

Planta de Lavado de Suelos - Saneamiento de Pasivo Ambiental – Estación Fernández Oro, Río Negro.

Autores:

Diego A. Rosa, Stephen Wharton, Soledad Casabal; Mónica Mariaca Pando

Abstract:

En la localidad de Estación Fernández Oro, Provincia de Río Negro, desde hace cuatro años se lleva adelante la descontaminación de un área afectada por un pasivo ambiental que correspondía a antiguas piletas de infiltración y mecheros de venteo. El área sufrió aportes de hidrocarburos en forma intermitente durante aproximadamente 20 años, y finalmente a mediados de los '90 las piletas fueron vaciadas de líquidos y toda el área fue tapada. La contaminación que permaneció en esta área fue descubierta en 2003. En el año 2006 luego de diversos estudios ambientales y ensayos comenzó definitivamente el tratamiento bajo la operación de Apache Energía Argentina, quien se había hecho cargo del área ese mismo año.

En el sitio se estimó un volumen de aproximadamente 50.000 m³ de suelo contaminado. Hoy en día se han superado los 45.000 m³ de suelo lavado y el proyecto se encuentra en su fase de terminación.

El tratamiento se basa en un proceso de lavado *ex situ*, utilizando para esto una planta especialmente diseñada en la cual el suelo es resuspendido en fase líquida y agregado de tensioactivos que separan los contaminantes de la estructura sólida.

Los valores promedio originales de contaminación en el suelo rondaban los 50.000 mg/kg de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP). El procedimiento ha tenido una eficiencia promedio de remoción del 89%. Los valores medios obtenidos en el suelo descontaminado rondan los 2.000 mg/kg, valores muy por debajo del límite establecido por la autoridad de aplicación provincial, que fueron establecidos como para uso rural en lugar de industrial, como había sido originalmente propuesto por la empresa.

Antecedentes del predio

El predio se encuentra ubicado en la Provincia de Río Negro, Departamento de Allen, localidad de Estación Fernández Oro. En la Figura 1, puede verse la posición relativa del área respecto al valle de Río Negro y las localidades vecinas.

En la figura 2, puede observarse la posición relativa del área contaminada dentro de la Planta de Gas.

Figura 1: Posición relativa respecto a poblaciones cercanas



Figura 2: Posición relativa del área contaminada y la planta de gas



Originalmente el predio perteneció a una empresa estatal y luego fue operado por diversas compañías privadas que tomaron la concesión del área Estación Fernández Oro (“EFO”).

Las primeras evidencias de la existencia de un posible sitio contaminado se detectaron por el comportamiento errático de los niveles de los freáticos existentes en el predio de la Planta de gas de EFO Norte.

Con esta evidencia en el año 2003 la operadora que tenía a cargo el área en ese momento convocó a una consultora externa (Ecogestión SRL) para hacer el estudio de caracterización de sitio. La investigación preliminar consistió de muestreos de suelo, instalación de freáticos adicionales y búsqueda de antecedentes, los cuales revelaron que en ese lugar habían existido piletas de infiltración. La contaminación se habría producido por el vertido de efluentes líquidos y por spray de hidrocarburos producidos durante el venteo de gases de la planta en la antorcha.

Las Fotografías 1 y 2 muestran registros fotográficos obtenidos en 1988 y 1990 de las piletas cuando estaban abiertas y operativas.



Caracterización del predio

El estudio de caracterización fue realizado por una consultora local, quien siguió las recomendaciones de la norma ASTM 1739

En el año 2003 comenzó la fase I de la investigación, con muestreos de agua subterránea en freáticos existentes construidos en 1997 por un operador privado.

Las muestras fueron analizadas para la detección de los parámetros fisicoquímicos generales, iones, metales pesados, hidrocarburos, Hidrocarburos Poliaromáticos (PAH) y el grupo Benceno, Etil-Benceno, Tolueno y Xileno (BTEX).

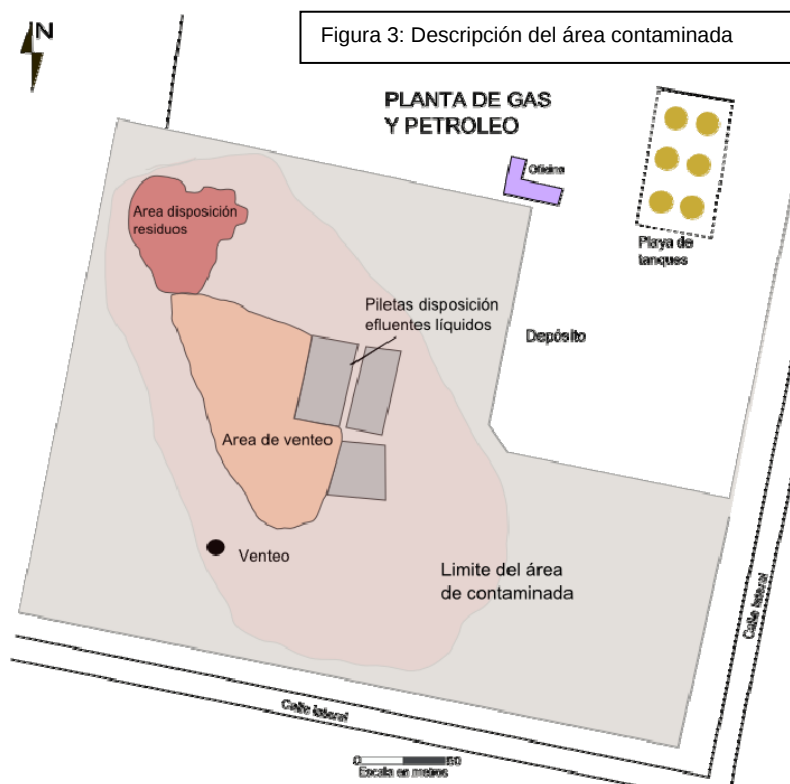
Durante la fase II de la caracterización, se perforaron 5 calicatas y se construyeron 5 nuevos freáticos. Las muestras de suelo y agua extraídas durante los muestreos de las calicatas se procesaron según la norma USEPA 846.

