

---

# TRABAJO FINAL

---

Especialización en Seguridad, Higiene y Protección Ambiental

Universidad Católica Argentina.

## **AFECTACIÓN DE SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA CON COMBUSTIBLES LÍQUIDOS, BUENAS PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN DEL PASIVO AMBIENTAL**

Alumno: Lic. Leonardo R. Pierrard

Tutor: Lic. Marcelo Sticco

Director de Posgrado: Ing. Pablo Buscemi.

Abril de 2022

---

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES EN ARGENTINA.....</b>	<b>3</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA IMPACTADA PRIMER RESPUESTA.....</b>	<b>4</b>
<b>CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL SITIO.....</b>	<b>9</b>
<b>ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO A LA SALUD HUMANA .....</b>	<b>17</b>
<b>MONITOREO (MEDICION DE NIVELES Y MUESTREO).....</b>	<b>28</b>
<b>REMEDIACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE MONITOREO DE ATENUACIÓN NATURAL .....</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>34</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Con la finalidad de exponer conceptos brindados a lo largo de la Especialización en curso sumado al interés por las disciplinas relacionadas con el cuidado del medio ambiente se presenta un caso hipotético de estudio relacionado con la pérdida de contención de un Gasolinoducto en zona rural distante unos 25 kilómetros de la ciudad de Junín, Provincia de Buenos Aires.

El sitio impactado se encuentra en la planicie de inundación del río Salado, el mismo está caracterizado por bajas pendientes en dirección al río. El entorno del sitio es rural con actividad de tipo ganadera con ausencia de poblados en las áreas de influencia, sí se puede identificar puestos rurales uno a 3,5 km y otro a 6 km de distancia, de la zona impactada.

El abordaje ambiental del sitio considerará el estudio de acuerdo con prácticas reconocidas a fin de definir la extensión del área impactada, ensayos hidrogeológicos necesarios para conocer las variables hidrogeológicas, se analizan alternativas de remediación y por último se presentarán métodos de remediación de sitio tanto para suelos como para aguas subterráneas.

## **DESCRIPCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES EN ARGENTINA**

Las compañías integrales de la industria petrolera abarcan desde la exploración, explotación, conducción de petróleo a los centros de refinación, refinación, distribución y venta de productos y subproductos terminados. En tal sentido luego de la refinación las empresas cuentan con una red de distribución por poliductos con la capacidad de transportar los distintos productos terminados. Dichos ductos tienen sus cabeceras de bombeos en los complejos de Refinación y de ahí a través de bombeo es impulsado hacia Terminales de Combustibles, a lo largo de los ductos se encuentran estaciones de bombeo que elevan a la presión necesaria para continuar el movimiento del producto, finalmente al llegar a las Terminales el Combustible es almacenado en tanques aéreos, quedando listo para su despacho final a camiones, barcos u otras líneas secundarias.

En el siguiente mapa Figura 1, se presentan las cuencas productoras de hidrocarburos y los ductos que distribuyen productos en la Argentina:

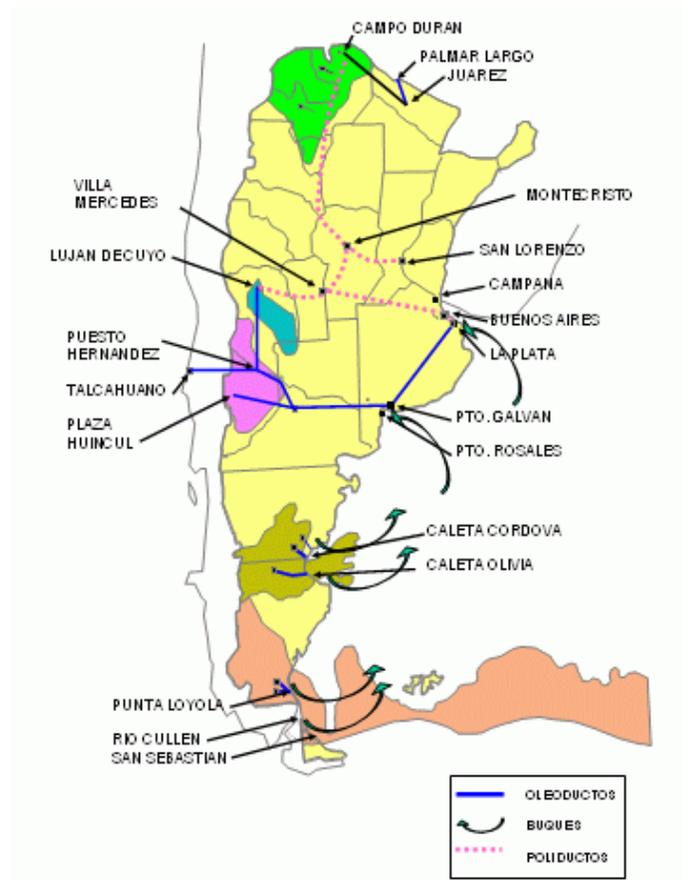


Figura1: Transporte de Petróleo Crudo y Productos Derivados (Fuente: Energia.gov.ar)

### DESCRIPCIÓN DEL ÁREA IMPACTADA PRIMER RESPUESTA

El caso hipotético que se analiza se vincula con la pérdida de contención por la fisura de 15 mm de largo del gasolinoducto de 16 pulgadas, que ocasionó un derrame de 25 m<sup>3</sup> de nafta a la altura del partido de Junín provincia de Buenos Aires. El entorno del sitio es rural de actividad de tipo ganadera con ausencia de poblados si se puede identificar puestos rurales uno a 3,5 km y otro a 6 km de distancia.

Los accesos al sitio son por la arteria principal Ruta Nacional N°7 luego por caminos vecinales hacia el S y finalmente cortando campo hasta llegar al área impactada ver Figuras 1 y 2.

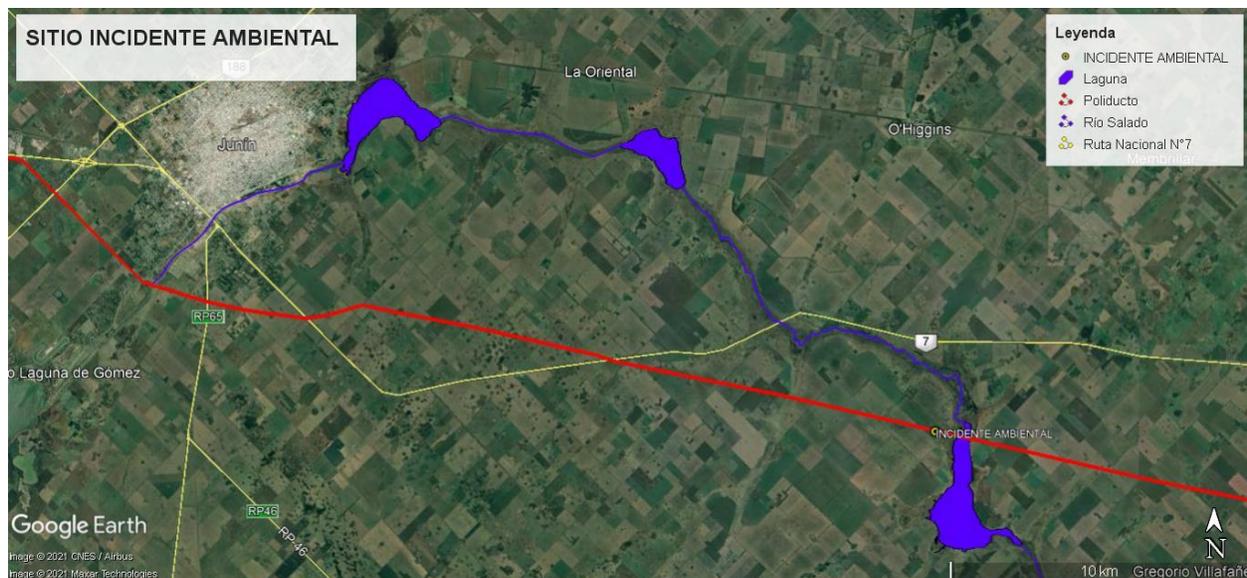


Figura 2: Mapa general Incidente Ambiental



Figura 3: Detalle del área impactada

El Gasolinoducto en cuestión se encuentra enterrado a profundidades que varían entre 2 y 2,5 metros bajo nivel de terreno, el combustible por la presión interna del ducto aflora en superficie y también afectos el subsuelo alcanzando el nivel freático no así el curso del río Salado por las actividades de contención y recuperación durante las primeras horas de detectado el incidente. En la Figura 3, se muestra el despliegue y ubicación de los distintos elementos para contener y recuperar el combustible en superficie.

