

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Especialización En Ingeniería Ambiental

Título:

"Análisis de Alternativas de Actuación Ambiental en un sitio con afectación de Hidrocarburos en el partido de General Alvear, Buenos Aires"

Autor: Sebastián Matías Juárez

Buenos Aires – marzo-2021



Escuela de Educación de Posgrado – UTN – Facultad Regional de Buenos Aires.

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Especialización En Ingeniería Ambiental

"Análisis de Alternativas de Actuación Ambiental en un sitio con afectación de Hidrocarburos en el partido de General Alvear, Buenos Aires"



Directora de la Carrera: Dra, Gabriela Lakkis

Alumno: Sebastián Matías Juárez

C.A.B.A, 2021

CONTENIDO

1. Descripción del problema.	8
1.1. Problemática Ambiental	8
1.2. Actividad del sitio de interés	8
1.3. Compuestos de Interés analizados	11
1.4. Formulación del problema	12
2. Hipótesis	12
3. Objetivos	12
3.1. Objetivo general	12
3.2. Objetivos Específicos	13
4. Descripción del entrono	13
5. Estado del arte	14
5.1. Contaminantes BTEX	14
5.2. Actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos	15
5.3. Descripción tecnológica de diversas soluciones	15
5.3.1. Tecnologías in situ	16
5.3.2. Tratamientos ex situ	18
5.3.3. Otros tratamientos	20
6. Descripción del marco legal	21
6.1. Constitución Política de la Provincia de Buenos Aires	21
6.2. Ley N° 11.723. Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.	21
6.3. Ley N° 14343. Regula la identificación de los Pasivos Ambientales.	22
6.4. Ley 24.051. Residuos peligrosos – Generación, manipulación, transporte y tratamiento – Normas.	22
6.5. Decreto 831/93. Residuos peligrosos – Generación, manipulación, transporte y tratamiento – Reglamentación de la Ley 24.051.	23
6.6. Resolución N° 95/14.	23
7. Metodología	24
7.2. Caracterización Ambiental	25
7.3. Criterios para la selección de la tecnología a usarse	26
7.4. Valoración para la selección de la tecnología a usarse	26
8. Resultados	28
8.1. Plan de muestreo	28
8.2. Descripción del entorno	33
8.3. Criterios de tecnología a utilizarse	34
8.4. Valoración de las tecnologías aplicarse (severo)	35
9. Selección y aplicación de la mejor alternativa de tecnológica para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos	36
9.1. Diseño de la solución propuesta	40

9.2.	Aplicación de la solución propuesta	45
9.3.	Costos relativos a la solución	48
10.	Descripción de la gestión ambiental de la solución propuesta	48
10.1.	Gestión de la solución	48
10.2.	Afectación de la salud poblacional debido a la solución	51
	Conclusiones	52
	Bibliografía.....	53
	Anexos.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la contaminación en suelo y agua.	10
Tabla 2. Coordenadas geográficas WGS84 21S del antiguo emplazamiento de GAX S.A.	13
Tabla 3. Caracterización del riesgo de los BTEX.....	14
Tabla 4. Escenarios propuestos para la actuación ambiental	26
Tabla 5. Tratamientos disponibles para actuación ambiental en suelos contaminadas con hidrocarburos.....	26
Tabla 6. Ponderación de criterios para la toma de decisiones.	28
Tabla 7. Concentración de contaminante (severo) presente en el área de estudio y comparativa del cumplimiento resolución N°95/14.....	29
Tabla 8. Profundidad de muestreo en cada punto seleccionado.....	30
Tabla 9. Parámetros analizados.....	32
Tabla 10. Servicios básicos con los que cuenta el partido de General Alvear.	33
Tabla 11. Insumos, equipos y materiales y residuos que se utilizaban en las antiguas operaciones de la antigua estación de servicio GAX S.A.	34
Tabla 12. Matriz multicriterio de tecnologías in situ y otras tecnologías.....	34
Tabla 13. Matriz multicriterio de tecnologías ex situ.	35
Tabla 14. Valoración de alternativas.....	35
Tabla 15. Ponderación para cada alternativa.	35
Tabla 16. Matriz multicriterio para selección de la tecnología adecuada.	36
Tabla 17. Ponderación para la alternativa elegida.....	39
Tabla 18. Pruebas de biodegradabilidad normalizadas de la OCDE y su correspondencia con pruebas ISO, US-EPA y ECB.....	41
Tabla 19. Condiciones experimentales de las pruebas inmediatas de la OCDE.	42
Tabla 20. Condiciones experimentales de pruebas de biodegradabilidad intrínseca de la OCDE.	43
Tabla 21. Diferencia porcentual de la concentración de BTEX en <i>Enterobacter sp.</i> , <i>Serratia foticola</i> y <i>Pseudomonas fragi</i>	44
Tabla 22. Caracterización física y química de los suelos sujetos a actuación ambiental.....	45
Tabla 23. Resultados trimestrales de la solución propuesta aplicada.....	47
Tabla 24. Concentración final de contaminantes.	48
Tabla 25. Costo del proyecto del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.	48

Tabla 26. Instituciones de apoyo frente a una contingencia.....	49
Tabla 27. Análisis de riesgos en la etapa de construcción.	50
Tabla 28. Parámetros sujetos análisis en el plan de monitoreo ambiental.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Layout actividades contaminantes en una estación de servicio.....	9
Ilustración 2. Porcentaje de distribución de estaciones de servicio por marcas.....	10
Ilustración 3. Tipos de hidrocarburos encontrados en combustibles.	11
Ilustración 4. Química de los hidrocarburos.....	12
Ilustración 5. Fotografía de la ubicación del predio GAX S.A.	13
Ilustración 6. Tecnologías para la actuación ambiental de suelo	16
Ilustración 7. Localización de puntos de muestreo en el área de excavación irregular.....	30
Ilustración 8. Muestreo en suelo	31
Ilustración 9. Muestreo de aguas subterráneas	32
Ilustración 10. Mapa escala 1:5000 radio 500m antiguo predio GAX S.A.....	33
Ilustración 11. Alternativa 1 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	36
Ilustración 12. Alternativa 2 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	37
Ilustración 13. Alternativa 3 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	37
Ilustración 14. Alternativa 4 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	37
Ilustración 15. Alternativa 5 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	38
Ilustración 16. Alternativa 6 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	38
Ilustración 17. Alternativa leve para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	38
Ilustración 18. Alternativa moderado para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.....	39
Ilustración 19. Flowsheet de implementación de la solución propuesta.	40
Ilustración 20. Pruebas de degradabilidad.....	41
Ilustración 21. Proceso de biodegradación de hidrocarburos etapa °1.	43
Ilustración 22. Proceso de biodegradación de hidrocarburos etapa °2.	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Anexo I, II y III Resolución 95/14 OPDS 55

Anexo 2. Tabla 9, Anexo II, Decreto N°893/93. 59

Anexo 3. Remediadores registrados en la OPDS 61

Anexo 4. Costo promedio de tecnologías de remediación. 63

1. Descripción del problema.

1.1. Problemática Ambiental

Las estaciones de servicio de expendio de combustible que entraron en operación a inicios de los años 80 en la Argentina, como regla general carecían de infraestructura adecuada para la protección ambiental, los sistemas de almacenaje subterráneo de hidrocarburos (S.A.S.H) se convirtieron en una práctica habitual para ahorrar espacio y por seguridad de los habitantes, a pesar de que no siempre se garantiza la hermeticidad del sistema (Los informes de auditorías SASH están establecidos en la resolución S.S.E N° 173/90, N° 1102/4 y 266/08 y los decretos 2407/83 y 1545/85), pero al paso del tiempo estos depósitos metálicos sufrieron corrosión, ocasionándose fugas y provocando contaminación en las áreas aledañas a los depósitos. Identificada esta situación, podemos esperar que hayan ocurrido varios derrames accidentales de hidrocarburos que no fueron adecuadamente remediados, contaminando el suelo donde se encontraba emplazada la estación de servicio y que se ha convertido en un pasivo ambiental.

Castro, *et al.* (2004) y Ñustez (2012) nos indica que, en los suelos, las principales consecuencias ambientales que se presentan después de un evento de contaminación por hidrocarburos son: la reducción o inhibición del desarrollo de la cobertura vegetal en el lugar del derrame, cambios en la dinámica poblacional de la fauna y contaminación por infiltración a cuerpos de agua subterráneos. Además de un impacto negativo, estos derrames generan impactos económicos, social y de salud pública en las zonas más cercanas al lugar afectado,

Considerando el desarrollo de las actividades hidrocarburíferas que se llevan a cabo en la provincia de Buenos Aires, es importante tomar en cuenta el riesgo inminente que significan actividades aparentemente sencillas, como las de almacenamiento y comercialización de combustibles líquidos. Partiendo de este antecedente la problemática ambiental para esta actividad se constituye como la necesidad de remediar el subsuelo afectado con hidrocarburos en el antiguo predio de ex estación de servicios GAX SA. Para llevar a cabo este fin es necesario implementar una solución económica, social y ambientalmente sostenible, para reducir la posibilidad de que dichos compuestos de interés entren en potencial contacto con los receptores con las respectivas repercusiones que esto conlleva a la salud pública.

El uso de suelo, la necesidad de cumplir con la normativa ambiental vigente y la preservación de la salud humana, motivó a realizar un análisis de la situación ambiental actual del predio de la ex estación de servicio GAX S.A, tras comprobar que en el mismo se registraron compuestos de interés que no cumple con los valores de referencia establecidos por la autoridad de aplicación, situación que conlleva a la decisión de evaluación de alternativas de actuación ambiental con el objeto de evitar sanciones, daños al ambiente y, sobre todo, potencial afectación a la salud de receptores.

1.2. Actividad del sitio de interés

En el mundo la necesidad de movilizarse continuamente ha impulsado el desarrollo de nuevas alternativas de transporte, sin embargo, el transporte que funciona a base de combustibles fósiles sigue siendo el más demandado. Dentro de este proceso las estaciones de servicio cumplen el rol fundamental de abastecer a los diferentes tipos de transporte terrestre. A pesar del importante rol que cumplen las mismas, han operado sin cumplir ciertas normas técnicas de funcionamiento, lo que ha generado problemas de seguridad y ambientales, causado por el derrame de hidrocarburos al subsuelo.

En la provincia de Buenos Aires, entre las posibles causas de derrames de combustibles que expenden las estaciones de servicio, está la falta de actualización de tecnologías por parte de

las mismas, esto debido a que en su mayoría, las estaciones de servicio han sido construidas en los años 80. A lo anteriormente mencionado cabe aunar la falta de desconocimiento técnico ambiental, compromiso social y ambiental de los operadores de estaciones de servicios, la insuficiente previsión futura del ambiente, y la falta de personal especializado en el área ambiental por parte de la autoridad que permita reducir la cantidad y magnitud de derrames, provocando la afectación en el agua subterránea y el suelo.

En la actualidad las estaciones de servicio cuya actividad productiva la realizan dentro de la provincia de Buenos Aires, poseen como riesgo principal el derrame de combustibles, sin embargo, están reguladas por una serie de leyes y normas ambientales que minimizan su impacto ambiental y garantizan a los pobladores el derecho a vivir en un ambiente sano y libre de contaminación.

La normativa legal vigente en la provincia de Buenos Aires (Res. 95/14), para el tipo de actividad mencionada anteriormente, establece que existe un sitio contaminado cuando:

- A. Existiese presencia de Fase Líquida No Acuosa (FLNA).
- B. Como producto de la afectación en el recurso hídrico subterráneo existiesen sustancias químicas disueltas superiores a los niveles guía del Decreto N° 831/93 reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051.
- C. Como producto de la afectación en el recurso hídrico superficial existiesen sustancias químicas disueltas superiores a los niveles guía del Decreto N° 831/93 reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051.
- D. Como producto de la afectación en los suelos acorde a sus distintos usos, existiesen sustancias químicas superiores a los niveles guía del Decreto N° 831/93 reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051 (Anexo II Tabla 9: Niveles guía de calidad suelos).

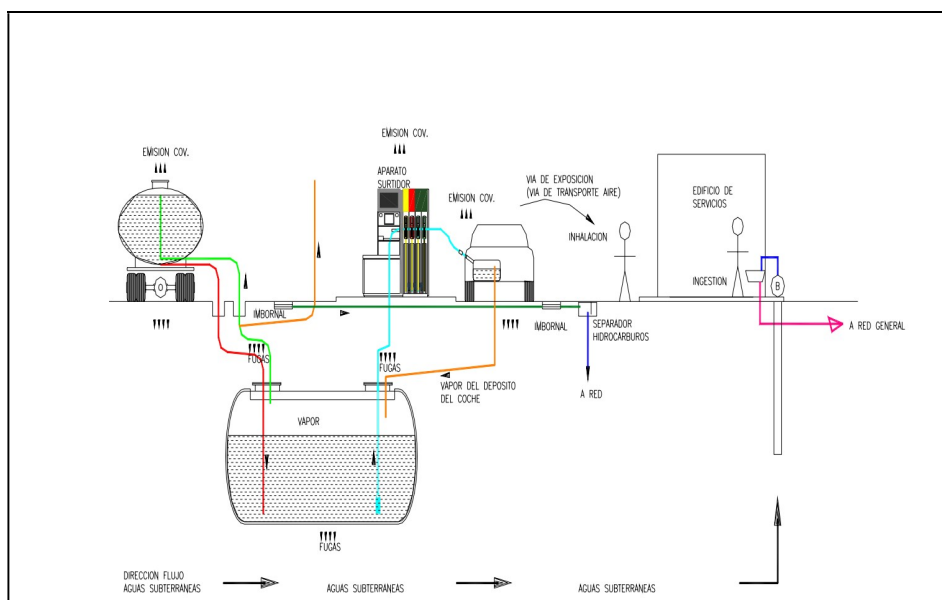


Ilustración 1. Layout actividades contaminantes en una estación de servicio.

Fuente: (Agencia de Protección Ambiental - APRA, 2020).

En las estaciones de servicio de expendio de combustible, generalmente la contaminación del suelo y agua subterránea se produce por las potenciales fugas de hidrocarburos en sus instalaciones mecánicas (tanques y tuberías enterradas), y en los derrames superficiales en los procesos de carga de tanques y suministro a vehículos, dicha situación se representa en la

ilustración 1. El agua actúa como medio de transporte de las sustancias de interés a distancias que pueden exceder los límites catastrales del predio de interés. Pero en el caso de estaciones de servicio antiguas como GAX S.A, no se puede determinar con exactitud cuándo y en qué cantidad ocurrió un derrame de hidrocarburos, lo que provoca un pasivo ambiental y la consecuente necesidad de implementar algún tipo de acción que pueda requerir incluso la actuación ambiental del sitio.

En los últimos 24 años, la presencia de estaciones de servicio en la Argentina cayó de 5327 a 3947 bocas de expendio en todo el país, según datos de la consultora Energy Consilium, fundada por el exministro de Energía Juan José Aranguren, lo que se traduce en 1380 sitios que pueden presentar contaminación por hidrocarburos y necesitan ser remediados. La provincia de Buenos Aires es la que tuvo la mayor baja, con 773 estaciones menos que en 1994, que pasaron de 2201 a 1428 estaciones. Le siguen la Capital Federal (-203), Santa Fe (-198) y Córdoba (-130); mientras que Santiago del Estero (+16), Jujuy (+15), Tucumán (+12), Misiones (+12) y Chaco (+12) son las que más sumaron puntos de venta en esos años.

Las estaciones de servicio que aún funcionan en el país, se dedican al comercio de naftas, gasoil o GNC, estando la mayoría de los establecimientos dedicados al expendio de naftas y gasoil y en menor proporción, se dedican al expendio de ambos combustibles, líquidos y gaseosos, y un reducido número son exclusivas de GNC. En la ilustración 2 se presenta el porcentaje de distribución de estación de servicio por marcas en el país.

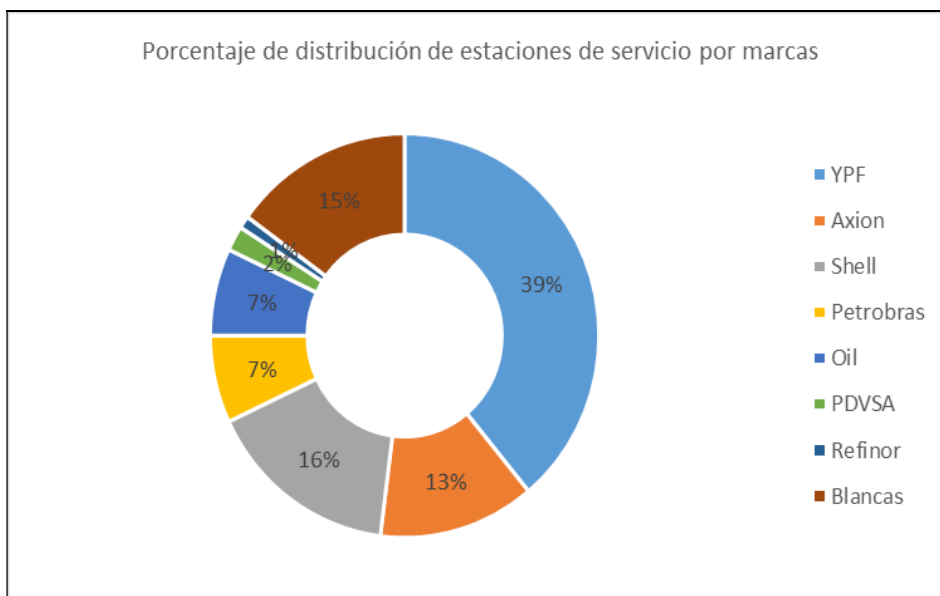


Ilustración 2. Porcentaje de distribución de estaciones de servicio por marcas. Fuente: (CECHA, 2014).

Tabla 1. Clasificación de la contaminación en suelo y agua.

Tipo de compuesto	Procedencia habitual	Capacidad de dispersión	Efectos tóxicos
Compuestos químicos de la agricultura	Industrias manufactureras, distribuidores químicos, granjas, aeropuertos fumigación.	Generalmente baja	Enfermedades del sistema nervioso, cáncer
Gasolina y diésel	Estaciones de servicio, bases militares, refinerías.	De baja a moderada	Los compuestos cancerígenos variedad de compuestos del petróleo.
Pinturas	Vertederos municipales	De moderada a alta	Envenenamiento por metales pesados, daños al sistema nervioso, cáncer.

Disolventes	Industrias de la electrónica, talleres de automoción, bases militares.	De moderada a alta	Se incluyen los compuestos cancerígenos.
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)	Fabricación de gas de hulla	De baja a moderada	Cierto número de HPA se sospecha que son cancerígenos.
PCB	Transformaciones eléctricas	Baja	Cáncer
Dioxinas	Fabricación de compuestos químicos, vehículos.	Baja	Formación de tumores, acné debido al cloro.

Fuente: (Eweis, et al 1999).

En la tabla 1 se presenta una clasificación general de la afectación en el suelo y en el agua subterránea, donde se describe la contaminación ocasionada por combustibles en estaciones de servicio e indica que es debido a errores en el almacenamiento, operación y distribución de los derivados del petróleo. Los compuestos aromáticos presentes en la Gasolina y el Diésel son: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX), los cuales son nocivos para la salud de los seres humanos. Una de las enfermedades producidas por los derivados del petróleo, es el cáncer, el cual se da por las inhalaciones de vapores de combustible con contenido de benceno. Además de esta enfermedad, los daños para la salud a nivel general se dan por vía inhalatoria, dérmica y ocular, la cual conlleva a enfermedades en el sistema respiratorio, en el sistema nervioso, la piel y los ojos presentando irritaciones y escozor (Martínez, 2013).

1.3. Compuestos de Interés analizados

Los compuestos de interés analizados en el antiguo predio de la estación de servicio GAX S.A son hidrocarburos (HTP), y la fracción de estos que se procederá analizar son los conocidos como BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) por su alta toxicidad y su capacidad de migrar hacia aguas subterráneas generando un impacto ambiental aún mayor del que se espera encontrar en el suelo. En el caso del Benceno se tomará especial énfasis dado que sus propiedades carcinogénicas han sido comprobadas en diversos estudios y, en la ilustración 3 se definen los tipos de hidrocarburos presentes en los combustibles líquidos.