Durante la Fase III de la caracterización, se perforaron 19 calicatas nuevas y 9 freáticos más.

Los análisis realizados permitieron caracterizar los hidrocarburos presentes y su estado de degradación natural.

Los estudios concluyeron en la existencia de un nivel de contaminación significativo en la zona de las antiguas piletas y área de venteo (Ver figura 3). En las piletas se había producido un entrapamiento del hidrocarburo formando una fase libre, pero con escasa movilidad en el sentido de flujo del agua subterránea.

En conjunto con el estudio de suelos se realizó una caracterización hidrogeológica detallada de la zona. En 2007 se repitió el estudio en un intento de reforzar los hallazgos del primero y de reevaluar el comportamiento del nivel freático en la zona.



Durante la caracterización del sitio se descartó, por falta de evidencia, que hubiera contaminación con metales pesados.

Tampoco se encontró evidencia de procesos de salinización que se hubieran producido como consecuencia del foco de contaminación.

La caracterización se acompañó además con estudios de toxicidad que se realizaron sobre los hidrocarburos que se encontraron, estos estudios demostraron un valor de toxicidad moderada a baja tanto en la fase libre sobrenadante como en la fase

disuelta.

Dado el tiempo que esta contaminación permaneció sin ser detectada, se supone que las fracciones de hidrocarburos más livianas fueron eluidas del área, ya que estas fracciones no se detectaron durante los muestreos en 2003 y posteriores.

Al finalizar las caracterizaciones, se evidenció que la fase libre de hidrocarburos contaminaba un área de aproximadamente tres hectáreas en el predio de la planta de gas. Se estimó en base al área y a los cateos realizados que el volumen de suelo a ser descontaminado era de aproximadamente 50.000 m³.

Caracterización del suelo y del acuífero

Las instalaciones de la Planta de Gas de EFO, se encuentran ubicadas en el complejo sedimentario pleistoceno superior/holoceno caracterizada por presentar acuíferos de permeabilidad alta, con porosidad intersticial, ubicados a profundidades entre 1 y 15 m aproximadamente.

Se trata del acuífero constituido por material aluviones del Río Negro, cuyo cauce principal se encuentra aproximadamente 500 metros en dirección sur. Este acuífero es explotado actualmente en gran cantidad de chacras para riego. La zona aledaña está también cruzada por canales de drenaje para evacuar el exceso de agua que pudiera acumularse. En aquellos sectores donde no hay drenajes, el exceso de agua es bombeado para que el nivel freático no alcance las raíces de los árboles frutales.

Debido a la presencia de agua cercana a la superficie, en la zona contaminada, el proyecto requirió la instalación de tres bombas, con un caudal sumado de 340 m³/hr, para poder deprimir el nivel freático en el frente de trabajo.

Desafíos del Proceso de Saneamiento

Para poder llevar a cabo exitosamente la remediación del área, se presentaron desafíos importantes, tanto desde el punto de vista técnico como económico. La tabla 1, resume estos desafíos.

Tabla 1: Desafíos del Proyecto	
Movimiento de suelo	Implica uno de los costos operativos más importantes del proyecto debido a la contratación de las maquinarias. Ha representado en promedio el 16.7 % del presupuesto total Requiere ubicar el material de suelo superficial o deschampe, que no está contaminado, en lugares periféricos del sitio a descontaminar. Es una de las actividades que presenta más riesgo desde el punto de vista operativo para los trabajadores afectados a este servicio. (Una vez finalizado el saneamiento este suelo será devuelto a dónde fue extraído)
Depresión del nivel freático	Tal como se ha descrito en el punto anterior, el suelo natural de esta zona está constituido por depósitos aluvionales del Río Negro. Por lo tanto el nivel freático está cercano a la superficie y presenta un gran caudal y volumen de agua. La depresión implica la extracción de entre 200 y 500 m³ de agua por hora.
Preservación del material ya descontaminado	El material tratado no podía ser devuelto a su posición original hasta descartar y asegurar que no se volvería a contaminar por contacto con la fase libre del hidrocarburo de las zonas colindantes. Por lo tanto el suelo limpio debía dejarse fuera de las zonas de excavación, provocando congestión y falta de espacio.

Vuelco del agua de depresión de napa	El agua extraída debía ser volcada al Río Negro, pero en condiciones apropiadas de vuelco. El riesgo era que la extracción formara un cono de depresión y que arrastrara consigo hidrocarburos. El proyecto debía incluir un sistema de tratamiento para esta cantidad de agua.
--------------------------------------	--

Alternativas evaluadas

Luego de la primera caracterización en el año 2003, se evaluaron diferentes alternativas de tratamiento que incluyeron: biodegradación, incineración, lavado de suelo *in situ* ("soil flushing"); lavado de suelo *ex situ* ("soil washing"), y excavación, transporte y disposición *ex situ*.

La biodegradación fue descartada debido a la falta de espacio para poder desarrollarla en superficie; la incineración no se consideró viable por el tipo de material a tratar; el lavado *in situ* se proyectaba como dificultoso por el tipo de suelo, que ante caudales altos tiende a formar "tubos" de circulación por canales de menor resistencia y por ende dejaría suelo sin remediar, como así también se planteaba la imposibilidad de remover la fracción contaminante adsorbida electroquímicamente. Por otro lado, esta técnica hubiera dejado inutilizado una gran cantidad de superficie por un tiempo que no podía estimarse en ese momento.

Finalmente la Operadora que tenía a cargo el área en aquel momento optó por la técnica de lavado de suelo *ex situ*.

Esta técnica consiste básicamente en la extracción del material, su cribado para la separación del material que pudiera afectar el sistema de lavado, remoción en fase acuosa de los contaminantes mediante acción mecánica y química, y devolución de suelo tratado a las zonas excavadas

Proceso de aprobación y seguimiento oficial

Para la aprobación de la técnica propuesta por la consultora, se trató principalmente con dos Autoridades de Aplicación al mismo tiempo: el Consejo de Ecología y Medio Ambiente (CODEMA) y la Dirección Provincial del Agua (DPA).