En base a esto, de manera proactiva, se convocaron empresas para atender la emergencia, de esa manera se dio una primera respuesta de contención, recuperación de producto y saneamiento del suelo afectado. Desde dicho día hasta el fin del saneamiento primario a las 48hs de detectado el incidente, se retiraron 1850 tn de suelo contaminado con hidrocarburos, el cual fue retirado y transportado para disposición final a un centro habilitado para estos residuos, sin que quede a priori una contaminación evidente.

Se destaca que la superficie de suelo impactado por el derrame fue de 4.628 m<sup>2</sup>, y el suelo contaminado retirado para su gestión como residuo peligroso ex situ totalizó un volumen de 1157 m<sup>3</sup>.



Figura 4: Imagen suelo impactado



Figura 5: Despliegue de barreras de contención y recuperación de producto

## Medio Físico

### Clima

El clima en la región es templado húmedo con precipitaciones medias en el orden de los 1044 mm/año (promedio 1974-2019), y evapotranspiración alrededor de los 950 mm/año, lo que marca un leve exceso hídrico en el balance anual; las temperaturas medias anuales son de 16,1 °C (promedio 1968-2020).

### Geología

La geología del área del Río Salado se puede apreciar en las barracas del río, cortes caminos vecinales y rutas donde se reconocen la Formación Ensenada que constituye el sustrato general sobre esta la Formación Buenos Aires ambas conocidas en sentido amplio como Fm. Pampeano, sobre estas las formaciones eólicas Postrera II, III, IV conocidas como post pampeano, también es posible mediante perforaciones completar la estratigrafía con los sedimentos de dinámica acuática presentes en los lechos de los ríos y arroyos en paleoambientes lénticos, que completan las unidades postpampeanas.

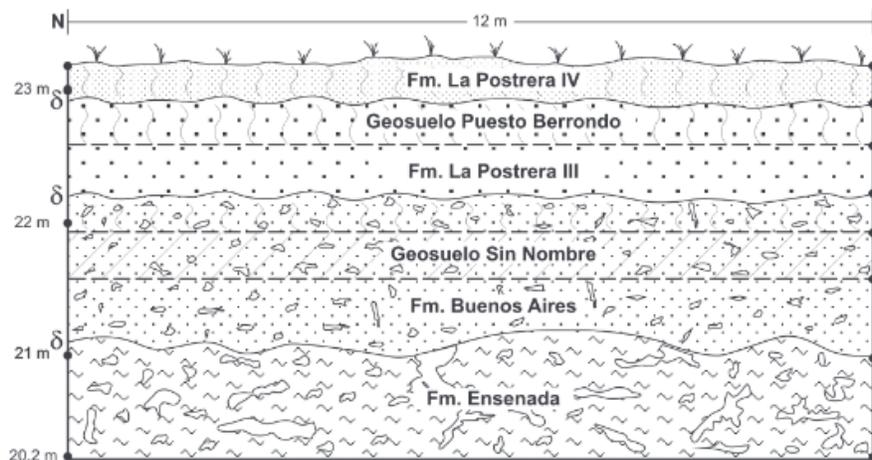
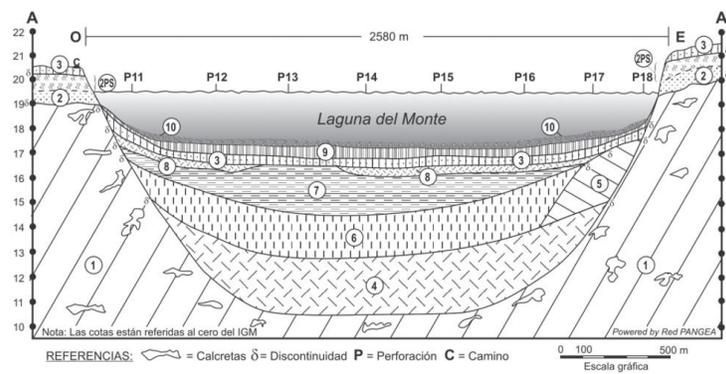


Figura 6: Perfil geológico esquemático cuenca Río Salado, Dagavs N.; Pierrard L. 2013.



Perfil geológico O-E del cuerpo principal de la laguna.  
 Detalles: 1: Fm. Ensenada; 2: F. Buenos Aires; 2PS: Geosuelo Sin Nombre; 3: Fm. La Postrera IV; 4: Fm. Luján, Miembro La Chumbiada; 5: Fm. La Postrera I; 6: Fm. Luján, Miembro Lobos; 7: Fm. Luján, Miembro Río Salado; 8: Fm. Luján, Miembro Monte; 9: aluvio reciente; 10: Suspensoide semiflotante del aluvio reciente.

Figura 7: Perfil geológico esquemático cuenca Río Salado paleoambiente léntico, Dagavs N.; Pierrard L. 2013.

## Hidrogeología

Con base en el análisis de la información se delimitaron tres capas de similar comportamiento hidrogeológico las cuales coinciden parcialmente con las unidades hidrogeológicas, ver Tabla 1.

Capa	Características	Unidades según Santa Cruz y Tófaló
1	Limo arenoso-arcilloso loessoide, color verde grisáceo con escasos restos fósiles.	Sed. POST-PAMPEANOS
	Manto de loess uniforme de grano fino y homogéneo, color pardo rojizo. Limos arenosos, rojos pardos, y verdosos.	Sed. PAMPEANOS
2	Arcilla gris verdosa	Fm. PUELCHES
3	Arena fina y mediana con intercalaciones de arcilla y limo.	
	Arena fina, mediana y gruesa cuarzosa, micácea granodecreciente, pardo amarillenta.	
	Arcilla gris azulada y verdosa Niveles inferiores arenosos finos y medianos, con fósiles marinos.	Fm. PARANÁ
	Arcilla y arenisca roja con estratos yesiformes y carbonato de calcio. Arena mediana.	Fm. OLIVOS
	ROCA IGNEA METAMÓRFICA	BASAMENTO

Tabla 1. Características del subsuelo (Mancino et. al, 2013)

La Capa 1 corresponde a la Formación Post-Pampeano en sentido amplio (Tonni E., 2011), y a la Formación Pampeano. La primera está formada por limos arenoso-arcilloso loessoide, color verde grisáceo y la segunda por un manto de loess uniforme de grano fino y homogéneo, color pardo rojizo y por limos arenosos, rojos pardos a verdosos con un registro fósiles ampliamente extendido, entre los que destacan la megafauna de mamíferos cuaternarios ya extintos.

La Capa 2 corresponde al techo de la Formación Puelche (Tófaló et al., 2005), está integrada por arcillas plásticas limosas de color generalmente gris a verdosa. Los espesores varían de 0 a 13 metros.

La Capa 3 está integrada por arenas cuarzosas de la Fm. Puelche, de coloración castaña amarillenta a blanquecinas de gran selección granulométrica con intercalaciones arcillosas y limosas hacia el techo. Esta secuencia de intercalaciones de arenas, arcillas y limos, que se encuentra generalmente hacia el techo, puede ser diferenciada ya que le confiere a la capa menor permeabilidad equivalente que las arenas cuarzosas subyacentes.

Para esquematizar lo antedicho, la zona en estudio presenta el perfil de subsuelo de acuerdo con la Figura 8:

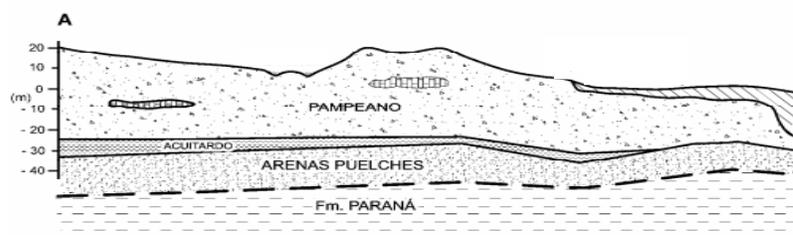


Figura 8. Perfil Geológico de la zona. (Auge, 2005)

Utilizando la herramienta de construcción de perfiles topográfico de Google Earths, se pudieron obtener perfiles de elevación de la zona, y la relación con arroyos cercanos y pozos de abastecimiento de la comunidad vecina.