Tipos de Hidrocarburos			
Nafta	GRO –VOCs BTEX	Benceno	
		Tolueno	
		Etilbenceno	Aditivos:
		Xilenos (presencia PAHs)	Plomo tetra etilo MTBE
Diesel Gasoil	DRO - PAHs	Antraceno	Acenafteno
		Benzo[a]antraceno	Acenaftileno
		Benzo[a]pireno	Naftaleno
		Benzo[b]fluoranteno	Pireno
		Benzo[g,h,i]perileno	Criseno
		Benzo[j]fluoranteno	Fluoranteno
		Benzo[k]fluoranteno	Fenantreno
Ciclopenta[c,d]pireno	(<3%BTEX)		

Ilustración 3. Tipos de hidrocarburos encontrados en combustibles.

Fuente: (Agencia de Protección Ambiental - APRA, 2020).

Es importante mencionar que la composición de la gasolina mejor conocida en la Argentina como nafta puede variar mucho dependiendo del refinador, del proceso de refinamiento y el tiempo de producción (octanaje). De los diferentes compuestos que estructuran la gasolina, los BTEX (grupo de compuestos orgánicos volátiles), es el grupo más grande que se ha relacionado a efectos adversos en la salud. El naftaleno que también afecta la salud solamente representa el 1% de la gasolina o nafta (Blanco & Socorro, 2005).

El presente trabajo se centrara en analizar los contaminantes anteriormente mencionados (BTEX) presentes en el suelo donde antiguamente se emplazaba la estación de servicio GAX S.A, dado que se desconoce cuándo ocurrió un derrame que incurriera en un potencial impacto ambiental a suelo, con su posterior migración al sub suelo y aguas subterráneas; sin embargo es de esperar que existan los mismos contaminantes en las aguas subterráneas que los encontrados en el suelo, siendo objeto de un posterior análisis con más detalle que permita identificar su presencia en el medio mencionado precedentemente (Blanco & Socorro, 2005).

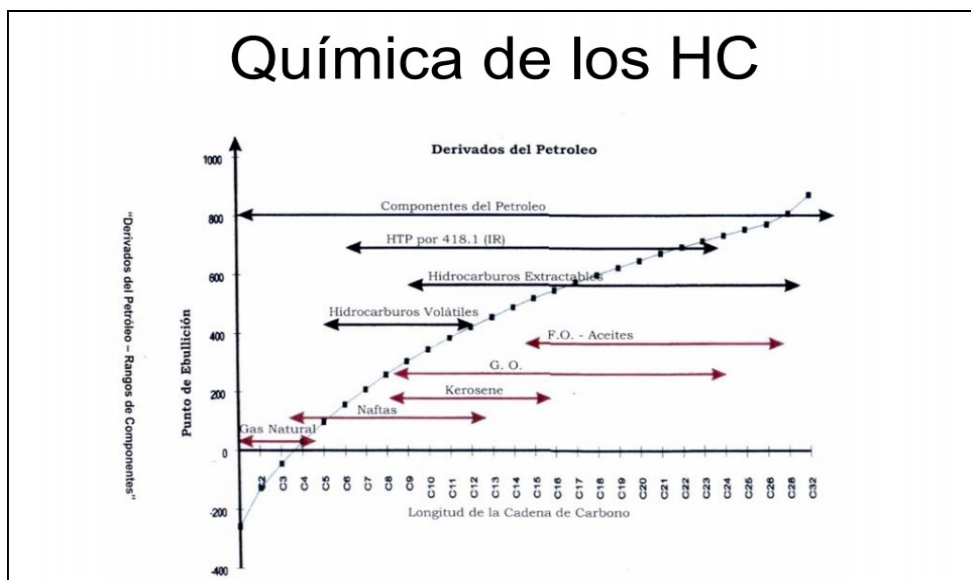


Ilustración 4. Química de los hidrocarburos.
Fuente: (Agencia de Protección Ambiental - APRA, 2020).

La presencia de BTEX en el suelo y en aguas subterráneas y la capacidad de remediación son afectadas por la volatilización, disolución, sorción y la biodegradación por microorganismos; por tanto, la liberación de estos al medio ambiente estará influenciada por sus mecanismos de destino y transporte. En la ilustración 4 se presenta la química de los hidrocarburos, ya que la misma condiciona la remediación. Comparado con otros componentes principales de la nafta, tales como los alifáticos, los BTEX son muy solubles y tendrá un gran efecto debido a las concentraciones que aparecerán en el agua subterránea (Blanco & Socorro, 2005).

1.4. Formulación del problema

Por norma general cuando existen derrames de combustibles en el suelo existe presencia de hidrocarburos. Debido a este hecho, cabe esperar que el suelo del predio GAX S.A presente una alta concentración de BTEX.

Por esta razón, es necesario comprobar los niveles de BTEX en el suelo del predio GAX S.A y determinar los procesos que son capaces de eliminar la mayor parte de estos contaminantes.

2. Hipótesis

Llevando a cabo la elección de la tecnología adecuada para este proyecto se podrá obtener valores admisibles de BTEX de acuerdo a la legislación vigente en el suelo del predio de GAX S.A, con la mejor relación costo – beneficio.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Establecer la metodología adecuada para remediar suelos contaminados por hidrocarburos (BTEX).

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar la concentración de los contaminantes de interés presentes en la zona de estudio.
- Analizar las alternativas de tecnologías disponibles en el país que permitan disminuir la concentración de los contaminantes de interés identificados en la zona de estudio.
- Evaluar la alternativa de tecnología disponible que ofrezca una solución integral a la actuación ambiental de suelos contaminados por hidrocarburos (BTEX).

4. Descripción del entorno

El predio donde antiguamente se emplazaba la estación de servicio GAX S.A, se encuentra ubicado en la provincia de Buenos Aires, partido General Alvear, junto a la vía principal de la Ruta 51 rotonda con ruta 61 de acceso a General Alvear como se puede observar en la ilustración 5; además en la tabla 2 se establecen las coordenadas geográficas en el sistema WGS84 21 S del antiguo emplazamiento donde se ubicaba la estación de servicio GAX S.A.

Tabla 2. Coordenadas geográficas WGS84 21S del antiguo emplazamiento de GAX S.A.

Puntos	X	Y
1	239 593	6 011 832
2	239 732	6 011 807
3	239 714	6 011 719
4	239 695	6 011 664
5	239 661	6 011 671
6	239 492	6 011 580
7	239 589	6 011 607
8	239 528	6 011 757
9	239 575	6 011 748

Fuente: (Google Maps 2020).



Ilustración 5. Fotografía de la ubicación del predio GAX S.A.

Fuente: (Google Earth, 2020).

General Alvear es uno de los 135 partidos de la provincia de Buenos Aires, se encuentra aproximadamente a 220 kilómetros de C.A.B.A, según el último censo realizado por el INDEC, 2010 en General Alvear habitan 15 013 personas. Los suelos que conforman el partido General

Alvear presentan texturas franco, franco – limosas y con excelentes porcentajes de materia orgánica, sin embargo, cabe destacar que en varias zonas del partido donde se practica la agricultura desde hace muchos años atrás se puede evidenciar un dramático descenso de la materia orgánica. La llanura es el paisaje predominante en este partido, la elevación promedio es de 66 msnm y su superficie se encuentra surcada por numerosos arroyos.

Entre las principales actividades económicas de General Alvear, se encuentran la actividad ganadera con cría de cerdos y aves, así como la agrícola (soja, maíz y trigo). La llanura es el paisaje predominante en General Alvear, el régimen de lluvias sumando al clima, el relieve y la roca preexistente (loess) confieren a sus suelos relativa alta fertilidad, que hacen de esta zona una de las principales del país en producción agrícola y ganadera., además es tradicional en la zona la producción apícola.

5. Estado del arte

5.1. Contaminantes BTEX

Entre los hidrocarburos aromáticos presentes en los derivados del petróleo podemos encontrar al benceno, etilbenceno, tolueno y xileno, clasificados como los componentes más tóxicos del petróleo; debido a su alta solubilidad en el agua y a su fácil penetración a nivel de subsuelo, lo que puede con llevar a la contaminación de las aguas subterráneas circundantes, incluso llegando a comprometer los suministros de agua potable y la consecuente exposición de la población aledaña a dichos compuestos, con todos los riesgos que esto implica por su clasificación como compuestos cancerígenos (Molina & Astudillo, 2016).

Los BTEX se encuentran en la clasificación de contaminantes peligrosos del aire en la escala nacional de sustancias tóxicas del aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), debido a que estudios han demostrado que algunos compuestos son cancerígenos o posibles carcinógenos (Molina & Astudillo, 2016).

Hay suficientes evidencias de estudios en humanos y animales para creer que el benceno es cancerígeno. Estudios realizados en trabajadores expuestos a altos niveles de benceno, arrojaron una alta incidencia de leucemia. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha establecido niveles permisibles de estos contaminantes en el agua de consumo humano llamados Niveles Máximos Contaminantes, usando criterios conservadores para asegurar una adecuada protección al público (Blanco & Socorro, 2005).

Tabla 3. Caracterización del riesgo de los BTEX.

Categoría de caracterización del riesgo	Riesgo excede (en 1 millón)	Número de personas con mayor exposición (en millones)
Conductor nacional de cáncer	10	25
Conductor regional de cáncer	10	1
Contribuidor nacional de cáncer	1	25
Contribuidor regional de cáncer	1	1

Fuente: (EPA, 2011).

Tomando en cuenta lo presentado en la Tabla 3, el benceno ha sido catalogado como un conductor regional de cáncer, lo que quiere decir, que se ha comprobado que, por un millón de personas expuestas, hay la posibilidad de que 10 adquieran cáncer. Por otro lado, el etilbenceno, es catalogado como contribuidor nacional de cáncer, por lo que, por cada 25 millones de personas expuestas, hay la posibilidad de que 25 adquiera cáncer, una por cada millón de personas. El tolueno y xilenos no han sido catalogados como cancerígenos, pero si provocan alteraciones en la salud.

5.2. Actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos

La actuación ambiental para suelos contaminados con hidrocarburos es un tema intensamente investigado, ya que estudios realizados en los últimos años nos indican que la presencia de hidrocarburos en el suelo modifica sus propiedades físicas y químicas. Cabe mencionar que la volatilización de los hidrocarburos es un factor a tomar en cuenta, así como la movilidad del contaminante en el suelo, mismo que depende de la permeabilidad del suelo y a la presencia de hidrocarburos livianos que generalmente son más solubles (Alvaro., et al. 2017).

Las técnicas más recientes de evaluación de sitios contaminados con hidrocarburos se fundamentan en la metodología del análisis de riesgo y se basan en la valoración del efecto que producen agentes químicos presentes en un sitio contaminado en la salud humana y el ambiente debido a la sumatoria de riesgos individuales (ASTM, 2010).

Un tipo de actuación ambiental comprobado es la biorremediación, misma que utiliza las actividades metabólicas de microorganismos, hongos, plantas o enzimas derivadas de los mismos con el fin de degradar, transformar o remover contaminantes; en el caso de los hidrocarburos depende de varios factores, como son: presencia de una población microbiana activa, estructura y concentración del contaminante, tipo de suelo, disponibilidad o suministro de nutrientes y oxígeno (enmiendas orgánicas e inorgánicas), cantidad de minerales y materia orgánica presente en el suelo, entre otros. En este sentido, las características físico químicas del suelo y las condiciones ambientales condicionan la efectividad del tratamiento, por lo que es necesario realizar un estudio previo en el sitio de interés para adecuar el crecimiento microbiano a condiciones de laboratorio (Alvaro., et al. 2017).

5.3. Descripción tecnológica de diversas soluciones

Es importante mencionar que cada sitio a remediar presenta retos únicos, para que la solución sea efectiva en términos de costo y eficiencia las opciones de actuación ambiental para sitios contaminados dependen de 4 consideraciones generales:

- El tipo de contaminante y sus características físico químicas.
- Localización y características del sitio a remediar, así como el uso del suelo (residencial, industrial o agrícola).
- Características naturales de los suelos, sedimentos y cuerpos de agua.
- Las capacidades tecnológicas en función de las condiciones específicas del sitio (contener, separar, o destruir).

Existen muchas tecnologías en el mercado que permiten disminuir, atenuar o eliminar BTEX presentes en sitios contaminados, dichas tecnologías pueden ser in situ (utilizadas en el mismo sitio) y ex situ (remoción del contaminante para tratarlo fuera del sitio). De igual manera existen diferentes métodos por los cuales podemos remediar el sitio contaminado como son: físicos, químicos, térmicos, solidificación, estabilización y biológicos.

También es importante establecer que, si no se logra disminuir la concentración de los contaminantes en análisis, existe una herramienta que se denomina análisis de riesgos a la salud humana denominada RBCA (Risk Based Corrective Action) que es una metodología basada en la aplicación de un proceso de decisión para la acción correctiva basa en riesgo y puede ser utilizada como complemento a la atenuación natural del contaminante o de manera única, siempre y cuando la legislación ambiental vigente lo permita (MAVDT, 2007).

A continuación, se realiza una breve descripción de las tecnologías que permiten eliminar, tratar, disminuir o atenuar hidrocarburos en el suelo (BTEX) y además las mismas se presentan en la ilustración 6.



Ilustración 6. Tecnologías para la actuación ambiental de suelo
Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, 2020).

5.3.1. Tecnologías in situ

5.3.1.1. Bioventing

En el bioventing, los suelos insaturados contaminados y con bajas concentraciones de oxígeno, son tratados mediante el suministro de oxígeno para facilitar la biodegradación aeróbica microbiana. El oxígeno es típicamente introducido mediante campanas de inyección de aire que empujan aire bajo la superficie. Y es usada principalmente para tratar aeróbicamente contaminantes biodegradables, tales como COVs y COSVs halogenados y no halogenados, que son localizados en la zona vadosa o en la franja capilar (Velasco, 2015).

Por otro lado, procesos físicos y microbiológicos pueden afectar al sistema de bioventilación. Entre los procesos físicos se mencionan tres principalmente: la permeabilidad del suelo, la distribución y difusión del contaminante y la zona de influencia del oxígeno, el suelo debe ser lo suficientemente permeable para permitir el ingreso de oxígeno al sub suelo (Velasco, 2015).

Entre las ventajas del bioventing o bioventilación cabe destacar que es una tecnología establecida, es decir que hay disponibilidad en el mercado y es de fácil instalación, la perturbación al medio es mínima, puede combinarse fácilmente con otras tecnologías y el tiempo de implementación es moderado; por otro lado entre las desventajas que podemos mencionar de esta tecnología es que no es aplicable para concentraciones elevadas de contaminante y no es aplicable a suelos con baja permeabilidad (Velasco, 2015).

5.3.1.2. Biorremediación mejorada

La biorremediación es un grupo de tecnologías que usa microbiota (típicamente bacterias heterotróficas y hongos) para degradar o transformar contaminantes peligrosos en materiales tales como el dióxido de carbono, agua sales inorgánicas, biomasa y otros productos que pueden ser menos tóxicos que los contaminantes, la biorremediación es in situ y cuando utiliza

enmiendas químicas (oxígeno, sustratos orgánicos nutrientes, etc.) se denominada biorremediación mejorada (Velasco, 2015; Viñas, 2005).

La tecnología de la Biorremediación presenta ventajas respecto a los métodos fisicoquímicos, tanto por su menor coste económico, como por la no afectación de otros compartimentos ambientales y la optimización de los recursos. Por otro lado, una de las limitaciones que presentan las técnicas biológicas respecto a las técnicas fisicoquímicas es el tiempo necesario para alcanzar una biodegradación aceptable (Viñas, 2015).

La biodegradabilidad de una mezcla de hidrocarburos presente en un suelo contaminado depende de diversos factores como son: la presencia de una población microbiana degradadora potencialmente activa, la estructura molecular del contaminante, su concentración y biodisponibilidad, y factores ambientales como el pH, temperatura, humedad del suelo, presencia de aceptores de electrones disponibles, y la existencia de nutrientes inorgánicos (fuente de N y P) disponibles (Viñas, 2015).

5.3.1.3. *Extracción de vapor de suelo (Soil Vapor Extraction - SVE)*

SVE es una tecnología de tratamiento in situ para la remoción de COV's de la zona no saturada del suelo, utilizando un blower y pozos de extracción. Los vapores extraídos son tratados en superficie mediante diferentes técnicas de tratamiento y liberados a la atmósfera o reinyectados al subsuelo. El proceso consiste en la aplicación de una presión de vacío a través del suelo, produciéndose así la transferencia de los contaminantes desde la matriz del suelo a la corriente de aire. La efectividad del sistema depende principalmente de la volatilidad de los contaminantes y de la permeabilidad y homogeneidad del suelo (Calderón & Giraldo, 2007).

Entre las ventajas de este sistema podemos mencionar que combinado con otras tecnologías permite disminuir la concentración de contaminantes en una mayor proporción, además permite remover algunos contaminantes sorbidos en los poros del suelo. Entre sus desventajas esta que su efectividad depende de dos grandes factores: la permeabilidad del suelo contaminado y la volatilidad del contaminante (Calderón & Giraldo, 2007).

5.3.1.4. *Burbujeo de aire (Air Sparging - AS)*

La técnica de air sparging consiste en la inyección de aire (enriqueciendo de oxígeno) al agua a través de bombas y conductos con la finalidad de estimular la degradación natural de contaminantes bajo condiciones aeróbicas, es una técnica muy similar al bioventig sin embargo el air sparging permite disminuir la concentración de contaminantes volátiles presentes en la zona saturada y el vapor contaminado sale a través de los pozos de extracción siendo necesario su tratamiento en superficie (Volke, 2002).

Entre las ventajas del burbujeo de aire o air sparging cabe destacar que es una tecnología sumamente comprobada y difundida alrededor del mundo, la perturbación en el sitio contaminado es mínimo y puede combinarse fácilmente con otras tecnologías. El tiempo de implementación y la dificultad de instalación es moderada, por otro lado cabe mencionar que el air sparging no es recomendable para concentraciones elevadas de contaminante y los contaminantes volatilizados y extraídos de la zona saturada deben ser tratados en superficie (Velasco, 2015).

5.3.1.5. *Bombeo y tratamiento (Pump and treat – P&T)*

La técnica de bombeo y tratamiento (pump and treat) consiste en la extracción de agua contaminada del suelo y sub suelo, de la zona saturada así como de la no saturada, si se lleva a cabo en la zona saturada el agua bombeada es tratada posteriormente en superficie, por otro

lado, cuando se busca actuar sobre la zona no saturada, se requiere una inyección previa de agua que arrastre o lave los contaminantes presentes en el suelo y los almacene en la zona saturada para posteriormente bombearlos a la superficie (Volke, 2002).

Cuando hablamos del bombeo de agua se considera que es una técnica sencilla y económica, sin embargo el tratamiento en superficie de los contaminantes bombeados conlleva costos adicionales elevados.

5.3.1.6. Atenuación Natural

La atenuación natural es la reducción de la concentración del contaminante en el ambiente mediante procesos biológicos a través de fenómenos físicos y reacciones químicas, siendo la biodegradación uno de los procesos que mayor favorece al proceso de atenuación natural Corona & Iturbe, 2005.

La caracterización ambiental (física, química y biológica) es de extrema importancia al momento de evaluar la efectividad del proceso de atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos.

5.3.2. Tratamientos ex situ

5.3.2.1. Biopilas

Las pilas estáticas (biopilas) son una forma de composteo, sin embargo la principal diferencia radica en su proceso que funciona de manera similar al landfarming, además de agentes de volumen, el sistema se adiciona con agua y nutrientes, y se coloca en áreas de tratamiento que incluyen alguna forma de aireación y sistemas para coleccionar lixiviados ubicados por debajo del material para tratamiento, además se cubren con plástico para controlar los lixiviados, la evaporación y la volatilización de contaminantes y de esta manera favorecer su calentamiento (Calderón & Giraldo, 2007; Volke, 2002).

