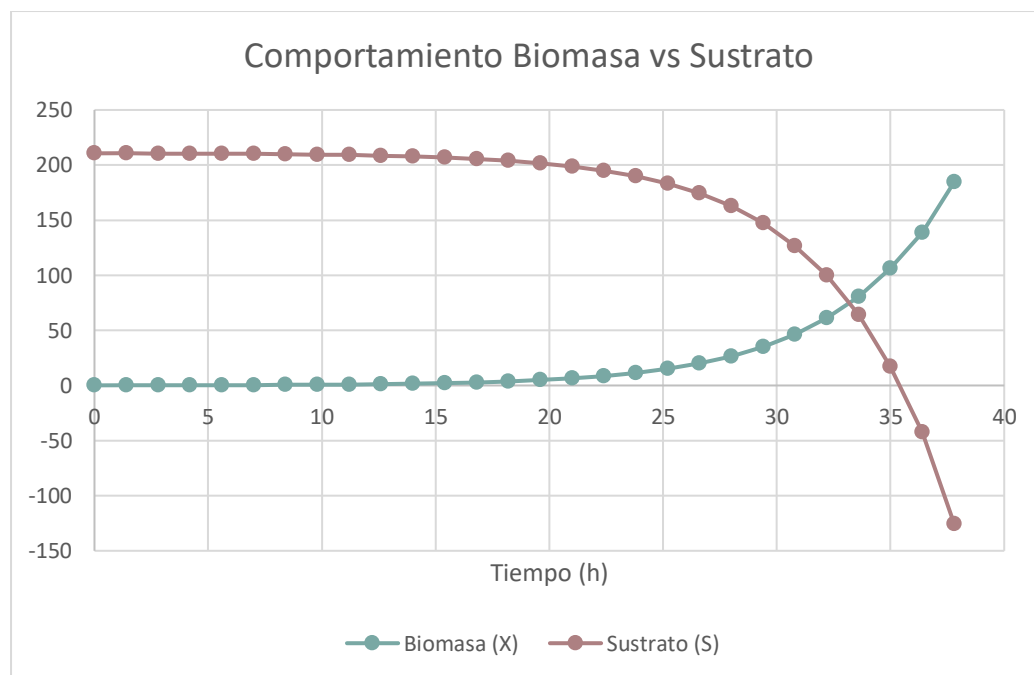


Figura 5.11: Modelo matemático que predice el comportamiento de la biomasa y el sustrato en función del tiempo.

5.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE BIORREMEDIACIÓN *IN SITU*

5.3.1 Elección de tecnologías de biorremediación

La elección de las técnicas de biorremediación adecuadas para el proyecto se realizó a través de dos tablas, una cualitativa (tabla 5.5) y una cuantitativa (tabla 5.6), en las cuales se contrastan las diferentes técnicas *ex situ* e *in situ* planteadas. Para la formulación de las tablas mencionadas, se utilizó la “Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos” publicado el año 2013 por Roland Suarez.

5.3.1.1 Ventajas y desventajas de los métodos.

Tabla 5.7: Ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías de remediación aplicables.

Método		Ventajas	Desventajas
EX SITU	Biopilas	<ul style="list-style-type: none"> Alta efectividad en la remoción de hidrocarburos, cerca del 75% (fuente). Bajo consumo energético. Cortos tiempos de tratamiento en condiciones óptimas, entre 3 y 9 meses (fuente). Permite mayor control con condiciones climáticas adversas. 	<ul style="list-style-type: none"> Excavaciones aumentan el riesgo de liberación de compuestos orgánicos volátiles. Altos costos asociados al movimiento de tierras, control de vapores y lixiviados. Se requiere amplia disponibilidad de espacio para el montaje. Dificultad de biodegradación de hidrocarburos más recalcitrantes.
	Landfarming	<ul style="list-style-type: none"> Posee un sistema sencillo de diseño e implementación. En condiciones óptimas esta tecnología tiene duraciones cortas con promedios entre 6 y 24 meses. Técnica competitiva en cuanto a costos y rendimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere amplia disponibilidad de espacio para el montaje. Requiere control de lixiviados y material particulado generados. Aun no cumple una biorremediación superior al 95% y por debajo de 0.1 ppm.
	Lavado de suelo (soil washing)	<ul style="list-style-type: none"> Además de hidrocarburos, elimina otros contaminantes. Tiempos de operación acotado. Utilizable en cualquier tipo de suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere alto consumo de agua y energía. Generación de residuos lodosos provenientes del lavado que requieren tratamiento. Alto costo de implementación.
IN SITU	Bioventilación	<ul style="list-style-type: none"> No requiere el desplazamiento de grandes cantidades de tierra. Posee un sistema sencillo de diseño e implementación. Escasa generación de residuos. Costos de implementación considerados bajos-medianos. Fácilmente combinable con otras técnicas de biorremediación. 	<ul style="list-style-type: none"> No se obtienen buenos resultados en zonas de baja permeabilidad de suelo. Las bajas temperaturas y bajos porcentajes de humedad ralentizan la biodegradación. Requiere control y monitoreo de vapores generados. Tiempos de operación de mediano a largo plazo.
	Desorción Térmica	<ul style="list-style-type: none"> Acotados tiempos de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> Grandes consumos energía. Costo elevado. Se requiere captación y tratamiento de los vapores generados.

Método	Ventajas	Desventajas
Bioestimulación	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un sistema sencillo de diseño e implementación. • Fácilmente combinable con otras técnicas de biorremediación. • No requiere el desplazamiento de grandes cantidades de tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se obtienen buenos resultados en zonas de baja permeabilidad de suelo. • Las bajas temperaturas y bajos porcentajes de humedad ralentizan la biodegradación. • Tiempos de operación de mediano a largo plazo. • Necesita la presencia de organismos intrínsecos degradadores de hidrocarburos.
Bioaumentación	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere el desplazamiento de grandes cantidades de tierra. • Posee un sistema sencillo de diseño e implementación. • Fácilmente combinable con otras técnicas de biorremediación. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se obtienen buenos resultados en zonas de baja permeabilidad de suelo. • Las bajas temperaturas y bajos porcentajes de humedad ralentizan la biodegradación. • Altas concentraciones de contaminantes pueden intoxicar a organismos introducidos. • Tiempos de operación de variables.
Fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un sistema sencillo de implementación y de bajo costo. • No requiere el desplazamiento de grandes cantidades de tierra. • Los contaminantes son transformados en biomasa vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectividad comprobada a bajas profundidades. • Largos tiempos de operación para conseguir resultados significativos. • Condicionado por las condiciones climáticas.

Fuente: Adaptado de Suarez, 2013

5.3.1.2 Valoración de las tecnologías:

Se ha utilizado la siguiente matriz para valorar las tecnologías de biorremediación, en la cual se evalúa cada técnica de saneamiento con las características más importantes para una óptima biorremediación.

A cada característica se le otorgó un número del 1 al 5, considerando el 1 como el valor óptimo dependiendo de la técnica de biorremediación evaluada y 5 como la valoración menos óptima a la hora de evaluar las técnicas. Los resultados fueron expuestos en la tabla 5.7, en la cual se valoran las tecnologías seleccionadas.

Tabla 5.8: Matriz de valoración de las diferentes tecnologías aplicables.

Características	Ex situ						In situ						Valoración					
	Biopilas		Landfarming		Lavado de suelo		Bioventilación		Desorción térmica		Bioestimulación				Bioaumentación		Fito Remediation	
Tiempo	1	0,1	2	0,2	1	0,1	3	0,3	1	0,1	2	0,2	3	0,3	5	0,5	0,1	10%
Tipo de terreno	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	3	0,3	2	0,2	0,1	10%
Costo	5	1	3	0,6	5	1	2	0,4	5	1	3	0,6	3	0,6	1	0,2	0,2	20%
Residuos	4	0,4	5	0,5	5	0,5	1	0,1	5	0,5	1	0,1	2	0,2	1	0,1	0,1	10%
Impacto Entorno	4	0,2	3	0,15	5	0,25	1	0,05	5	0,25	1	0,05	2	0,1	1	0,05	0,05	5%
Maquinaria	5	0,2	3	0,12	4	0,16	2	0,08	4	0,16	2	0,08	2	0,08	1	0,04	0,04	4%
Complejidad	4	0,16	4	0,16	3	0,12	1	0,04	4	0,16	1	0,04	1	0,04	1	0,04	0,04	4%
Uso Energía	4	0,28	2	0,14	5	0,35	1	0,07	5	0,35	1	0,07	1	0,07	1	0,07	0,07	7%
Humedad	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	2	0,2	0,1	10%
Temperatura	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	2	0,2	0,1	10%
Nutrientes	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	2	0,1	0,05	5%
pH	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	2	0,1	0,05	5%
Valoración Final	2,74		2,15		2,88		1,44		2,92		1,54		1,99		1,80			

Fuente: Suarez, 2013

Los valores de las tecnologías más cercanos a 1 son los que obtuvieron mejores resultados con respecto a todas las características identificadas, es por esto por lo que se escoge la bioventilación junto con la bioestimulación para desarrollar esta propuesta alternativa de biorremediación

5.3.2 Ubicación de las perforaciones:

Las zonas que requieren remediación son las que sobrepasan los SSCL (*Site Specific Clean Up Levels*), los cuales corresponden a la concentración por debajo de la cual el nivel de riesgo para la salud humana es aceptable y fueron establecidos por la empresa Las Salinas en su estudio de Impacto Ambiental. Los SSCL corresponden a la concentración por debajo de la cual el nivel de riesgo para la salud humana es inminente y los más significativos se ven representados en la siguiente figura 5.12, donde se aprecia el mapa del sitio con los puntos de excedencia de contaminantes.