Figura 9. Perfil elevación del área de estudio.

## CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL SITIO

Con posterioridad a la intervención de emergencia y dando por finalizada la recuperación de producto en superficie se programó una serie de actividades tendientes a realizar una Caracterización Ambiental de Sitio Fase II, con los siguientes objetivos:

- Analizar la información antecedente y utilizarla como base para el desarrollo de los trabajos de caracterización.
- Determinar con precisión la naturaleza, distribución y dinámica de la afectación existente en el subsuelo del emplazamiento, discriminando aquella adsorbida a los suelos, la disuelta en las aguas subterráneas y la que se encuentre como Fase Líquida No Acuosa (FLNA).
- Identificar focos primarios y secundarios de la afectación.
- Realizar sondeos exploratorios y calicatas que permitan reconocer las características del suelo y subsuelo.
- Conocer en forma precisa el funcionamiento hidrogeológico, la estructura y tipos de materiales que componen el subsuelo del emplazamiento.
- Determinar las características de los acuíferos presentes en el sitio mediante ensayos hidráulicos.

- Identificar los Compuestos de Interés (CDI). Establecer sus concentraciones y definir los patrones de movilización de dichos compuestos en el subsuelo.
- Establecer el Modelo Conceptual del Sitio (MCS) (focos – movilización – receptores).
- Realizar un Análisis Cuantitativo de Riesgo (RBCA).

### Investigación Directa mediante perforaciones:

Para la identificación de sitios de suelo afectados se propone la ejecución de 45 sondeos de suelos. De esta manera, se procederá a una caracterización de los suelos y el subsuelo del sitio, describiendo su naturaleza, tipo de sedimentos que lo componen y grado de afectación por agentes contaminantes, de todos estos se seleccionarán aquellos de interés para construir pozos freáticos y así construir una red de medición, se considera una profundidad promedio del nivel freático a menos 3 metros bajo nivel de terreno (mbnt) y una profundidad de pozos freáticos de 8 mbnt.



Figura 10: Distribución espacial de los sondeos exploratorios

### Metodología Estudio de Suelos

Previamente a la construcción de los sondeos, se realizará un Rastreo Eléctrico sobre cada uno de los sitios a fin de reconocer la presencia de estructuras soterradas que puedan interferir con el avance de la herramienta de perforación y produzcan algún perjuicio por rotura y contacto.

En el caso de reconocer la presencia de objetos bajo el suelo en los sitios de perforación, la ubicación del sondeo será replanteada procurando que el mismo siga siendo representativo y no interfiera con ningún objeto o estructura.

Los sondeos se ejecutarán hasta la profundidad máxima de 4 metros con el objeto de alcanzar el primer horizonte litológico que limite la progresión de la afectación en el subsuelo o bien hasta detectar

la superficie freática (zona saturada), determinando la existencia o no de afectación por lixiviados a partir de los residuos que pudieran encontrarse en el sitio.

Los sondeos serán construidos preferentemente en forma manual o semimanual y en seco con el objetivo de evitar la alteración de las muestras recolectadas. La descripción de los sedimentos se llevará a cabo por un geólogo, quien efectuará una descripción detallada de los materiales conforme avance la perforación. La extracción de muestras cada 0,5 m de profundidad asegurará un minucioso registro de la litología y sus características organolépticas. También se apuntarán aspectos relacionados al color de los sedimentos, estimación cualitativa de la permeabilidad, plasticidad, consistencia, estructura, cementación y velocidad de avance de la perforación.

Se minimizará el tiempo de extracción de la muestra a fin de evitar la pérdida de los compuestos volátiles. Las mismas serán previamente envasadas en bolsas de plástico dejando un tercio vacío, para luego disgregar y homogeneizar el material con el objeto de liberar los compuestos volátiles contenidos en los intersticios porales. Transcurridos unos minutos se procederá a tomar la lectura mediante un fotoionizador PID calibrado a hexano.

La selección de muestras que se enviarán al laboratorio está orientada a la provisión de analítica necesaria para lograr una correcta caracterización de los distintos horizontes involucrados. La extracción de muestra se llevará a cabo siguiendo los lineamientos de la Guía D 4700-91 ASTM: Soil Sampling from the Vadose Zone. El envío de muestras para su determinación analítica se establece profundidades estimadas de 0,50 m a 4 m. Tal distribución se verá modificada en caso de que el geólogo a cargo lo considere oportuno dependiendo de las características de los horizontes atravesados.

Las muestras serán colectadas en los envases indicados por el laboratorio y debidamente etiquetadas, indicando denominación, fecha, hora y responsable de la tarea. La conservación de las mismas se realizará en heladeras portátiles con gel refrigerante en su interior asegurando una temperatura indicada de 4°C. Por último, el transporte y entrega se llevará a cabo con la correspondiente cadena de custodia, indicando parámetros a analizar, datos de toma de muestra y observaciones consideradas de importancia al momento de extracción de estas.

Los análisis a realizar sobre las muestras de suelos se detallan a continuación en la Tabla 2, donde se indica la determinación y la técnica empleada.

Tipo de muestra	Cantidad máxima de muestras a analizar	ANALITO	MÉTODO
Suelo	210	HTP (GRO DRO)	USEPA 8015
Suelo	100	VOC's (discriminado)	USEPA 8015
Suelo	210	PAH's discriminados	USEPA 8310
Suelo	70	HTP lixiviado	USEPA 1310
Suelo	210	HTP (apertura de cadenas)	TX 1005/1006

Tabla 2: Analitos y técnicas sobre las muestras de suelo

Se considera que los datos de VOC's medidos son de carácter cualitativo y constituyen, junto con las descripciones organolépticas, información de base al momento de definir las muestras que serán remitidas al laboratorio.

El material excavado se situará sobre una lámina de plástico impermeable ubicada junto a la perforación. Los sondeos se mantendrán abiertos y adecuadamente señalizados durante el espacio de tiempo necesario para realizar las observaciones y muestreos necesarios.

Posteriormente se rellenará y compactará con los materiales previamente extraídos, en el mismo orden de avance y manteniendo la secuencia de suelo. En aquellos casos en que se realicen en zonas pavimentadas se preservarán las condiciones originales y se restituirá el pavimento.

Durante la ejecución de los sondeos, se adoptarán las medidas necesarias para evitar la contaminación cruzada entre los distintos puntos. Se realizará una limpieza adecuada de los instrumentos involucrados, barreno, mechas, barra de perforación e instrumentos utilizados durante el muestreo.

En función de la presencia de volátiles en matriz suelo junto con la definición organoléptica de campo se definirá la instalación de freatímetros.

### Metodología Estudio de Aguas Subterráneas

Durante la perforación, cuando el reconocimiento directo haya alcanzado la zona saturada de acuerdo al criterio del geólogo de campo se podrá continuar con la perforación hasta 8 metros bajo nivel de terreno a fin de construir un monitoreo de las aguas subterráneas freáticas.

Para ello, deberán tenerse en cuenta las siguientes especificaciones:

- Todos los pozos de monitoreo serán construidos con cañería de PVC con diámetro mínimo de 2,5" con uniones roscadas entre tramos o ensambladas sin la utilización de pegamentos, sin ensanche exterior (cuplas que reducen el espacio anular) y dotado de tapón de fondo fijo y hermético. En casos especiales se podrá construir los pozos de monitoreo con cañería de PVC de diámetro de 4" o 6". El filtro será ranurado abarcando desde el fondo del pozo hasta 2m por encima del nivel máximo de oscilación del agua (esto queda sujeto a la profundidad del nivel freático y a evaluar en cada caso en particular). La columna se completará con tubería ciega hasta la superficie del terreno, que será dotada de un tapón estanco con rosca expansiva en su extremo superior.
- El espacio anular enfrentado con el horizonte saturado deberá rellenarse de grava sílicea adecuadamente calibrada, limpia de finos y ausencia de mica en toda la zona enfrentada al filtro. El prefiltro de grava deberá superar los 30 cm por encima del filtro. La empaquetadura de grava habrá de cerrarse superiormente con un sello bentonítico con un mínimo de 20 cm de espesor y por encima lechada de cemento hasta la superficie del terreno.
- Terminada la construcción de los puntos de monitoreo, deberán ser desarrollados/estimulados enérgicamente mediante bombeo hasta que produzcan agua clara (sin sólidos en suspensión). Tanto al inicio como a la finalización del desarrollo, se realizarán medidas *in situ* de pH y conductividad del agua que serán reflejadas en una planilla de desarrollo en la que además se anotará la fecha, hora, descripción de la operación, de las características del agua y el volumen aproximado que ha sido necesario extraer.