Las ventajas que podemos mencionar en la tecnología de biopilas es que se ha usado con éxito para remediar suelos contaminados con PCP, gasolinas, HTP, HAP; además se ha demostrado también la reducción, hasta niveles aceptables, en la concentración y toxicidad de explosivos (TNT). El uso de estrategias de biopilas, se ha adoptado seriamente hasta los últimos tres a cinco años. Entre sus desventajas podemos mencionar que algunas limitaciones del proceso son: la necesidad de espacio; la necesidad de excavar el suelo contaminado, lo que puede provocar la liberación de COV; el incremento volumétrico del material a tratar y que no pueden tratarse metales pesados, otra de sus desventajas son los costos y tiempos de actuación ambiental. El costo del composteo está en función de la cantidad y fracción de suelo a tratar; la disponibilidad de agentes de volumen; el tipo de contaminantes y proceso; la necesidad de tratamientos previos y la necesidad de equipos para el control de COV. Es una tecnología que puede llevar desde algunas semanas hasta varios meses (Volke, 2002).

5.3.2.2. Compostaje

El composteo es un proceso biológico controlado, por el cual pueden tratarse suelos y sedimentos contaminados con compuestos orgánicos biodegradables, para obtener subproductos inocuos estables. El material contaminado se mezcla con agentes de volumen (paja, aserrín, estiércol, desechos agrícolas), que son sustancias orgánicas sólidas biodegradables, adicionadas para mejorar el balance de nutrientes, así como para asegurar una mejor aireación y la generación del calor durante el proceso. Los sistemas de composteo incluyen tambores rotatorios, tanques circulares, recipientes abiertos. Las ventajas y desventajas del compostaje son muy parecidas al de las biopilas. (Volke, 2002).

5.3.2.3. Landfarming

Es un sistema de tratamiento de aplicación en campo (*ex situ*), en el cual al residuo se le mejoran las condiciones de biodegradabilidad mediante la adición de nutrientes y de ser necesario de cepas de bacterias degradadores, se controla el contenido de humedad del suelo y mediante laboreo se provee aireación para favorecer el metabolismo de los microorganismos. Entre sus aplicaciones se encuentran los contaminantes tratados con éxito como son el diésel, gasolinas, lodos aceitosos, PCP, creosota y coque, además de algunos pesticidas y HTP (Calderón & Giraldo, 2007; Volke, 2002).

El suelo contaminado se mezcla con agentes de volumen y nutrientes, y se remueve periódicamente para favorecer su aireación. Las condiciones del suelo (pH, temperatura, aireación) se controlan para optimizar la velocidad de degradación y generalmente se incorporan cubiertas u otros métodos para el control de lixiviados. Cabe mencionar que la diferencia entra el landfarming o biolabranza y el composteo, es que en el primero, se mezcla el suelo contaminado con suelo limpio, mientras que el composteo generalmente se realiza sobre el suelo (Volke, 2002).

Entre las ventajas que podemos mencionar del landfarming es que una tecnología de gran escala, que se practica en los países de primer mundo, mientras que sus limitaciones son que debe manejarse con cuidado para prevenir la contaminación por lixiviados de fuentes de aguas, otra desventaja para su utilización, es que, por la incorporación de suelo contaminado en suelo limpio, se genera un gran volumen de material contaminado (Volke, 2002).

5.3.2.4. Incineración

Es un sistema de tratamiento térmico donde se destruye el contaminante en cámaras de combustión a altas temperaturas de 800 a 1200°C en presencia de oxígeno. Adecuado para suelos fuertemente contaminados tanto por sustancias orgánicas como inorgánicas siendo efectiva en un 99,99% de Hidrocarburos poliaromáticos, PCB's y Clorofenoles. Sin embargo, los gases de combustión generalmente requieren de tratamiento. Existen diferentes tipos de incineradores como son: Combustión lecho circulante, lecho fluidizado y tambor rotatorio (Calderón & Giraldo, 2007; Volke, 2002).

Entre sus ventajas de esta tecnología podemos mencionar que su efectividad en la eliminación de contaminantes es de 99,99 %, además que el volumen de las cenizas generadas es considerablemente menor al producto bruto ingresado y el poco tiempo que le toma a esta tecnología eliminar dicho producto. Entre sus desventajas está la necesidad de tratar los gases generados (dioxinas y furanos) y el alto costo que conlleva aplicar la incineración para grandes volúmenes de suelo (Volke, 2002).

5.3.2.5. Desorción térmica

Los procesos de desorción térmica consisten en calentar de 90 a 540 °C el suelo contaminado con contaminantes orgánicos, con el fin de vaporizarlos y por consiguiente separarlos del suelo, puede clasificarse de la siguiente manera: desorción térmica de alta temperatura (DTAT) y desorción térmica de baja temperatura (DTBT). Es una tecnología a gran escala que se ha probado con éxito en el tratamiento de varios tipos de suelos contaminados con HTP, COV no halogenados y gasolinas y, con menor eficiencia, para COS (Volke, 2002).

Las limitaciones de la desorción térmica radican en que la presencia de cloro puede afectar la volatilización de algunos metales como el plomo. Su uso varía en función de la temperatura que pueda alcanzarse durante el proceso seleccionado. Estas tecnologías no son efectivas en suelos saturados o muy compactos, además de que producen emisiones gaseosas, otras de

sus desventajas representan el alto costo que supone su implementación, por lo tanto, la aplicación de esta tecnología se ha visto eclipsada por la incineración (Volke, 2002).

5.3.2.6. Tratamiento térmico

Los tratamientos térmicos utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilizar) los contaminantes del suelo. Sin embargo, el tratamiento térmico, aun pudiendo ser más rápido y efectivo en la eliminación de la concentración de contaminantes que las tecnologías biológicas, alteran o eliminan por completo la microbiota autóctona del suelo, modificando sus características fisicoquímicas (Calderón & Giraldo, 2007; Volke, 2002).

Una de las ventajas del tratamiento térmico es la rapidez con la cual se realiza el proceso, mientras que entre sus desventajas podemos mencionar la alteración del estado natural del suelo y los altos costos que conlleva aplicar esta solución, además debemos considerar que el tratamiento térmico produce residuos sólidos (cenizas) y, en ocasiones, residuos líquidos que requieren de tratamiento o disposición. Es importante hacer notar que el volumen de residuos generados que requieren de tratamiento o disposición, es mucho menor que el volumen inicial (Volke, 2002).

5.3.3. Otros tratamientos

5.3.3.1. Excavación recuperación, disposición fuera del sitio

La excavación de suelo contaminado implica extraerlo para tratarlo fuera del lugar (en la superficie) o desecharlo en un vertedero. La excavación también puede implicar extraer barriles viejos de sustancias químicas y otros escombros enterrados que puedan estar contaminados. Eliminar estas posibles fuentes de contaminación evita que personas entren en contacto con ellas y ahorra tiempo en el proceso de limpieza de aguas subterráneas contaminadas que puedan existir. Si se va a colocar la tierra excavada en un vertedero, se la puede cargar directamente en un camión con volquete para su transporte. En cambio, si se opta por colocarla en otro lugar del emplazamiento o tratarla, primero se la debe acumular en lonas impermeabilizadas o contenedores. Luego, se tapa con una lona para evitar que el viento y la lluvia la dispersen y para que los operarios no entren en contacto con ella (EPA, 2020).

Entre las ventajas que podemos mencionar de este método de descontaminación es que dependiendo del volumen de suelo a extraer puede ser mucho más económica y rápida la extracción de suelo contaminado, sin embargo entre sus desventajas está el hecho que mientras más extenso sea el sitio contaminado y la concentración en el mismo sea más grande, este método puede demorarse incluso varios años y convertirse en una solución muy costosa, ya que a más de intervenir maquinaria pesada y que el personal por las características del contaminante debe trabajar con mucha precaución se suma los costos de tratamiento en la superficie.

5.3.3.2. Análisis de Riesgos

Una de las técnicas más actuales de evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos se fundamenta en la metodología de análisis de riesgos (ASTM E1739/95), basada en el riesgo que presentan a la salud humana y el medio ambiente la sumatoria de riesgos individuales que presentan los agentes químicos en el sitio de interés (Coria, 2007).

El proceso de análisis de riesgos está estructurado en 3 niveles de evaluación de acuerdo al grado de complejidad, donde el primer nivel corresponde al TIER 1 (modelo conceptual del

sitio), el segundo nivel TIER 2 (información adicional y se desarrollan valores de riesgo) y el último nivel TIER 3 (información estadística compleja y modelos de transporte).

La metodología más aceptada a nivel mundial es el software conocido por sus siglas en inglés como RBCA (Risk Based Corrective Action), que sirve como instrumento para imprescindible para la toma de decisiones ambientales justificadas. Está basado en el concepto de riesgo es igual peligro por exposición y la existencia de riesgos aceptables, es decir, que se puede disminuir el riesgo reduciendo la exposición de las personas al peligro o a su vez disminuirlo estableciendo niveles de peligro aceptables y justificados (MAVDT, 2007).

El RBCA se utiliza para dar respuesta a interrogantes como cuál es el tipo de peligro, a quién puede afectar y cuales son las acciones apropiadas para controlar los riesgos ambientales, a través de evaluación de las características de los contaminantes presentes en el sitio de estudio, de esta manera se puede definir si es necesario o no la actuación ambiental y de ser el caso establecer objetivos de remediación (GEODATA, 2020).

6. Descripción del marco legal

6.1. Constitución Política de la Provincia de Buenos Aires.

Art. 28.- Los habitantes de la Provincia tienen el derecho a gozar de un ambiente sano y el deber de conservarlo y protegerlo en su provecho y en el de las generaciones futuras.

La Provincia ejerce el dominio eminente sobre el ambiente y los recursos naturales de su territorio incluyendo el sub suelo y el espacio aéreo correspondiente, el mar territorial y su lecho, la plataforma continental y los recursos naturales de la zona económica exclusiva, con el fin de asegurar una gestión ambientalmente adecuada.

En materia ecológica, deberá preservar, recuperar y conservar los recursos naturales, renovables y no renovables del territorio de la Provincia; planificar el aprovechamiento racional de los mismos; controlar el impacto ambiental de todas las actividades que perjudiquen al ecosistema; promover acciones que eviten la contaminación del aire, agua y suelo; prohibir el ingreso en el territorio de residuos tóxicos o radioactivos; y garantizar el derecho a solicitar y recibir la adecuada información y a participar en la defensa del ambiente, de los recursos naturales y culturales.

Asimismo, asegurará políticas de conservación y recuperación de la calidad del agua, aire y suelo compatible con la exigencia de mantener su integridad física y su capacidad productiva, y el resguardo de áreas de importancia ecológica, de la flora y la fauna.

Toda persona física o jurídica cuya acción u omisión pueda degradar el ambiente está obligada a tomar todas las precauciones para evitarlo.

6.2. Ley N° 11.723. Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.

Art. 25.- Las normas técnicas ambientales determinarán los parámetros y niveles guía de calidad ambiental de los cuerpos receptores que permitan garantizar las condiciones necesarias para asegurar la calidad de vida de la población, la perdurabilidad de los recursos naturales y la protección de todas las manifestaciones de vida.

Art. 46.- La autoridad provincial de aplicación deberá efectuar:

- a) Clasificación o reclasificación de suelos de acuerdo a estudios de aptitud y ordenamiento en base a regiones hidro geográficas.
- b) Establecimientos de normas o patrones de calidad ambiental.

c) Evaluación permanente de su evolución tendiendo a optimizar la calidad del recurso.

6.3. Ley N° 14343. Regula la identificación de los Pasivos Ambientales.

Art. 2.- Jurisdicción. Esta Ley se aplicará a los pasivos ambientales y sitios contaminados que se encuentren en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires.

Art. 3.- Pasivo Ambiental. A los fines de la presente Ley, se entenderá por pasivo ambiental al conjunto de daños ambientales en términos de contaminación del agua, del suelo, del aire, del deterioro de los recursos naturales y de los ecosistemas, producidos por cualquier tipo de actividad pública o privada, durante su funcionamiento ordinario o por hechos imprevistos a lo largo de su historia, que constituyan un riesgo permanente y/o potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad, y que haya sido abandonado por el responsable.

Art. 9.- Obligación de recomponer. El responsable de la actividad no se liberará de la obligación de recomponer, cuando la evaluación de la Auditoría de Cierre arroje resultados que importen daños significativos en el ambiente.

Art. 11.- De la remediación. Todo ambiente afectado, que constituya un sitio contaminado, deberá recomponerse con el fin de lograr condiciones ambientales y de salubridad pública mínimas.

6.4. Ley 24.051. Residuos peligrosos – Generación, manipulación, transporte y tratamiento – Normas.

Art. 1.- La generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos quedarán sujetos a las disposiciones de la presente Ley, cuando se tratare de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional, aunque ubicados en territorio de una provincia estuviesen destinados a transporte fuera de ella o cuando a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieran afectar a las personas o el ambiente más allá de las frontera de la provincia en que se hubiesen generado, o cuando las medidas higiénicas o de seguridad que a su respecto fuere conveniente disponer tuviesen una repercusión económica sensible tal que tornare aconsejable uniformarlas en todo el territorio de la Nación, a fin de garantizar la efectiva competencia de las empresas que debieran soportar la carga de dichas medidas.

Art. 2.- Será considerado peligroso a los efectos de esta Ley, todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general.

En particular serán considerados peligrosos los residuos indicados en el anexo I o que posean algunas de las características enumeradas en el anexo II de esta ley.

Las disposiciones de la presente serán también de aplicación a aquellos residuos peligrosos que pudieren constituirse en insumos para otros procesos industriales.

Art. 45.- Se presume salvo prueba de lo contrario, que todo residuo peligroso es cosa riesgosa en términos del segundo párrafo del art. 1113° del Código Civil, modificado por la ley 17.771.

Art. 59.- Será autoridad de aplicación de la presente ley el organismo de más alto nivel con competencia en el área de la política ambiental que determine el Poder Ejecutivo.

6.5. Decreto 831/93. Residuos peligrosos – Generación, manipulación, transporte y tratamiento – Reglamentación de la Ley 24.051

Art. 1.- Las actividades de generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, desarrolladas por personas físicas y/o jurídicas quedan sujetas a las disposiciones de la Ley 24.051 y del presente reglamento, en los siguientes supuestos.

1. Cuando dichas actividades se realicen en lugares sometidos a jurisdicción nacional.
2. Cuando se tratare de residuos que, ubicados en territorio de una provincia, deban ser transportados fuera de ella, ya sea por vía terrestre, por un curso de agua de carácter provincial, por vías nacionales navegables o por cualquier otro medio, aún accidental, como podría ser la acción del viento u otro fenómeno de la naturaleza.
3. Cuando se tratare de residuos que, ubicados en el territorio de una provincia, pudieran afectar directa o indirectamente a personas o al ambiente más allá de la jurisdicción local en la cual se hubiera generado.
4. Cuando la autoridad de aplicación disponga medidas de higiene y/o seguridad cuya repercusión económica aconseje uniformarlas en todo el territorio nacional, a fin de garantizar su efectivo cumplimiento por parte de los administrados, conforme las normas jurídicas establecidas en la Ley 24.051.

Art. 2.- Son residuos peligrosos los definidos en el art. 2° de la Ley.

En lo que respecta a la categoría, las características y las operaciones de los residuos peligrosos anunciados en los anexos I y II de la Ley 24.051, y de acuerdo con las atribuciones conferidas en el art. 64 de la misma, la autoridad de aplicación emitirá las enmiendas o incorporaciones que considere necesarias, y se expedirá sobre el particular anualmente, excepto cuando sus casos extraordinarios y por razones fundadas deba hacerlo en lapsos más breves.

En el anexo IV del presente decreto determina la forma que identificara un residuo como peligroso, acorde a lo establecido en los anexos I y II de la 24.051.

Art. 64.- Los estándares, límites permisibles y cualquier otro patrón de referencia que se establezca en el presente decreto y sus anexos quedan sujetos a modificaciones por parte de la autoridad de aplicación, la que podrá definir otros en su reemplazo que considere adecuado en su momento, siempre y cuando los nuevos textos se constituyan en modificaciones restrictivas respecto a la situación anterior, o sea, que dichos estándares, límites permisibles y patrones de referencia, en todos los casos, reconocen y deberán mantener un máximo o techo sobre el cual no procederá ningún cambio, debiendo tener siempre como objetivo la minimización del impacto ambiental.

6.6. Resolución N° 95/14

Art. 1.- Objeto. El inicio, ejecución y finalización de tareas de remediación en sitios contaminados ubicados en el territorio de la provincia de Buenos Aires se regirá por las pautas establecidas en la presente y en los ANEXOS I, II y III que conforman parte integrante de la presente.

Art. 4.- Caracterización del sitio. Ante la detección de un indicio que permita presumir que el recurso hídrico y/o el suelo se encuentran afectados con alguna sustancia (agentes físicos o químicos) que altere su condición natural, el responsable de la contaminación deberá caracterizarlo conforme las pautas indicadas en el ANEXO I. La caracterización del tendrá por objeto determinar: a) las sustancias contaminantes, b) la magnitud de la contaminación en términos de concentración de contaminantes, y c) la extensión de suelo y/o del recurso hídrico contaminado. Dicho estudio debe ser ejecutado por una empresa registrada ante la OPDS y/o por un profesional con incumbencia en la temática debidamente inscrito conforme lo estipulado por la resolución SPA N°195/96.

Art. 6.- Sitio Contaminado. Se considerará que existe un sitio contaminado cuando:

- D. Como producto de la afectación en los suelos acorde a sus distintos usos, existiesen sustancias químicas superiores a los niveles guía del Decreto N° 831/93 reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051 (Anexo II Tabla 9: Niveles guía de calidad de suelos).

Para aquellas sustancias químicas o mezclas complejas no normadas en el Decreto N°831/93 reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051, se tomarán los valores de intervención de las tablas del Anexo 1 de la Norma Holandesa (Circular 2009, o la que en el futuro la suplante o complemente).

En aquellos casos en que alguna sustancia contaminante no se encuentre normada en la Norma Holandesa, o el recurso a evaluar no esté contemplado en la misma esta Autoridad de Aplicación podrá contemplar el uso de otra normativa local o internacional.

Art. 14.- Acciones correctivas basadas en riesgo (ACBR). En los casos que se hayan realizado tareas de remediación no habiéndose alcanzado los objetivos establecidos, y que quede demostrado la inexistencia de tecnología disponible en el mercado o limitación (ej. Físicoquímica, hidrogeológica, otra) para alcanzar los objetivos propuestos, esta Autoridad podrá contemplar el uso de un estudio de Acciones Correctivas Basadas en Riesgo (ACBR) conforme a la Norma IRAM 29.590 o la que la suplante o complemente.

Los alcances del análisis basado en riesgos deberán ser extensivos a la preservación de la salud humana.

En ningún supuesto se aceptará la presentación de análisis basados en riesgo sin la realización previa de un proceso de remediación, salvo en el supuesto indicado en el artículo 8 inciso C.

Los resultados del estudio de ACBR que se presenten tendrán carácter de Declaración Jurada, quedando bajo la exclusiva responsabilidad del responsable de la contaminación y de la empresa remediadora que efectuó el análisis de riesgo, la carga de los datos en el software empleado y los resultados obtenidos.

Art. 16.- Monitoreo Post Remediación. El acto administrativo que apruebe la finalización de las Tareas de Remediación determinará un monitoreo post remediación a realizar en el sitio, de acuerdo a los siguientes periodos orientativos:

- A. Para el caso de haber finalizado las tareas de remediación alcanzando los objetivos planteados en los incisos A) y B) del artículo 8 ° de la presente, se mantendrá un plan de monitoreo por veinticuatro (24) meses, comprendiendo un total de cuatro (4) monitoreos realizados uno por cada período de 6 (6) meses.
- B. En el supuesto de haber finalizado las tareas de remediación según lo establecido en el artículo 14 de la presente, se mantendrá un plan de monitoreo por cinco (5) años, comprendiendo un total de diez (10) monitoreos realizados uno por cada periodo de seis (6) meses. Asimismo, durante el periodo de monitoreo y respecto del entorno deberá presentarse anualmente un relevamiento que verifique la continuidad de los escenarios y condiciones planteadas en el ACBR, a fin de ratificar la vigencia del análisis de riesgo. De cambiar los escenarios y/o condiciones del ACBR planteado originalmente o el uso del predio remediado, el ACBR realizado perderá validez y deberá confeccionarse nuevamente.