Los informes que fueron presentados a las Autoridades de Aplicación se corresponden con:

- Caracterización del Sitio
- Informe de Estudio de Alternativas
- Ensayo Piloto - Técnica de Lavado de Suelos
- Proyecto de Ingeniería
- Estudio de Impacto Ambiental
- Plan de Monitoreo.

Todo el proceso incluyó reuniones y presentaciones con las autoridades donde se discutieron la viabilidad del sistema de saneamiento, los límites de limpieza o "clean up", y los parámetros y frecuencias del plan de monitoreo.

La fase de aprobación oficial duró aproximadamente 2 años.

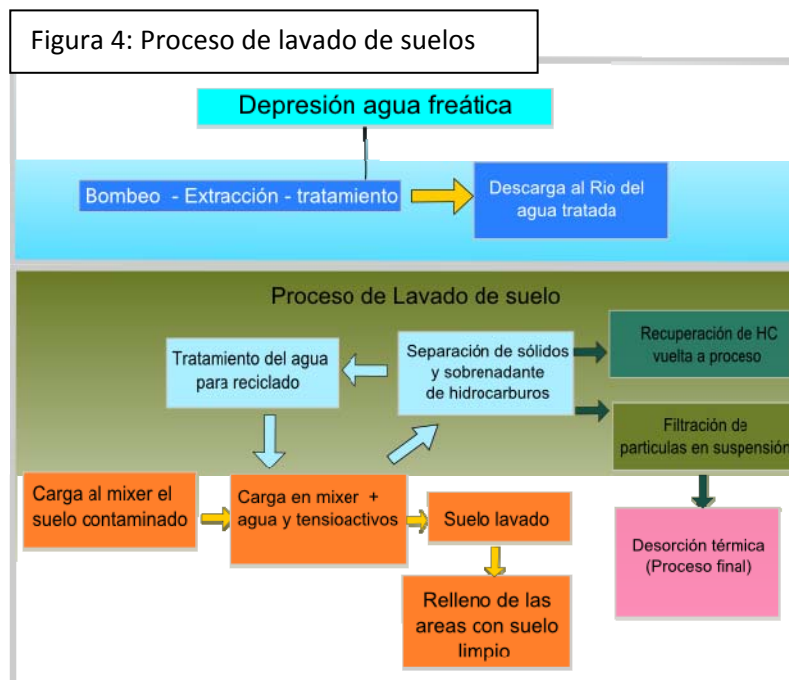
Durante la fase de operación, las autoridades han mantenido un estricto control de seguimiento del proceso. Aparte de recibir los informes mensuales de la operación de la planta, tanto el

DPA como el CODEMA han realizado 40 inspecciones, esto es, un promedio de 10 inspecciones anuales.

Estas inspecciones han permitido ágiles ajustes al extenso sistema de monitoreo del suelo tratado, al control de los freáticos, y a la reposición de suelos en las zanjas.

Descripción de la técnica de lavado de suelo *ex situ*

La Figura 4 muestra esquemáticamente el funcionamiento del sistema de lavado de suelos.



a) Excavación de suelos

Foto 3: Excavación



El suelo a tratar se excava del sitio contaminado, donde previamente se procede al retiro de la capa de suelo superficial o deschampe, de aproximadamente 1 m de espesor. (Ver foto 3)

El suelo subyacente se pasa por un tamiz grueso para separar piedras de tamaño significativo (> 10 cm de diámetro) y otros elementos que se encuentren enterrados (ej: tambores, tocones de árboles, y otros), para evitar su ingreso a la planta de lavado de suelos (PLS).

b) Tratamiento del suelo

Foto 4: Mixer y sistema de carga



El proceso de lavado de suelos comienza con la carga de material contaminado en el mixer (mezclador de áridos tipo cementera) (Ver foto 4). Mientras el material se encuentra en el mixer es sometido a dos procesos de lavado.

El primer lavado tiene como objetivo la separación de los hidrocarburos presentes en el material. Esto se logra agregando agua con tensioactivos a temperatura de 70°C.

La función de este primer lavado es la de homogenizar el material que ingresa al sistema y lograr un contacto íntimo con el hidrocarburo. Tiene un tiempo de duración de 10 minutos.

El agua con el material contaminante es descargada por la boca del mixer en una cuba de colección de líquidos, donde se envía al desarenador.

El segundo lavado tiene como objetivo la remoción del hidrocarburo remanente mediante la utilización de productos químicos los cuáles favorecen la separación bus-cada a través de cada lavado y/o enjuague.

El líquido generado es enviado al proceso de desarenado, floculación, flotación, separación del hidrocarburo y filtración para el reingreso al sistema.

El ciclo para los dos lavados tiene una duración estimada de 77 minutos y opera con una capacidad de 4 a 4,5 m³ de suelo por cada ciclo.

Los productos químicos que se utilizan en el proceso son: tensioactivo iónico, urea, soda cáustica y sulfato de aluminio.

El sistema de dosificación entra en funcionamiento a partir del segundo lavado e interviene en los dos enjuagues. La dosificación está automatizada por el PLC de la planta quedando a cargo del operario la regulación de los respectivos caudales de dosificación.

El suelo que ha sido lavado, es descargado por la boca del mixer (Ver figura 8) y acumulado en pilas a la espera de ser reintegrado al área que ha sido abierta. (Ver Foto 6)

Foto 5: Descarga del material limpio



Foto 6: Material después del proceso



Proceso de tratamiento del agua

El tratamiento del agua implica el procesamiento de dos corrientes diferentes de agua, el agua de proceso, que se genera en los lavados descritos en el punto anterior, y el agua de depresión del nivel freático

i. Agua de proceso.

Foto 7: Desarenadores



reincorporación al sistema.

Luego de terminado el proceso de lavado en el mixer, el agua con los contaminantes es enviada a los floculadores y separadores (Ver Foto 7) con el fin de recuperar la fase oleosa y separar los sólidos sedimentables y en suspensión.

La fracción de sedimentos se envía a una pileta de secado, donde el material fino se consolida. Este residuo contiene hidrocarburos adsorbidos a nivel molecular a las partículas de arcillas.