- Se procederá también a la nivelación topográfica con precisión milimétrica de los extremos de las tuberías (boca de pozo), que servirán de referencia para la medida de niveles de agua subterránea.
- Si el punto de monitoreo se ha construido en espacio no transitados por vehículos, deberá contar con base de hormigón y protegerse el brocal con caño de hierro o estructura protectora; tapa de pozo fabricada en material plástico rígido, PVC o similar, dotada de perforaciones para candado y precinto de inviolabilidad y cartel identificatorio del pozo monitor. Los pozos monitores se deberán proteger con caño de hierro de 6”.
- En caso que el espacio ocupado se use para el tránsito de vehículos o si se considera que la existencia de un elemento por encima de la superficie supone riesgo, se procederá a la construcción de caja vereda enrasada con la superficie, dotada de tapa estanca para el paso de vehículos pesados.



Figura 11: Distribución Espacial Freáticos construidos

### Resultados de muestras de suelos

La totalidad de las muestras de suelos analizadas resultaron tener valores por debajo del límite de detección del laboratorio, cabe destacar que en la atención de la emergencia el suelo tenía un alto grado de saturación incluso anegado en gran parte del recorrido del derrame, y dentro de las actividades de primeras respuestas se retiró una capa de suelo impactado de 1.157 m<sup>3</sup>, considerando una superficie de suelo inicialmente impactado de 4628 m<sup>2</sup> se retiró en promedio una capa superficial de 0,25 m.

## Resultados Aguas Subterráneas

### Hidrocarburos totales de petróleo disuelto

Hidrocarburos totales de Petróleo			
	HTP TX 1005 (mg/l)		HTP TX 1005 (mg/l)
PM1	<0,05	PM21	<0,05
PM2	<0,05	PM22	<b>1398,32</b>
PM3	<0,05	PM23	<b>1321,28</b>
PM4	<0,05	PM24	<0,05
PM5	<0,05	PM25	<0,05
PM6	<b>2255,71</b>	PM26	<0,05
PM7	<0,05	PM27	<0,05
PM8	<0,05	PM28	<b>526,71</b>
PM9	<0,05	PM29	<b>889,63</b>
PM10	<b>654,78</b>	PM30	<b>502,99</b>
PM11	<b>1925,23</b>	PM31	<0,05
PM12	<0,05	PM32	<0,05
PM13	<0,05	PM33	<0,05
PM14	<0,05	PM34	<b>21,58</b>
PM15	<0,05	PM35	<b>10,06</b>
PM16	<b>1423,56</b>	PM36	<0,05
PM17	876,00	PM37	<0,05
PM18	<0,05	PM38	<0,05
PM19	<0,05	PM39	<0,05
PM20	<0,05	PM40	<0,05

### Benceno Disuelto

Benceno			
	EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)		EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)
PM1	<0,01	PM21	<0,01
PM2	<0,01	PM22	<0,01
PM3	<0,01	PM23	<0,01
PM4	<0,01	PM24	<0,01
PM5	<0,01	PM25	<0,01
PM6	<0,01	PM26	<0,01
PM7	<0,01	PM27	<0,01
PM8	<0,01	PM28	<0,01
PM9	<0,01	PM29	<0,01
PM10	<0,01	PM30	<0,01
PM11	<0,01	PM31	<0,01
PM12	<0,01	PM32	<0,01
PM13	<0,01	PM33	<0,01
PM14	<0,01	PM34	<0,01
PM15	<0,01	PM35	<0,01
PM16	<0,01	PM36	<0,01

Benceno			
	EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)		EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)
PM17	<0,01	PM37	<0,01
PM18	<0,01	PM38	<0,01
PM19	<0,01	PM39	<0,01
PM20	<0,01	PM40	<0,01

### Tolueno Disuelto

Tolueno			
	EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)		EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)
PM1	<0,01	PM21	<0,01
PM2	<0,01	PM22	<0,01
PM3	<0,01	PM23	<0,01
PM4	<0,01	PM24	<0,01
PM5	<0,01	PM25	<0,01
PM6	<b>0,40</b>	PM26	<0,01
PM7	<0,01	PM27	<0,01
PM8	<0,01	PM28	<0,01
PM9	<0,01	PM29	<0,01
PM10	<0,01	PM30	<0,01
PM11	<b>0,25</b>	PM31	<0,01
PM12	<0,01	PM32	<0,01
PM13	<0,01	PM33	<0,01
PM14	<0,01	PM34	<0,01
PM15	<0,01	PM35	<0,01
PM16	<0,01	PM36	<0,01
PM17	<0,01	PM37	<0,01
PM18	<0,01	PM38	<0,01
PM19	<0,01	PM39	<0,01
PM20	<0,01	PM40	<0,01

### Xileno Disuelto

Xileno			
	EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)		EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)
PM1	<0,01	PM21	<0,01
PM2	<0,01	PM22	<0,01
PM3	<0,01	PM23	<0,01
PM4	<0,01	PM24	<0,01
PM5	<0,01	PM25	<0,01
PM6	<0,01	PM26	<0,01
PM7	<0,01	PM27	<0,01
PM8	<0,01	PM28	<0,01
PM9	<0,01	PM29	<0,01
PM10	<0,01	PM30	<0,01
PM11	<0,01	PM31	<0,01
PM12	<0,01	PM32	<0,01
PM13	<0,01	PM33	<0,01

Xileno			
	EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)		EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)
PM14	<0,01	PM34	<0,01
PM15	<0,01	PM35	<0,01
PM16	<0,01	PM36	<0,01
PM17	<0,01	PM37	<0,01
PM18	<0,01	PM38	<0,01
PM19	<0,01	PM39	<0,01
PM20	<0,01	PM40	<0,01

### Etilbenceno Disuelto

Etilbenceno			
	EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)		EPA 5021 A/ 8015 C (mg/l)
PM1	<0,01	PM21	<0,01
PM2	<0,01	PM22	<0,01
PM3	<0,01	PM23	<0,01
PM4	<0,01	PM24	<0,01
PM5	<0,01	PM25	<0,01
PM6	<b>0,98</b>	PM26	<0,01
PM7	<0,01	PM27	<0,01
PM8	<0,01	PM28	<0,01
PM9	<0,01	PM29	<0,01
PM10	<0,01	PM30	<0,01
PM11	<b>0,15</b>	PM31	<0,01
PM12	<0,01	PM32	<0,01
PM13	<0,01	PM33	<0,01
PM14	<0,01	PM34	<0,01
PM15	<0,01	PM35	<0,01
PM16	<0,01	PM36	<0,01
PM17	<0,01	PM37	<0,01
PM18	<0,01	PM38	<0,01
PM19	<0,01	PM39	<0,01
PM20	<0,01	PM40	<0,01



Figura 12: Isoconcentración de HTP disueltos

### **ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO A LA SALUD HUMANA**

Cuando un contaminante entra en el agua subterránea, normalmente en disolución, se producen varios procesos complejos. Para su estudio, debemos distinguir dos posibles situaciones, que suponen dos grupos de procesos:

- No existe ningún tipo de interacción con el medio geológico.
- Se producen interacciones entre las sustancias contenidas en el agua y el medio geológico, adsorción, precipitación o disolución, reacciones químicas.

Para el análisis de nuestro caso se toma como simplificación que el contaminante se moviliza por advección y difusión. Siendo advección el arrastre de la sustancia contaminante por el agua y difusión el movimiento de las moléculas disueltas en el agua de puntos de mayor concentración a menor concentración. (Sánchez, 2012).