En todos los casos, si los resultados de los monitoreos lo aconsejaren, esta Autoridad podrá requerir la realización de nuevas tareas de remediación en los sitios remediados.

7. Metodología

7.1. Plan de muestreo

- Muestreo de suelo

El muestreo de suelos debe realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma IRAM 29481-5:2005 Muestreo. Directivas para la investigación exploratoria de sitios urbanos e industriales con respecto a la contaminación de suelos. Debido a que las instalaciones que funcionaban en conjunto con la estación de servicio se encuentran en desuso desde un largo periodo de tiempo, no existen efluentes que sean sujetos a control.

Para el plan del muestreo de suelos, es necesario definir claramente los objetivos que permitan un óptimo proceso de levantamiento de la información necesaria para la descripción del sitio, definiendo:

- i) El primer paso consiste en definir el área en la que se focalizarán los esfuerzos de muestreo.
- ii) Los objetivos del plan de muestreo son:
 - Definir la profundidad a la cual se puede encontrar el contaminante.
 - Establecer la concentración de contaminante presente en el área de estudio.
- iii) Definir el tipo de muestreo.
- iv) Determinar la densidad y posición de los puntos de muestreo.
- v) Procedimientos de campo.
- vi) Y definir los métodos de conservación de muestras.
 - Muestreo en agua

El muestreo de agua se realizará utilizando como guía las normas IRAM 29012-1 (directivas para el diseño de programas de muestreo), IRAM 29012-2 (directivas para las técnicas de muestreo) y la norma IRAM-11 (Muestreo de aguas subterráneas).

- Análisis químico

El análisis químico de las muestras obtenidas tanto de suelo como de agua deben ser enviadas a un laboratorio acreditado siguiendo el protocolo establecido en la norma IRAM 29012-3 (preservación y manipulación de muestras) que asegure la calidad de los resultados presentados (Determinación del índice de hidrocarburos) por método (Extracción con disolvente y cromatografía de gases – IRAM 29034).

7.2. Caracterización Ambiental

Para la aplicación de la metodología se toma como referencia lo establecido mediante la Resolución N° 95/14 del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), dicho Organismo menciona que ante la detección de un indicio que permita presumir que el recurso hídrico y/o el suelo se encuentran afectados con alguna sustancia (agentes físicos o químicos) que altere su condición natural, el responsable de la contaminación deberá caracterizarlo conforme las pautas indicadas en el ANEXO I.

Además, se proponen 3 escenarios de contaminación (leve, moderado y grave) para comparar la factibilidad de la actuación ambiental (análisis de riesgos, atenuación natural monitoreada y tecnología escogida respectivamente) de acuerdo a lo indicado a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Escenarios propuestos para la actuación ambiental

Parámetros	Escenario 1 (Leve)		Escenario 2 (Moderado)		Escenario 3 (grave)	
	Concentración suelo (mg/Kg)	Concentración agua (mg/L)	Concentración suelo (mg/Kg)	Concentración agua (mg/L)	Concentración suelo (mg/Kg)	Concentración agua (mg/L)
HTP	40,76	2,91	411,67	31,67	941,11	78,43
Benceno	0,25	0,018	2,48	0,19	5,40	0,48
Etilbenceno	0,16	0,033	15,65	0,43	55,00	0,67
Tolueno	0,27	0,019	17,39	1,34	45,00	8,32
Xileno	0,21	0,015	28,89	2,22	55,00	17,75

Fuente: (Sebastian Juarez, 2020).

7.3. Criterios para la selección de la tecnología a usarse

Para la correcta selección de la tecnología que nos ayudara a dar solución a la problemática ambiental presente en el antiguo predio donde se emplazaba la estación de servicio GAX S.A (contaminación del suelo por hidrocarburos), es necesario tomar en cuenta los siguientes criterios para la elección de una estrategia de actuación ambiental:

- Desde la perspectiva del medio.
- Desde la perspectiva del contaminante.
- Desde la perspectiva del tratamiento.

Con la finalidad de plantear las mejores alternativas para la actuación ambiental sobre suelos contaminados con hidrocarburos (severo), se plantea una serie de matrices de decisión multicriterio; la metodología utilizada para la evaluación de estas tecnologías está basada en colores que permitirán establecer si su uso es favorable (verde), intermedio (amarillo) o desfavorable (rojo). Estos colores son asignados a cada uno de los 12 criterios, basados en la tabla “*Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*” (EPA) que se describe a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Tratamientos disponibles para actuación ambiental en suelos contaminadas con hidrocarburos

Tratamientos disponibles para combustibles en suelo, sedimentos, roca de fondo y lodo	
Tratamientos Biológicos in situ	Tratamientos Biológicos ex situ (excavación)
Bioventig	Biopilas
Biorremediación combinada	Compostaje
Fitoremediación	Landfarming
Tratamientos físicos/químicos in situ	Tratamiento biológico en fase de suspensión
Oxidación química	Tratamientos físicos/químicos ex situ (excavación)
Separación electrocinética	Extracción química
Fractura	Reducción/Oxidación química
Enjuague de suelo	Deshalogenación
Extracción de vapor de suelo	Separación
Solidificación/Estabilización	Lavado de suelos
Tratamiento térmico in situ	Solidificación/Estabilización
Tratamiento térmico	Tratamientos térmicos ex situ (excavación)
Otros tratamientos	Incineración
Excavación, recuperación, disposición fuera del sitio	Quema abierta/ Detonación abierta
Contención	Pirolisis
Cubierta de vertederos	Desorción Térmica
Cubierta de vertederos mejorada / Alternativas	Descontaminación con gas caliente
Símbolo	Significado
>	Funciona mejor que el promedio
<	Funciona bajo el promedio
=	Funcionamiento promedio

Fuente: (Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide (EPA), 1994).

7.4. Valoración para la selección de la tecnología a usarse

7.4.1. Disponibilidad

Este criterio ha sido seleccionado tomando en cuenta que la alternativa seleccionada no puede ser aplicada si no existe dicha tecnología útil en lugar donde se la quiera aplicar, tiene que haber al menos 1 o 2 proveedores calificados para asegurar su disponibilidad, pero si existen más de 2 a 4 proveedores nos ofrecerían un abanico de opciones y disminución de costos.

La valoración depende del número de oferentes de tecnología registrados en la OPDS, 2020, cuyo listado se presenta en el anexo 3 del presente documento:

- **Excelente:** Más de 4 proveedores
- **Bueno:** 2 - 3 proveedores
- **Regular:** Menos de 2 proveedores

7.4.2. Costo

El costo como criterio en industria es uno de los parámetros más importantes, ya que una solución puede ser perfecta para el problema, pero si su costo es demasiado elevado, ya sea porque es tecnología de punta, requiere de reactivos costos, o grandes obras de ingeniería, su aplicación simplemente sería inviable.

La valoración toma en cuenta los costos promedio de diseño, construcción y operación y mantenimiento de la tecnología de acuerdo a lo establecido Gobierno de Chile (Gerencia de Agua y Medio Ambiente, 2020) en su Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminadas presentado en el anexo 4.

- **Excelente:** Menos de 60 USD/m³ de suelo
- **Bueno:** De 60 a 100 USD/m³ de suelo
- **Regular:** Más de 100 USD/m³ de suelo

7.4.3. Tiempo de limpieza

Usamos el tiempo como criterio útil para la selección de una solución, es una variable a tomar en cuenta, ya que la solución está enfocada en reutilizar el agua para riego; por lo tanto, el agua debe estar disponible con una preciosidad acorde al uso que se la planea dar, en otras palabras el agua debe estar disponible cuando se la necesite.

La valoración toma como referencia el tiempo requerido para limpiar un sitio estandarizado:

- **Excelente:** Menos de 1 año.
- **Bueno:** De 1 a 3 años.
- **Regular:** Mas de 3 años.

7.4.4. Estado de desarrollo

El estado de desarrollo de una tecnología es un criterio importante para la aplicabilidad de una tecnología en la actuación ambiental de suelos contaminados, ya que la misma puede funcionar correctamente a escala piloto y para una determinada concentración y cantidad de un contaminante en especial.

Valoración:

- **Excelente:** Implementado, documentado y usado en múltiples actuaciones ambientales
- **Bueno:** Implementado en algunos sitios, pero aún necesita pruebas y documentación
- **Regular:** Probado a escala piloto o nivel de laboratorio

7.4.5. Eficacia

Posiblemente el criterio más importante, aunque en función de otros criterios como son tiempo y costo, el objetivo final de la actuación ambiental es conseguir que el contaminante a tratar sea lo más inocuo posible para el ambiente y en especial para la población circundante.

Valoración de la eficacia del tratamiento:

- **Excelente:** más de 85%
- **Bueno:** Disminución considerable 65 – 85%
- **Regular:** menor de 65%

El “Scoring” es una metodología utilizada mediante la ponderación de diferentes criterios establecidos y a la valoración de los mismos, este método es utilizado cuando hay como mínimo 2 criterios que deben ser analizados, y estos están en contraposición.

7.4.6. Asignación de Puntaje

La asignación de puntaje también es conocida como ponderación y varía de 1 a 5 (máx.), expresado en término de w_j En la tabla 6 se otorga una valoración a cada criterio de selección utilizado.

Tabla 6. Ponderación de criterios para la toma de decisiones.

Criterio	Valoración (w_j)
Disponibilidad	4
Costo	3
Tiempo	3
Estado de desarrollo	1
Eficacia	5

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

7.4.7. Ponderación de alternativas

Para la valoración de alternativas es necesario establecer la relación de satisfacción para cada alternativa, varía de 1 a 9 (máx.), expresado en término de r_i El nivel de satisfacción se establece acorde a la matriz multicriterio descrita para cada tecnología en el capítulo anterior y la valoración propuesta es la siguiente:

- Excelente= (7 – 9)
- Bueno= (4 - 6)
- Regular= (1 - 3)

Cabe mencionar que los criterios utilizados para la asignación de puntaje y la ponderación de alternativas se realizaron consultando a varios especialistas expertos en el tema, quienes con su experiencia propia en actuación ambiental de suelos contaminados establecen los valores presentados en este proyecto.

8. Resultados

8.1. Plan de muestreo

- Muestreo de suelos
 - i) El primer paso consiste en definir el área en la que se focalizarán los esfuerzos de muestreo.

La extensión de contaminación en el suelo comprende un área total de 1 320 m².

ii) Los objetivos del plan de muestreo son:

- Definir la profundidad a la cual se puede encontrar el contaminante.

La determinación de la profundidad en todos los puntos preseleccionados para el muestreo, arrojando diferentes datos en cada punto, por lo que fue necesario homogenizar la muestra. La toma de muestras en los diferentes puntos se realizó a una misma profundidad (3 m). El contaminante se encontró hasta una profundidad de 1,37 m.

- Establecer la concentración de contaminante presente en el área de estudio.

Después de ejecutar el plan de muestreo y enviar las muestras para su respectivo análisis en el laboratorio acreditado UTN LAB-QUIM, se obtienen los valores presentados en la tabla 7, donde se puede apreciar que el valor los BTEX están fuera de los niveles guía establecidos en la Tabla 7 del anexo II del decreto N° 831/93; únicamente el xileno (totales) cumplen con el nivel guía establecido para uso industrial de suelo, por lo tanto, es necesario remediar los suelos contaminados con BTEX, hasta que la concentración del contaminante cumpla con los niveles guía anteriormente mencionados para uso de suelo residencial.

Tabla 7. Concentración de contaminante (severo) presente en el área de estudio y comparativa del cumplimiento resolución N°95/14.

Parámetro	Valor (ug/g)	Nivel guía	Agrícola (ug/g)	Cumple/No Cumple	Residencial (ug/g)	Cumple/No Cumple	Industrial (ug/g)	Cumple/No Cumple
Benceno	5,40		0,05	No cumple	-	No cumple	5	No cumple
Etilbenceno	55,00		0,1	No cumple	5	No cumple	50	No Cumple
Tolueno	45,00		0,1	No cumple	3	No cumple	30	No Cumple
Xilenos	55,00		0,1	No cumple	5	No cumple	50	No Cumple

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

iii) Definir el tipo de muestreo.

El muestreo escogido fue el aleatorio estratificado ya que es un área grande no homogénea, entre sus ventajas podemos destacar que no es necesario disponer de la lista de toda la población sino de las subpoblaciones de orden superior extraídas y que existe una considerable reducción de costos.

iv) Determinar la densidad y posición de los puntos de muestreo.

El Número de muestras y distribución, fue de una muestra por cada 15 – 20 metros en las paredes del perímetro del área excavada y 2 en el fondo según la superficie (áreas menores a 1000 m²), lo que en nuestro caso de estudio corresponde a 14 puntos como se detalla a continuación en la ilustración 7 y en la tabla 8 se establece la profundidad de muestreo por cada punto.

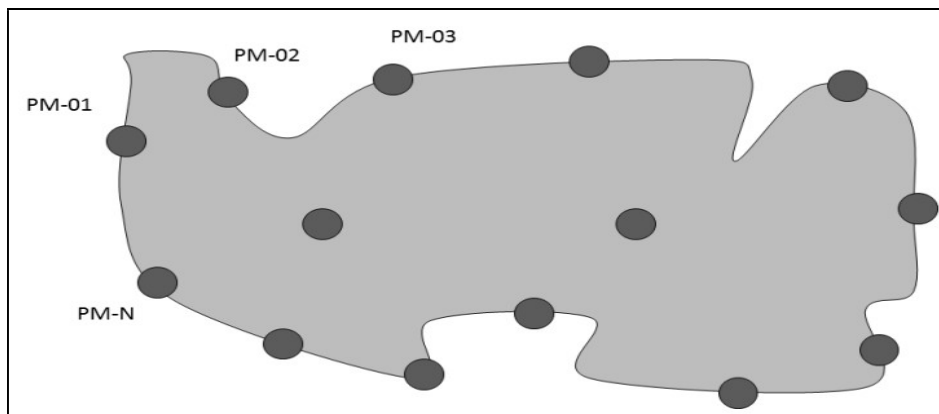


Ilustración 7. Localización de puntos de muestreo en el área de excavación irregular
Fuente: (Sebastián Juárez, 2020).

Tabla 8. Profundidad de muestreo en cada punto seleccionado.

PUNTO	PROFUNDIDAD DE MUESTREO
Punto 1	3,14 m
Punto 2	3,13 m
Punto 3	3,15 m
Punto 4	3,12 m
Punto 5	3,07 m
Punto 6	3,08 m
Punto 7	3,08 m
Punto 8	3,06 m
Punto 9	3,10 m
Punto 10	3,12 m
Punto 11	3,17 m
Punto 12	3,03 m
Punto 13	3,15 m
Punto 14	3,01 m

Fuente: (Sebastián Juárez, 2020).

v) Procedimientos de campo.

Se procedió a extraer aproximadamente 1 kilogramo de cada punto, 500 gramos fueron empacados en una funda con cierre hermético debidamente rotulada y los otros 500 gramos se utilizaron para preparar una muestra compuesta. Ésta fue dividida en 4 cuadrantes en costales vacíos o limpios para su volteo, se tomó dos de ellos al azar para continuar con la homogenización de la muestra, y los otros dos fueron regresados al sitio de estudio. Las muestras fueron tomadas en verano, ya que en invierno las condiciones climáticas dificultan tanto el muestreo como un futuro plan de actuación ambiental.

Los sitios de muestreo están representados por un punto naranja como se puede observar en la ilustración 8.



Ilustración 8. Muestreo en suelo
Fuente: (Sebastián Juárez, 2020).

vi) Definir los métodos de conservación de muestras.

Todas las muestras fueron conservadas a una temperatura inferior a los 4°C y utilizadas para los análisis pertinentes en un plazo no mayor a las 24h a partir del muestreo, de acuerdo a lo establecido en la norma IRAM 29012-3.

- Muestreo en agua

i) Objeto

El objeto del muestreo de aguas subterráneas consiste en identificar, en una etapa temprana, el nivel freático y la contaminación de acuíferos originada por actividades de superficie o de sub – superficies potencialmente peligrosas (ruptura del antiguo tanque de almacenamiento de hidrocarburos).

ii) Normas consultadas

La presente norma aplicada (IRAM 29012-11) toma como base la norma IRAM 29012-1 y la norma IRAM 29012-2.

iii) Definiciones

La lista de definiciones que son aplicables al muestreo de aguas subterráneas consta en el documento oficial de la norma IRAM 29012-11.

iv) Equipamiento de muestreo

- Materiales

Para el monitoreo de aguas subterráneas es necesario contar con materiales que eviten cualquier modificación química, por lo tanto se trabajó con materiales elaborados a base de polipropileno y polietileno de alta densidad.

- Tipos de aparatos

El tipo de bomba que se utilizó para este tipo de muestreo fue la bomba eléctrica sumergible y la utilización de piezómetros disponibles en el sitio.

v) Procedimiento de muestreo

- Selección del punto de muestreo

La distancia al cuerpo de agua más cercano al sitio donde existe contaminación por hidrocarburos es de 65,20 m. Para realizar el monitoreo de agua se tomó como referencia el único pozo de extracción de agua en el sitio, el mismo se encuentra a 55,11 m del sitio de estudio, tal como se indica en la ilustración 9.



Ilustración 9. Muestreo de aguas subterráneas
Fuente: (Sebastián Juárez, 2020).

- Frecuencia y tiempo de muestreo

La frecuencia y tiempo de muestreo es un parámetro fundamental para una correcta caracterización de las aguas subterráneas, ya que de manera natural o inducida ocurren cambios en el medio, esto con la finalidad de establecer un nivel de referencia; en este sentido se ha propuesto una toma inicial de muestra al inicio del proyecto, durante la ejecución del mismo y al finalizar la obra de actuación ambiental.

- Elección del método de muestreo

El muestreo se realizó utilizando una bomba sumergible. Los parámetros analizados y los resultados se muestran en la tabla 9

Tabla 9. Parámetros analizados

Parámetro	Valor	Límites – No Potable
Benceno	0,48 mg/L	0,52 mg/L
Tolueno	8,32 mg/L	8,20 mg/L
Etil benceno	0,67 mg/L	1,00 mg/L
Xileno	17,75 mg/L	20 mg/L

Fuente: (Sebastián Juárez, 2020).

Cabe mencionar que el único parámetro esta fuera de límite es el Tolueno, sin embargo, se puede esperar que por atenuación natural este parámetro esté dentro de los valores admisibles. Por otro lado, junto al antiguo predio donde se emplazaba la antigua estación de

servicio GAX S.A, se encuentran dos arroyos de tamaño pequeño y dos predios habitados por familias del lugar. Al observar las curvas de iso concentración se puede deducir que las aguas superficiales una vez que se infiltran en el terreno tienen como destino los arroyos del lugar; esto concuerda con la bibliografía que establece que la cuenca hidrológica superficial generalmente concuerda con la cuenca de aguas subterráneas.

No se detectó espesor medible de FLNA en ningún pozo. No se pudo delimitar una pluma de contaminación con FLNA, ya que la misma no se encontró en nuestro sitio de estudio.

8.2. Descripción del entorno

Alrededor del antiguo predio de GAX S.A, se realizan únicamente actividades relacionadas a la ganadería y a la agricultura. En un radio de 500 m desde el límite del sitio contaminado exclusivamente se puede considerar fuentes difusas de pesticidas y nitrógeno, mismos que son usados como insumos en las actividades agrícolas que se llevan a cabo en el lugar y potencialmente puede causar eutrofización en los cursos de agua aledaños. Además, desde el límite del predio contaminado podemos encontrar varios cuerpos de agua, específicamente arroyos de diversos tamaños, así como suelos con vocación agrícola, que potencialmente puede ser receptor como se puede apreciar en la ilustración 10.