Figura 5.12: Puntos donde se implementará las perforaciones (Fuente: Estudio de Impacto Ambiental "Saneamiento del terreno Las Salinas").

En total se identificaron 14 sitios en que las mediciones superan los SSCL establecidos por el titular del proyecto, por lo que es necesario la realización de 14 perforaciones las cuales tendrán una profundidad variable, ya que se recomienda que los pozos no sobrepasen la napa freática del sitio.

5.3.3 Diseño del sistema de Bioventilación:

El diseño del sistema de bioventilación en el terreno de Las Salinas se basa en los resultados obtenidos de la caracterización del sitio recién mencionado. En términos generales el diseño de esta tecnología de biorremediación consta de pozos de ventilación reforzados por tuberías, los cuales alimentan el suelo de soluciones acuosas ricas en oxígeno, las cuales minimizan la volatilización de contaminantes y optimiza la biodegradación de estos a través de bacterias autóctonas.

5.3.3.1 Pozos de ventilación:

Los pozos o perforaciones de ventilación se realizarán en los puntos donde la presencia de hidrocarburos totales del petróleo sobrepasa la norma de referencia establecida, tal como se especifica en el apartado anterior. En tanto, la construcción de los pozos y del sistema de ventilación sigue los siguientes criterios generales y puede visualizarse en la figura 5.13:

- Los pozos de ventilación se ubicarán lo más cercano posible al lugar donde se concentran las mayores concentraciones de contaminantes.
- El diámetro de las perforaciones puede variar entre 2 y 4 pulgadas. Se utilizan diámetros mayores cuando se trabaja en suelos poco permeables, generalmente constituidos por arcillas o limos. En el caso de estudio, se han establecido **pozos de 2 pulgadas**, ya que el suelo del sitio presenta buenas características de permeabilidad al estar constituido por arenas.
- El material para construir los pozos de ventilación es el **cloruro de polivinilo (PVC)**. Estos tubos serán modificados con ranuras de 0,04 pulgadas, para minimizar la pérdida de presión a través de la malla y maximizar el flujo de aire a través del suelo.
- Todas las conexiones deben ser herméticas. Si se usa tubería roscada, debe sellarse con cinta Teflon® o de PVC también está permitido.
- El método de perforación recomendado para pozos de ventilación es a través del sistema de **barrena de vástago hueco**. Siempre que sea posible, el diámetro del espacio anular será al menos dos veces mayor que el diámetro exterior del pozo de ventilación, rellenando el espacio restante con el mismo material que fue extraído previamente.

- La profundidad de los pozos depende de cuan profunda esté la napa freática del sitio, ya que estos deben quedar 0,6 metros por encima de esta, según recomendaciones.

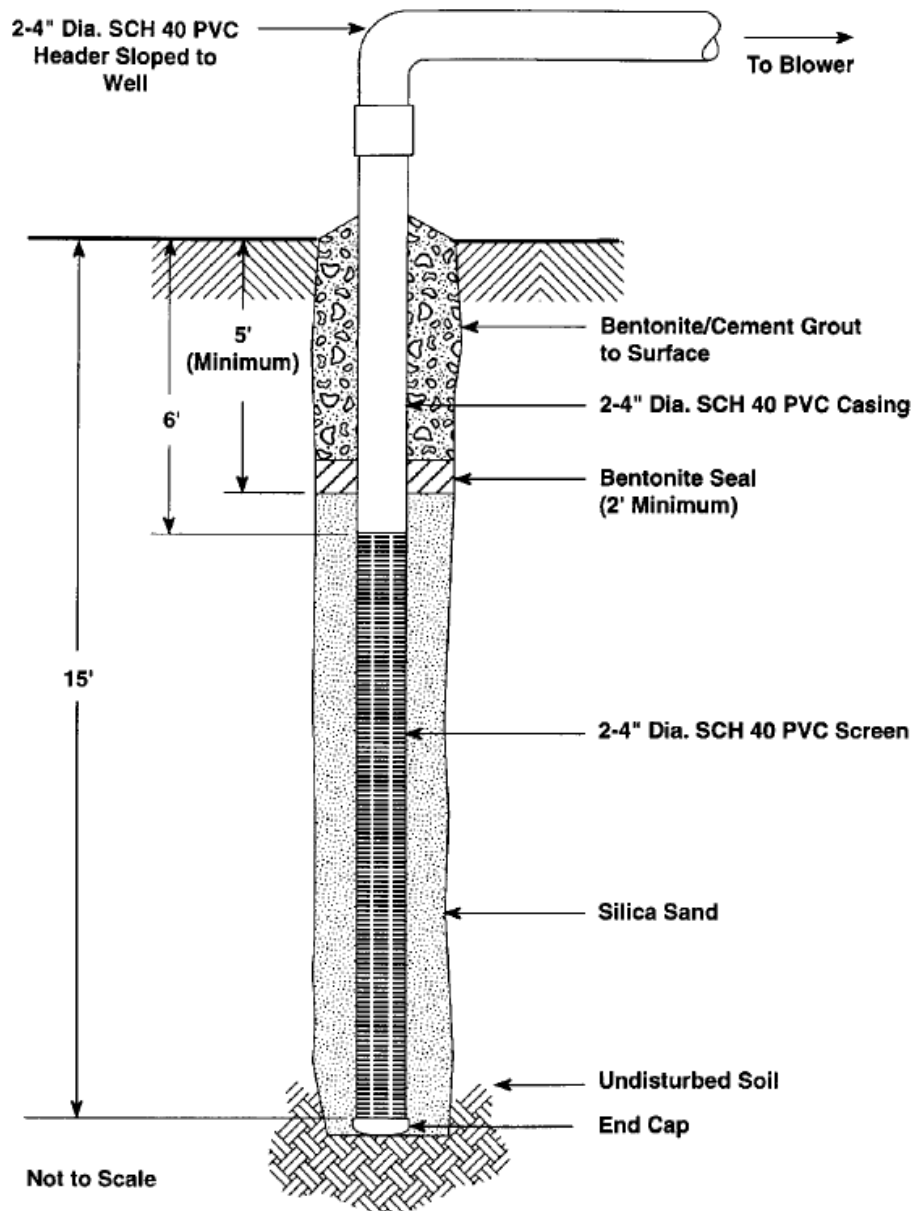


Figura 5.13: Modelo de pozo de perforación (Fuente: EPA, 1995).

5.3.3.2 Puntos de monitoreo de gas del suelo:

Se utilizan para medir la presión y el gas del suelo, para así tener un diagnóstico general sobre cómo están funcionando los equipos interconectados del sistema de bioventeo. En la medida de lo posible, los puntos de monitoreo deben estar ubicados en suelos contaminados con más de 1,000 mg/kg de hidrocarburos de petróleo totales, ya que en el caso de que los

puntos de monitoreo no estén ubicados en suelo contaminado, no se pueden recolectar datos significativos de respiración *in situ*.

- Respecto a la ubicación de los puntos de monitoreo, se recomienda un mínimo de 3 puntos de control por sistema de ventilación, idealmente estos serán en línea recta y siguiendo las recomendaciones entregadas en la tabla 5.8:

Tabla 5.9: Recomendaciones para la instalación de puntos de monitoreo.

Tipo de suelo	Profundidad máxima de Suelo contaminado (pies)	Intervalos de espaciado (pies desde el pozo de ventilación)
arena gruesa	5	5-15-30
	15(1)	20-10-50
	>15	20-40-80
Arena Media	5	5-15-30
	15(1)	20-10-40
	>15	20-40-80
Arena fina	5	5-15-30
	15(1)	20-10-40
	>15	20-40-80
Cálido	5	5-15-30
	15(1)	10-20-30
	>15	10-30-50
Arcillas	5	5-10-25
	15(1)	10-20-30
	>15	20-10-40

Fuente: Air Force Center for Environmental Excellence, 2014

- Los puntos de monitoreo deben colocarse en 3 profundidades diferentes, dependiendo de la profundidad de la contaminación evaluada. Se recomienda no sobrepasar el nivel freático del suelo, instalando los puntos a no menos de 2 pies (0,61 m) de la capa freática.
- Los materiales para implementar estos puntos de monitoreo son tubos rígidos de pvc de diámetro pequeño, se recomiendan de ¼ de pulgada de diámetro (0,64 cm).
- Se utilizan bombas de muestreo eléctricas se utilizan tanto para purgar como para recolectar muestras de MP permanentes y sondas de gas del suelo. Las bombas deben ser de paletas rotativas sin aceite o bombas de diafragma capaces de entregar aproximadamente 1 pie cúbico por minuto (cfm) de aire a un vacío máximo de 270 pulgadas de agua. Las bombas tienen filtros sin aceite para eliminar partículas de la corriente de aire.

5.3.3.3 Sistema de inyección de aire:

Los sistemas implementados son sopladores de aire, los cuales están encargados de suministrar el flujo necesario de oxígeno a los pozos de ventilación. Para la elección de este sistema se consideraron factores tales como la granulometría y permeabilidad del suelo, cantidad de suelo contaminado y factores relativos a la energía disponible. El sistema tiene las siguientes especificaciones:

- El equipo utilizado es un soplador regenerativo a prueba de explosiones, el cual puede proporcionar caudales entre 40 y 100 m³/h. Su motor tiene una potencia de 1 HP, además su fuente de alimentación debe ser monofásica de 230 V. Este equipo se puede ver representado en la figura 5.14:

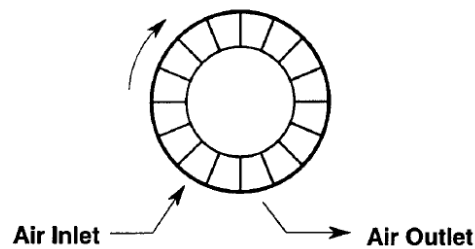


Figura 5.14: Modelo de soplador de aire regenerativo (Fuente: Epa, 1995).