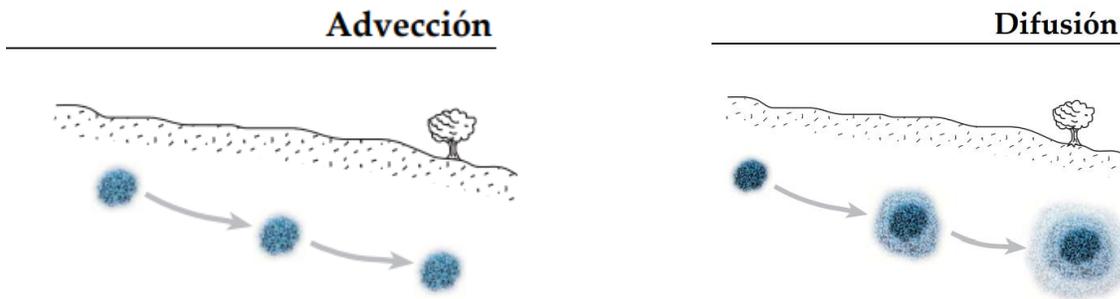


Figura 13: Movimiento del contaminante en fase disuelta

El análisis de riesgo se modeló por medio del software RBCA (Risk-Based Corrective Actions Tool Kit Versión 2.6 Español). El modelo de simulación seleccionado corresponde a TIER 2/3 de modo de calcular los niveles objetivos de adecuación basados en riesgo; es decir que bajo la metodología considerada se determinó inicialmente el umbral de riesgo para los Compuestos de Interés (CDI). Este método es también conocido como método inverso y permite comparar los valores máximos tolerables con los obtenidos en la Caracterización Ambiental, correspondientes a los resultados de muestreos realizados de suelos y aguas

Para el caso de estudio y bajo los criterios de simulación adoptado se pudo determinar que no existe riesgo para la salud humana para los escenarios/receptores considerados (Trabajador rural dentro/fuera de galpón de trabajo). Del mismo modo se establece que no existe riesgo para la vida acuática contemplando como medio receptos los ecosistemas de la Río Salado.

## OBJETIVO

El Análisis de Riesgos RBCA tiene como objetivo principal analizar el riesgo de la salud humana en el entorno del área de afectación provocado por la pérdida de contención del gasolinoducto tal como se ilustró en los capítulos de muestreo de suelos y aguas subterráneas.

En primer lugar, se descartó cualquier afectación previa al incidente de pérdida de contención. Con posterioridad se verificó si los valores hallados superan los niveles genéricos de referencia.

Las condiciones de análisis considerarán el escenario de mayor afectación identificado a partir de los resultados de muestreos realizados durante la etapa de exploración de fase II en los pozos monitores del sitio de estudio.

A continuación, se detallan las entradas del software a saber:

### 1- Compuestos de Interés

Para el caso de estudio se consideraron los siguientes Compuestos de Interés: para los cuales, las autoridades competentes han establecido valores límites de concentración mediante normativas aplicables para el caso en estudio y a su vez representan un riesgo potencial para la salud humana:

- Benceno.
- Tolueno.

- Etilbenceno.
- Xilenos.
- Éter metil terbutílico (MTBE)

Para los compuestos benceno, tolueno y etilbenceno se consideraron los valores establecidos en el marco de la Ley 24.051 – Decreto 831/93 para protección de vida acuática en agua dulce en el punto de exposición (Río).

En el caso de los xilenos la Ley 24.051 – Decreto 831/93 no expone cuales son los valores establecidos para protección de vida acuática; por lo que en esta oportunidad se tomó como criterio el valor establecido en dicha ley para consumo humano en el punto de exposición.

Del mismo modo; para el caso del MTBE; al no encontrarse normado para ninguna vía de exposición en el marco de la Ley 24.051 este CDI se consideró como valor el Límite de Exposición Basado en Riesgo para agua de consumo humano en el punto de exposición.

## **2- Escenarios considerados**

Se contemplan para el caso de estudio los siguientes escenarios:

- ESCENARIO 1: Se toma el escenario inicial al trabajador rural en campo abierto (considerando una jornada de 8 horas diarias- 365 días al año); vía de exposición por inhalación de vapores en ambiente interior y exterior.
- ESCENARIO 2: Se contempla el segundo escenario en barranca del Río Salado y se modela escenario bajo la característica Residencial Off Site (50 m).
- ESCENARIO 3: El último escenario considerado es Protección de vida acuática, medio receptor ecosistemas de Río.
- El escenario de exposición asociado a agua contaminada y posible captación y consumo por parte de terceros (receptores recreacionales) no fue considerado debido a que se observa que en el sentido de flujo del agua subterránea hacia la Río no existen receptores vulnerables de este tipo.

En términos generales se tomaron valores conservadores de exposición del receptor del tipo residencial

### 3- Vías de Exposición

<b>Inhalación en Ambiente Exterior</b>				
<b>Medio Afectado</b>	<b>Vía de Exposición</b>	<b>Receptor</b>	<b>Clasificación de la Ruta</b>	<b>Comentarios</b>
Suelo Superficial	Volatilización, migración e inhalación de vapores y particulado en aire exterior	Trabajador Comercial On Site	Completa	Se consideran conservadoramente suelos afectados de 0 a 1 m de prof.
Residencial Off Site (50 m)			Completa	Se considera receptores playa/barranca Río Salado
Suelo Subsuperficial	Volatilización, migración e inhalación de vapores en aire exterior	Trabajador Comercial On Site	Completa	Se consideran suelos subsuperficiales afectados
Residencial Off Site (50 m)			Completa	Se considera receptores en la playa/barranca del Río
Agua Subterránea	Volatilización, migración e inhalación de vapores en aire exterior	Trabajador Comercial On Site	Completa	S/C
Residencial Off Site (50 m)			Completa	Se considera receptores en la playa/barranca de la Río

#### **Inhalación en Ambiente Interior**

<b>Medio Afectado</b>	<b>Vía de Exposición</b>	<b>Receptor</b>	<b>Clasificación de la Ruta</b>	<b>Comentarios</b>
Suelo Superficial	Volatilización, migración e inhalación de vapores y particulado en aire interior	Trabajador Comercial On Site	Completa	Se consideran conservadoramente suelos afectados de 0 a 1 m de prof
Suelo Subsuperficial	Volatilización, migración e inhalación de vapores en aire exterior	Trabajador Comercial On Site	Completa	S/C
Agua Subterránea	Volatilización, migración e inhalación de vapores en aire interior	Trabajador Comercial On Site	Completa	S/C

### Descarga de Agua Subterránea en Curso de Agua superficial

Medio Afectado	Vía de Exposición	Receptor	Clasificación de la Ruta	Comentarios
Agua Subterránea	Descarga de Agua subterránea en Curso de agua Superficial	Vida Acuática	Completa	Se consideran los valores establecidos por ley 24051 (Dec. 831) Protección de Vida Acuática

#### 4- MODELOS DE TRANSPORTE

##### Transporte vertical, suelo superficial

- Factores de volatilización a aire ambiental:

Se considera el modelo de Johnson y Ettinger (Johnson, 2017) y se asume una profundidad de suelo superficial de 1 m.

- Factores de volatilización a aire interior:

Se asume el modelo más conservador para la simulación de Johnson y Ettinger (Johnson 2017).

#### 5- PARÁMETROS DEL SUELO

Para establecer los Parámetros de Suelo solicitados por el software y de acuerdo con los resultados obtenidos durante las tareas de caracterización ambiental se consideraron los siguientes valores:

Profundidad hasta el acuífero

Se tomó como profundidad de nivel freático aquel que corresponde al valor más conservador de acuerdo con la proximidad, el mismo corresponde al Pozo PM38 cuyo valor de nivel freático detectado en la etapa exploratoria corresponde a 3.245 m. Se detallan en la Tabla N° 3 los niveles freáticos de los pozos monitores construidos en el sitio de estudio.

Nombre de pozo	Nivel de Napa Freática (m)	Nombre de pozo	Nivel de Napa Freática (m)
PM1	3,802	PM21	3,493
PM2	3,789	PM22	3,498

Nombre de pozo	Nivel de Napa Freática (m)	Nombre de pozo	Nivel de Napa Freática (m)
PM3	3,706	PM23	3,406
PM4	3,703	PM24	3,401
PM5	3,705	PM25	3,409
PM6	3,609	PM26	3,489
PM7	3,607	PM27	3,476
PM8	3,650	PM28	3,480
PM9	3,650	PM29	3,492
PM10	3,561	PM30	3,401
PM11	3,559	PM31	3,401
PM12	3,562	PM32	3,412
PM13	3,560	PM33	3,315
PM14	3,607	PM34	3,320
PM15	3,496	PM35	3,308
PM16	3,496	PM36	3,350
PM17	3,405	PM37	3,389
PM18	3,407	PM38	3,245
PM19	3,403	PM39	3,247
PM20	3,507	PM40	3,250

Tabla 3, Cota de nivel freático en msnm

#### Columna de Suelo Superficial

Tipo de Suelo USCS, de acuerdo con las características geológicas del suelo se consideró como parámetro de ingreso un suelo del tipo Limo Arenoso.