Ilustración 10. Mapa escala 1:5000 radio 500m antiguo predio GAX S.A
Fuente: (Sebastián Juárez, 2020).

En la tabla 10 se describen los servicios básicos con los que cuenta el sector, así como energía eléctrica y calles y rutas asfaltadas, situación que permitirá el desenvolvimiento del proyecto de actuación ambiental sin grandes cambios en la infraestructura de los servicios públicos existentes.

Tabla 10. Servicios básicos con los que cuenta el partido de General Alvear.

Servicio
Agua Potable
Telefonía
Sistema Cloacal
Electricidad

Fuente: (Gobierno de la provincia de Buenos Aires, 2020).

En la tabla 11 se describen los insumos, equipos y materiales y residuos que se generaban durante las operaciones de la estación de servicio.

Tabla 11. Insumos, equipos y materiales y residuos que se utilizaban en las antiguas operaciones de la antigua estación de servicio GAX S.A.

Insumos	Equipos y materiales	Residuos generados
Diferentes tipos de combustibles.	Lubricadora y lavadora de autos	Desechos de filtros de aceites y filtros hidráulicos
Lubricantes y aceites para motores	Baños públicos	Residuos de combustibles líquidos
Solventes	Agua potable	Hidrocarburos
Detergentes	Bomba de aire	Lodo, arena (material absorbente)
Agua	Surtidores de combustible	Envases y contenedores
Energía	Trampa de aceites	Desechos de mezclas
Productos de aseo personal		Emulsiones de aceite y agua

Fuente: (Sebastián Juárez, 2020).

Los antiguos tanques de almacenamiento de combustible que se encontraron bajo la estación de servicio en desuso GAX S.A fueron extraídos contemplando con todos los requisitos exigidos por la autoridad competente, tomando en cuenta aspectos de seguridad, técnicos y de competitividad ambiental.

Se pudo identificar la presencia de hidrocarburos en el suelo donde antiguamente funcionaba la estación de servicio GAX S.A, la fracción de hidrocarburos sobre la cual se va a trabajar dado que se encuentra fuera de norma son los BTEX. El objetivo de la actuación ambiental del suelo anteriormente mencionado consiste en evitar que los BTEX por lixiviación migren hacia el agua subterránea y evitar una posible exposición a los mismos por parte de la población circundante.

8.3. Criterios de tecnología a utilizarse

Es necesario tomar en cuenta que una tecnología por si sola puede resultar insuficiente, ya que los BTEX pertenecen a la familia de los compuestos volátiles de los hidrocarburos, y por ende poseen alta presión de vapor con tendencia a volatilizarse y transferirse a una corriente de aire como mecanismo predominante; por lo tanto, es necesaria la combinación de dos tecnologías

Tabla 12. Matriz multicriterio de tecnologías in situ y otras tecnologías.

Tecnología	Bioventig	Biorremediación	SVE	Tratamiento Térmico	Excavación	Biorremediación combinada													
Subproducto generado																			
Capacidad operarios																			
Eficacia																			
Consumo energía																			
Desarrollo																			
Tren de operación																			
Operación																			
Inversión																			
Confiabilidad																			
Costos																			
Tiempo																			
Disponibilidad																			
TOTAL	9	3	0	6	5	1	5	6	1	4	2	6	7	2	2	8	3	1	
Clasificación por color																			
Excelente						Bueno						Regular							

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

En la tabla 12 se presenta la matriz multicriterio para las tecnologías in situ. A partir de ella se observa que la tecnología de bioventig y biorremediación combinada presentan excelentes resultados, dado que cada una tiene 9 y 8 parámetros catalogados como excelentes respectivamente, la tecnología de tratamiento térmico presenta el valor más bajo con 4 parámetros catalogados como excelentes.

A pesar que la tecnología de excavación presenta buenos resultados, estos no toman en cuenta los altos costos como son la combinación de tecnologías para su disposición final, por lo tanto, las tecnologías in situ que se analizaran más adelante son bioventig, biorremediación y biorremediación combinada.

Tabla 13. Matriz multicriterio de tecnologías ex situ.

Tecnología	Biopilas	Compostaje	Landfarming	Incineración	Desorción térmica			
Subproductos generados								
Capacidad de operarios								
Eficacia								
Consumo de energía								
Estado de desarrollo								
Tren de operación								
Operación								
Capital de Inversión								
Confiabilidad								
Costos								
Tiempo								
Disponibilidad								
TOTAL	8 3 1	7 3 2	8 4 0	5 1 6	4 1 7			
Clasificación por color								
Excelente			Bueno			Regular		

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

En la tabla 13 se presenta los resultados de la matriz de multicriterio para tecnologías ex situ, que arroja diferentes resultados; por un lado las biopilas, el compostaje y land farming presenta excelentes resultados, sin embargo la calidad del producto obtenido es normal y el tiempo que toma la eliminación del contaminante es alto. Por otro lado los tratamientos térmicos arrojan los resultados contrarios, es decir que en poco tiempo se obtiene la eliminación de contaminante casi en su totalidad pero los altos costos de operación limitan mucho estas soluciones tecnológicas.

8.4. Valoración de las tecnologías aplicarse (severo)

El paso final de la metodología adoptada es calcular el score para cada una de las alternativas seleccionadas con anterioridad, en la tabla 14 y 15 se describe la valoración y ponderación respectivamente para cada una de ellas.

Tabla 14. Valoración de alternativas.

Criterios	Bioventig (r1)	Biorremediación (r2)	Biopilas (r3)	Compostaje (r4)	Landfarming (r5)	Biorremediación combinada
Disponibilidad	Excelente	Excelente	Regular	Regular	Bueno	Excelente
Costo	Excelente	Bueno	Bueno	Regular	Excelente	Bueno
Tiempo	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Estado de desarrollo	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Eficacia	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

Tabla 15. Ponderación para cada alternativa.

Criterios	Ponderación	Alternativa (r1)	Alternativa (r2)	Alternativa (r3)	Alternativa (r4)	Alternativa (r5)	Alternativa (r6)
Disponibilidad	4	8 (32)	8 (32)	2 (8)	2 (8)	5 (20)	7 (28)
Costo	3	8 (24)	7 (21)	5 (15)	2 (6)	7 (21)	7 (21)
Tiempo	3	7 (21)	5 (15)	5 (15)	4 (12)	4 (12)	6 (18)
Estado de desarrollo	1	7 (7)	8 (8)	8 (8)	8 (8)	8 (8)	7 (7)
Eficacia	5	5 (25)	5 (25)	5 (25)	4 (20)	5 (25)	8 (40)
Score S _i		109	101	71	56	86	114

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

Finalmente, tras aplicar una valoración y posterior ponderación de los criterios seleccionado para cada una de las alternativas definidas mediante la matriz de multicriterio para tecnologías in situ y ex situ, se puede seleccionar una entre 6 alternativas escogidas.

9. Selección y aplicación de la mejor alternativa de tecnológica para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos

Una vez que se han descrito y evaluado todas las tecnologías, se pueden sugerir 6 alternativas viables escogidas a partir de las matrices multicriterio, como se puede observar en la tabla 16 y que puedan ofrecer una solución factible a la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos (BTEX), como se describe a continuación:

Tabla 16. Matriz multicriterio para selección de la tecnología adecuada.

Tecnología	Alternativa	In situ/ Ex situ	Excelente	Bueno	Regular
Bioventig	1	In situ	9	3	0
Biorremediación	2	In situ	6	5	1
Biopilas	3	Ex situ	8	3	1
Compostaje	4	Ex situ	7	3	2
Landfarming	5	Ex situ	8	4	0
Combinación	6	In situ	8	3	1

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

Para la selección final de la tecnología más idónea para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (severo), se tomó en cuenta las tecnologías más relevantes de las matrices multicriterio presentadas en la tabla 16. Estas 6 alternativas fueron escogidas en base a la realidad en la que se encuentra actualmente el antiguo predio de la estación de servicio GAX S.A y a los criterios establecidos por la EPA, OPDS y Gobierno de Chile. A continuación, en la ilustración 11, 12, 13, 14, 15 y 16 se presentan las alternativas escogidas.

Cabe mencionar que para el escenario leve y moderado se va aplicar un análisis de riesgos considerando que la tecnología más idónea para la actuación ambiental bajo los mencionados criterios será la atenuación ambiental monitoreada respectivamente, en la ilustración 17 y 18 se presentan las alternativas (análisis de riesgo y atenuación natural) agregadas.

- Alternativa 1 (Bioventig)



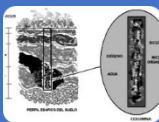
Inyección de oxígeno

- Inyección a presión de aires en la zona no saturada



Degradación de hidrocarburos

- Volatilización del contaminante
- Biodegradación



Bioaumentación

- Depende de la cantidad de microorganismos presentes en el suelo
- En función de la temperatura puede durar algunos meses

Ilustración 11. Alternativa 1 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

- Alternativa 2 (Biorremediación + Bioventig)



Análisis y elección de medidas biocorrectivas

- Identificar y cuantificar los contaminantes
- Conocer los factores que influyen en la transformación biológica de los contaminantes



Diseño y evaluación del sistema

- Evaluación de la viabilidad técnica
- Evaluación del diseño
- Evaluación del control y seguimiento



Análisis e interpretación de resultados

- Mediante pruebas de laboratorio se puede verificar si se alcanzaron los objetivos deseados.
- Este proceso puede durar meses e inclusive años

Ilustración 12. Alternativa 2 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos. Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

- Alternativa 3 (Biopilas)



Formación de pilas

- Las pilas se forman con suelo excavado
- Se necesita de un área relativamente grande



Aireación y volteo

- Para mejor los resultados se puede airear activamente las pilas
- Las pilas tienen que se continuamente volteadas




Biodegradación

- Para mejor la biodegradación del compuesto se puede adicionar nutrientes
- El proceso puede durar meses

Ilustración 13. Alternativa 3 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos. Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

- Alternativa 4 (Compostaje)



Extracción de suelo

- El suelo tiene que ser extraído para poder ser mezclado con composta madura
- Para que sea efectivo el compostaje debe tener un estricto control de humedad y temperatura



Diseño de las pilas de compostajes

- El proceso no está complicado como las biopilas, sin embargo debe haber cuidado en el diseño ingenieril de las pilas de compostaje, ya que si son muy grandes o pequeñas afecta directamente al resultado.




Degradación

- Este proceso de compostaje puede durar meses e inclusive años, los residuos que sean adicionados con anterioridad al contaminante de ben estar aclimatados, es un proceso muy sensible a variaciones en la humedad y temperatura.


Ilustración 14. Alternativa 4 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos. Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

- Alternativa 5 (Landfarming)




Extracción de suelo

- El suelo tiene que ser extraído y ser colocado en un lugar especialmente acondicionado para este fin.



Laboreo del suelo

- Mediante el arado de suelo se oxigena el suelo por remoción mecánica
- La capa de suelo tiene que ser delgada para favorecer la activación de bacterias aeróbicas.




Degradación

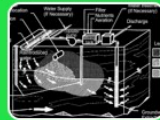
- Mediante la ayuda de enmiendas (nutrientes) se puede favorecer la actividad de los microorganismos.
- Se debe controlar la humedad y la temperatura del proceso

Ilustración 15. Alternativa 5 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.
Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).


- Alternativa 6 (Combinación)



Análisis y elección de medidas biocorrectivas.




Diseño y evaluación del sistema con Inyección de oxígeno.



Análisis e interpretación de resultados.

Ilustración 16. Alternativa 6 para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.
Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).


- Alternativa actuación leve (Análisis de riesgos)



Identificar el riesgo



Evaluar el riesgo (Riesgo vs Impacto)



Tratar el riesgo

Ilustración 17. Alternativa leve para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.
Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

- Alternativa actuación moderado (Atenuación natural monitoreada)

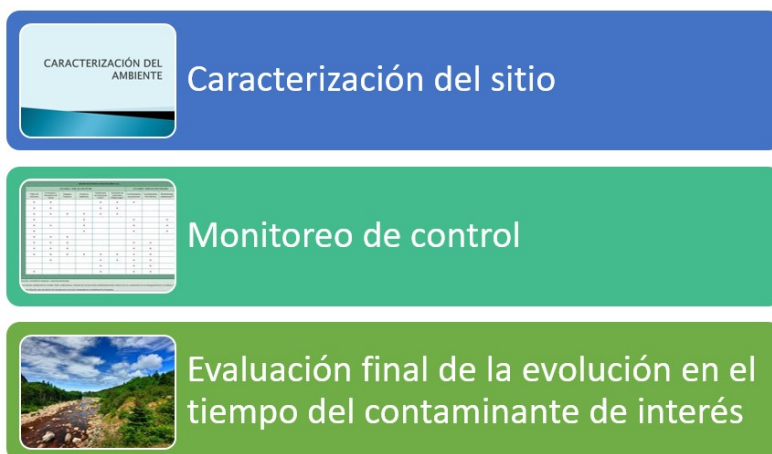


Ilustración 18. Alternativa moderado para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

Los criterios elegidos para la elección de la solución están enfocados en diferenciar las diferentes alternativas y dar una valoración cualitativa y en lo posible cuantitativa que nos permita escoger de manera imparcial. A continuación en la tabla 17 se presenta la alternativa cuya valoración fue la mayor, además se describe los criterios escogidos y la forma en que fueron valorados de acuerdo a la metodología presentada con anterioridad en la tabla 15.

Tabla 17. Ponderación para la alternativa elegida.

Criterios	Ponderación	Alternativa (r _{i6})
Disponibilidad	4	7 (28)
Costo	3	7 (21)
Tiempo	3	6 (18)
Estado de desarrollo	1	7 (7)
Calidad del Residuo	5	8 (40)
Score S _j		114

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando la metodología “scoring”, la alternativa número 6 es la solución más adecuada desde el punto de vista ingenieril y de costos para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos BTEX, dado que el bioventing es una técnica ampliamente utilizada para eliminar los COV, su objetivo es favorecer el proceso de biorremediación acelerándolo, en la ilustración 19 podemos observar el flowsheet de la solución propuesta para el escenario severo.

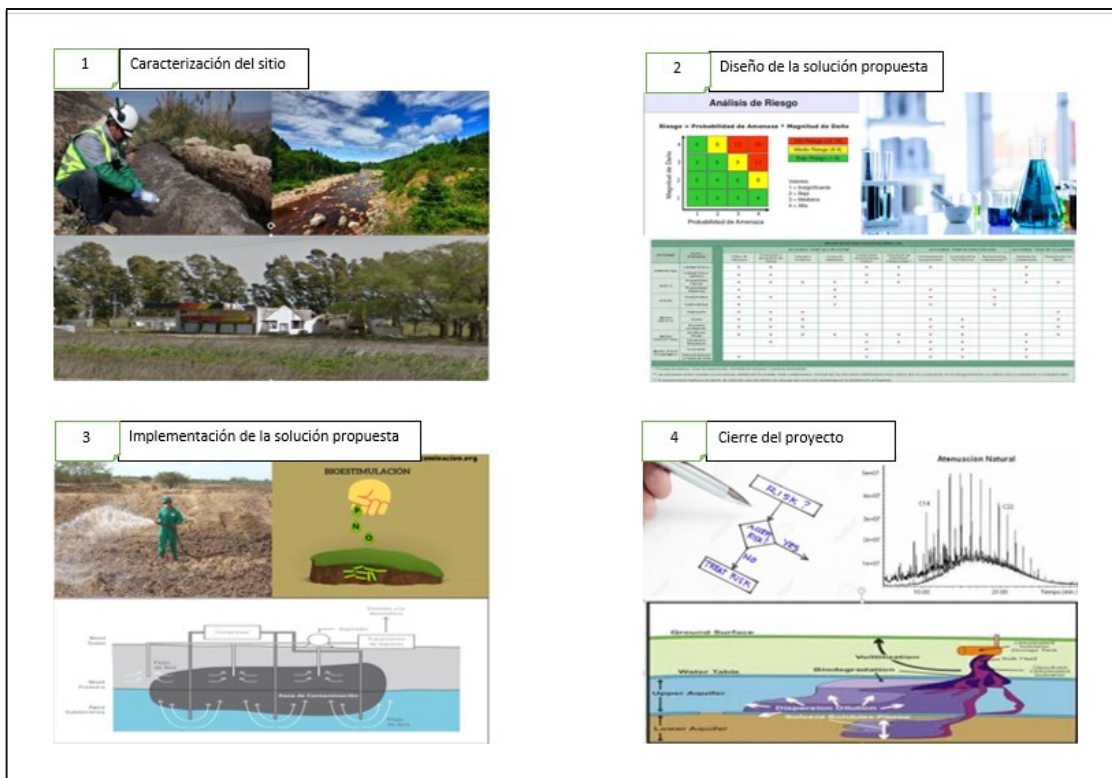


Ilustración 19. Flowsheet de implementación de la solución propuesta. Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

9.1. Diseño de la solución propuesta

Para el diseño de la solución propuesta se integran las actuaciones sobre las cuales se han determinado las pautas a seguir para la remediación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos, mismas que se establecen a continuación como una herramienta guía.

9.1.1. Análisis de riesgos

EXPLICAR ANÁLISIS DE RIESGO REALIZADO

9.1.2. Análisis y elección de medidas para la actuación ambiental

La metodología aplicada para el análisis y elección de medidas biocorrectivas que serán aplicadas como solución para la actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos, se describen detalladamente en el capítulo 7 del presente documento.

9.1.2.1. Identificar y cuantificar los contaminantes

En la tabla 7 que se encuentra en el capítulo 8, se describen los contaminantes analizados y su concentración encontrada en el suelo, de igual manera se puede observar en la misma una comparación entre la concentración de contaminantes obtenida y la legislación ambiental aplicable.

9.1.2.2. Conocer los factores que influyen en la transformación biológica del contaminante

La velocidad de degradación de hidrocarburos presentes en el suelo se encuentra estrechamente relacionada a los siguientes factores que han sido identificados como condicionantes para la biorremediación (Martínez., et al, 2011):

- Humedad del suelo
- Textura
- Oxígeno
- pH del suelo
- Temperatura
- Nutrientes en el suelo

Por lo tanto, los 6 parámetros mencionados con anterioridad se encuentran sujetos a fiscalización interna a cargo del personal, es decir, deben ser frecuentemente monitoreados para asegurarnos que las condiciones ideales para la biorremediación se mantengan y en caso de que las mismas cambien, agregar o retirar las enmiendas necesarias.

9.1.3. Evaluación del sistema

En la ilustración 20 se presenta las 3 etapas necesarias para realizar las pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de los contaminantes presentes en el sitio de estudio, con la finalidad de establecer la persistencia de los mismos. Estas pruebas tienen como base a las pruebas establecidas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y permiten evaluar el bajo costo potencial de biodegradación de cualquier molécula orgánica (Rodríguez & Hernández, 2004), además en la tabla 18 se pone a la vista las pruebas de biodegradabilidad normalizadas por la OCDE.