- Se recomiendan filtros de aire de entrada para evitar que las partículas dañen el soplador.
- La recopilación de información de presión y flujo es fundamental para el diseño de Bioventilación a gran escala. Un manómetro de vacío está ubicado entre el filtro de aire y el soplador para garantizar que el filtro no impida el flujo de aire al soplador. Un indicador de temperatura está ubicado inmediatamente aguas abajo del soplador para medir las temperaturas de salida que normalmente aumentan de 50° a 100° F a través del soplador.
- Debido al aumento de temperatura, se recomienda tubería de acero en el lado de salida del soplador. Las tuberías de PVC se derretirán, especialmente cuando se requieran presiones de inyección más altas.
- Una válvula de control de flujo manual está ubicada inmediatamente aguas abajo del soplador para permitir que se libere el flujo innecesario antes de que el aire ingrese al pozo. Tenga en cuenta que esta válvula siempre se coloca en una T fuera de la tubería de flujo principal. Una válvula de alivio de presión automática está ubicada en una T aguas abajo del soplador.

5.3.3.4 Esquema general del proceso:

En la siguiente figura 5.15 se muestra el esquema general del proceso.

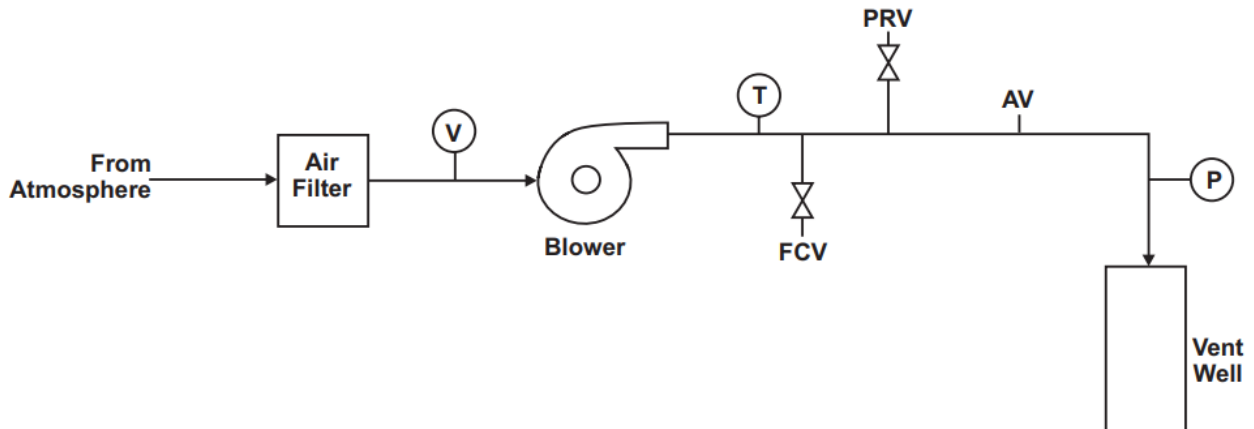


Figura 5.15: Esquema del proceso de bioventilación, incluyendo sopladores, filtros y equipos de monitoreo.
(Fuente: Air Force Center for Environmental Excellence, 1996)

5.3.4 **Diseño del sistema de bioestimulación:**

El diseño del sistema de bioestimulación para el sitio en el terreno “Las Salinas” se hizo en base a los requerimientos del tipo de suelo del lugar, considerando otros parámetros tales como el clima, temperatura, pH y nutrientes. En términos generales el sistema de bioestimulación consta de pozos ventilación reforzados por tuberías, los cuales alimentan el suelo de soluciones acuosas ricas en oxígeno y otros nutrientes, ya que estos funcionan como aceptores de electrones para los microorganismos nativos y se optimiza la biodegradación.

5.3.4.1 Pozos de inyección:

En este caso, se utilizarán las mismas perforaciones ocupadas para la tecnología del bioventeo, ya que son aptas para que en ellas sea implementada la bioestimulación. Por otro lado, los equipos de inyección son diferentes a la otra técnica implementada, por lo que se deben considerar uniones desmontables entre pozos de perforación y el resto de los equipos.

5.3.4.2 Sistema de inyección de nutrientes:

Los sistemas necesarios son una bomba de inyección que suministre a los pozos las soluciones acuosas ricas en nutrientes, además de una motobomba que retire el agua del proceso, además de tanques de mezcla para realizar las diluciones que se deben introducir. Estos equipos cumplen con las siguientes especificaciones:

- Para la bomba de inyección se recomienda una bomba dosificadora Bradel 20, ya que se pueden llegar a ocupar flujos cercanos a los 7.000 l/h y cuenta con una presión operativa máxima de 8 bar.
- Los tanques de mezcla deben ser de 1 m³ al menos.
- Se deben considerar equipos tales como manómetros de presión, válvulas de control del flujo, mangueras y accesorios para cabezas de pozo.

5.3.4.3 Reactivo para utilizar:

El reactivo seleccionado como compuesto liberador de oxígeno para la implementación de esta tecnología de biorremediación es el peróxido de calcio (CaO₂). Este reactivo de nombre comercial PermeOx Ultra® se encuentra disponible en el mercado chileno y también en el extranjero. Su formato es en tambores de 50 kg y en caso de accidentes está catalogado como un peligro agudo para la salud, además de ser comburente y corrosivo, tal como lo muestra su hoja de seguridad adjuntada en el **ANEXO 3**.

5.3.4.4 Puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo físicos son compartidos con el sistema de bioventeo, pero se monitorean diferentes parámetros tales como profundidad de la napa freática, temperatura, pH, conductividad, presión y condiciones ambientales.

Post inyección de nutrientes, la frecuencia de monitoreo será de 2 veces por semana, pasando a 1 vez cada 15 días cuando no haya inyecciones de nutrientes recientes.

5.4 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

5.4.1 **Análisis de costos bioventilación:**

Los costos se determinaron evaluando los factores de incidencia en el sistema de biorremediación planteado. Estos factores fueron evaluados a través de la caracterización del sitio, en el cual se definió que el terreno del proyecto “Las Salinas” está constituido por arenas heterogéneas y requiere una excavación de 46000 m³.

Estos parámetros fueron evaluados según los criterios de la tabla 4.6, presentada en la metodología considerando el terreno como un escenario de fácil aplicación de la tecnología de Bioventeo ya que sus propiedades granulométricas son similares a las descritas en la tabla (mezcla de arena y limo).

Respecto al tamaño del sitio, las especificaciones dicen que si el sitio presenta un volumen de suelo a tratar superior a 64 m^3 debe considerarse como un sitio grande, por lo que, en el caso de este estudio, el terreno será considerado como tal ya que presenta un volumen muy superior estas características.

Según estas características y considerando la tabla de criterios presentada en la metodología, se puede definir como un sitio grande de fácil implementación de la tecnología, por lo que su costo por m^3 es de US\$79 (EPA, 2000).

Considerando que el total de volumen a tratar de suelo es de 46.000 m^3 en los dos paños del terreno, el costo total en términos generales asciende a US \$3.634.000.

5.4.2 Análisis de costos bioestimulación:

El costo de implementación de esta tecnología oscila entre los 100 y los 30 US \$/ m^3 (Fundación Chile, 2012). Se debe considerar que se produce un ahorro en la aplicación de este sistema ya que utiliza tanto los pozos de inyección como los de monitoreo de la técnica de bioventilación, por lo que se considera que el valor de esta técnica equivale a 30 US \$/ m^3 .

Se considera la misma cantidad de tierra tratada que en la tecnología anterior, alcanzando un volumen de 46.000 m^3 , por lo que el costo de instalación y operación de esta tecnología se estimó en US \$1.380.000.

6. DISCUSIONES

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La caracterización de la zona de estudio se realizó utilizando datos mayoritariamente proporcionados por el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “Saneamiento del terreno de Las Salinas y por el Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA) en su Estación de Monitoreo de Viña del mar.

El fin de la obtención de estos datos es contrastarlos con el rango de parámetros ideales obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas, los cuales definen rangos óptimos de temperatura, pH, humedad, relación de nutrientes y densidad microbiana, para que cualquier tipo de biorremediación bacteriana. Estos parámetros tanto físicos y químicos se ven representados en la tabla 6.1:

Tabla 6.1: Parámetros ideales para la biorremediación microbiana.

Parámetro	Rango	Referencia
Temperatura (°C)	Entre 18°C y 30°C	Gómez, S., et al., 2008
pH	Cercano al pH neutro (7)	Ríos, R., 2005
Humedad	Entre 20% y 75%	Gómez, S., et al., 2008
Nutrientes (relación C: N: P)	De 100:10:2 hasta 100:2:0,4	Gómez, S., et al., 2008
Densidad microbiana (UFC/g suelo)	Entre 10 ⁶ y 10 ⁸	Ríos, R., 2005

Fuente: (Gómez, 2008 y Ríos, 2005)

Para el caso de la caracterización climatológica se consideraron los valores obtenidos durante un año calendario completo, utilizándose el año 2021 para una mayor representatividad de los datos al tratarse del último con información completa. Por otro lado, la Estación de Monitoreo de Viña del mar se encuentra a escasos 2,5 km del sitio de estudio, por lo que se puede decir que los datos obtenidos son totalmente representativos para determinar sus características climatológicas principales.