## 6- PARÁMETROS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

### Acuífero

- Conductividad Hidráulica

Uno de los parámetros de mayor sensibilidad para el análisis de riesgos corresponde a la conductividad hidráulica.

Los parámetros referidos al agua subterránea son sensibles en las modelaciones del flujo subterráneo, un ejemplo es la ley de Darcy. La constante de proporcionalidad K no es propia y característica del medio poroso, sino que también depende del tipo de fluido. La siguiente tabla muestra los intervalos de valores de conductividad hidráulica y permeabilidad en cinco sistemas diferentes de unidades para varios tipos de materiales geológicos.

En este sentido para definir las características de conductividad hidráulica del proyecto actual se tuvo en cuenta la litología predominante y se definió un valor intermedio de porosidad para una arena limosa de acuerdo con la tabla anterior, a saber 1.0E+01 m/día.

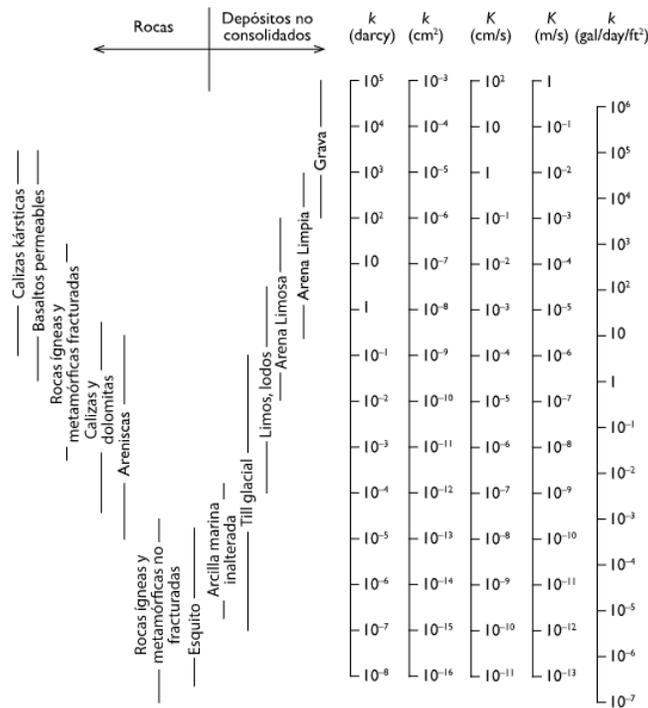


Tabla 4: Factores de conversión para unidades de permeabilidad y conductividad hidráulica (Freeze y Cherry, 1979)

- Gradiente Hidráulico

Para determinar el gradiente hidráulico se consideró de acuerdo a la Figura N° 3 la zona en la que se observa mayor regularidad entre las líneas equipotenciales y menor distorsión. A partir de ello, se realizó el cálculo tomando de referencia las cotas de los PM 8 y PM36 de 3,65 y 3,350 msnm respectivamente. De acuerdo con los valores considerados y teniendo en cuenta una distancia de 154 m entre los puntos de variación de altura del nivel freático, se obtuvo para dicha zona un gradiente hidráulico aproximado de 0,019 %.

Las equipotenciales identificadas en la Figura N° 2 fueron estimadas utilizando los valores del nivel freático referenciados al nivel del mar (msnm) correspondiente al sitio de estudio. Las profundidades fueron interpoladas manual.



Figura 14: Mapa Equipotencial con filetes de flujo

- Porosidad Efectiva

Se considera para el tipo de litología del área de estudio y de acuerdo con la Tabla N° 5 un valor medio de porosidad efectiva del 15%.

	total	eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0,5 a 5
Shale fraturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomias NO carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Calizas, dolomias carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fraturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

Tabla N° 5: Valores estimados de porosidad total y efectiva. Sanders, 1998.

- Foco de agua subterránea

Ancho y espesor de la pluma de agua subterránea en el foco.

De acuerdo con la caracterización de la pluma de afectación en el informe de fase exploratoria del sitio en estudio, se obtuvo un ancho de pluma de 40 m (Figura N°5) y un espesor máximo de FLNA de 50 cm.

A partir de los valores característicos de la pluma de afectación, en el presente informe se toma como criterio conservador para el ancho de la pluma un valor superior al observado en los planos correspondientes de 45 m y un espesor de 2 m.

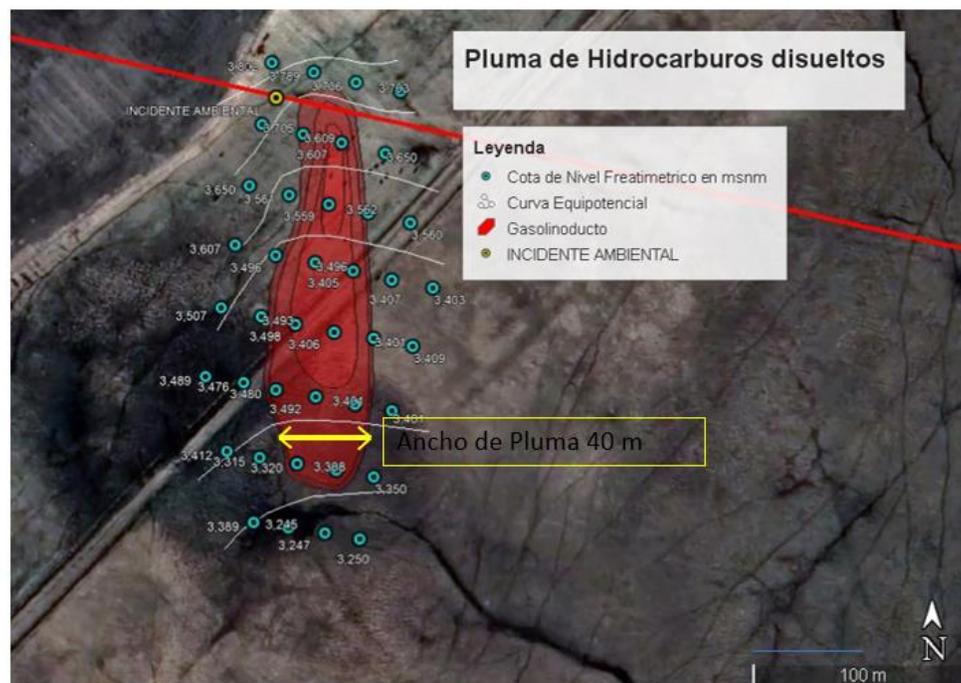


Figura 15: Ancho de pluma de HTP Disueltos

- Descarga de agua subterránea a agua superficial

Ancho y espesor en la pluma de descarga: Corresponde al valor del ancho al espesor de la pluma que potencialmente se descarga en el área de planicie de inundación del Río Salado, se consideran valores de 25 m y 2 m respectivamente.

- Velocidad del flujo de agua superficial en la descarga.

En este caso el parámetro está referido al caudal del río que se encuentra recibiendo el aporte del contaminante. Se estima que el caudal medio de 80 m<sup>3</sup>/seg

## Resultados RBCA (Análisis de Riesgo basado en acciones correctivas)

### Escenario 1 Trabajador rural en el sitio inhalación en galpón

Vuelco desde el Agua Subterránea al cuerpo receptor Ría Río Gallegos Benceno Disuelto, Tolueno, Xilenos y MTBE		Analítica mayor afectación (Protocolo #210882)	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	14
	Tolueno	0,400 mg/l	170
	Xilenos	0,980 mg/l	530
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	200
	MTBE	0.479 mg/l	1.100

Lixiviado a partir de suelo contaminado con Benceno, Tolueno, Xilenos y MTBE al Agua Subterránea y de allí al cuerpo receptor Ría Río Gallegos	Lixiviado del suelo de 0-1 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	69
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370
	Xilenos	<0.010 mg/l	800
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500
	MTBE	< 0,001 mg/l	1.500
	Lixiviado del Suelo de 1-3 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	69
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370
	Xilenos	<0.010 mg/l	800
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500
MTBE	< 0,001 mg/l	1.500	