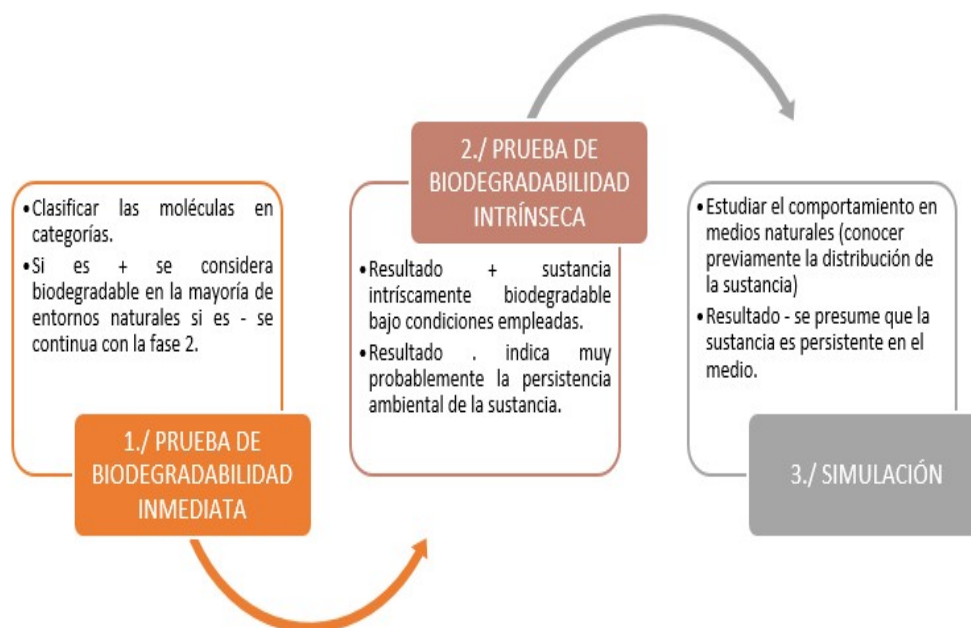


Ilustración 20. Pruebas de degradabilidad. **Realizado por:** (Sebastián Juárez, 2020).

Tabla 18. Pruebas de biodegradabilidad normalizadas de la OCDE y su correspondencia con pruebas ISO, US-EPA y ECB.

DESCRIPCIÓN	OCDE	ISO	US-EPA	ECB
PRUEBAS DE BIODEGRADABILIDAD INMEDIATA				
Prueba AFNOR modificada – pérdida de COD	301 A	7827	85,3110	C,4-A
Prueba de STURM modificada – desprendimiento de CO2	301 B	9439	85,3110	C,4-C
Prueba MITI I modificada	301 C	-	85,3110	C,4-F
Prueba en frasco cerrado	301 D	10707	85,3110	C,4-E
Prueba modificada de detección de la OCDE – pérdida de de COD	301 E	7827	85,3110	C,4-B
Prueba de respirometría manométrica	301 F	9408	85,3110	C,4-C
Prueba de desprendimiento de CO2 en recipientes cerrados	310 ⁶	14593	85,3110	-
PRUEBAS DE BIODEGRADABILIDAD INTRÍNSECA				

Prueba SCAS modificada	302 A	9887	835,3210	C,12
Prueba de ZAHN-WELLENS modificada	302 B	9888	835,3200	C,9
Prueba de MITI II modificada	302 C	-	-	-
Prueba de CONCAWE	302 D	-	-	-
PRUEBAS DE SIMULACIÓN				
Prueba de simulación de tratamiento aerobio en lodos activos	303 A	11733	-	C,10
Prueba de simulación de tratamiento aerobio con biomasa fija	303 B	-	-	-
Prueba de biodegradabilidad intrínseca en suelos	304 A	14239	835.3300	-
Prueba de biodegradabilidad en agua marina	306	-	835,3160	-
Prueba de transformación aerobia y anaerobio en suelos	307	-	-	C,23
Prueba de transformación aerobia y anaerobio en sedimentos acuáticos	308	-	-	C,24
Prueba de mineralización aerobia en agua superficial	309	14592-1	-	-
Prueba de producción de biogás a partir de lodo anaerobio diluido	311	11734	-	-

Realizado por: (Rodríguez & Hernández, 2004).

9.1.3.1. Evaluación de la viabilidad técnica

En la evaluación de la viabilidad técnica es necesario identificar la biodegradabilidad de los contaminantes presentes en el suelo, ya que es de suponer que los microorganismos (nativos) presentes en el mismo están completamente adaptados al medio, y utilizan a los hidrocarburos como fuente de carbono (energía), esta es la etapa °1 conocida como prueba de biodegradabilidad inmediata de la OCDE, en la tabla 19 se presentan las condiciones experimentales necesarias para realizar las pruebas mencionadas con anterioridad.

Tabla 19. Condiciones experimentales de las pruebas inmediatas de la OCDE.

PRUEBA	FUENTE DEL INÓCULO	INÓCULO (células/L)	COMPUESTO DE PRUEBA (mg/L)	DESCRIPCIÓN
301 A	Efluente secundario, extracto de suelo, agua superficial o lodos activos	10 ⁷ -10 ⁸	10 – 40 (mgCOD/L)	Prueba en matraz agitado con seguimiento de la pérdida de COD.
301 B	Efluente secundario, extracto de suelo, agua superficial o lodos activos	10 ⁷ -10 ⁸	10 – 20 (mgCOD/L)	Prueba respirometría en un dispositivo que capta el CO ₂ producido.
301 C	Lodos pre cultivados con peptona y glucosa	10 ⁷ -10 ⁸	100	Prueba de respirometría en un medidor de DBO
301 D	Efluente secundario, agua residual	10 ⁴ -10 ⁶	2-10	Prueba de respirometría en un medidor de DBO
301 E	Efluente secundario	10 ⁵	10 – 40 (mgCOD/L)	Prueba en matraz agitado con seguimiento de la pérdida de COD.
301 F	Efluente secundario, extracto de suelo, agua superficial o lodos activos	10 ⁷ -10 ⁸	100	Prueba de respirometría manométrica.
310 ^b	Efluente secundario, extracto de suelo, agua superficial o lodos activos	10 ⁵ -10 ⁸ (UFC/L)	10 – 20 (mgCOD/L)	Prueba respirometría en recipientes cerrados con seguimiento del C inorgánico producido en la fase líquida o gaseosa.

Realizado por: (Rodríguez & Hernández, 2004).

Los compuestos que no son solubles en agua deben medirse preferentemente en base a pruebas de respirometría que midan el CO₂ producido, por lo tanto la prueba aplicarse en nuestro sistema es la 301 B conocida como prueba de sturm modificada, misma que consiste en un ensayo aerobio discontinuo que mide la mineralización de la sustancia por medio de la monitorización del CO₂ producido, la prueba anóxica contempla la adición del compuesto en estudio (hidrocarburos) como única fuente de energía (Martínez, 2007).

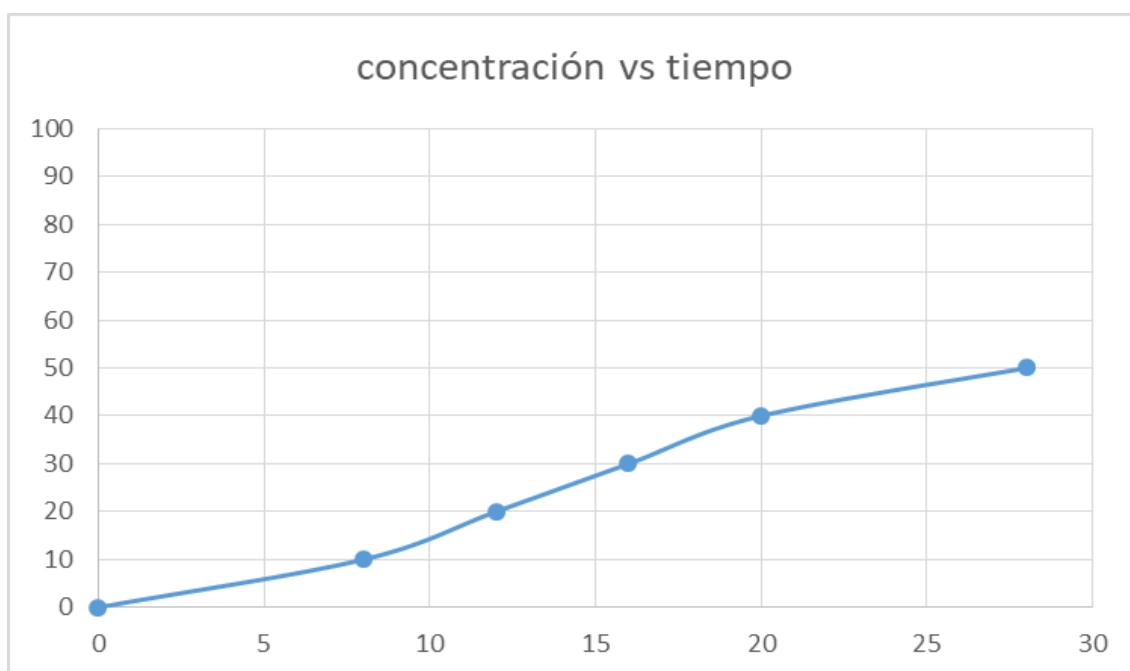


Ilustración 21. Proceso de biodegradación de hidrocarburos etapa °1.

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

Observándose el gráfico 21 una vez aplicada la prueba de Sturm durante 28 días, se obtuvo un porcentaje de biodegradación del 47%, por lo tanto puede concluirse que los hidrocarburos presentes en el suelo no son inmediatamente biodegradables, ya que el límite de biodegradación exigido por estas pruebas es del 60% para el O₂ o de la producción teórica del CO₂, cabe destacar que las condiciones experimentales de las pruebas inmediatas restringen al máximo las posibilidades que la biodegradación suceda, al obtener un resultado negativo se procede con la prueba intrínseca (Rodríguez & Hernández, 2004).

Tabla 20. Condiciones experimentales de pruebas de biodegradabilidad intrínseca de la OCDE.

PRUEBA	FUENTE DEL INÓCULO	INÓCULO (Gsst/L)	COMPUESTO PRUEBA (mg/L)	DESCRIPCIÓN
302 A	Lodos activados y aguas residuales urbanas	1 - 4	20 (mgCOD/L)	Prueba semicontinua con seguimiento del COD.
302 B	Lodos activados lavados	0.2 - 1	50 - 400 (mgCOD/L)	Prueba semicontinua con seguimiento del COD.
302 C	Lodos precultivados con peptona y glucosa	0.1	30	Prueba respirométrica en un medidor de DBO.
302 D	Suelo y lodos activados	0.05°	20 (mgCOD/L)	Prueba en recipientes cerrados con seguimiento del C inorgánica producido.

Realizado por: (Rodríguez & Hernández, 2004).

En la tabla 20 se presentan las condiciones experimentales necesarias para realizar las pruebas intrínsecas de biodegradabilidad, las mismas corresponden a la etapa °2 de la evaluación del sistema. Al tratarse de una muestra de suelo y el contaminante son los hidrocarburos la prueba aplicada es la 302 D conocida como prueba de CONCAWE, cuyos resultados se presentan a continuación en la figura 22.

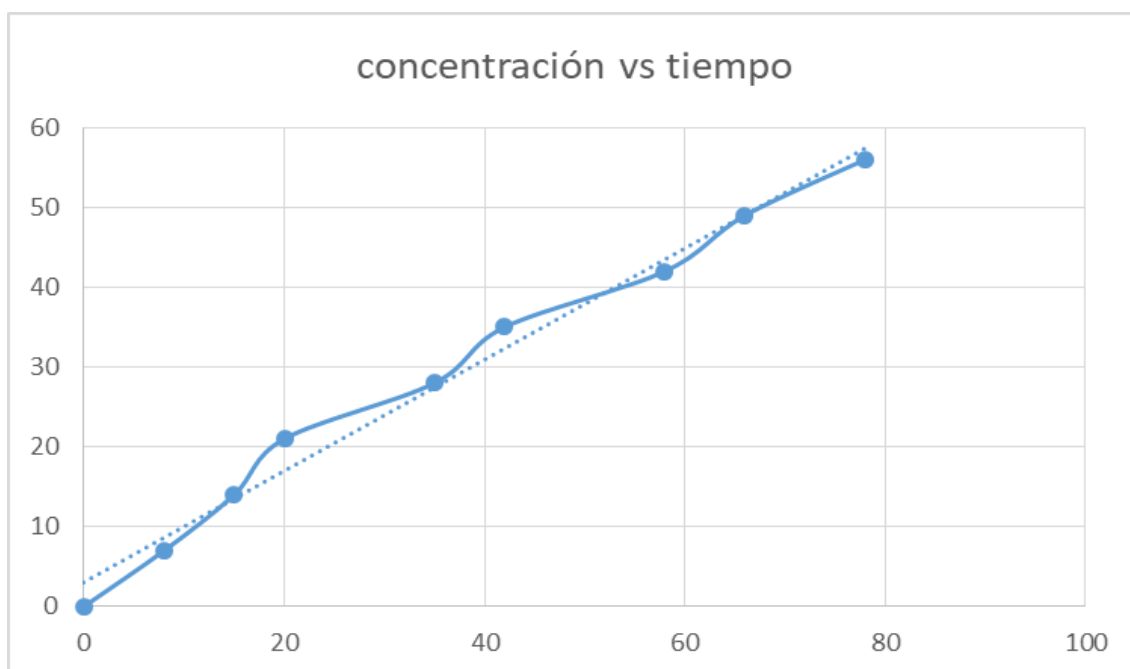


Ilustración 22. Proceso de biodegradación de hidrocarburos etapa °2.

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

La prueba de CONCAWE consiste en utilizar una población microbiana mixta previamente adapta al sitio de estudio durante un periodo de incubación de 8 semanas, una vez que se aplicó la misma a nuestro sistema de estudio se comprobó que los hidrocarburos presentes en el suelo son intrínsecamente biodegradables, ya que al concluir el periodo de incubación estipulado con anterioridad se obtuvo un porcentaje de biorremediación del 78%, por lo tanto no es necesario proseguir con la etapa °3 (Rodríguez & Hernández, 2004).

9.1.3.2. Evaluación del diseño

Desde las perspectiva del contaminante los BTEX pertenece a la familia de hidrocarburos volátiles, por lo que puede esperarse que tenderán a volatilizarse y transferirse a la corriente de aire, es necesario mantener un monitoreo continuo del proceso de Bioventig (al ser un pasivo ambiental, se asume que la mayor parte de BTEX ya se volatilizaron). Por otro lado para identificar los microorganismos degradadores de hidrocarburos es necesario tomar muestras de suelo contaminado y “sembrarlo” en el laboratorio, así de esta manera aislamos exclusivamente a los microorganismos responsables de la mineralización del contaminante (Cárdenas, 2015).

Tabla 21. Diferencia porcentual de la concentración de BTEX en *Enterobacter sp.*, *Serratia foticola* y *Pseudomonas fragi*.

Microorganismo	Lapso tiempo h	Disminución concentración de contaminante %			
		Benceno	Tolueno	EtilBenceno	Xileno
<i>Enterobacter sp</i>	0 – 48	87,9	79,5	86,0	2,8
	0 - 24	32,2	16,8	23,5	1,4
<i>Serratia foticola</i>	0 – 48	81,7	74,6	84,7	74,5
	0 - 24	64,2	49,0	48,4	39,2
<i>Pseudomonas fragi</i>	0 – 48	73,2	41,3	33,1	68,5
	0 - 24	24,5	2,4	9,0	44,00

Realizado por: (Sebastián Juárez, 2020).

En la tabla 21 se puede observar los microorganismos identificados como responsables de la bodegradación de los BTEX en el sitio contaminado con hidrocarburos, la prueba realizada corresponde al método de cuantificación denominado microextracción en fase sólida, misma que consta de una fibra (carbón activado) cubierta por una fase, además se compone de procesos de muestreo y desorción cuyo tiempo de duración es 48 horas (Cárdenas, 2015).

9.1.3.3. Evaluación del control y seguimiento

Con los datos obtenidos en la evaluación del diseño se procede a realizar un plan piloto en el sitio contaminando que permita determinar la eficacia del tratamiento, para ello es necesario formular una propuesta metodológica que contemple el monitoreo y control de la recuperación en el sitio de interés. A continuación se presentan los aspectos necesarios para que el plan de control y monitoreo que se pueda aplicar.

Monitoreo

- Seguimiento de parámetros de funcionamiento y operación del sistema.
- Vigilancia del medio físico y la propiedad a proteger durante la remediación.
- Seguimiento de los medios contaminados durante la remediación.
- Cálculo de la eficiencia de eliminación.
- Monitoreo de atenuación natural de los contaminantes.
- Alcance de las metas de remediación.

Control

- Conocer la evolución de los contaminantes en el medio, así como definir si existen nuevos focos activos de contaminación y proceder a su eliminación.
- Evaluar trabajos de limpieza y recuperación.
- Establecer la eficacia de los trabajos de descontaminación en el tiempo.

9.1.4. Análisis e interpretación de resultados

9.1.4.1. Análisis de laboratorio para verificar el progreso en la biorremediación

Finalmente, con los datos recabados en el laboratorio y en el plan piloto efectuado sobre el sitio contaminado, es posible estimar la eficiencia del tratamiento y el tiempo que nos tomara en descontaminar todo el lugar, además podremos identificar si es necesario aplicar enmiendas adicionales (nutrientes) en el lugar, que permitan a los microorganismos obtenidos en el laboratorio (bioaumentación - bioestimulación) acelerar dicho proceso.

9.2. Aplicación de la solución propuesta

9.2.1. Análisis in situ de parámetros que afectan la biorremediación

Desde la perspectiva del medio y tras realizar un análisis in situ de los parámetros que influyen en la velocidad y calidad de residuo a obtenerse al aplicar la solución propuesta, se obtienen el resultado presentado a continuación en la tabla 22.

Tabla 22. Caracterización física y química de los suelos sujetos a actuación ambiental

Parámetro		Valor
Humedad		6,9 %
Textura		HAC (arcilloso)
pH		7,82
Nutrientes	Nitrógeno	1,34%
	Fósforo	2,06 mg/Kg
	Potasio	0,43 meq/100g

Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

De acuerdo a la caracterización física y química del sitio de estudio presentada en la tabla 18, se establece que la humedad presente en el suelo es 6,9%; esta condición favorece el proceso ya que un exceso de humedad inhibe el crecimiento microbiano al reducir la concentración de oxígeno en el suelo, la textura del mismo corresponde a la clasificación HAC (suelo arcilloso de alta actividad) de acuerdo al IPCC (2006) con pH ligeramente alcalino. En lo referente a la textura, predominó la textura arcillosa, se conoce que el predominio de fracción arenosa en el suelo favorece el proceso de biorremediación. Los resultados indican que el pH en el suelo (7,82) es ligeramente alcalino; el valor óptimo debe ser el más cercano al neutro o encontrarse dentro del rango 6,00 a 8,00, por lo tanto no resultara una limitante.

En cuanto a los nutrientes analizados en el suelo, cabe destacar que el sitio es rico en nitrógeno (1,34%), deficientes en fósforo (2,06 mg/Kg) y potasio (0,43 meq/100g), nutrientes que son necesarios para el proceso microbiano, por lo que se recomienda la adición de los nutrientes deficientes (fósforo y potasio) para mejorar dicho proceso (biorremediación aumentada), de igual manera se recomienda la adición de aire (oxígeno al medio), de esta manera se favorece la volatilización de los BTEX y se mejora el proceso.

9.2.2. Aplicación del sistema

El ensayo en laboratorio se realizó a partir de muestras de suelo obtenidas en el sitio de interés, los ensayos aplicados fueron los siguientes:

- Obtención y aislamiento de microorganismos con potencial biodegradador de hidrocarburos.
 - Preparación de medios de cultivos.
 - Siembra y conteo de microorganismos.
 - Aislamiento de microorganismos.
 - Conservación de microorganismos.
- Caracterización primaria de los microorganismos aislados
 - Caracterización morfológica.
 - Tinción de Gram.
 - Prueba de la catalasa.
 - Prueba de la oxidasa.
- Identificación bioquímica de los microorganismos aislados
 - Procedimiento – inoculación e incubaciones.
 - Procedimiento – lectura y adición de reactivos
- Bioensayos con hidrocarburos
 - Selección de los hidrocarburos para el bioensayo (BTEX).
 - Preparación de medios de cultivo a diferentes concentraciones de hidrocarburos.

- Bioensayos aplicados a los microorganismos aislados.
- Pruebas de interacción microbiana.

Una vez realizados los bioensayos a distintas concentraciones de BTEX y las interacciones microbianas con los microorganismos que presentaron mejor crecimiento en los bioensayos, en total se han podido aislar 12 especies microbianas (incluidas las 3 especies identificadas durante las pruebas de microextracción en fase sólida) que presentaban esta actividad biorremediadora, de las que se han mantenido para la elaboración del inóculo un total de 11 (eliminación de una colonia por su efecto antagonista con otras especies también aisladas).