La fracción oleosa es enviada a una pileta y luego es enviada a producción para su

Foto 8: Proceso tratamiento agua



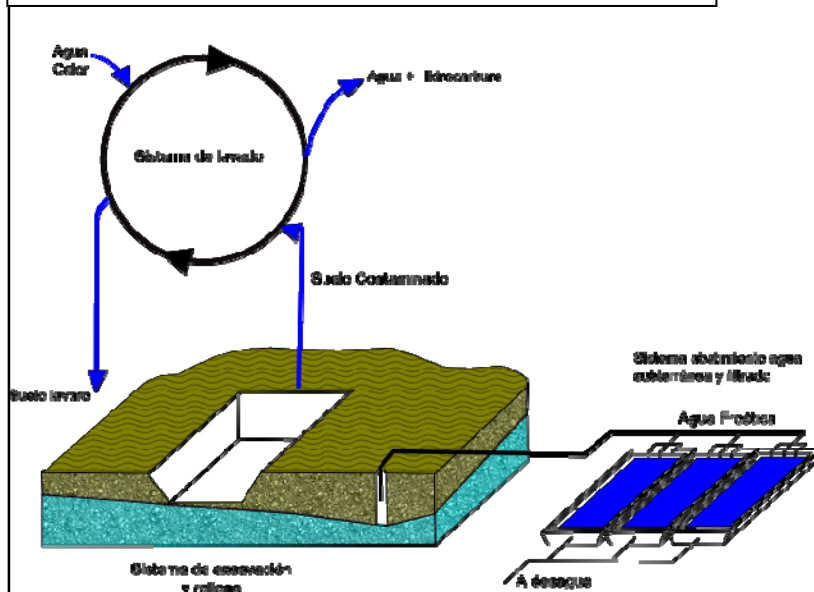
La fracción líquida es reutilizada en el proceso de lavado, previo acondicionamiento con productos químicos. (Ver foto 8)

La planta trabaja con aproximadamente 160 m³ de agua por circuito (320 m³ de agua en total).

ii. Agua de Depresión de Nivel Freático

La figura 5 muestra el proceso de depresión del nivel freático que ha sido necesario implementar para llevar a cabo la excavación y retiro de material contaminado. Como se ha expresado oportunamente el suelo de esta región presenta valores permeabilidad muy alta, lo que hace que el caudal de extracción se encuentre entre 250 a 500 m³ por hora para poder deprimir lo suficiente el nivel freático.

Figura 5: Proceso de depresión de nivel freático



El agua es extraída por un sistema de bombeo y enviada a un grupo de piletas especialmente acondicionadas con un lecho de arena, tierra de diatomea y grava que actúan como filtros lentos. (Ver foto 9)

Los filtros descargan su caudal a una cámara de aforo, previo vertido a un arroyo cercano que termina en el Río Negro.

Foto 9: Filtros lentos



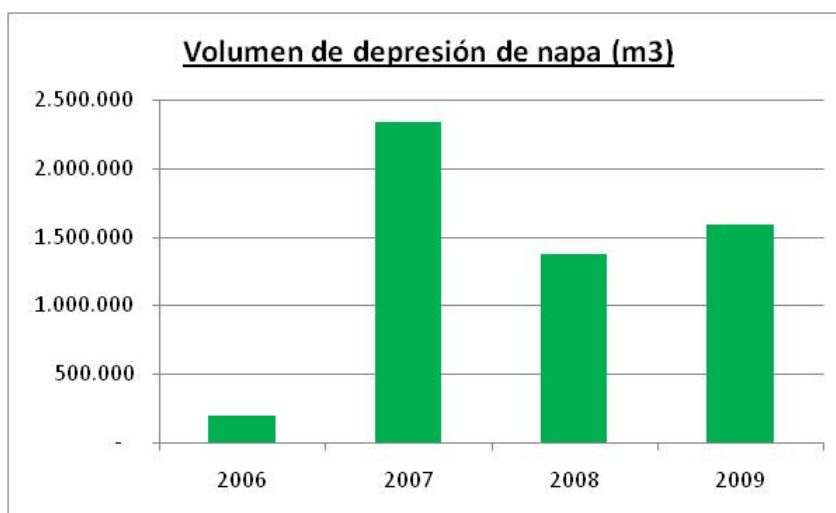
Durante la etapa de diseño y evaluación de la técnica, se consideró la posibilidad de que la depresión del nivel freático pudiera arrastrar hidrocarburos de la zona contaminada, hacia profundidades mayores, o bien arrastrar hidrocarburos en el agua que sería descargada en el río.

El tiempo de retención con que fueron diseñados, asegura la separación de hidrocarburos en la superficie de los mismos. El monitoreo permanente del punto de descarga, demuestra que no han habido eventos de este tipo

en el tiempo de operación que lleva el proyecto.

Hasta Diciembre de 2009 se bombearon 5.478.480 m³ de agua por el sistema de depresión, distribuidos anualmente, según lo muestra el gráfico 1:

Grafico 1: volumen de depresión de nivel freático



iii. Proceso de excavación y tratamiento del área contaminada

Basándose en la investigación preliminar y los datos obtenidos de los relevamientos y cateos, la consultora encargada del proyecto, diseñó un sistema de apertura y cierre de áreas en etapas.



La superficie del predio a intervenir fue dividida en 5 áreas usando como criterio el origen de cada una de ellas. En la Figura 3, puede apreciarse la superposición con las piletas y zonas contaminadas, que se describen también en la figura 6.

Las áreas están también dispuestas de manera que se comienza el saneo del suelo aguas arriba de la dirección predominante de agua subterránea de manera de evitar que este flujo pudiera recontaminar el material lavado una vez vuelto a

poner como relleno en el lugar.

Al momento de confección de este trabajo, la única área que queda sin intervenir el es área 5; las áreas 1 y 2 se encuentran ya terminadas y cerradas. La figura muestra la zona 2 en proceso de apertura

Foto 10: Zona 2 en proceso de apertura



iv. Proceso de protección del área descontaminada

Una vez finalizado el saneado de la zona 1, se planteó la necesidad de proteger este sector de la influencia del acuífero freático desde la cabecera de la misma. Siendo un área que se encuentra en el medio de chacras frutales y surcada por canales de riego y de drenaje, y debido a que en el 2007 se produjo un aumento del caudal del agua subterránea en el área de excavación debido a las lluvias, se decidió poner una barrera hidráulica con la intención de desviar el flujo del agua en ese sector.

