



Saneamiento de derrames de petróleo en Tierra del Fuego

Por Germán Calderón y Ricardo Rodríguez, Bidas S.A.P.I.C.

En agosto de 1993, la rotura de un oleoducto de 4 pulgadas (10,16 cm) afectó una superficie aproximada de 7 hectáreas. El área pertenece a la UTE Tierra del Fuego operada por Bidas SAPIC desde febrero de 1992.

Debido a la sensibilidad ecológica del lugar se debieron desarrollar métodos de trabajo que contemplaran el aspecto ambiental en todo el espectro operativo inherente a la producción de hidrocarburos, pero es en el tratamiento y remediación de derrames de petróleo donde ello adquirió mayor relevancia.

El trabajo "Saneamiento de derrames de petróleo en Tierra del Fuego" presentado en las *Segundas Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria Petrolera* realizadas el pasado mes de mayo en San Martín de los Andes muestra la aplicación de la metodología de remediación utilizada, contribuyendo de esta forma a sistematizar el tratamiento de derrames de petróleo y a perfeccionar el plan de contingencias del área, haciéndolo más efectivo y útil.

Ricardo Daniel Rodríguez es Ingeniero de Petróleos de la Universidad Nacional de Cuyo y Especialista en Gestión Ambiental del ITBA. Desempeñó tareas en Oxidental Petroleum en el Departamento de Ingeniería. Desde 1992, en Bidas SAPIC en Ingeniería de Producción y a partir de 1993 es Asistente de la Gerencia de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.

Germán Salvador Calderón es Técnico Mecánico Industrial, Técnico en Higiene y Seguridad Industrial y Maestría en Seguridad Industrial. Actualmente cursa la Licenciatura en Higiene y Seguridad Industrial en la Universidad San Juan Bosco. En Bidas SAPIC, fue Jefe de Seguridad y Riesgos de la Divisional Mendoza (1988/1992). Desde 1992 es Jefe de Seguridad, Salud y Medio Ambiente de la Divisional Tierra del Fuego.

Toda operación que contemple extracción, traslado, industrialización o almacenamiento de hidrocarburos está bajo riesgo de sufrir una contingencia que pueda provocar una alteración al medio ambiente.

Dado que en la actualidad es imprescindible la utilización de los hidrocarburos como fuente de energía, se debe realizar la ingeniería de las instalaciones de forma tal que se logren los más altos niveles de confiabilidad.

Pero además, es necesario estar preparados para afrontar la emergencia de un derrame de grandes proporciones.

Ubicación geográfica

El área del derrame está ubicada geográficamente en la zona norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego, a 80 kilómetros al norte de la Ciudad de Río Grande y a 6 kilómetros al oeste del pueblo de San Sebastián, sobre la Ruta Provincial Complementaria I, que une la Ruta Nacional N° 3 con el puesto fronterizo chileno (figura 1).

Configuración de las instalaciones

La instalación comprometida pertenece a un oleoducto, *by-pass* de una cañería troncal del área, de una longitud de 16 kilómetros y 4 pulgadas (10,16 cm) de diámetro, parcialmente soterrado (figura 1).

La presión de trabajo era, al momento

del incidente, de 15 kg/cm². La rotura se produjo por corrosión externa (*pitting*), situación que provocó una pérdida relativamente pequeña, por lo que no fue detectada por los controles diarios de producción.

La dispersión del petróleo afectó un área aproximada de 7 hectáreas, la cual incluye dos lagunas importantes, una zona de pastoreo y un sector arcilloso.