Las bacterias que fueron identificadas bioquímicamente como potenciales microorganismos capaces de degradar hidrocarburos son las siguientes: *Klebsiella sp.*, *Chromobacterium sp.*, *Flavimonas orizihabitans.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus brevis.*, *Klebsiella sp.*, *Bacillus sp.*, *Enterobacter cloacae.*, *Enterobacter sp.*, *Serratia foticola* y *Pseudomonas fragi*.

Una vez identificados los microorganismos responsables de la biorremediación de hidrocarburos en el suelo se procedió aplicar las tecnologías de remediación propuestas en los capítulos anteriores tal como se establece a continuación:

- Bioventig
 - Inyección a presión de oxígeno en la zona no saturada.
 - Facilitar la volatilización de los COV restantes (al ser un pasivo ambiental de varios años, puede esperarse que la mayor parte de los mismos ya se volatilizo) y favorecer el proceso de aireación mediante la adición de oxígeno.
 - Debe controlarse las condiciones de pH (6 – 8), humedad (12 – 30% en peso), potencial redox mayor de -50 mV, temperatura entre 0 y 40 °C y los nutrientes del suelo N:P de 10:1.
- Bioaumentación

Tras el proceso de aislamiento, seleccionamos los microorganismos identificados como bio degradadores de hidrocarburos y procedemos a su inoculación en el sitio, priorizando los microorganismos autóctonos presentes en el sitio. Los microorganismos descritos anteriormente, fueron aplicados en forma de roció sobre el suelo contaminado, obteniéndose los siguientes resultados descritos en la tabla 23.

Tabla 23. Resultados trimestrales de la solución propuesta aplicada.

Trimestre	Contaminante	Concentración inicial (mg/Kg)	Concentración trimestral (mg/Kg)	Porcentaje de reducción trimestral %
Primero	HTP	941,11	372,58	60,41
	Benceno	5,40	4,43	17,96
	Etilbenceno	55,00	37,62	31,60
	Tolueno	45,00	22,47	50,07
	Xileno	25,00	17,82	28,72
Segundo	HTP	372,58	89,12	76,08
	Benceno	4,43	2,91	34,31
	Etilbenceno	37,62	25,94	31,05
	Tolueno	22,47	14,16	36,98
	Xileno	17,82	13,22	25,81

Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

- Bioestimulación
 - Con la finalidad de acelerar el proceso de biorremediación, añadimos los nutrientes identificados como necesarios para que se desarrolle la actividad metabólica de los microorganismos, obteniéndose como resultado final los parámetros establecidos a continuación en la tabla 24.

Tabla 24. Concentración final de contaminantes.

Contaminante	Concentración final (ug/g)	Concentración uso industrial (ug/g)	Porcentaje total de reducción %
Benceno	2,91	5,00	46,12
Etilbenceno	25,94	50,00	52,84
Tolueno	14,16	30,00	68,53
Xileno	13,22	50,00	47,12

Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

De la tabla 23 y 24 se puede establecer que el proceso de biorremediación resulto exitoso, ya que la concentración final de los BTEX cumple con la legislación vigente para uso de suelo en actividades industriales, el compuesto que presento un mayor porcentaje de reducción es el Tolueno con un 68,53, el resto de compuestos presentan un porcentaje de degradación mayor al 45%.

9.3. Costos relativos a la solución

En la tabla 25 se presentan los costos relativos a la implementación de la solución propuesta para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.

Tabla 25. Costo del proyecto del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.

Costo en un año del proyecto para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos en US\$										
Etapa	Nro. Especialistas	Nro. Asistentes	Áreas especialización	Nro. Meses de estudio	Costo del personal	Costos directos	Costos indirectos	Impuestos	Costo de la Etapa	Incidencia en el presupuesto
Evaluación	2	2	Ing. Ambiental Lcdo. Salud y Seguridad	2	\$16 000,00	\$ 4 800,00	\$ 2 400,00	\$ 4 872,00	\$ 28 072,00	13,15%
Formulación	2	2	Ing. Biotecnología Lcdo. Microbiología	4	\$ 32 000,00	\$ 9 600,00	\$ 4 800,00	\$ 9 744,00	\$ 56 144,00	26,29%
Implementación	5	4	Geólogo Sociólogo Ing. Civil Ing. Ambiental Lcdo. Salud y Seguridad	6	\$ 78 000,00	\$ 23 400,00	\$ 5 460,00	\$ 22 440,60	\$ 129 300,60	60,56%
COSTO TOTAL				12	\$ 126 000,00	\$ 37 800,00	\$ 12 660,00	\$37 056,60	\$ 213 516,60	100%
Descripción de costos										
Tarifa básica de un especialista								\$ 3 000,00		
Tarifa básica de un asistente								\$ 1 000,00		
% Costos Directos								30%		
% Costos Indirectos								15%		
% Impuestos								21%		

Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

10. Descripción de la gestión ambiental de la solución propuesta

10.1. Gestión de la solución

10.1.1. Plan de contingencias

El presente plan de contingencias fue elaborado con miras a facilitar el control de eventuales riesgos que pudieran surgir durante la evaluación e implementación de la solución propuesta, a

fin de consensuar criterios y manejar los procedimientos dentro de rangos aceptables de seguridad, tanto para la salud de los trabajadores como del ambiente.

Objetivos:

- Establecer las medidas y/o acciones inmediatas a seguir en caso de desastres naturales o provocados por fallas humanas durante la vida útil del proyecto.
- Brindar protección ante cualquier evento adverso al personal, instalaciones y equipos.
- Reducir la magnitud de posibles impactos ambientales durante la etapa de implementación del proyecto.
- Ejecutar acciones de control y rescate, durante y después de la ocurrencia de desastres.
- Prevenir, reducir, mitigar los riesgos y controlar sucesos no planificados, pero previsibles, y describir las actividades de respuesta inmediata para manejar las emergencias.

Funciones del personal ante contingencias:

- Jefe de la unidad de contingencias.
 - Coordinar acciones con entidades de auxilio.
 - Ordenar la evacuación del personal en caso de que sea necesario.
 - Reagrupar el personal.
- Personal de la unidad de contingencias.
 - Acudir al lugar del siniestro y ponerse a disposición del jefe de unidad.
 - Hacer uso de los equipos de extinción de incendios.
 - Primera valoración de posibles heridos.
- Resto de personal
 - Si es testigo del siniestro dar la voz de alarma.
 - Notificar inmediatamente al jefe de la unidad.
 - Actuar únicamente cuando no estén expuestos a ningún riesgo y estén capacitados.

Temas a tomar en cuenta durante la implementación del plan de contingencias:

- Personal capacitado en primeros auxilios.
- Unidades móviles de desplazamiento rápido.
- Equipos contra incendios (A, B, C) y de primeros auxilios.
- Equipos y elementos de protección personal.

Tabla 26. Instituciones de apoyo frente a una contingencia.

Nombre	Dirección	Teléfono
Bomberos	Alsina 699-601	-
Policía	Hipólito Yrigoyen 630	+54 2344 48-0155
Hospital "Bernardino Rivadavia"	Italia 1050	+54 2344-48-1114
OPDS	Calle 12 1088 (La Plata)	+54 221-429-5548

Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

En la tabla 26 se presentan las instituciones que pueden ofrecer apoyo y respuesta inmediata ante una contingencia.

Contingencias en la etapa de implementación:

Tabla 27. Análisis de riesgos en la etapa de construcción.

Contingencias	Consecuencias	Probabilidad	Gravedad
Inundaciones	Perdidas económicas	Media	Grave / Muy grave
Incendios	Muerte/Invalidez	Media	Media / Grave
Accidentes laborales	Heridas, retrasos obra	Media	Media / Grave
Conflictos sociales	Retraso obra	Baja	Ligera

Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

En la tabla 27 se presentan los riesgos analizados para cada etapa en la implementación del proyecto de actuación ambiental de suelos contaminados con hidrocarburos.

Autoridades y responsabilidades:

- Gerente general: Toda relación con el personal y la prensa.
- Jefe / responsable de seguridad, higiene y medio ambiente: Responsable de la aprobación final de toda actividad.

El personal que trabaja en la solución adoptada deber conocer el procedimiento general en caso de emergencia, mismo que se detalla a continuación:

- En caso de emergencia mantener la calma
- Abandonar las instalaciones, manteniendo el orden y utilizando las rutas de evacuación.
- Utilizar los extintores en caso de conatos de incendio.
- Evacuar la zona al punto de encuentro.

10.1.2. Plan de monitoreo

El plan de monitoreo que se establece a continuación, es un instrumento que nos permitirá ordenar de manera sistemática, verificar que las condiciones ambientales durante la fase de implementación del proyecto de biorremediación en el sitio de interés, cumpla los límites permisibles establecidos por la legislación ambiental vigente en la Provincia de Buenos y en la República Argentina.

Objetivos:

- Formular un programa de monitoreo ambiental para determinar el nivel de descontaminación durante la etapa de implementación de la solución propuesta.
- Mantener un registro de las mediciones ambientales del contaminante de interés (BTEX).
- Controlar la implementación de acciones adecuadas en las distintas actividades a desarrollarse, contra ruidos, emisiones gaseosas y vertido de efluentes líquidos.

Impactos mitigados:

- Sanciones por el incumplimiento de normas ambientales vigentes.
- Quejas y reclamos de la comunidad.

Parámetros sujetos a análisis:

Según la caracterización inicial realizada al predio de GAX S.A., se recomienda realizar el monitoreo de aguas residuales en 2 puntos: Entrada a la planta de tratamiento de barros activados y Salida de la planta de tratamiento de barros activos, en la tabla 28 se presentan los parámetros sujetos análisis en el plan de monitoreo ambiental.

Tabla 28. Parámetros sujetos análisis en el plan de monitoreo ambiental.

Parámetro	Unidad	Comparar con los parámetros establecidos en la tabla 9 del anexo II del decreto 831/93.
BTEX	(ug/g)	
Hidrocarburos Totales	(ug/g)	
COV's	(ug/g)	

Realizado Por: (Sebastián Juárez, 2020).

Autoridades y responsabilidades:

- Jefe / Responsable de seguridad, higiene y medio ambiente: Responsable de la aprobación final de toda actividad y verificación del cumplimiento del programa de monitoreo.

10.2. Afectación de la salud poblacional debido a la solución

La afectación a la salud de la población circundante al sitio de estudio tiene que ser contrastada por dos enfoques: En la etapa de implementación del proyecto la población podrá percibir molestias causadas por el ruido, olores, etc., estas molestias son fácilmente controladas. El objeto de la segunda consideración es eliminar el riesgo hacia receptores críticos que implica la exposición a hidrocarburos (BTEX) para una afectación media mediante el análisis de riesgo. Esta situación ha sido considerada en el plan de contingencias, por lo tanto, la afectación a la salud de la población debido a la solución será mínima, en el caso de una afectación mínima se aplicara el procedimiento de atenuación natural monitoreada una vez verificado que el riesgo para la población es nulo.

Conclusiones

- Las fuentes de contaminación probadas son los antiguos tanques de almacenamiento de combustibles, mismos que presentaban pequeñas fisuras que provocaron la migración de combustible desde dichos tanques hasta el suelo circundante y probable infiltración del contaminante hasta el sub suelo hace varios años.
- Tras realizar los análisis físico-químicos del suelo donde funcionaba la estación de servicio GAX S.A, se concluye que el mismo presenta valores altos para BTEX al ser comparados con la tabla 9 del anexo II del decreto N° 831/93, una vez aplicada la solución es de esperarse que el suelo donde funcionaba la estación de servicio GAX S.A presente valores admisibles para el uso del suelo al cual se vaya a destinar el predio, al momento del análisis no se encontraron COVs dado que el predio es un pasivo ambiental, sin embargo al momento de la excavación se pudieron generar los mismos por lo que fue necesario su tratamiento en superficie, proceso fue solucionado al aplicar el Bioventig.
- El tratamiento biológico (biorremediación + bioventig + bioaumentación + bioestimulación) aplicado al suelo contaminado en el caso severo, es eficiente para la remoción de hidrocarburos como los COVs, los valores de los BTEX estén dentro de norma para el uso de suelo industrial y los gases en superficie fueron tratados adecuadamente. Cabe mencionar que la eficiencia de la combinación de estas tecnologías depende fuertemente de las condiciones climáticas del entorno y el cuidado (enmiendas) que se tenga con la población microbiana degradadora de hidrocarburos, por lo que se obtuvo un rendimiento superior al 45% para todos los compuestos de interés.
- La aplicación de la solución propuesta desde el punto de vista práctico y económico es plenamente factible, la misma no implica ningún riesgo de salud para la población circundante (TIER 1), salvo algunas molestias causadas producto de la obra ingenieril.
- La concentración de contaminantes BTEX en el agua subterránea para el escenario severo están dentro de los parámetros admisibles a excepción del Tolueno, se puede aplicar la técnica de atenuación natural monitoreada para comprobar que los contaminantes de interés se mantienen dentro de los límites admisibles en caso de que la autoridad ambiental competente lo determine necesario.

Bibliografía

- Alvaro, C. E. S., Arocena, L. A., Martínez, M. Á., & Nudelman, N. E. S. (2017). Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(2), 247-257.
- Blanco, L., & del Socorro, M. E. (2005). Estudio de la contaminación por hidrocarburos volátiles BTEX) en un sitio de derrame de Gasolina, Colonia Unidad de Propósito, Managua, Nicaragua (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma Nicaragua, Managua).
- Calderón Sarmiento, J. N., & Giraldo Londoño, F. A. (2007). Diseño y evaluación técnico económica de un sistema de inyección de aire y extracción de vapores, como alternativa de tratamiento de aguas subterráneas y suelos contaminados por hidrocarburos de gasolina en una estación de servicio.
- Cárdenas Sánchez, J. A. (2015). Estandarización de la cuantificación en la biodegradación de BTEX (Bachelor's thesis, Bogotá-Uniandes).
- Coria, I. (2007). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Centro de Altos Estudios Globales, <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/UAIS-IGA-600-001>, 20.
- Corona-Ramírez, L., & Iturbe-Argüelles, R. (2005). Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 6(2), 119-126.
- Eweis j., s. Ergas, d. Chag y e. Schoroeder. 1999. Principios de Biorrecuperación. MacGraw-Hill. España. 1ª Edición en Español. 327 p.
- Martínez, M., & Flores, R. (2013). Remediación de agua contaminada con petróleo utilizando pennisetum clandestinum como bioadsorbente. Editorial Quito UCE. 102 paginas. Tesis para la obtención del título de Químico.
- Martínez Pérez, M. D. L. Á. (2007). Diseño de una prueba de biodegradabilidad anóxica de compuestos orgánicos en medio líquido.
- Molina, M., & Astudillo, E. (2016) "Diagnostico de la gestión de derrames de hidrocarburos en gasolineras". *Revista INVESTIGATIO* N°7.
- Rodríguez, G. A. V., & Hernández, R. I. B. (2004). Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas. Una revisión. *Interciencia*, 29(10), 568-573.
- Romero, A. R. I. (2014). Biodegradación de HAPs durante la biorremediación aeróbica de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo. Análisis de poblaciones bacterianas y genes funcionales (Doctoral dissertation, Universitat de Barcelona).
- Velasco, M. A. T. (2015). Aplicación de Técnicas Biológicas en la Remediación de Suelos Contaminados con Benceno y Biodiésel.
- Viñas Canals, M. (2005). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. Universitat de Barcelona.
- Volke, T. Tecnologías de remediación para suelos contaminados/T. Volke Sepúlveda, JA Velasco Trejo. 2002

Sitios web consultados

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

<https://semspub.epa.gov/work/HQ/189916.pdf>

Agencia de Protección Ambiental de la ciudad de Buenos Aires (APRA)

https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/4.5._dget-sitios_contaminados.pdf

Gobierno de Chile – Gerencia de Agua y Medio Ambiente, 2020

https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf

Higueras y Oyarzun, 2020

<https://blog.uclm.es/pablohigueras/>

Instituto Geográfico Nacional de la Argentina (IGN)

<http://static.ign.gob.ar/anida/>

INCOL S.A

<https://www.emaze.com/@AFRCIQFO>

INDUANALISIS

https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/que_es_btex_24

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia

<http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987885/MANUAL+TECNICO+-+EJECUCION+DE+ANALISIS+DE+RIESGOS.pdf>

Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide (FRTR)

https://frtr.gov/matrix2/top_page.html

Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS)

opds.gba.gov.ar/contenido/remediadores

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT)

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletfe05.html

Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

<https://www.smn.gob.ar/estadisticas>

Universidad Nacional de la Plata (UNPL)

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46285/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Anexos

Anexo 1. Anexo I, II y III Resolución 95/14 OPDS.

<p>ANEXO I PAUTAS TÉCNICAS DE CONTENIDOS MÍNIMOS PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS</p> <p>A. CONSIDERACIONES GENERALES</p> <p>a) La documentación deberá presentarse en el orden preestablecido. b) No se recibirá documentación que no cumpla con todos los puntos solicitados. c) En caso de no poder cumplir con algún ítem por no corresponder o por otra situación, deberá ser debidamente aclarado y justificado. d) Esta Autoridad de Aplicación puede solicitar documentación respaldatoria que avale toda la información aportada para confeccionar la caracterización en caso de considerar necesario.</p> <p>B. PAUTAS TÉCNICAS</p> <p>I. Entorno.</p> <p>1) Mapa de la zona a escala con la ubicación del predio en estudio (radio mínimo de 500 m). 2) Breve Descripción del Entorno: a) Presencia/Ausencia de servicios (agua de red/cloacal). b) Actividades relevantes aledañas al sitio: indicar si existen en un radio de 500 m desde el límite del sitio contaminado, potenciales fuentes de contaminación. c) Actividades relevantes aledañas al sitio: indicar si existen en un radio de 500 m desde el límite del sitio contaminado, potenciales receptores a la contaminación. II. Asignación del uso del suelo, radicación o zonificación por parte de la jurisdicción que corresponda a cada caso. III. Descripción del sitio. 1) Uso histórico y actual del predio. 2) Listar las materias primas, insumos y productos utilizados actual o históricamente por el proceso que aplique al sitio en estudio o que hubiera aplicado en el pasado. 3) Listar los residuos (líquido, sólido, semisólido) y efluentes generados actual o históricamente por el proceso que aplique al sitio en estudio o que hubiera aplicado en el pasado. 4) En el caso de contar con sustancias especiales entre las comprendidas en los incisos 2 y/o 3, indicar cómo se almacena y cuál es su sistema de contención. 5) Plano o planos del predio a escala (hoja tamaño no mayor a A3) con ubicación de todas las instalaciones: edificios, ubicación de distintos procesos que involucren manipulación de sustancias especiales, lugar de almacenamiento de residuos, pozos de captación de agua (indicar su uso y qué acuífero explota), tanques de almacenamiento aéreos de sustancias especiales, tanques de almacenamiento subterráneos de sustancias especiales, instalaciones conexas (ej. islas de despacho, etc.), conductos de efluente aéreos y soterrados de sustancias especiales, etc. Registro fotográfico. 6) Plano en escala detalle de la zona afectada o supuestamente afectada bajo estudio (hoja tamaño no mayor a A3). 7) Indicar cualquier otro tipo de información relevante y/o necesaria que el profesional actuante considere (como antecedentes de derrames, accidentes ambientales, etc.).</p> <p>IV. Diseño de Muestreo.</p> <p>1) Diseñar un plan de muestreo y justificarlo. Premisas a considerar: - Premisa a: ubicación y profundidad de las instalaciones y/o conducción actual o histórica de sustancias especiales (subterráneas, aéreas) y zonas operativas con manejo actual o histórico de sustancias especiales. - Premisa b: El espaciamiento de los puntos de muestreo será como el profesional lo considere idóneo, siempre respetando la premisa a y justificando el diseño planteado. - Premisa c: El intervalo de muestreo en suelo será como el profesional lo considere idóneo, siempre respetando la premisa 1, las características del subsuelo del predio y justificando el diseño planteado.</p>