Foto 11: Construcción de barrera hidráulica



La barrera hidráulica se construyó utilizando una malla de polietileno de 1000 micrones y dos capas de arcilla expansiva (bentonita). (Ver foto 11)

La barrera hidráulica tiene una profundidad de 4,00 metros y una extensión de 70 metros.

v. Proceso de relleno de las áreas saneadas

El proceso de relleno de las áreas saneadas requiere de la aprobación de la autoridad de aplicación. Para poder obtener el permiso se hacen análisis de fondo de la excavación, de las paredes de la fosa y del agua presente.

El proceso puede verse demorado si el nivel freático se encuentra elevado, ya que dificulta los muestreos.

Foto 12: Zona 2, durante proceso de relleno.



La Foto 12 muestra una panorámica del área 2 durante el proceso de relleno. El área circundante se ha dejado sin relleno aún para monitoreo hasta que las áreas 3 y 5 se hallan terminado.

vi. Tratamiento de finos recuperados

Como fue mencionado anteriormente el material fino generados en el proceso de lavado del suelo son enviados a una pileta de secado donde se consolidan. Regularmente estos materiales son retirados de la pileta de secado y puestos en un sitio designado en el predio, a la espera de su tratamiento final.

A la fecha de este informe, y con un 90% de avance en el tratamiento, la cantidad de material fino acumulado ha alcanzado los 4000 m³ aproximadamente, esto es, un 9% del suelo tratado.

Estos materiales contienen una alta concentración de hidrocarburos pero en un estado de adsorción importante, por lo que no presentan movilidad importante.

Estos materiales serán tratados en el final de proceso, antes del cierre definitivo con una técnica de desorción térmica. Luego serán integrados al relleno del área.

La seguridad en el proyecto

El proyecto cuenta con un importante seguimiento en materia de seguridad de las personas y de las instalaciones, lo que ha logrado que los índices de frecuencia y gravedad del mismo sean bajos en relación a la industria de E&P.

La planta en sí fue diseñada con la incorporación de criterios de seguridad, contando desde un principio con sectores claramente separados y delimitados según función a saber:

Zona de movimiento de suelos, subdividido a su vez en:

- áreas de circulación,
- acopio de suelo a tratar,
- acopio de deschampe,
- acopio de suelo tratado, e
- identificación y demarcación de sitios con riesgos detectados (ej.: ductos enterrados, cableados, etc.).

Zona de la planta de lavados de suelos, subdividido en:

- o Zona de lavado de suelos,
- o Zona de tratamiento de agua,
- o Zona de calentadores,
- o Zona de provisión de químicos, y
- o Zona de piletas: lodos consolidados, para hidrocarburos, para drenajes, para filtros lentos.

Un aspecto no contemplado originalmente fue la necesidad de incorporar un pequeño taller, instalación colocada posterior a la construcción de la planta, a la cual se le agregaron mejoras, como es la provisión de techo para reducir la exposición solar.

Durante la operación de la PLS se trabajaron in situ 866 días (con promedio de 21 días por mes), y 63.284 horas-hombre (unos 1.425 por mes). En el mismo período se realizaron 92 horas de capacitación formal (desde noviembre 2008), cubriendo las siguientes temáticas:

- Identificación de Tipos de Residuos y Reciclaje
- Peligrosidad del Ácido Sulfídrico - Medidas de prevención de intoxicación
- Trabajos en Altura - Izaje
- Fuego - Características y Riesgos

- Práctica de Uso de Extintores - Plan de Contingencias
- Plan de Seguridad - Confección y Mejora
- Manual de Seguridad
- Accidentes – Cuidado del Cuerpo
- Análisis y Mitigación de Riesgos - Medidas a Adoptar para Reducir Accidentes
- Manejo Defensivo - Manejo Avanzado
- Espacios Confinados
- Manejo de Productos Químicos
- Estándares de SSA de Apache

También se mantuvieron reuniones de seguridad y salud, 41 en total en el período Agosto 2006 a Diciembre 2009.

La operación y mantenimiento de la planta y el movimiento de suelos engloban tareas que se superponen entre sí, como así también con las actividades operacionales de la planta de tratamiento de gas y petróleo adyacente. Con el fin de identificar y gestionar los riesgos inherentes a esta situación, aparte de las reuniones y capacitaciones arriba mencionadas, se ejecutaron 462 permisos de trabajo, distribuidos de la siguiente manera:

- Movimiento de suelos: 90%
- Mantenimiento/Reparaciones: 8%
- Monitoreos, Servicios y otros: 2%

Los datos estadísticos de indicadores de seguridad se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Valores de índices de seguridad

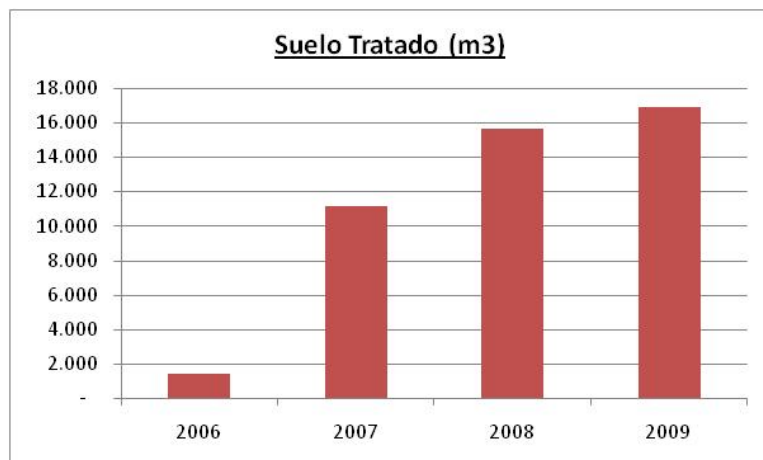
Año	Índice de Frecuencia	Índice de Gravedad
2006	0	0
2007	0	0
2008	0	0
2009	168.51	0.67