### Escenario 2 Trabajador rural en el sitio inhalación en espacio abierto

Benceno Disuelto, Tolueno, Xilenos y MTBE		Analítica mayor afectación (Protocolo #210882 <u>Clarity</u> Laboratorio)	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	240 mg/l
	Tolueno	0,400 mg/l	170 mg/l
	Xilenos	0,980 mg/l	530 mg/l
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	200 mg/l
	MTBE	0.479 mg/l	3.500 mg/l

Lixiviado a partir de suelo contaminado con Benceno, Tolueno, Xilenos y MTBE al Agua Subterránea	Lixiviado del suelo de 0-1 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	340 mg/l
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370 mg/l
	Xilenos	<0.010 mg/l	800 mg/l
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500 mg/l
	MTBE	< 0,001 mg/l	2.900 mg/l
	Lixiviado del Suelo de 1-3 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	340 mg/l
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370 mg/l
	Xilenos	<0.010 mg/l	800 mg/l
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500 mg/l
MTBE	< 0,001 mg/l	2.900 mg/l	

### Escenario 3 Recreacional Río Salado por vía inhalación en espacio abierto

Benceno Disuelto, Tolueno, Xilenos y MTBE		Análítica mayor afectación (Protocolo #210882 Clarity Laboratorio)	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	140 mg/l
	Tolueno	0,400 mg/l	170 mg/l
	Xilenos	0,980 mg/l	530 mg/l
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	200 mg/l
	MTBE	0.479 mg/l	2.100 mg/l

Lixiviado a partir de suelo contaminado con Benceno, Tolueno, Xilenos y MTBE al Agua Subterránea	Lixiviado del suelo de 0- 1 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	210 mg/l
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370 mg/l
	Xilenos	<0.010 mg/l	800 mg/l
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500 mg/l
	MTBE	< 0,001 mg/l	1.700 mg/l
	Lixiviado del Suelo de 1-3 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	210 mg/l
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370 mg/l
	Xilenos	<0.010 mg/l	800 mg/l
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500 mg/l
MTBE	< 0,001 mg/l	1.700 mg/l	

### Escenario 4 Potencial Afectación a Ecosistema Río Salado

Vuelco desde el Agua Subterránea al cuerpo receptor Río Salado Benceno Disuelto, Tolueno, Xilenos y MTBE		Análítica mayor afectación (Protocolo #210882 Clarity Laboratorio)	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	1.800
	Tolueno	0,400 mg/l	170
	Xilenos	0,980 mg/l	530
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	200
	MTBE	0.479 mg/l	48.000

Lixiviado a partir de suelo contaminado con Benceno, Tolueno, Xilenos y MTBE al Agua Subterránea y de allí al cuerpo receptor Río Salado	Lixiviado del suelo de 0- 1 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	1.400
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370
	Xilenos	<0.010 mg/l	800
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500
	MTBE	< 0,001 mg/l	10.000
	Lixiviado del Suelo de 1-3 m al agua subterránea	En ninguna muestra de suelo se detecto BTEX	Valores Máximos Tolerables (mg/l)
	Benceno	< 0,010 mg/l	1.400
	Tolueno	< 0,010 mg/l	370
	Xilenos	<0.010 mg/l	800
	Etilbenceno	< 0,010 mg/l	500
MTBE	< 0,001 mg/l	10.000	

## **MONITOREO (MEDICION DE NIVELES Y MUESTREO)**

Se realizará una medición de niveles de agua y FLNA y muestreo en todos los pozos instalados en el sitio con una frecuencia trimestral.

Previamente a la medición de los niveles de agua subterránea se deberá asegurar que los niveles estáticos se encuentran estables y sin influencias locales en los mismos. Asegurada dicha estabilidad se podrá realizar la medición de la profundidad de agua subterránea en cada pozo.

En caso de detectarse durante la medición FLNA se deberá obtener la profundidad del contacto Aire/FLNA y FLNA/Agua y calcular el espesor exacto mediante sonda de interfaz en todos los puntos de monitoreo instalados y preexistentes.

El equipo de medición debe tener una precisión de 1mm y la toma de datos debe ubicarse en la boca del pozo en un punto de referencia permanente, que deberá estar identificado.

El equipo de medición debe estar apropiadamente descontaminado antes de la medición de cada pozo de monitoreo.

Dicha medición de agua subterránea debe ser útil para conocer en qué pozos se realizará la extracción de FLNA, y a su vez para evaluar a través del tiempo las variaciones que pueden presentarse en los niveles de agua y FLNA.

El Adjudicatario deberá asegurar la representatividad de las muestras y las mismas deberán aportar información precisa sobre los Compuestos de Interés (CDI) en las aguas y/o las características de la FLNA.

Para ello, durante el muestreo será necesario tener presente los siguientes puntos:

- A. Los muestreos de aguas deberán ir precedidos de purga y deberán realizarse siguiendo los protocolos medioambientales existentes a tal efecto, tanto durante la toma, como envasado y conservación.
- B. Antes del muestreo se deberá remover suavemente de cada pozo un mínimo de 3 a 5 volúmenes de agua subterránea, con el volumen removido dependiente de las tasas de recuperación de agua subterránea. Se deberá evitar una agitación vigorosa de la columna de agua al momento de la purga. El purgado será prolongado hasta que se establezcan los parámetros de calidad de agua subterránea de campo (temperatura del agua y temperatura ambiental, conductividad, pH, oxígeno disuelto, aspecto de la muestra basado en percepciones organolépticas, etc.).
- C. Todo el equipo de purgado y muestreo deberá ser descontaminado apropiadamente y construido con materiales no reactivos (ej. Bailer descartable de Teflón o acero inoxidable).
- D. Las muestras que serán destinadas a determinar parámetros volátiles se recolectarán primero. Se deberá tener en cuenta que ninguna burbuja de aire este presente después del sellado o cierre del frasco.
- E. Las muestras serán preservadas almacenándolas en un contenedor aislado que contenga hielo o refrigerante desde el momento del muestreo hasta su recepción en el laboratorio, procurando que las muestras se conserven a una temperatura igual o menor a 4°C.

F. Se solicitará el laboratorio determinaciones analíticas mediante la resolución OPDS 95/14, pero el muestreo como así todos los elementos necesarios serán provistos por el Adjudicatario.

Con una frecuencia anual, se incorporará a la analítica indicadores geoquímicos indirectos de los procesos de atenuación natural.

### **ANALISIS DE LABORATORIO**

La realización de los análisis previstos deberá estar a cargo de un laboratorio inscripto en Ministerio de Ambiente PBA, bajo la Resolución 41/14.

### **ANALISIS DE COMPUESTOS DE HIDROCARBUROS**

En la siguiente tabla se especifican las metodologías analíticas para los compuestos derivados de hidrocarburos y también se especifican los criterios técnicos de análisis.

<b>Analito</b>	<b>Metodología</b>	<b>Frecuencia</b>
HTP	EPA 8015	Trimestral
Benceno	EPA 8260	
Tolueno	EPA 8260	
Etilbenceno	EPA 8260	
Xilenos	EPA 8260	

### **Criterios Técnicos**

#### **1) Personal:**

Todo el personal del laboratorio interno o externo que puede influir en las actividades del laboratorio debe ser competente. Los requisitos de competencia los debe definir y documentar el Laboratorio.

El director técnico debe autorizar por escrito al personal que realiza tareas específicas, incluidas, pero no limitadas a las siguientes: desarrollar, modificar, verificar y validar métodos, y analizar, informar, revisar y autorizar resultados. Para el caso particular de las personas involucradas en la ejecución de los ensayos, la autorización debe basarse en evidencias objetivas de la realización satisfactoria del ensayo, por ejemplo: a través de la participación en Ensayos de Aptitud, análisis de materiales de referencia certificados, repetición de un análisis previamente realizado por un analista calificado.

#### **2) Recepción de muestras:**

Las condiciones de la muestra a la recepción son las acordadas con el personal responsable del muestreo y transporte. Las mismas se deben verificar y registrar al ingreso de las muestras al Laboratorio. En el caso de observarse anomalías se debe poner en conocimiento al cliente para evaluar la factibilidad de los análisis.

### **3) Validación:**

A continuación, se describen los parámetros que deben evaluarse para cada método:

- Límites de detección y cuantificación,
- Linealidad,
- Recuperación en matriz fortificada con estándar independiente al de la curva de calibración,
- Recuperación del surrogate,
- Precisión en condiciones de repetibilidad, y
- Precisión intermedia.