La temperatura promedio durante el año 2021 fue de 14,7°C, la cual no se encuentra en el rango óptimo de temperaturas para la biorremediación (entre 18°C y 30°C), pero al ser un valor cercano a este rango, no cuenta como una limitante para la implementación del sistema de biorremediación planteado, ya que se han documentado otros procesos de biodegradación de hidrocarburos a temperaturas extremas, cercanas a los 10°C en los suelos subárticos y subalpinos (Gómez, S., et al., 2008).

Por otro lado, la caracterización química del sitio fue realizada por la empresa propietaria del terreno durante su Plan de Muestreo 2016 muestra una cantidad de 291 excedencias del contaminante hidrocarburos totales de petróleo (TPH) de un total de 609 muestras tomadas. La normativa escogida como parámetro de este estudio fue la ley italiana “Decreto Legislativo N°152/2006” la cual regula las concentraciones máximas permisibles de ciertos contaminantes en los suelos de las zonas residenciales. Esta normativa establece un valor máximo permisible de 10 mg/kg para los hidrocarburos totales de petróleo en rango Diesel y de 50 mg/kg para el rango de gasolina, valores que fueron superados ampliamente en algunos puntos de muestreo, alcanzando concentraciones máximas de 8000 mg/kg y 23980 mg/kg respectivamente.

La caracterización química del suelo rectifica la necesidad de realizar una remediación en el sitio estudiado, mientras que la caracterización física y climatológica nos entregan la factibilidad para que esta remediación sea a través de bacterias y mecanismos *in situ*.

6.2 PREDICCIÓN DE RESULTADOS A TRAVÉS DE MODELO MATEMÁTICO

En términos generales el modelo matemático de Monod cumple con el objetivo de predecir el comportamiento tanto de los microorganismos nativos (biomasa) como de la concentración de HTP (Sustrato), pero el modelo posee muchas inconsistencias al tratarse de un modelo muy simple que prácticamente solo considera el sustrato como variable. Por otra parte, no considera la producción de metabolitos en el medio de cultivo, tales como etanol, ácido cítrico o ácido láctico. Tampoco son considerados parámetros ambientales como temperatura, salinidad, pH, humedad, lo que hace al modelo perder representatividad, frente a otros que si consideran estos factores.

También hubo problemas con la evaluación del parámetro biomasa, ya que en el estudio realizado las colonias bacterianas se encontraban en unidades formadoras de colonias por gramo de suelo seco (UFC/g), por lo que no se pudo ingresar este dato al modelo con estas dimensiones, ya que se necesitaba en unidades de gramos de células por litro (g célula/L).

A pesar de esto, las curvas obtenidas siguen la lógica de la relación existente entre la biomasa y el sustrato, partiendo el sustrato con una alta biodisponibilidad, pero a medida que los microorganismos aumentan su número, este se va agotando hasta acabarse.

6.3 SISTEMA DE BIORREMEDIACIÓN *IN SITU*

En primer lugar, el sistema de biorremediación fue escogido a través de un análisis cualitativo, en el cual se obtuvo las características de cada tecnología aplicable a través de la búsqueda de referencias bibliográficas, las que fueron comparadas en una tabla de ventajas y desventajas, dando un panorama preliminar de las tecnologías más idóneas para esta propuesta de

biorremediación. Complementario a esto, se hizo una valoración cuantitativa de las tecnologías propuestas a través de una matriz, la cual evalúa el tiempo de implementación, el costo, los residuos generados, el impacto con el entorno, la maquinaria, la complejidad, la humedad, temperatura y nutrientes de estas tecnologías, otorgando valores que van del 1 al 5.

Las tecnologías de remediación que obtuvieron mejor evaluación y por lo tanto se seleccionaron para ser implementadas fueron el bioventeo y la bioestimulación *in situ*, las cuales a pesar de tener desventajas respecto a las tecnologías *ex situ* en los tiempos de implementación y mejora, tienen muchas ventajas en el acotado costo de aplicación, la escasa generación de residuos, el mínimo impacto con el entorno producido y la poca complejidad del proceso.

Las principales limitantes de la aplicación de estas tecnologías *in situ*, como ya se había mencionado es el tiempo de aplicación que tiene, ya que tarda unos meses más en obtener los mismos resultados con respecto a una tecnología *ex situ*. Por otra parte, en ambas tecnologías al aplicarse en pozos de inyección, no se puede controlar las variables climáticas con tanta exactitud, corriendo el riesgo sufrir bajas tasas de biodegradación a causa de la baja temperatura o la poca humedad del suelo.

En el caso de la bioestimulación, diversos autores han reportado una baja significativa en la concentración de hidrocarburos totales de petróleo utilizando este método, alcanzando la remoción del 40 % de los contaminantes en un periodo de 80 días, lo cual queda constatado en un estudio realizado por Trejos el año 2017, en el cual se utilizó la adición de nutrientes y Twin80, un emulsionante que disuelve grasas (Trejos, 2017).

En el caso del estudio realizado por Rivera et al en 2018, la técnica de bioestimulación logró la remoción del 92,7% de TPH utilizando la aplicación de agentes surfactantes y estimulantes en base a carbono y fosforo, los cuales cumplen la misma función que el peróxido de calcio, químico escogido para este estudio, por lo que se pueden esperar resultados similares (Rivera et al, 2018).

El bioventeo presenta experiencias favorables en las que se ha alcanzado un rendimiento cercano al 93% respecto a la biodegradación de contaminantes, como es el caso práctico ocurrido en la base de la fuerza aérea Ogden de Utah, Estados Unidos, lugar en el cual hubo un derrame cercano a los 102 m³ de fuel desde un avión, alcanzando concentraciones de 10.200 mg/kg de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), reduciéndose esta cifra, una vez finalizado el tratamiento de suelo hasta 6 mg/kg, luego de haber extraído unos 95.700 kg del contaminante.

6.4 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

En el caso de la tecnología de bioventeo implementada para la atenuación de hidrocarburos del suelo en el terreno Las Salinas, se utilizó una metodología extraída de la Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) para determinar los costos totales de la puesta en marcha de esta técnica. La metodología mencionada cuantifica el valor económico de cada una de las diferentes etapas del proceso, incluyendo el costo de equipos y procesos.

Los resultados son entregados en valores de dólares por metro cúbico remediado (US \$/m³), existiendo cuatro escenarios posibles, los que dependen principalmente del tamaño del sitio y de la complejidad de la instalación de la tecnología de remediación. La elección de los escenarios depende únicamente de las características de los suelos tratados, ya que se considera un sitio grande cuando el volumen de suelo contaminado sobrepasa los 64 m³, en tanto se considera una tecnología de fácil implementación cuando la textura del suelo está compuesta principalmente por arenas, en cambio, se define como un sitio con difícil aplicación de la tecnología cuando los suelos tienen poca permeabilidad, generalmente compuestos en gran porcentaje por arcillas.

Esta metodología fue escogida por la fuente de confianza de la cual proviene (gobierno de los Estados Unidos), además de coincidir en la mayoría de las especificaciones técnicas propuestas en esta tecnología, ya que para el valor monetario final se considera el volumen contaminado, el tipo y método de perforación, material de construcción de pozo, número de pozos de extracción, el caudal de aire utilizado, entre otros.

Por otra parte, en el caso de la técnica de bioestimulación, la Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) no entregaba mayores detalles acerca de los costos de la implementación, ya que no existe tanta información respecto a esta tecnología por los diferentes matices que esta puede tener en su aplicación dependiendo del lugar que se quiera tratar, lo que provoca que no hay un lineamiento general bien definido sobre su aplicación.

7. CONCLUSIONES

La caracterización del suelo realizado en este estudio nos entrega información suficiente para determinar que el terreno "Las Salinas" cumple con las condiciones básicas descritas por distintos autores para albergar una biorremediación bacteriana, tanto *ex situ* como *in situ*.

Esto se debe a múltiples factores y características del sitio favorables para la realización de estos procesos. Entre los factores más importantes se encuentra la granulometría del terreno, ya que, al tratarse de suelos arenosos homogéneos, muy poco arcillosos, presentan una gran aireación de terreno, lo que permite la distribución de nutrientes de manera rápida y efectiva.

Otro factor por considerar es que la densidad microbiana del sector se encuentra entre los valores ideales para la aplicación de estas técnicas, siendo los hidrocarburos de rango medio (DRO, GRO) los contaminantes más abundantes a tratar, los cuales son biodegradables por microorganismos.

El sistema planteado también es viable desde un punto de vista climático, ya que el sitio de estudio presenta una temperatura promedio anual superior a los 10°C, la cual permite la actividad microbiana de las colonias nativas que se pretende estimular.

En tanto el resto de los parámetros importantes para la correcta ejecución del tratamiento de remediación, tales como la concentración de nutrientes, la humedad y el pH son controlados por lo ejecutantes del proyecto, por lo que no se considera una limitación para la implementación del sistema.

Estos antecedentes demuestran que la técnica de Bioventeo mezclada con la Bioestimulación son idóneas para funcionar como complemento a la técnica de saneamiento planteada por los dueños del sitio, la cual es biorremediación en biopilas. La aplicación de esta combinación de técnicas permite no solo mantener controlados posibles afloramientos de contaminantes hidrocarbonados en el futuro, sino que al tratarse de una técnica *in situ*, muy poco invasiva, puede ser aplicada simultáneamente con otros trabajos que se realizan en el lugar de estudio.