Resultados obtenidos con el tratamiento

Grafico 2: Suelo tratado

A Diciembre de 2009, se habían lavado 45.068 m³ de suelos en 9065 ciclos de tratamiento, distribuidos anualmente tal como lo muestra el gráfico 2

El suelo ingresado ha tenido como promedio 50.000 mg/kg de hidrocarburos totales, con



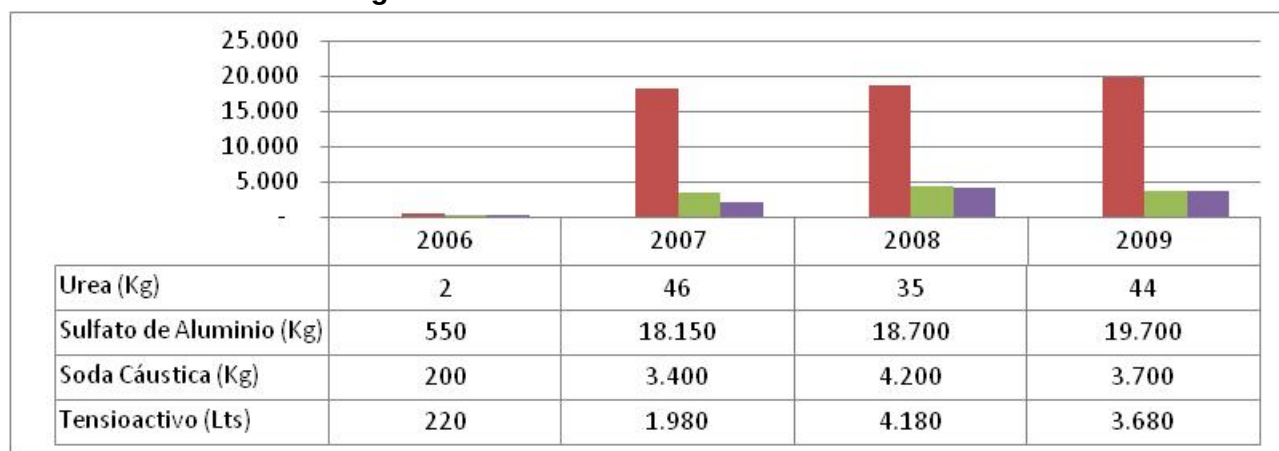
picos por encima de los 200.000 mg/kg, mientras que la concentración promedio en el suelo tratado es de 1.403 mg/kg, con más de 86% por debajo de los 2.500 mg/kg. La eficiencia del proceso se ubica en el 89%.

Durante el monitoreo del proceso de lavado, se detectaron 57 lotes fuera de especificación ($HTP > 5.000 \text{ mg/kg}$), lo que condujo a la necesidad de reprocesar 97 m^3 de suelos, o 0,22% del suelo lavado.

El agua de proceso utilizado ha sido de 8.200 m^3 , ó $0,19 \text{ m}^3/\text{m}^3$ suelo tratado, mientras que se han bombeado 5,5 millones de m^3 de agua en el sistema de depresión de napa. Para comprender la magnitud del bombeo, el equivalente en volumen diario de extracción puede abastecer a una población de XX habitantes.

Los insumos consumidos se resumen en la tabla 3:

Tabla 3: Consumo de energía



Los consumos específicos por m^3 de suelo tratado son:

- Urea (Kg/m^3): 0,0028
- Sulfato de Aluminio (Kg/m^3): 1,2670
- Soda Cáustica (Kg/m^3): 0,2552
- Tensioactivo (Lts/m^3): 0,2232

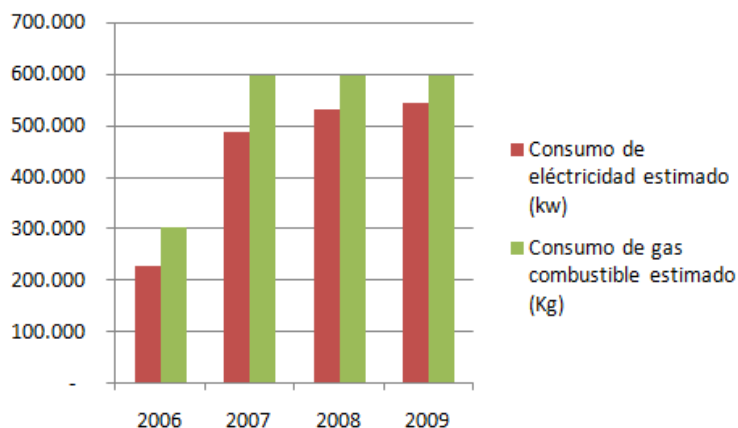
Asimismo, la operación demandó la siguiente cantidad de energía:

- Consumo de electricidad estimado (kw): 1.787.762 ($39,67 \text{ Kw}/\text{m}^3$ tratado)
- Consumo de gas combustible estimado (Kg): 2.087.328 ($46,32 \text{ kg}/\text{m}^3$ tratado)

El siguiente cuadro muestra la distribución anual del uso de energía:

Gráfico 3: Consumo energético

En cuanto al mantenimiento, la eficiencia de la operación ha sido posible mediante un programa de mantenimiento preventivo e intervenciones de mantenimiento correctivo que obligaron a paros programados de la planta; los que promediaron 2 días de paro por mes, y a Diciembre de 2009 se acumularon 96 días de paro de planta por mantenimiento correctivo.



Plan de monitoreo

Durante todo el proceso de operación de la planta de lavado de suelos se ha procedido a muestrear y evaluar la eficiencia de proceso y los límites de limpieza y disposición.

Se ha prestado especial atención a la Calidad de agua que se vierte al río luego de pasar por los filtros lentos y en la calidad de suelo lavado. En los primeros 24 meses de la operación, se realizaron controles diarios de la descarga al río; tras constatar la confiabilidad del proceso de filtros lentos, se redujo el muestreo a una frecuencia semanal, y finalmente mensual como se mantiene actualmente.