Clima

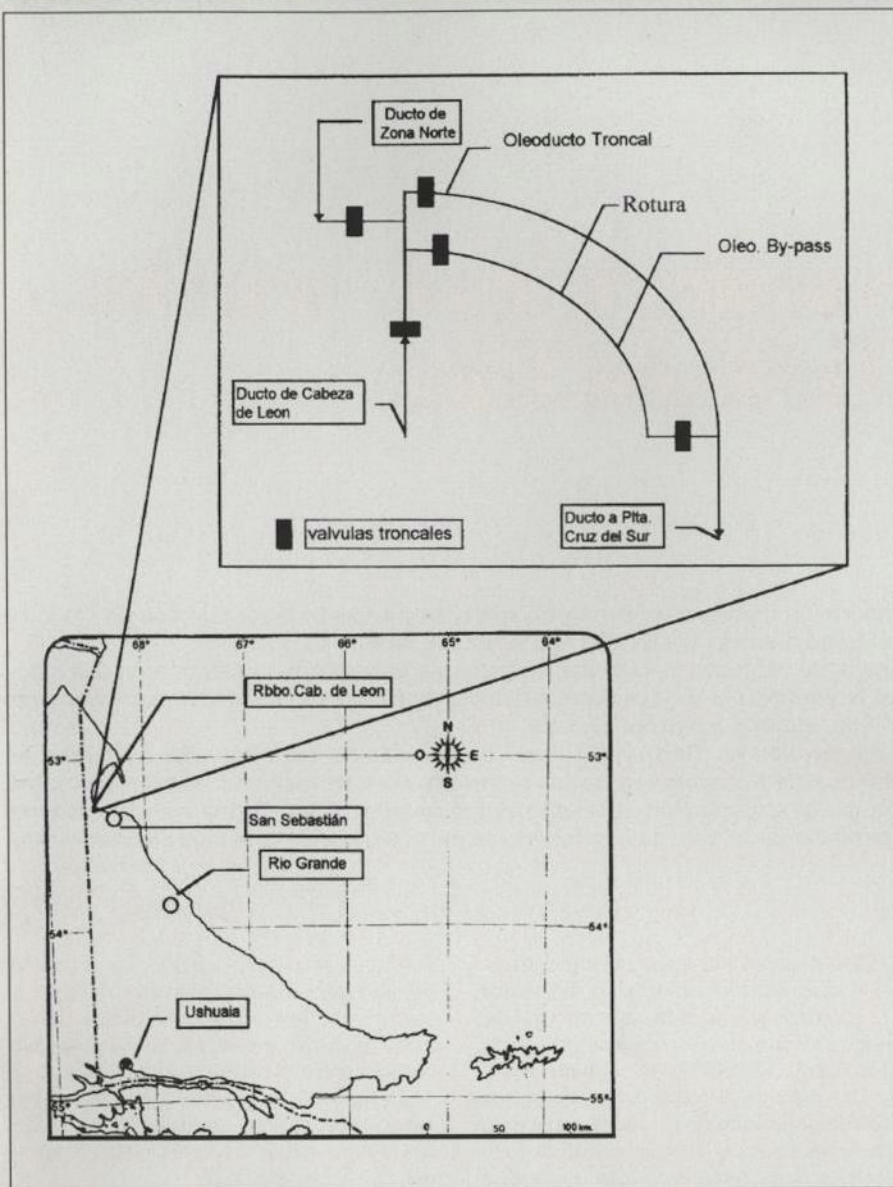
Debido a la ubicación geográfica de la isla de Tierra del Fuego, toda la zona Norte se encuentra dentro de lo que se denomina "cinturón de los vientos del Oeste", siendo aquí donde se producen los intercambios de masas de aire frío, provenientes del polo, con las cálidas de la región ecuatorial.

De acuerdo a su ubicación geográfica y a los datos estadísticos recabados de la Central Meteorológica de Río Grande, dependiente de la Fuerza Aérea Argentina, el clima de esta zona se divide en dos grandes grupos: uno frío y húmedo, con abundantes precipitaciones en forma de lluvias y nieve, en el período otoño-invierno y otro ventoso y seco, con escasas precipitaciones en forma de chaparrones en el período primavera-verano.

Suelos

Esta región corresponde a la estepa Magallánica Variante Oeste. El sitio del inci-

Figura 1 Ubicación geográfica y croquis de la instalación



(datos obtenidos de la Estación INTA Delegación Río Grande).