Respecto al análisis económico, se determinó que el costo de implementación de las tecnologías propuestas es considerablemente menor, ya que solo se ocuparía cerca de un 10% del presupuesto en comparación al sistema de biorremediación propuesto por la Inmobiliaria, el cual consiste en biopilas con disposición *ex situ*. Estas condiciones económicas favorables son el mejor aliciente para la implementación de este sistema complementario para atenuar hidrocarburos luego del proyecto de saneamiento con biopilas.

Esta diferencia de costos entre las dos tecnologías se debe básicamente a que la remediación *ex situ* requiere grandes movimientos de tierra, lo que implica uso de maquinaria pesada durante gran parte del proyecto para realizar las excavaciones pertinentes. En cambio la tecnología *in situ* postulada se realizaría a través de perforaciones, por lo que se reduce considerablemente el gasto al no implementar maquinaria pesada en su aplicación. Por otra parte, las técnicas *in situ* pueden realizarse en paralelo a otras obras o proyectos destinados para el sitio de estudio, lo que le da a esta técnica una plusvalía económica que no puede ser cuantificada en el análisis.

8. BIBLIOGRAFÍA

Air Force Center for Environmental Excellence (2004). Procedures for Conducting Bioventing Pilot Tests and Long-Term Monitoring of Bioventing Systems. Brooks Air Force Base

Air Force Center for Environmental Excellence (1996). Bioventing: Performance and Cost Results From Multiple Air Force Test Sites. Systems. Brooks Air Force Base

Andreoni, V; Gianfreda, L. (2007) Bioremediation and monitoring of aromatic-polluted hábitats. Appl Microbiol Biotechnol. Pp 287–308

BBC News. (2015). ¿Cómo llegó el petróleo a conquistar el mundo? [En línea]. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/04/150331_iwonder_historia_petroleo_finde_dy>. Consultado el 15 de mayo de 2022.

Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). Clima y vegetación de Chile. [En línea] Disponible en: <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/clima.htm>>. Consultado el 1 de diciembre de 2022.

Campillay, C. (2006). Determinación de hidrocarburos totales de petróleo en choritos *Mytilus chilensis* de la bahía de corral y sitios aledaños. Tesis de grado para optar al título de Biólogo Marino. Valdivia, Chile: Escuela de Biología Marina, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. Pp. 16

Castillo, P.(2009). Aplicación de la técnica de landfarming para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Piura, Perú: Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura. Pp.43-45

Circulo de Innovación en Tecnología Medioambiental y Energía CITME. (2007). Técnicas de Recuperación de Suelos Contaminados. Universidad de Alcalá, España. [En línea]. Pp.29-55. Recuperado en < <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001700.pdf>> Consultado el 28 de mayo de 2022.

Cambarieri, L., Pucci, G.N., Acuña, A.J. (2021). Optimización de un proceso de bioestimulación en un suelo de Río Gallegos, Argentina, para su utilización en biorremediación de hidrocarburos. Ecosistemas.

Diaz, J. (2019). Biorremediación de suelos contaminados por petróleo. Trabajo para optar al Título de Técnico Universitario en Control en Medio Ambiente. Viña del Mar, Chile: Universidad técnica Federico Santa María. Pp.45.

División de Estudios y Planificación, Ministerio de Obras Publicas (2014) Informe técnico; Inventario de Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas de Chile

Favaro, O. (2001) Estado, política y petróleo. La historia política neuquina y el rol del petróleo en el modelo de provincia, 1958-1990 [en línea]. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Recuperado de <<http://www.fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.131/ te.131.pdf>>. Consultado el 16 de mayo de 2022.

Flores, M; Torras, S; Téllez, R. (2004). Medidas de mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre. Instituto Mexicano del Transporte.

Fundación Chile (FCH). 2012. Guía Metodología para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes. Corporación de Fomentos de la Producción (CORFO) y Ministerio del Medio Ambiente, Chile. [En línea] Disponible en: <http://suelosustentable.cl/wp-content/themes/suelo_sustentable_01_2015/pdf/SPPC-Guia-Metodologica-para-la-gestion-de-suelos-con-potencial-presencia-de-contaminantes.pdf> . Consultado el 2 de junio de 2022.

Gaeneth, I; Galindo, L; Mantilla, D; Mondaca, D; Orjuela, E; Romano, K; Rincón, J. (2021) Técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con fines de uso en el municipio de Tibú, norte de Santander. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

*Hernández, I; Navas, G; Infante, C. (2016). Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo extrapesado con *megathyrsus maximus*. Postgrado de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.*

Hidalgo, C; Pastor, T; Serantes, P. (2016). Propuesta de remediación de suelo contaminado con hidrocarburos, empresa logística y transporte mc2 spa, placilla, región de Valparaíso. Trabajo final para optar al grado de magíster en gestión ambiental. Viña del Mar: Escuela de Ingeniería, Universidad de Viña del Mar.

Leubert, F; Pliscoff, P. (2012). Variabilidad climática y bioclimas de la Región de Valparaíso, Chile. Investigación Geográfica Chile.

Madrid, D; Neira, G; Ovando, J. (2017). Análisis de la factibilidad técnica y económica del uso de líquido iónico para la limpieza de fosas contaminadas con hidrocarburos ubicadas en tierra del fuego. Proyecto para optar al título de ingeniero civil químico. Valparaíso, Chile: Escuela de Ingeniería Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Medina, R. (2017). Remediación de un suelo crónicamente contaminado con Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos. Tesis para optar al grado de Doctor. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias Exactas, Dpto. de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de La Plata. Pp 21.

Ministerio de Salud MINSAL, (2004). Decreto 148 Aprueba Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos. Diario Oficial.

Ñustez, D. (2012). Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible. Proyecto de Grado para optar al título de Magíster en Ecotecnología. Pereira: Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Pp.24-28.

Ponce, D. (2014) Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos. [En línea]. Proyecto de título para optar al título de Ingeniero Civil. Concepción: Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-bío. Pp. 7-9. Recuperado en: <<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/135/3/Ponce%20Contreras%2c%20Daniela.pdf>>. Consultado el 10 de junio de 2022.

Ritoré, F. (2021) Desarrollo de Tecnologías de Recuperación de Subsuelos Contaminados por Hidrocarburos Derivados del Petróleo. Tesis doctoral en ingeniería Energética, Química y Ambiental. Sevilla: Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad de Sevilla. Pp. 143-145.

Rivera Ortiz, P; Rivera Lárraga, J; Andrade, E; Heyer, L; De la Garza, F; Castro B. (2018) Bioestimulación Y Biorremediación De Recortes De Perforación Contaminados Con Hidrocarburos. Revista internacional de contaminación ambiental.

Suarez, R. (2013) Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Especialización en Gerencia Ambiental. Bogotá, Colombia: Instituto de Postgrados de Ingeniería, Universidad Libre.

Trejos, M. (2017) Evaluación de un proceso de biorremediación aplicado a un suelo contaminado con petróleo crudo. Universidad Nacional de Colombia: Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

U.S Environmental Protection Agency (EPA). (1995). Soil Vapor Extraction (SVE) Enhancement Technology Resource Guide. Technology Innovation Office.

U.S Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Remediation Technology Cost Compendium. Technology Innovation Office.

U.S Environmental Protection Agency (EPA). (1995). Bioventing Principles and Practices Volume I: Bioventing Principles. Technology Innovation Office.

Viñas, M. (2005) Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y eco toxicológica. Universitat de Barcelona: Facultat de Biologia - Departament de Microbiologia.

9. ANEXOS:

ANEXO 1: Norma Italiana encargada de regular los límites máximos permisibles de diferentes concentraciones de contaminantes en diferentes sitios.



Planilla de Traducción
Anexo 5 del Decreto Legislativo N° 152/2006 Norma en materia ambiental de Italia

ANEXO 5
Concentración límite de contaminación en el suelo (superficial y profundo) y en el agua subterránea en relación al destino específico de uso de los sitios

Tabla 1: Concentración límite de contaminación en el suelo (superficial y profundo) en relación al destino específico de uso de los sitios en remediación

	A	B
	Sitio para uso residencial y área verde pública y privada (mg kg-1 expresados como suelo seco)	Sitio para uso comercial e industrial (mg kg-1 expresados como suelo seco)
Compuestos inorgánicos		
1 Antimonio	10	30
2 Arsénico	20	50
3 Berilio	2	10
4 Cadmio	2	15
5 Cobalto	20	250
6 Cromo total	150	800
7 Cromo VI	2	15
8 Mercurio	1	5
9 Níquel	120	500
10 Plomo	100	1000
11 Cobre	120	600
12 Selenio	3	15
13 Estaño	1	350
14 Talio	1	10
15 Vanadio	90	250
16 Zinc	150	1500
17 Cianuros (libres)	1	100
18 Fluoruros	100	2000
Aromáticos		
19 Benceno	0.1	2
20 Etilbenceno	0.5	50
21 Estireno	0.5	50
22 Tolueno	0.5	50
23 Xileno	0.5	50
24 Sumatoria orgánicos aromáticos (de 20 a 23)	1	100
Aromáticos policíclicos(1)		
25 Benzo(a)antraceno	0.5	10
26 Benzo(a)pireno	0.1	10
27 Benzo(b)fluoranteno	0.5	10
28 Benzo(k)fluoranteno	0.5	10

AMBASCIATA D'ITALIA SANTIAGO

Si dichiara che la presente non eseguita da questo Ufficio, è conforme al documento originale redatto in lingua italiana qui accluso.