- Premisa d: En el caso de existir instalaciones soterradas, la profundidad del muestreo de suelo deberá ser mayor al emplazamiento de las mismas. En el caso de extracción de tanques, estructuras soterradas y/o retiro de suelos, se deberá tomar muestra de las paredes y fondo de la fosa resultante.
 - Premisa e: La profundidad final de sondeo estimada para extraer la muestra debe ser mayor en el caso de percibir que la contaminación persiste y/o aumenta en profundidad. Se definirá in-situ mediante propiedades organolépticas, texturales, color, etc. y en laboratorio mediante análisis de muestras.
 - Premisa f: Se podrá aumentar la densidad de muestreo en un sector particular del predio (área sensible) si la situación lo amerita.
 - Premisa g: Las perforaciones deberán realizarse en seco. Cuando ello no fuera posible deberá sustentarse técnicamente el motivo así como también la alternativa prevista.
 - Premisa h: En el caso de sitios con un sector puntual afectado en suelo, la ubicación de los puntos de sondeo para el muestreo en suelo debe ser diseñado para obtener el área y la profundidad del suelo afectado.
 - Premisa i: se podrán extraer muestras de suelo a partir de la perforación a realizar para la construcción de freáticos.
 - Premisa j: cada freático instalado debe tener protección a boca de pozo y debe tener identificación.
 - 2) Muestreo en suelo: Plano del predio con ubicación de los puntos de muestreo de suelo. Indicar en una tabla cada sondeo realizado con su profundidad final, los intervalos de muestreo y el protocolo de Informe de cada análisis.
 - 3) Muestreo de agua: Plano del predio con ubicación de los freáticos. Indicar el diseño de freáticos (profundidad final y longitud del tramo filtrante) y el protocolo de Informe de cada análisis.
 - 4) Registro fotográfico.
- V. Química. Identificación de los parámetros a analizar. Los parámetros ejemplificados a continuación, deben estar acordes a la actividad desarrollada en el sitio bajo estudio.
- 1) Estaciones de Servicio: hidrocarburos totales de petróleo y/o discriminados (apertura de Cadenas de Carbono, GRO, DRO, MRO), hidrocarburos aromáticos policíclicos, benceno, tolueno, etilbenceno, xlenos, plomo tetraetilo y aditivos (como MTBE), y todo otro compuesto de interés que pudiera corresponder.
 - 2) Establecimientos: Los parámetros deben estar acordes a las materias primas, insumos, productos, efluentes y residuos generados actuales y/o pasados.
 - Premisa: como mínimo considerar los análisis nombrados por rubro en el Anexo B de la norma IRAM 29481-5:2005.
 - 3) Los análisis de laboratorio deben cumplir con la Resolución OPDS N° 41/14.
 - 4) Interpretar el resultado analítico comparando con los niveles guía establecidos en el artículo 6° de la presente resolución.
- VI. Fase Líquida No Acuosa (de corresponder).
- 1) Presencia o ausencia de fase líquida no acuosa (FLNA).
 - 2) El espesor aparente de la FLNA.
 - 3) Caracterizar la FLNA, la transmisividad y el estado de degradación mediante la relación nC17/Pristano y nC18/Fitano (cuando correspondiera). Interpretación del resultado analítico.
 - 4) Los análisis de laboratorio deben cumplir con la Resolución OPDS N° 41/14. VII. Medio físico local. Donde corresponda, utilizar los datos a partir de la ejecución del diseño de muestreo. Indicar:
- 1) Profundidad del acuífero, tipo de acuífero (freático, semiconfinado, confinado, etc.) en el predio.
 - 2) Hidrodinámica. Mapa equipotencial del sitio a escala indicando sentido de escurrimiento hídrico subterráneo.
 - 3) Descripción litológica (textural) en profundidad.
 - 4) Distancia con el cuerpo de agua superficial más cercano.
 - 5) Pozos de extracción de agua o monitoreo cercanos.

VIII. Contaminación.

- 1) Identificación de la/s fuente/s de contaminación comprobadas.
- 2) Descripción de la eliminación de la/s fuente/s contaminante/s.
- 3) Identificación del medio afectado (suelo, agua subterránea, aguas superficiales).
- 4) Definición de la extensión de la contaminación en suelo (área, profundidad).
- 5) Delimitar el área total afectada en el recurso hídrico y elaborar planos de isoconcentración con líneas cerradas no inferidas de cada parámetro analizado. En el caso de no poder efectuar las perforaciones fuera del predio, acreditar las constancias que lo justifiquen.
- 6) Delimitar la pluma de contaminación con FLNA (no inferir el cierre de la pluma) en un plano. En el caso de no poder efectuar las perforaciones fuera del predio, acreditar las constancias que lo justifiquen.

IX. Conclusiones.

- X. El estudio medioambiental de caracterización del sitio debe estar firmado por Profesional inscripto en el registro de profesionales del OPDS (Resolución N° 195/96). El profesional debe ser competente en la temática.

ANEXO II
DOCUMENTACIÓN REQUERIDA PARA INICIAR EL TRÁMITE
CARÁTULA I: NOTA DE SOLICITUD

Nota de Solicitud: Se deberá presentar una nota dirigida al PROGRAMA DE CONTROL DE REMEDIACIÓN, PASIVOS Y RIESGO AMBIENTAL indicando la actividad que se desarrolla en el predio (estaciones de servicio o establecimientos activos o inactivos) y expresando la "Solicitud de aprobación del plan de remediación elaborado conforme los resultados obtenidos en la caracterización ambiental del sitio y autorización de inicio de las tareas correspondientes". La misma deberá estar firmada por el responsable de la contaminación.

En la situación del inciso C del artículo 8°, se deberá presentar una nota con la debida justificación de la inexistencia de tecnologías apropiadas para remediar los recursos afectados y de la ausencia de riesgos a la salud humana y al medio ambiente. En el caso de haber detectado FLNA en el sitio, se deberá presentar una nota informando su detección. Si existiese riesgo inminente, notificar sobre las características del plan de contención aplicado.

CARÁTULA II: RESPONSABLE DE LA CONTAMINACIÓN

Datos del responsable de la contaminación

- Nombre y apellido o razón social

- Documentación que acredite la identidad o personería
- Persona Física: Fotocopia certificada de la primera y segunda hoja del DNI.
- Sociedad de Hecho: Fotocopia certificada de la primera y segunda hoja del DNI de cada uno de los integrantes.
- Persona Jurídica: Estatuto Social debidamente certificado (si el escribano es de otra jurisdicción distinta de la provincia de Buenos Aires, deberá tener su firma legalizada por el Colegio de Escribanos Provincial) y Acta de designación de autoridades si no surgiera del Estatuto Social.
- Para el caso que intervenga un apoderado deberá adjuntarse original o copia certificada del instrumento legal que lo acredite como tal.
- Rubro.
- CUIT.
- Domicilio legal (Domicilio, Localidad, Partido, Código Postal, Teléfono).
- Domicilio real (Domicilio, Localidad, Partido, Código Postal, Teléfono).
- Domicilio constituido dentro del radio urbano de la ciudad de La Plata.
- Teléfono.
- E-mail.

CARÁTULA III: PROPIETARIO DEL SITIO CONTAMINADO

Datos de el/los titular/es dominial/es del sitio contaminado.

- Nombre y apellido o razón social
- CUIT.
- Domicilio legal (Domicilio, Localidad, Partido, Código Postal, Teléfono).
- Domicilio real (Domicilio, Localidad, Partido, Código Postal, Teléfono).
- Teléfono.
- E-mail.

CARÁTULA IV: SITIO

Datos del sitio.

- Informar el estado del sitio: si está activo, inactivo o próximo a serlo.
- Ubicación del sitio (calle, linderos, localidad, partido).
- Coordenadas del sitio.
- Nomenclatura catastral (para el caso de encontrarse afectado más de un inmueble indicar la nomenclatura de cada uno).
- Número de Matrícula del Registro de la Propiedad de la Provincia de Buenos Aires (para el caso de encontrarse afectado más de un inmueble identificar la matrícula de cada uno).

CARÁTULA V: EMPRESA REMEDIADORA

Datos de la empresa remediadora.

- Nombre y Apellido o Razón Social.
- CUIT.
- Domicilio legal (Domicilio, Localidad, Partido, Código Postal, Teléfono).
- N° de Registro de Tecnología correspondiente a la metodología de remediación propuesta con copia de la constancia de inscripción de la misma (la tecnología debe figurar en el registro aprobado) en cumplimiento del art. 16 de la Ley N° 11.720.
- Teléfono.
- E-mail.

CARÁTULA VI: PROFESIONAL INTERVINIENTE

- Nombre y Apellido del Profesional habilitado por el OPDS que avale la presentación.
- Documentación que acredite inscripción en el Registro Provincial de Profesionales, Consultoras e Instituciones para estudios ambientales acorde las Resoluciones N° 195/96 y 592/98, según corresponda.
- Teléfono.
- E-mail.

CARÁTULA VII: CARACTERIZACIÓN

Estudio medioambiental de caracterización del sitio conforme el ANEXO I.

CARÁTULA VIII: PLAN DE REMEDIACIÓN

Plan de Remediación conforme ANEXO III.

ANEXO III

PLAN DE REMEDIACIÓN

A. CONSIDERACIONES GENERALES

- a) La documentación deberá presentarse en el orden preestablecido.
- b) No se recibirá documentación que no cumpla con todos los puntos solicitados.
- c) En caso de no poder cumplir con algún ítem por no corresponder o por otra situación, deberá ser debidamente aclarado y justificado.
- d) Ante cualquier situación que imposibilite ajustar la documentación a presentar dentro de lo establecido en la presente, deberá solicitarse una entrevista para acordar la prosecución del trámite
- e) Esta Autoridad podrá solicitar documentación complementaria en caso de considerar que lo presentado es insuficiente para remediar el sitio.

B. PAUTAS TÉCNICAS

- a) Informar qué recurso natural será tratado y cuál o cuáles son las sustancias que están afectando los recursos.
- b) Descripción breve de la tecnología propuesta para extraer la fase líquida no acuosa o el compuesto contaminante.
- c) Descripción breve de la tecnología propuesta para remediar el recurso hídrico.
- d) Descripción breve de la tecnología propuesta para remediar el suelo.
- e) Descripción breve del funcionamiento en sus distintas etapas de los equipo/s de remediación. Indicar qué residuos y/o efluentes se generan por la operación de remediación que se realizaría en el lugar, cuál es el punto de generación de cada uno dentro del proceso de remediación y qué

tratamientos se efectúan a los mismos.

f) Informar sobre los estudios hidrogeológicos realizados para definir cuál es la tecnología más apropiada a instalar y cómo se va a desarrollar la tecnología definida. Indicar las condiciones que se cumplen en el recurso afectado para ser remediado con la tecnología propuesta y los parámetros principales que condicionan la eficacia de la tecnología.

g) Informar sobre la gestión a realizar con los residuos generados durante las tareas de remediación (como producto extraído, agua con sustancia especial disuelta, otros), con los residuos cogenerados (por ejemplo carbón activado) y los residuos erradicados (de corresponder).

h) Si la tecnología propuesta genera efluentes líquidos que deben ser volcados y no es posible y/o hay retraso en obtener el permiso de vuelco correspondiente, aclararlo y proponer una alternativa para comenzar con las tareas de remediación hasta tanto se obtenga el permiso de vuelco correspondiente.

i) En un plano indicar ubicación y numeración de los pozos de tratamiento (indicar profundidad), de los pozos de monitoreo (indicar profundidad), ubicación del equipo, ubicación de planta de tratamiento, ubicación de la disposición transitoria de residuos especiales.

j) Plantear un Cronograma de Tareas que incluya el plazo estimado de ejecución del proyecto.

k) Una vez instalados los equipos, y previo al inicio de las tareas, en el caso de intervenir hidrocarburos, la empresa remediadora deberá dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 37 de la Resolución SE N° 1.102/04.

l) En el caso de no aplicar una Tecnología de remediación, presentar la propuesta del Plan de Monitoreo (en cumplimiento del inciso C del artículo 8°).

C.C. 1.192

Anexo 2. Tabla 9, Anexo II, Decreto N°893/93.

Decreto 831/93 Anexo II Tabla 9

Decreto Reglamentario de la Ley 24.051 sobre régimen de desechos peligrosos

Niveles guía de calidad suelos (ug/g peso seco).

Constituyente Peligroso	C A S	Uso Agrícola	Uso Residencial	Uso Industrial	Referencias
ACIDO FTALICO, ESTERES		30			J
ALIFATICOS CLORADOS		0.1	5	50	J
ALIFATICOS NO CLORADOS		0.3			J
ANTIMONIO (TOTAL)	7440-36-0	20	20	40	J
ARSENICO (TOTAL)	7440-38-2	20	30	50	J
BARIO (TOTAL)	7440-39-3	750	500	2000	J
BENCENO	71-43-2	0.05		5	J
BENZO(A) ANTRACENO	56-55-3	0.1	1	10	J
BENZO(A) PIRENO	50-32-8	0.1	1	10	J
BENZO(B) FLUORANTENO	205-99-2	0.1	1	10	J
BENZO(K) FLUORANTANO	207-08-9	0.1	1	10	J
BERILO (TOTAL)	7440-41-7	4	4	8	J
BORO	7440-42-8	2			J
CADMIO (TOTAL)	7440-43-9	3	5	20	J
CIANURO (LIBRE)		0.5	10	100	J
CIANURO (TOTAL)	57-12-5	5	50	500	J
CIENC (TOTAL)	7440-66-6	600	500	1500	J
CLOROBENCENO	108-90-7	0.1	1		J
CLOROBENCENOS		0.05	2	10	J
CLOROFENOLES	95-57-8	0.05	0.5	5	J
COBALTO	7440-48-4	40	50	300	J
COBRE (TOTAL)	7440-50-8	150	100	500	J
COMP. FEN. NO CLORADOS		0.1	1	10	J
CROMO (TOTAL)	7440-47-3	750	250	800	J
CROMO (+6)	18540-29-9	8	8		J
DIBENZO(A,H) ANTRACENO	53-70-3	0.1	1	10	J
DICLOROBENCENO (1,2-)	95-50-1	0.1	1	10	J
DICLOROBENCENO (1,3-)	541-73-1	0.1	1	10	J
DICLOROBENCENO (1,4-)	106-46-7	0.1	1	10	J
ESTANO	7440-31-5	5	50	300	J
ESTIRENO	100-42-5	0.1	5	50	J
ETILBENCENO	100-41-4	0.1	5	50	J
FENANTRENO	85-01-8	0.1	5	50	J
FLUORURO (TOTAL)	16984-48-8	200	400	2000	J
HEXACLOROBENCENO	118-74-1	0.05	2	10	J
HEXACLOROCICLOHEXANO	608731	0.01			J
INDENO(1,2,3-CD) PIRENO	193-39-5	0.1	1	10	J
MERCURIO (TOTAL)	7439-97-6	0.8	2	20	J

MOLIBDENO	7439-98-7	5	10	40	J
NAFTALENO	91-20-3	0.1	5	50	J
NIQUEL (TOTAL)	7440-02-0	150	100	500	J
PCB's	1336-36-3	0.5	5	50	J
PCDD's Y PCDF's		0.00001	0.001		J
PIRENO	129-00-0	0.1	10	100	J
PLATA (TOTAL)	7440-22-4	20	20	40	J
PLOMO (TOTAL)	7439-92-1	375	500	1000	J
QUINOLEINA	91-22-5	0.1			J
SELENIO (TOTAL)	7782-49-2	2	3	10	J
SULFURO (ELEMENTAL)	18496-25-8	500			J
TALIO (TOTAL)	7440-28-0	1			J
TIOFENO	110-02-1	0.1			J
TOLUENO	108-88-3	0.1	3	30	J
VANADIO	7440-62-2	200	200		J
XILENOS (TOTALES)	1330-20-7	0.1	5	50	J

Anexo 3. Remediadores registrados en la OPDS

EMPRESA	SUSTANCIAS	TECNOLOGÍAS
AES-DISAB S.R.L	Remediación suelos y aguas freáticas contaminadas con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Biorremediación - Abatimiento acuíferos - Separación decantación - Despojamiento con aire- - Inyección de aire - Ventilación de suelos - Extracción de gases por vacío - Oxidación termal - Encapsulamiento - Solidificación - estabilización - Lavado de suelos
AZZOLINI CONSTRUCCIONES SRL	Corrientes Y6, Y8, Y9, Y11, Y12 y Y18	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos físico – químicos - Métodos biológicos combinado
BFU DE ARGENTINA SA	Remediación de suelos y aguas a nivel freático contaminados con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Bombeo - Filtración y adsorción carbón activado - Oxidación catalítica - Air sparging (burbujeo) - Inyección de aire
CLEAN WORLD SRL ex RODOLFO ROSSO SA	Hidrocarburos agua a nivel freático	<ul style="list-style-type: none"> - Bombeo
DESLER S.A.	Corrientes Y8, Y9 y Y18 suelo y aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos físico – químicos - Extracción de vapores - Aspersión por aire - Extracción de dos fases - Bioventing - Landfarming - Biorremediación - Lavado de suelos - Bombeo
DSL S.A.	Corrientes Y8 y Y9	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción de dos fases - Bioventilación - Bombeo
ECO CONTROL SA	Corrientes Y8, Y9, Y11 y Y 18	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento físico - químico
ERM ARGENTINA SA	Suelos contaminados con hidrocarburos y metales	<ul style="list-style-type: none"> - Biorremediación combinada (Bioventilación, Landfarming. Atenuación natural, Biopilas y compostaje) - Excavación - Extracción de vapores - Extracción de dos fases - Solidificación - Estabilización
GADEF S.R.L	Corrientes Y4, Y5, Y6, Y8, Y9, Y11, Y12, Y13 y Y17	<ul style="list-style-type: none"> - Biorremediación - Atenuación natural - Bioventing - Biosparging (burbujeo) - Air Stripping
IBS CORDOBA SA	Y8, Y9 y Y11	<ul style="list-style-type: none"> - Biorremediación in situ - Operaciones de recuperación
INTERGEO ARGENTINA SA	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción de vapores - Aspersión de aire - Extracción de dos fases - Bioventing - Landfarming - Biorremediación - Bombeo - Tratamiento en suelo y agua de metales pesados
JMB S.A. Ingeniería Ambiental	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción por dos fases
LAQUI SRL	Remediación de sitios y aguas subterráneas contaminadas con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Bombeo simple automatizado
LIHUE INGENIERÍA S.A.	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción de vapores - Aspersión por aire

		<ul style="list-style-type: none"> - Extracción de dos fases - Bioventing - Landfarming - Biorremediación - Bombeo
NEA Ingeniería ambiental S.R.L	Y8 y Y9	<ul style="list-style-type: none"> - Bombeo - Aireación y filtración
NORLINDER S.A.	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Biorremediación combinada (Landfarming y bioceldas)
SOIL KEEPER	Y8, Y9 y Y11	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción separación - Biorremediación combinada (Biosparging, Bioventing, Bioacumulación y Landfarming).
SURCO S.A.	Corrientes Y8, Y9 y Y11	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos físico químicos - Biológicos combinados - Biorremediación combinada (Biosparging, Bioventing, Bioacumulación, cometabolismo y Landfarming).
TEMA 2000 S.A	Remediación de suelos y aguas subterráneas contaminadas por hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción dual por vacío - Extracción de vapores en suelos - Inyección de aire - Bombeo y tratamiento en superficie
URS CORPORATION S.A.	Remediación de sitios contaminados con hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción de 2 fases

Fuente: (OPDS, 2020).

Anexo 4. Costo promedio de tecnologías de remediación.

Tecnología	Costo Promedio (USD/m3)
Biorremediación	65,00
Bioventig	40,00
Compostaje	195,00
Biopilas	87,50
Landfarming	50,00
Biorremediación combinada	65,00

Fuente: (Gobierno de Chile – Gerencia de Agua y Medio Ambiente, 2020).