Trabajos de remediación normalmente utilizados

Existen varios procedimientos de trabajo a realizar en casos de derrames, los cuales básicamente pueden definirse, según los medios utilizados, como mecánicos, manuales y de biorremediación.

1- Mecánicos

Implican generalmente la utilización de maquinaria a gran escala para extracción de petróleo y movimiento de suelos.

• Extracción de petróleo

Se desarrolla mediante la utilización de bombas cuyo porte y tipo dependerán de los volúmenes que se tengan que mover y del tiempo disponible. Las principales bombas son centrífugas y a diafragma de gran capacidad.

Esto se combina con el uso de camiones tanque para el transporte del crudo recuperado y camiones de vacío, que además de succionar de distintos lugares, también transportan el crudo.

• Movimiento de suelos

Es necesario para la rápida reparación del lugar, a fin de aliviar la presión que ejercen las organizaciones ecologistas, instituciones públicas y prensa. Esa presión muchas veces resulta negativa, ya que para demostrar que se está trabajando efectiva y rápidamente se puede cometer el error de utilizar maquinaria vial de gran porte y en gran escala, ocasionando un daño permanente, mucho mayor que el producido por el mismo derrame. Esta metodología genera además una abundante cantidad de residuos que luego deberá tratarse, aumentando el costo final del saneamiento.

2- Manuales

Anteriormente estos métodos fueron poco empleados debido a la baja velocidad de avance del trabajo y del mejoramiento visual del área afectada y la necesidad de utilizar mano de obra intensiva a gran escala.

Actualmente han cobrado gran preponderancia en aquellos lugares de alta fragilidad ecológica, debido a su gradualidad y a la posibilidad de monitoreo durante el avance de los trabajos, permitiendo hacer los ajustes necesarios mientras se ejecutan los mismos.

3- Biorremediación artificial y natural a. Artificial:

Esta consiste en la preparación selectiva y específica, en laboratorio, de microorganismos adaptados al medio en el que serán

dente está ubicado próximo al límite de una sub-región denominada de las marismas, presentando un relieve plano-cóncavo y suelos sobre sedimentos de fondo marino, arcillosos y salinizados.

Se trata de un suelo orgánico, semiprofundo, de origen glacifluvial que corresponde al sitio de vega o pastizal húmedo.

Presenta una secuencia de horizontes A, constituidos por restos vegetales poco descompuestos y aún reconocibles en los primeros centímetros, color oscuro, y con disminución del contenido de materia orgánica en profundidad (el espesor promedio del conjunto de estos horizontes varía entre 20 y 30 cm).

El horizonte B está ausente, apoyándose el solum sobre un estrato de sedimentos arcillosos, muy plástico y adhesivo, descrito por los Ing. Etchevhere y Miaczynski como horizonte G.

La napa subterránea se encuentra ubica-

da a aproximadamente 80 cm de profundidad, su pH es ligeramente alcalino, siendo común encontrar deficiencias de fósforo y azufre (figura 2).