Los parámetros monitoreados en el agua de descarga se muestran a continuación en la tabla 4:

Tabla 4: Valores de referencia para agua

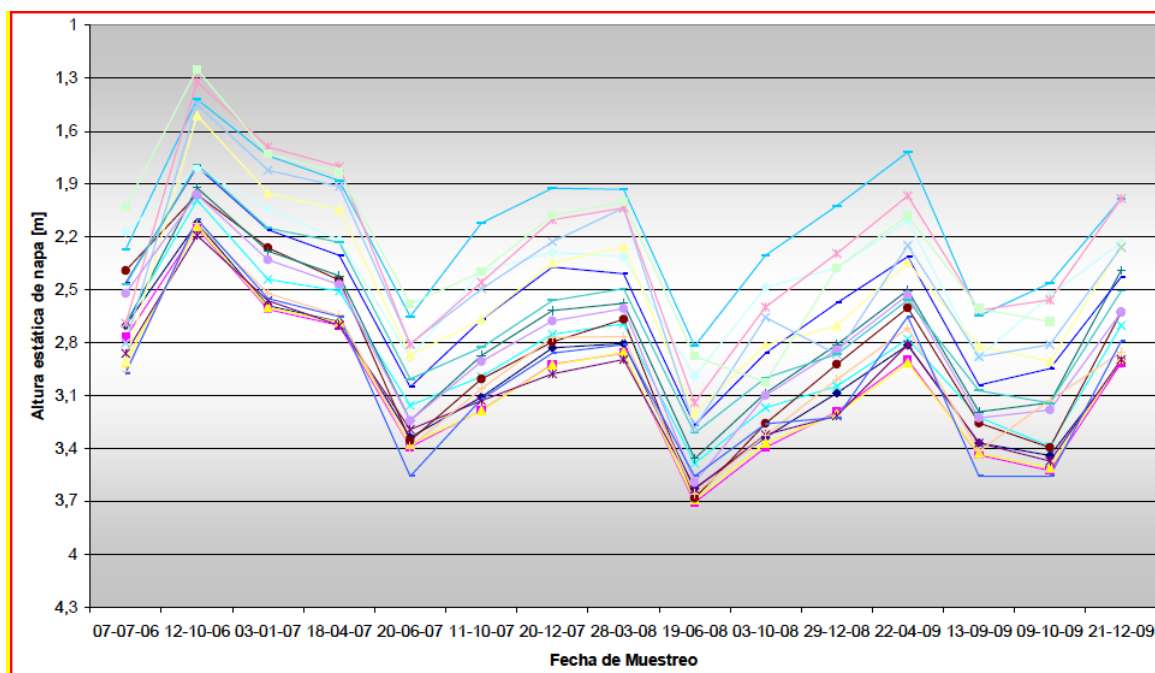
Parámetro	Nivel Guía Agua	unidad	Legislación	Método de Análisis
Benceno	10	µg/l	Ley 24051. DTO. 831/93 Anexo II Tabla I	EPA 8015
Benzo (a) pireno	0,01	µg/l		EPA 8310
Fluoranteno	190	µg/l		EPA 8310
Etilbenceno	700	µg/l		EPA 8015
Tolueno	1000	µg/l		EPA 8015
Xilenos Totales	10000	µg/l		EPA 8015
HTP	1	ppm	Nota 054 DPA	EPA 418.1

El límite fijado por las autoridades fue de 1 mg/lit de hidrocarburos, mientras que el límite normalmente fijado para la mayoría de las descargas a cuerpos receptores similares es de 5

mg/lit, esto es, cinco veces mayor. No obstante, el sistema de filtros lentos funcionó correctamente y en ningún momento se superó el límite fijado.

Además del agua de descarga, se monitoreo cada tres meses el agua de la red interna de 17 freáticos. En dichos freáticos, se detecta el nivel estático del nivel freático que fluctúa según los períodos de riego y escorrentía del Río Negro, lo que queda graficado a continuación en el gráfico 4.

Grafico 4: Fluctuaciones de los freáticos



La tabla 3 muestra el listado de parámetros estudiados en las muestras de los freáticos.

Tabla 3: Listado de parámetros estudiados	
• pH (SM 4500-H B) • Conductividad eléctrica (SM 2510 B) • Residuo a 105°C (SM 2540 B) • Hidrocarburos Totales (EPA 418.1) • Aceite y Materia Grasa (EPA 413.2) • Fenoles (SM 5530 C/D) • Detergentes (S.A.A.M) (SM 5540 C) • Cloruros (SM 4500-Cl B) • Sulfato (SM 4500-SO₄ E) • Carbonatos (SM 2320-B) • Bicarbonato (SM 2320 B) • Dureza (SM 2340-B) • Sodio (EPA 3005/7770) • Calcio (EPA 3005/7140) • Magnesio (EPA 3005/7450) • Hierro (EPA 3005/7380)	• Fluoruros (SM 4500-F D) • Mercurio (EPA 7470 A) • Cianuros (SM 4500-CN C/E) • Plomo (EPA 3020/7421) • Cadmio (EPA 3020/7131) • Benceno (EPA 8015 D) • Fluoranteno (EPA 8310) • Tolueno (EPA 8015 D) • Etilbenceno (EPA 8015 D) • m,p-xilenos (EPA 8015 D) • o-xileno (EPA 8015 D) • Naftaleno (EPA 8310) • Acenaftileno(EPA 8310) • Acenafteno (EPA 8310) • Fluoreno (EPA 8310) • Fenantreno (EPA 8310)

• Manganeseo (EPA 3005/7460) • Aluminio (EPA 3005/7020) • Cromo total (EPA 3020/7191) • Cromo hexavalente (SM 3500-Cr D) • Cromo trivalente (SM 3500-Cr B/D) • Zinc (EPA 3005/7950) • Cobre (EPA 3005/7210) • Niquel (EPA 3020/7521) • Vanadio (EPA 3020/7911) • Arsénico (SM 3500-As B)	• Antraceno (EPA 8310) • Pireno (EPA 8310) • Benzo(a)antraceno (EPA 8310) • Criseno (EPA 8310) • Benzo(b)fluoranteno (EPA 8310) • Benzo(k)fluoranteno (EPA 8310) • Benzo(a)pireno(EPA 8310) • Dibenzo(a,h)antraceno(EPA 8310) • Benzo(g,h,i)perileno (EPA 8310) • Indeno(1,2,3-cd)pireno (EPA 8310)
---	--

Durante los últimos tres años, la mayoría de los resultados obtenidos para los parámetros (BTEX, PAH, familia de bencenos y pirenos, metales), se mantuvo dentro del mismo orden de magnitud, por debajo de límites permisibles. Sólo sufrieron variaciones detectables los parámetros de pH, conductividad eléctrica, Sólidos residuales totales a 105°C, e Hidrocarburos Totales de Petróleo; estas variaciones no implicaron desvíos significativos en el trabajo de saneamiento.