Santiago, 20 NOV 2018

AMBASCIATA D'ITALIA SANTIAGO

NUM. REGISTRO: 8139

23.000
25.476.050
35.500.000

p. Il Capo Della Cancelleria Consolare
FLORIA ORSINI ROCCATAGLIATA
IL Delegato al Servizio





29	Benzo(g,h,i,)perileno	0.1	10
30	Criseno	5	50
31	Dibenzo(a,e)pireno	0.1	10
32	Dibenzo(a,l)pireno	0.1	10
33	Dibenzo(a,i)pireno	0.1	10
34	Dibenzo(a,h)pireno	0.1	10
35	Dibenzo(a,h)antraceno	0.1	10
36	Indenopireno	0.1	5
37	Pireno	5	50
38	Sumatoria policíclicos aromáticos (de 25 a 34)	10	100
	Alifáticos clorados cancerígenos(1)		
39	Clorometano	0.1	5
40	Diclorometano	0.1	5
41	Triclorometano	0.1	5
42	Cloruro de Vinilo	0.01	0.1
43	1,2-Dicloroetano	0.2	5
44	1,1 Dicloroetileno	0.1	1
45	Tricloroetileno	1	10
46	Tetracloroetileno (PCE)	0.5	20
	Alifáticos clorados no cancerígenos(1)		
47	1,1-Dicloroetano	0.5	30
48	1,2-Dicloroetileno	0.3	15
49	1,1,1-Tricloroetano	0.5	50
50	1,2-Dicloropropano	0.3	5
51	1,1,2-Tricloroetano	0.5	15
52	1,2,3-Tricloropropano	1	10
53	1,1,2,2-Tetracloroetano	0.5	10
	Alifáticos halogenados Cancerígenos(1)		
54	Tribromometano(bromofórmio)	0.5	10
55	1,2-Dibromoetano	0.01	0.1
56	Dibromoclorometano	0.5	10
57	Bromodiclorometano	0.5	10
	Nitrobencenos		
58	Nitrobenceno	0.5	30
59	1,2-Dinitrobenceno	0.1	25
60	1,3-Dinitrobenceno	0.1	25
61	Cloronitrobencenos	0.1	10
	Clorobencenos(1)		
62	Monoclorobencenos	0.5	50
63	Diclorobencenos non cancerígenos (1,2-diclorobenceno)	1	50
64	Diclorobencenos cancerígenos (1,4-diclorobenceno)	0.1	10
65	1,2,4-triclorobenceno	1	50
66	1,2,4,5-tetracloro-benceno	1	25
67	Pentaclorobenceno	0.1	50

68	Esaclorobenceno	0.05	5
69	Fenoles non clorados(1)		
70	Metilfenol(o-, m-, p-)	0.1	25
71	Fenol	1	60
	Fenoles clorados(1)		
72	2-clorofenol	0.5	25
73	2,4-diclorofenol	0.5	50
74	2,4,6-triclorofenol	0.01	5
75	Pentaclorofenol	0.01	5
	Aminas aromáticas(1)		
76	Anilina	0.05	5
77	o-Anisidina	0.1	10
78	m,p-Anisidina	0.1	10
79	Difenilamina	0.1	10
80	p-Toluidina	0.1	5
81	Sumatoria Aminas Aromáticas (de 73 a 77)	0.5	25
	Fitofarmacos		
82	Alaclor	0.01	1
83	Aldrín	0.01	0.1
84	Atrazina	0.01	1
85	α-hexaclorohehexano	0.01	0.1
86	β-hexaclorohehexano	0.01	0.5
87	γ-hexaclorohehexano (Lindano)	0.01	0.5
88	Clordano	0.01	0.1
89	DDD, DDT, DDE	0.01	0.1
90	Dieldrín	0.01	0.1
91	Endrín	0.01	2
	Dioxina y furanos		
92	Sumatoria PCDD, PCDF (conversión T.E.)	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴
93	PCB	0.06	5
	Hidrocarburos		
94	Hidrocarburos Livianos C inferior o igual a 12	10	250
95	Hidrocarburos pesados C superior a 12	50	750
	Otras sustancias		
96	Asbesto	1000 (*)	1000 (*)
97	Ésteres de ácido ftálico (cada uno)	10	60

(1) En la Tabla se han seleccionado, por cada categoría química, algunas sustancias frecuentemente detectadas en los sitios contaminados. Para las sustancias no indicadas explícitamente en la Tabla los valores de concentración límite aceptables son determinados adoptando los valores indicados para la sustancia toxicológicamente más afín.

(*) Corresponde al límite de detección de la técnica analítica (difracción de radios X o I.R.- Transformada de Fourier)



Tabla 2. Concentración límite de contaminación en las aguas subterráneas

N° ord	SUSTANCIAS	Valores límites (µg/l)
METALES		
1	Aluminio	200
2	Antimonio	5
3	Plata	10
4	Arsénico	10
5	Berilio	4
6	Cadmio	5
7	Cobalto	50
8	Cromo total	50
9	Cromo (VI)	5
10	Hierro	200
11	Mercurio	1
12	Níquel	20
13	Plomo	10
14	Cobre	1000
15	Selenio	10
16	Manganeso	50
17	Talio	2
18	Zinc	3000
CONTAMINANTES INORGANICOS		
19	Boro	1000
20	Cianuros libres	50
21	Fluoruros	1500
22	Nitritos	500
23	Sulfatos (mg/L)	250
COMPUESTOS ORGANICOS AROMATICOS		
24	Benceno	1
25	Etilbenceno	50
26	Estireno	25
27	Tolueno	15
28	para-Xileno	10
POLICICLOS AROMATICOS		
29	Benzo(a)antracenos	0.1
30	Benzo(a)pirenos	0.01
31	Benzo(b)fluorantenos	0.1
32	Benzo(k,)fluorantenos	0.05
33	Benzo(g, h, i)perileno	0.01
34	Criseno	5
35	Dibenzo(a, h)antraceno	0.01
36	Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0.1
37	Pireno	50
38	Sumatoria (31, 32, 33, 36)	0.1

ALIFATICOS CLORADOS CANCERÍGENOS		
39	Clorometano	1.5
40	Triclorometano	0.15
41	Cloruro de Vinilo	0.5
42	1,2-Dicloroetano	3
43	1,1 Dicloroetileno	0.05
44	Tricloroetileno	1.5
45	Tetracloroetileno	1.1
46	Esaclorobutadieno	0.15
47	Sumatoria organohalogenados	10
ALIFATICOS CLORADOS NO CANCERÍGENOS		
48	1,1 - Dicloroetano	810
49	1,2-Dicloroetilene	60
50	1,2-Dicloropropano	0.15
51	1,1,2-Tricloroetano	0.2
52	1,2,3-Tricloropropano	0.001
53	1,1,2,2,- etracloroetano	0.05
ALIFATICOS HALOGENADOS CANCERÍGENOS		
54	Tribromometano	0.3
55	1,2-Dibromoetano	0.001
56	Dibromoclorometano	0.13
57	Bromodiclorometano	0.17
NITROBENCENOS		
58	Nitrobenceno	3.5
59	1,2-Dinitrobenceno	15
60	1,3-Dinitrobenceno	3.7
61	Cloronitrobencenos (cada uno)	0.5
CLOBENCENOS		
62	Monoclorobenceno	40
63	1,2 Diclorobenceno	270
64	1,4 Diclorobenceno	0.5
65	1,2,4 Triclorobenceno	190
66	1,2,4,5 Tetraclorobenceno	1.8
67	Pentaclorobenceno	5
68	Esaclorobenceno	0.01
FENOLES Y CLOROFENOLES		
69	2-clorofenol	180
70	2,4 Diclorofenol	110
71	2,4,6 Triclorofenol	5
72	Pentaclorofenol	0.5
AMINAS AROMATICAS		
73	Anilina	10
74	Difenilamina	910
75	p-toluidina	0.35



FITOFARMACOS		
76	Alaclor	0.1
77	Aldrín	0.03
78	Atrazina	0.3
79	alfa-hexaclorohexano	0.1
80	beta-hexaclorohexano	0.1
81	Gamma-hexaclorohexano (lindano)	0.1
82	Clordano	0.1
83	DDD, DDT, DDE	0.1
84	Dieldrín	0.03
85	Endrín	0.1
86	Sumatoria fitofármacos	0.5
DIOXINA Y FURANOS		
87	Sumatoria PCDD, PCDF (conversión TEF)	4 x 10 ⁻⁶
OTRAS SUSTANCIAS		
88	PCB	0.01
89	Acilamida	0.1
90	Hidrocarburos totales (expresados como n-esano)	350
91	Ácido para - ftálico	37000
92	Asbesto (fibras A de largo > 10 mm) (*)	Pendiente

(*) No se encuentran en la literatura datos disponibles, con excepción del valor de 7 millones de fibras/l comunicado por el ISS (Istituto Superiore di Sanità - Instituto Superior de Sanidad de Italia), pero evaluado por ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Agencia Nacional para la Protección del Ambiente de Italia) y por el mismo ISS como demasiado elevado. Para la definición del límite se propone una comparación con ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente - Agencia Regional para la Protección del Ambiente de Italia) y Regiones.

KATY FERRANTE
TRABAJADORA

ANEXO 2: Tabla completa de costos de implementación de la tecnología bioventing.