Los criterios de aceptación de los parámetros deben ser los fijados por las normas de referencia o más estrictos. Sólo en el caso que el criterio de aceptación no esté definido en la Norma podrá ser establecido por el laboratorio, teniendo en cuenta su impacto en la incertidumbre final.

Se debe emitir un informe de validación del método que incluya la declaración de aptitud para el uso previsto, el mismo debe ser aprobado por el director técnico.

### **4) Equipamiento:**

Todo el equipamiento crítico debe tener un Plan de Calibración, Verificación y Mantenimiento.

Material Volumétrico:

- a. Jeringas: deben ser calibradas o verificadas individualmente (con procedimiento escrito y registros asociados).
- b. Matraces y pipetas aforadas: material clase A con volumen garantizado por verificación en el laboratorio o certificado de lote. Las probetas utilizadas para toma de muestras cuantitativas (por ejemplo: para HTP) deben estar verificadas.

Los sistemas informáticos de gestión de la información desarrollados por el laboratorio deben estar validados (por ejemplo: las planillas de cálculo Excel). Se debe asegurar la integridad y resguardo de todos los datos.

### 5) Mediciones de VOCs en Aguas:

A fines de asegurar la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones de VOCs en muestras acuosas, se indica filtra usando membrana de PTFE de 0,45  $\mu\text{m}$  por medio de prácticas que minimicen las perdidas.se debe tene en cuenta que los resultados se corresponderán a la fase acuosa soluble, mientras que la fracción adsorbida al material particulado en suspensión, retenido en el filtro, no sea cuantificada.

### 6) Informes:

Deben contener todos los elementos enumerados:

- Título.
- Nombre y Dirección del Laboratorio.
- Lugar en el que se realizan las actividades del Laboratorio.
- Identificación única de que todos sus componentes se reconocen como una parte de un informe completo y una clara identificación del final.
- Nombre e información de contacto del cliente.
- La identificación del método utilizado.
- Identificación inequívoca de la muestra, y cuando sea necesario la condición de la misma.
- Fecha de recepción y fecha de muestreo.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Fecha de emisión del informe.
- Referencia al plan y método de muestreo.
- Resultados del análisis con sus incertidumbre y unidades.
- Adiciones, desviaciones o exclusiones del método.
- Identificación y firma de las personas que autorizan el informe.
- Estándares/patrones utilizados

Se deben anexar al informe los cromatogramas de la verificación de curva y blanco de método.

## **ALTERNATIVA DE REMEDIACIÓN SELECCIONADA**

### **REMEDIACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE MONITOREO DE ATENUACIÓN NATURAL**

#### Compuestos de interés para el Monitoreo de Atenuación Natural

El interés es evaluar los procesos de atenuación natural presentes en el sitio con el fin de evidenciar la actividad biológica encargada de la biodegradación de los compuestos. De esta manera, anualmente se analizarán los parámetros que se detallan a continuación, alguno de los cuales deben determinarse in situ.

<b>Analito</b>	<b>Metodología</b>	<b>Frecuencia</b>
Manganeso +2 (Mn)	SM 3111 Mn B	

Manganeso +4 (Mn)	SM 3111 Mn B	Anual
Hierro +3 (Fe)	SM 3111 Fe B	
Hierro +2 (Fe)	SM 3111 B	
Sulfatos (SO4=)	SM 4500 SO4= E	
Metano	EPA 8015	
Nitratos	SM 4500 NO3-Nitratos Rev 2011	
Alcalinidad	SM 2320 B	
Cloruros	SM 4500 Cl B	
Sulfuros Totales (HS-)	SM 4500 S= E	
Oxígeno Disuelto (OD) en campo	Electroquímica	
pH en Campo	Electroquímica	
Potencial Redox en campo	Electroquímica	
Dióxido de Carbono	Electroquímica	
Bicarbonatos	SM 2320 B	
Carbonatos	SM 2320 B	
Sodio	SM 3500 Na B	
Potasio	SM 3500 K B	
Calcio (Ca)	SM 3500 Ca D	
Magnesio (Mg)	SM 3500 Mg E	

### **ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN DESCARTADAS**

- 1- En función de las características hidrogeológicas que han sido determinadas en la caracterización y sumado a la experiencia de aplicación de un sistema de remediación de dual phase (Alto Vacío), se descarta la aplicabilidad de esta metodología como así también la metodología de “soil – venting sumado al bombeo de hidrocarburos”.

2- Respecto de la excavación y retiro del material afectado para tratamiento ex situ, es desaconsejable debido a diferentes cuestiones a considerar del sitio en particular:

- Debe considerarse que se requerirá de material de relleno alóctono, que requiere de un abastecimiento vía cantera autorizada lo que también generará un impacto negativo ambiental.
- Altas tasas de consumo de combustibles con su consecuente emisión de CO<sub>2</sub> generados con maquinarias de excavación, transporte de material afectado a punto de disposición y transporte de material noble de relleno.
- Incremento en el riesgo de transporte de residuos peligrosos desde el punto de excavación hasta el punto de tratamiento.
- Impacto sobre el ecosistema.
- Cabe mencionar que parte de la FLNA se reducirá mediante prácticas a fosa/s abierta/s para lo cual se deberá realizar un afloramiento controlado del agua subterránea y la FLNA.
- El sitio presenta problemática de inundaciones, sobre las posibles áreas de trabajo, que conllevaría a un riesgo latente de dispersiones y afectaciones complementarias.
- No puede dejar de contemplarse que paralelamente a las acciones de campo se generarían potenciales sensibilidades sociales, asociadas a manifestaciones de olores, tránsito de maquinarias y camiones, restricciones de usos de espacios, etc.

3- Skimmers Pasivos y Activos,

Se descarta la metodología por las bajas transmisividades medidas y baja porosidad efectiva de los sedimentos donde se aloja el agua subterránea con afectación.

## **CONCLUSIONES**

- El sitio se encuentra impactado por presencia de BETX en aguas subterráneas.
- Conforme a los criterios adoptados para el presente Análisis de Riesgos RBCA se pudo determinar que (Ver ANEXO IV: Salida de software): Considerando la muestra más desfavorable obtenida en la caracterización ambiental con concentraciones de BTEX de 1,380 mg/l (Benceno <0,01; Tolueno = 0,400 mg/l; Etilbenceno <0,010; Xilenos = 0,980 mg/l) y de MTBE 0,479 mg/litro (Ver 7.3 ANEXO III: Protocolo de Laboratorio #XXX, ambos valores se encuentran por debajo de los Niveles Objetivos Específicos para el sitio calculados en base a riesgos a la salud humana y criterios de protección de vida acuática.

Por lo tanto, **se concluye que no existe riesgo para la salud humana** para los escenarios/receptores considerados (Trabajador Rural en galpón y en trabajo aire libre y Receptores recreacionales en Río Salado). Del mismo modo se establece que no existe riesgo para la vida acuática contemplando como medio receptos los ecosistemas del Río Salado.

- Se propone técnicas de Monitoreo de atenuación natural, según el esquema presentado en la sección precedente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ASTM D4700-91, 2006. Standard Guide For Soil Sampling From The Vadose Zone
- Auge, M. 2005. Auge, M. 2005. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires, PP. 293-311.
- Dangavs, N. Pierrard, L. 2013. Paleolimnología de la Laguna del Monte, San Miguel del Monte, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 70 (1): 128 – 143.
- Freeze y Cherry, 1979. Groundwater; Prentice Hall, 604 pp.
- Johnson and Ettinger Model Spreadsheet and Documentation, Version 6.0 Updates September 2017, EPA, USA:
- Mancino, C. et al 2013: Modelación del flujo subterráneo en la cuenca Matanza-Riachuelo, provincia de Buenos Aires. Temas Actuales Hidrogeología Subterránea, pp. 85-92.
- Sánchez San Román F. J. 2012. Transportes de Contaminantes, Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. PP 13.
- Sanders, L. 1998. A Manual of Field Hydrogeology. Prentice-Hall, 604 pp.
- Tófaló O. R., Etchichury M. C. y Fresina M., 2005. Características texturales y petrofacies de depósitos neógenos, Bancalari, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 60 (2): 316-326
- Tonni, E. 2011. Ameghino y la estratigrafía pampeana un siglo después, Publicación Especial 12. Vida y obra de Florentino Ameghino, pp. 69-79.