Asimismo, cada 6 meses también se realiza un monitoreo de una red externa de freáticos ubicados en chacras lindantes pertenecientes al DPA. Durante la vida del proyecto, no se detectaron concentraciones de HTP, BTEX y PAH por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada en todos estos puntos muestreados.

El suelo ingresado se analiza para determinar HTP, mientras que en el suelo lavado se analizan los siguientes parámetros:

Tabla 4: Parámetros guía para el proceso

Parámetro	Nivel Guía Suelos	unidad	Método de Análisis
	Uso Industrial	µg/g	EPA
Benceno	5	µg/g	EPA 8015
Benzo (a) antraceno	10	µg/g	EPA 3550/8310
Benzo (a) pireno	10	µg/g	EPA 3550/8310
Benzo (b) fluoranteno	10	µg/g	EPA 3550/8310
Benzo (k) fluorantano	10	µg/g	EPA 3550/8310
Etilbenceno	50	µg/g	EPA 8015
Fenantreno	50	µg/g	EPA 3550/8310
Indeno (1,2,3 - CD) Pireno	10	µg/g	EPA 3550/8310
Naftaleno	50	µg/g	EPA 3550/8310
Pireno	100	µg/g	EPA 3550/8310
Tolueno	30	µg/g	EPA 8015
Xilenos Totales	50	µg/g	EPA 8015
HTP	0,5 (Co.DEMA)	%	EPA 3550/418.1

En general, todos los parámetros de BTEX y PAH presentan valores por debajo del límite de detección del método de análisis, mientras que el promedio de HTP del suelo lavado es de 0,14%.

Proceso de cerrado de áreas

El proceso de cerrado de áreas involucra el muestreo del fono y taludes de la zona de excavación. Estos muestreos son presentados a la Autoridad de Aplicación Ambiental para que autorice el llenado del área.

El cierre de las áreas ya saneadas es también necesario desde el punto de vista operativo para dar lugar a los acopios de suelo limpio y tratado de los nuevos sectores que van siendo intervenidos.

Conclusiones

Las conclusiones acerca del funcionamiento del sistema de lavado de suelo y de la técnica de lavado *in situ* pueden resumirse como

Positivas

El proceso ha sido altamente eficiente en cuanto al porcentaje de remoción de contaminante. No existió evidencia de contaminación con metales pesados (PAH) ni de una intensa salinización, además la toxicidad de los hidrocarburos presentes tanto en la Fase Libre (sobrenadante) como en la Fase Disuelta es de moderada a baja.

Debido a la ubicación y las características del hidrocarburo no se observó afectación de la zona ubicada aguas abajo por migración del sobrenadante.

Durante los cuatro años que lleva el proceso de los 45.068m³ remediados a Diciembre de 2009, solo 97m³ debieron ser reprocesados lo que representa un 0.22% del total de suelo tratado, y muestra la eficiencia del proceso.

En cuanto al agua vertida al río, no se han producido vuelcos fuera de especificación a la fecha, según los parámetros acordados con la Autoridad de Aplicación.

Fue el mejor sistema para el lugar y la situación que se presentaba por el bajo impacto en ocupación de superficie.

Tuvo alto grado de aceptación de parte de las Autoridades de Aplicación de la Provincia de Río Negro. Las mismas nos han acompañado a lo largo de todo el proceso.

La técnica propuesta tuvo aceptación también entre los vecinos de la zona y la comunidad en general.

Negativas

La técnica heredada de la anterior Operadora no fue la opción económicamente más viable, pero Apache desde el inicio de sus actividades en Argentina se comprometió con el proceso no reparando en las inversiones necesarias para finalizar el proyecto a pesar de los vaivenes en la economía mundial durante el último año.

Los trabajos de saneado trajeron aparejado también un alto impacto por movimiento de suelos, que se trató de minimizar mediante una fuerte planificación para el relleno de las áreas excavadas en el menor tiempo posible.

Otro punto que produjo un alto impacto fue la cantidad de agua que fue necesario deprimir de Nivel Freático en forma permanente.

Agradecimientos:

Deseamos agradecer en especial al arduo trabajo diario llevado a cabo por las personas que diariamente concurren a la planta para llevar a cabo esta importante obra de saneamiento, sea bajo un sol rajante o frío polar: a los supervisores Martín du Plessis y Ricardo Del Campo, como así también a Martín Crespo, Julio Montesino, Eduardo Ávila, Maximiliano Valenzuela, Claudio Arracimovich y Facundo Jauregui.

También agradecemos Ecogestión y la administración de Juan Pablo Aguilera, Fernando Fuentes, Alejandro Lezcano y Fabio Fernández.

Incluimos en nuestro agradecimiento a la firma Ingeniería Sur.

Sobre los Autores:

Mónica Mariaca Pando: Gerente Regional de Salud, Seguridad y Ambiente de Apache Energía Argentina SRL

Diego Rosa: Coordinador Regional de Seguridad y Ambiente de Apache Energía Argentina SRL

Soledad Casabal: Coordinador Regional de Seguridad y Ambiente de Apache Energía Argentina SRL

Stephen Wharton: Supervisor de Ambiente del Distrito Neuquén – Río Negro para Apache Energía Argentina SRL