SOIL TECHNOLOGY: Bioventing				
RACER PARAMETERS	Scenario A	Scenario B	Scenario C	Scenario D
	Small Site		Large Site	
	Easy	Difficult	Easy	Difficult
Type of Installation	Vertical Well	Vertical Well	Vertical Well	Vertical Well
Soil Type	Sand-Silt/Sand-Clay Mixture	Silt/Silty-Clay mixture	Sand-Silt/Sand-Clay Mixture	Silt/Silty-Clay mixture
Safety Level	D	D	D	D
Surface Area of Contamination (SF)	450	450	9,000	9,000
Depth to Base of Contamination (ft)	5	5	5	5
Contaminated Volume (Cubic Feet)	2,250	2,250	45,000	45,000
Contaminated Volume (Cubic Yards)	83	83	1,667	1,667
Drilling				
Avg. Well Depth (ft)	5	5	5	5
Formation type	Unconsolidated	Unconsolidated	Unconsolidated	Unconsolidated
Safety Level	D	D	D	D
Well Diameter (in)	2	2	2	2
Drilling Method	Hollow Stem	Hollow Stem	Hollow Stem	Hollow Stem
Well Construction Material	PVC Schedule 40	PVC Schedule 40	PVC Schedule 40	PVC Schedule 40
Avg. # of soil samples per well	1	1	1	1
Contaminant of interest	SVOCs	SVOCs	SVOCs	SVOCs
Extraction Well Spacing (ft)	35	22	35	22
# of Vapor Extraction Wells	1	2	10	24
Avg. Vapor Flow Rate per well (CFM)	3.0	1.5	3.0	1.5
Total Vapor Flow Rate (CFM)	3.0	3.0	30.0	36.0
Bioventing Marked-up Costs	\$16,547	\$18,919	\$41,044	\$76,171
Additional Costs:				
O&M	\$40,237	\$40,237	\$53,954	\$53,954
Years of O&M	2.0	2.0	5.0	5.0
Remedial Design	\$2,317	\$2,649	\$5,336	\$9,141
TOTAL MARKED-UP COSTS	\$59,101	\$61,805	\$100,334	\$139,266
COST PER CUBIC FOOT	\$26	\$27	\$2	\$3
COST PER CUBIC METER	\$928	\$970	\$79	\$109
COST PER CUBIC YARD	\$709	\$742	\$60	\$84

ANEXO 3: Hoja de seguridad del químico peróxido de calcio.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD
PermeOxÒ Ultra

FDS n° : 1305-79-9-2
Fecha de revisión: 2015-04-21
Format: Na
Versión 1



1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA EMPRESA

Identificador del producto

Nombre del producto PermeOxÒ Ultra

Otros medios de identificación

No. CAS 1305-79-9
Sinónimos Peróxido de calcio

Uso recomendado de la sustancia y restricciones de uso

Uso recomendado: Aplicaciones ambientales
Restricciones de uso Usar según lo recomendado en la etiqueta.

Fabricante

PeroxyChem LLC
2005 Market Street
Suite 3200
Filadelfia, PA 19103
Teléfono: +1 1 267/ 422-2400 (para información general)
Correo electrónico: sdsinfo@peroxychem.com

Teléfono de emergencia

Para fuegos, incendios, derrame o accidentes de emergencia, llame al:
1+ 800.424.9300 (CHEMTREC - U.S.A.)
1+ 703.527.3887 (CHEMTREC - Llamada por cobrar - Otros Países)
1 303/ 389-1409 (información médica –EE.UU. – llamada de cobro revertido)

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación

Categoría de peligro de OSHA

Este material se considera peligroso según la Directriz de Comunicación de Peligros de OSHA (29 CFR 1910.1200).

Lesiones oculares graves/irritación ocular	Categoría 1
Toxicidad específica en determinados órganos (exposición única)	Categoría 3
Sólidos comburentes	Categoría 2

Elementos de etiquetado según SGA, incluyendo los consejos de prudencia

Información general de emergencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H318 - Provoca lesiones oculares graves.
 H335 - Puede irritar las vías respiratorias.
 H272 - Puede agravar un incendio; contenidos en un lugar bien ventilado



Evitar respirar vapores.

P271 - Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado
 P210 - Mantener alejado del calor

almacenar alejado de la ropa/materiales combustibles
 y las precauciones necesarias para no mezclar con materiales

Reacción - Respuesta

38 - EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando

aclarando

P310 - Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico

P304 + P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración

P312 - Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico/...si la persona se encuentra mal

P370 + P378 - En caso de incendio: Utilizar agua pulverizada para la extinción

Consejos de prudencia - Prevención

P
2
8
0
-
U
t
i
l
i
z
a
r
p
r
o
t
e
c
t
i
ó
n
p

Consejos de prudencia - Almacenamiento

P403 - Almacenar en un lugar bien ventilado

Consejos de prudencia - Eliminación

P501 - Eliminar el contenido/el recipiente en una planta de tratamiento de residuos aprobada

Peligros no clasificados en otra parte (Peligros n.e.p.)

No se identificaron peligros n.e.p.

Otra información

No hay información disponible
 Reacciona con la humedad para liberar oxígeno

Toxicidad aguda desconocida

0% de la mezcla se compone de ingrediente (s) de toxicidad desconocida

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre de la sustancia	No. CAS
Peroxide de calcio	1305-79-9
Hidróxido de calcio	1305-62-0

Los sinónimos se indican en la sección 1.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos

Lavar a fondo con abundante agua durante al menos 15 minutos, mientras se levantan los párpados inferior y superior. Consulte a un médico.

a
r
a
l
a
c
a
r
a
y
l
o
s
o
j
o
s
P
2
6
1
-

Contacto con la piel	Lave con agua y jabón. Si se presenta irritación y persiste, consultar a un médico.
Inhalación	Salga al aire libre. Si respira con dificultad, administrar oxígeno. Si no respira, aplicar respiración artificial. Si se producen molestias o dificultades respiratorias y persisten, obtener asistencia médica.
Ingestión	Enjuagar la boca con agua y después beber abundante agua o leche. No induzca el vómito ni administre nada por la boca a una persona inconsciente. Llame inmediatamente a un centro de información toxicológica o a un médico para mayor orientación sobre el tratamiento. No administrar nada por la boca a una persona inconsciente.
Principales síntomas y efectos, agudos y retardados	Su contacto con los ojos puede producir lesiones corneales y daños irreversibles.
Indicación de la atención médica inmediata y tratamiento especial necesario, si se necesita	Aplicar un tratamiento sintomático

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios adecuados de extinción	Inundar con agua.
Medios de extinción inapropiados	Polvo químico seco. Espuma.
Peligros específicos del producto químico	Se descompone bajo condiciones de fuego y libera oxígeno que lo intensifica (ese fuego).
<u>Propiedades explosivas</u>	
Sensibilidad a impactos mecánicos	No es sensible.
Sensibilidad a descargas estáticas	No es sensible.
Equipo de protección y precauciones para bomberos	Como en cualquier incendio, utilizar un equipo de respiración autónomo con demanda de presión, MSHA/NIOSH (aprobado o equivalente) y ropa de protección total. Trasladar los recipientes fuera del área de incendio si puede hacerse sin riesgos.

6. MEDIDAS EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Precauciones individuales	Evite el contacto con la piel y los ojos. Evitar la formación de polvo. Garantizar una ventilación adecuada. Para protección personal ver sección 8.
Otros	Para mayores instrucciones de limpieza llamar a la línea directa de emergencia de PeroxyChem que se enumera en la Sección "Identificación del Producto y de la Compañía" más arriba.
Precauciones ambientales	Evitar que el material tome contacto con el suelo, zanjas, alcantarillas, cursos de agua o aguas subterráneas. Consulte la Sección 12, Información ecológica, para obtener información más detallada.
Métodos de contención	Aspire o tire los desechos a un tambor con una pala y etiquete el contenido su eliminación. No devolver el producto al envase/tanque original debido al riesgo de descomposición. Mantener los materiales combustibles (madera, papel, aceite, etc.) alejados del vertido de producto.
Métodos de limpieza	Después de limpiar, eliminar los remanentes con agua. No descargar el material en forma de polvo al sistema de alcantarillado; Los flujos superficiales de líquido al sistema de alcantarillado pueden causar incendios o riesgos de explosión.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	Evítese el contacto con los ojos y la piel. Garantizar una ventilación adecuada. En caso de
---------------------	---

Almacenamiento

Mantener el recipiente cerrado herméticamente.

Productos incompatibles

. Metales pesados. Materiales combustibles.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Mantener en un recipiente bien cerrado en un lugar seco y fresco. Manténgase separado

Parámetros de control

Límites de exposición

Nombre de la sustancia	ACGIH TLV	OSHA PEL	NIOSH
Hidróxido de calcio 1305-62-0	TWA: 5 mg/m ³	TWA: 15 mg/m ³ TWA: 5 mg/m ³	TWA: 5 m
Nombre de la sustancia	Columbia Británica	Quebec	Valor de exp promedio po en el tiempo, (TWAE)
Hidróxido de calcio 1305-62-0	TWA: 5 mg/m ³	TWA: 5 mg/m ³	TWA: 5 m

Controles técnicos apropiados

Disposiciones de ingeniería

Garantizar una ventilación adecuada.

Medidas de protección individual, tales como equipos de protección personal

Protección de los ojos/ cara

Utilice gafas de seguridad o careta para agentes químicos durante la exposición al polvo,

salpicaduras, neblina o rociado.

Protección del cuerpo y de la piel

Utilice el equipo de protección adecuado. Botas o zapatos de protección de caucho.

Utilice el equipo de protección adecuado. Botas o

Protección de las manos

Guantes resistentes a productos químicos de goma/látex/neopreno u otro material

Guantes resistentes a productos químicos de

apropiado. Lave la parte externa de los guantes con jabón y agua antes de su reutilización. Inspeccione regularmente si hay fugas. Tenga en cuenta las instrucciones con respecto a la permeabilidad y el tiempo de adelanto que son provistos por el proveedor de los guantes. También tener en cuenta las condiciones locales específicas bajo las cuales el producto es utilizado, como el peligro de cortes, de abrasión y el tiempo de contacto.

apropiado. Lave la parte externa de los guantes con jabón y agua antes de su reutilización. Inspeccione regularmente si hay fugas. Tenga en cuenta las instrucciones con respecto a la permeabilidad y el tiempo de adelanto que son provistos por el proveedor de los guantes. También tener en cuenta las condiciones locales específicas bajo las cuales el producto es utilizado, como el peligro de cortes, de abrasión y el tiempo de contacto.

Protección respiratoria

Utilizar una mascarilla con filtro durante la exposición a polvo, salpicaduras, neblina o

Utilizar una mascarilla con filtro durante la exposición a polvo, salpicaduras, neblina o rociado.

Medidas de higiene

Se debe de contar con agua limpia, una estación de lavado de emergencia y una ducha de

Se debe de contar con agua limpia, una estación de

seguridad para lavar los ojos y la piel en caso de contaminación. Manipular de acuerdo con las buenas prácticas de higiene y seguridad industrial.

seguridad para lavar los ojos y la piel en caso de contaminación. Manipular de acuerdo con las buenas prácticas de higiene y seguridad industrial.

Información general

Recomienda que contacte a los proveedores

En caso de utilizar el producto en mezclas, se

de equipos de protección apropiados. Estas

recomendaciones aplican para producto tal y como se suministra.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto

Gránulos

congelación	
Punto / intervalo de ebullición	No hay información disponible No aplica
Punto de inflamación	No inflamable
Índice de evaporación	No hay información disponible
Inflamabilidad (sólido, gas)	La sustancia no arde, pero cede a la combustión
Límite de inflamabilidad en el aire	No aplica
Límite superior de inflamabilidad:	No hay información disponible
Límite inferior de inflamabilidad:	No hay información disponible
Presión de vapor	No hay información disponible
Densidad de vapor	No hay información disponible
Densidad	2.92 g/cm ³
Gravedad específica	2.92
Solubilidad en agua	ligeramente soluble
Solubilidad en otros solventes	No hay información disponible
Coefficiente de reparto	No hay información disponible
Temperatura de autoignición	Producto no es auto-inflamable No hay información disponible
Temperatura de descomposición	275 °C
Viscosidad, cinemática	No hay información disponible No hay información disponible (sólido)
Viscosidad, dinámica	No hay información disponible
Propiedades explosivas	No hay información disponible
Propiedades de oxidación	Oxidante fuerte
Peso molecular	72.8 (CaO ₂)
Densidad aparente	45 lb/pi (suelto)

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad	Oxidante. El contacto con otro material puede causar fuego Oxidante fuerte.
Estabilidad química	Estable en las condiciones recomendadas de almacenamiento. La descomposición puede ocurrir por exposición al calor o la humedad.
Posibilidad de reacciones peligrosas	Material oxidable que puede inflamarse durante la molienda y hacerse explosivo.
Riesgo de polimerización	No existe riesgo de polimerización.
Condiciones que deben evitarse	Calor (se descompone a 275 °C). Aire húmedo. Moler junto con sustancias orgánicas.
Materiales incompatibles	Metales pesados. Materiales combustibles.
Productos de descomposición peligrosos	Oxígeno que mantiene la combustión. Óxidos de calcio.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información del producto

Toxicidad aguda desconocida	0% de la mezcla se compone de ingrediente (s) de toxicidad desconocida
DL50 Oral	> 5 g/kg (rata)
DL50 Dermal	> 10 g/kg (rata)
CL50, inhalación	> 17 mg/l 1 hr (rata)
Lesiones oculares graves/irritación ocular	Corrosivo. Riesgo de lesiones oculares graves.
Corrosión o irritación cutáneas	(conejo). Puede causar irritación cutánea en personas sensibles.
Sensibilización	No hay información disponible.
No irritante	

Efectos retardados e inmediatos, así como efectos crónicos producidos por una exposición a corto y largo plazo

Toxicidad crónica	No se conocen efectos.
Carcinogenicidad	No hay sustancias conocidas como carcinogénicas en este producto.
Mutagenicidad	Los organismos de investigación no reconocen este producto como mutagénico.
Toxicidad reproductiva	Los organismos de investigación no reconocen este producto como tóxico para la reproducción.
STOT - exposición única	Puede irritar las vías respiratorias.
STOT - exposición repetida	No hay información disponible.
Peligro de aspiración	No hay información disponible.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad

Efectos ecotoxicológicos El impacto ambiental de este producto no se ha estudiado completamente

Nombre de la sustancia	Toxicidad en algas	Toxicidad para peces	Toxicidad para los microorganismos	Toxicidad para Daphnia y otros invertebrados acuáticos
Hidróxido de calcio		96 h LC50: = 160 mg/L (Gambusia affinis) static		

Persistencia y degradabilidad	Biodegradabilidad no corresponde a las sustancias inorgánicas.
Bioacumulación	No se bioacumula.
Movilidad	No hay información disponible.
Otros efectos adversos	Desconocidos.

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

Métodos de eliminación de los desechos	Este material, tal como se suministra, es un residuo peligroso de acuerdo con las regulaciones federales (40 CFR 261). Desechar de acuerdo con las regulaciones locales.
Número de residuo EPA	D001
Envases contaminados	Eliminar el producto residual. Los recipientes vacíos deben trasladarse a una planta autorizada para el tratamiento de residuos para su reciclaje o eliminación.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

DOT

Número ONU	1457
Designación oficial de transporte	Mezcla de peróxido de calcio

Grupo de embalaje	II
<u>TDG</u>	
Número ONU	1457
Designación oficial de transporte	Mezcla de peróxido de calcio
Clase de peligro	5.1
Grupo de embalaje	II
<u>ICAO/IATA</u>	
	El transporte de comburentes en avión están prohibido.
<u>IMDG/IMO</u>	
Número ONU	1457
Designación oficial de transporte	Mezcla de peróxido de calcio
Clase de peligro	5.1
Grupo de embalaje	II
<u>ADR/RID</u>	
Número ONU	UN 1457
Designación oficial de transporte	1479 - Sólido comburente, n.e.p
Clase de peligro	5.1
Grupo de embalaje	II
	sustancias químicas sujetas a los requisitos de notificación de la Ley y del Título 40 del Código de Regulaciones Federales, Parte 372

**OTRA
INFORMACIÓN**

**C
a
t
e
g
o
r
ía**

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Este material se envasa en baldes plásticos 25, y 30 lb y en tambores de fibra de 100 lb.

**d
e
p
e
l
i
g
r
o
d
e
S
A
R
A
3
1
1
/3
12**

Regulaciones federales de los EE.UU

Peligro agudo para la salud	Sí
Peligro crónico para la salud	No
Peligro de incendio	Sí
Peligro de liberación repentina de presión	No
Peligro de reactividad	No

SARA 313
Sección 313 del Título III de la Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo de 1986 (SARA). Este producto no contiene

Ley del Agua Limpia

Este producto no contiene ninguna sustancia regulada como contaminante de acuerdo con la Ley de Agua Limpia (40 CFR 122.21 y 40 CFR 122.42)

CERCLA

Este material, tal como se suministra, no contiene sustancias reguladas como peligrosas por la Ley de Responsabilidad, Compensación y Recuperación Ambiental (CERCLA) (40 CFR 302) ni la Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo (SARA) (40 CFR 355). Es posible que existan requisitos de informe específicos a nivel local, regional o estatal relacionados con la liberación de este material

Inventarios Internacionales

			sustancias químicas comercializadas (EINECS), Lista europea de sustancias químicas notificadas (ELINCS)			existentes y nuevas de Corea (KECL)			químicas de Nueva Zelanda, (NZIOC)
Peroxide de calcio 1305-79-9 (>75)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hidróxido de calcio 1305-62-0 (<25)	X	X	X	X	X	X	X	X	X

México - grado

Riesgo moderado, grado 2

Canadá

Categoría de peligro WHMIS

C - Materiales comburentes
E - Material corrosivo



16. OTRA INFORMACIÓN

NFPA	Peligros para la salud humana 2	Inflamabilidad 0	Reactividad 1	Riesgos especiales OX
HMIS	Peligros para la salud humana 2	Inflamabilidad 0	riesgo físico 1	Precauciones especiales J

NFPA / HMIS leyenda

Riesgos especiales: OX = oxidante
Protección=J (Gafas de seguridad, guantes, delantal, respirador combinado para polvo y vapores)

Fecha de revisión:

2015-04-21

Nota de revisión

Liberación inicial

Exención de Garantías

PeroxyChem considera que la información y recomendaciones presentadas aquí (incluyendo los datos y los enunciados) son exactos en la fecha actual. NO SE OFRECEN GARANTÍAS SOBRE LA IDONEIDAD PARA CUALQUIER PROPÓSITO PARTICULAR, NI GARANTÍA DE COMERCIALIZACIÓN O CUALQUIER OTRA, EXPRESA O IMPLÍCITA, RELATIVA A LA INFORMACIÓN BRINDADA AQUÍ. La información proporcionada aquí está relacionada solamente con el producto específico mencionado y puede no ser aplicable cuando se utilice ese producto en combinación con cualquier otro material o en algún proceso. Adicionalmente, debido a que las condiciones y métodos de uso están fuera del control de PeroxyChem, rechazamos expresamente toda responsabilidad legal en relación con los resultados que se obtengan o que se deriven de los usos del producto o dependan de esta información.

Preparado Por

PeroxyChem

PERMEOX - Trademark of Peroxychem
© 2015 PeroxyChem. Todos los derechos reservados.

Fin de la Hoja de Datos de Seguridad