Vegetación

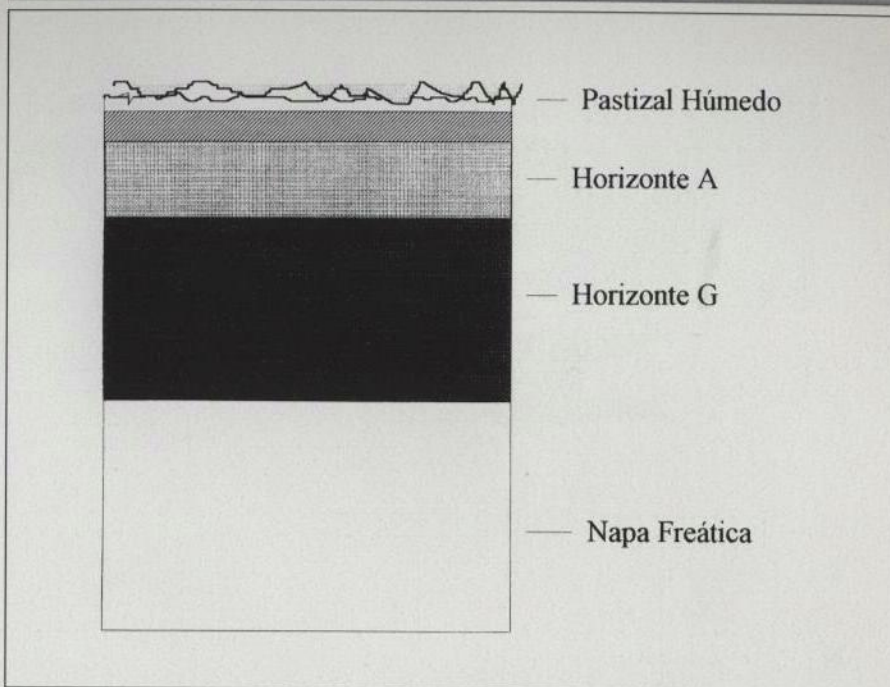
En la zona se presenta un pastizal húmedo que forma un denso césped de especies juncáceas y ciperáceas, con una cobertura vegetal del 100%.

Las especies principales son: *Juncus scheuchzerioides*, *Carex vallis-pulchrae* y *Carex macrospermum*.

Como especies de menor importancia se pueden citar: *Hordeum pubiflorum*, *Poa pratensis*, *Azorella trifurcata* y *Caltha sagittata*.

El relieve del lugar, la presencia de napas superficiales, su clase textural en profundidad y el aporte hídrico de las zonas adyacentes y de mayor cota, hacen que esta zona presente anegamiento temporario a la salida del invierno y comienzo de primavera

Figura 2. Secuencia de horizontes típica



empleados, al clima del lugar y a la composición de los hidrocarburos presentes.

Esta mezcla es inoculada al terreno y monitoreada durante el avance de toda la tarea de remediación.

Debido a la preparación específica que poseen, soportan porcentajes de petróleo en suelos superiores a las de bacterias naturales.

Es necesaria la supervisión de los trabajos por parte de especialistas de las empresas encargadas de la comercialización de estos productos.

b. Natural:

El aprovechamiento de los microorganismos naturales autóctonos puede ser poco eficiente o muy lento si no se controlan convenientemente los parámetros del suelo que influyen en su desarrollo.

La calidad del proceso y velocidad de degradación de los hidrocarburos dependen de:

- la composición de la comunidad microbiana y de su capacidad adaptativa a la presencia de hidrocarburos,
- la composición del fluido derramado y
- la concentración de hidrocarburos en suelo.

EL DESARROLLO

Definición del problema

La rotura del oleoducto se produjo en un tramo descubierto. El petróleo se desplazó, principalmente, en forma horizontal, siguiendo la topografía del área circundante

al lugar de la rotura y afectando a:

- una amplia zona de alto pastoreo,
- dos lagunas importantes, generadas por el deshielo estacional y
- un sector de menores dimensiones, conformado por terreno arcilloso.

El petróleo cubrió un área total de casi 7 hectáreas. Debido al relieve del lugar se determinaron espesores variables de capa de petróleo desde 0 a 50 cm (figura 3).

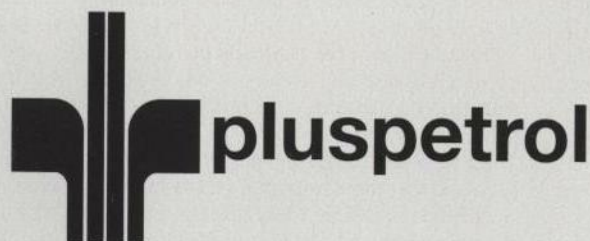
La abundante pastura y el aumento de los niveles hídricos, debidos a la presencia de agua superficial y sub-superficial provocado por las lluvias y el deshielo estacional, impidieron en gran parte la penetración del petróleo en el subsuelo.

Fue necesario trabajar rápidamente tratando de evitar su penetración especialmente en aquellos sectores en que estuvo en contacto directo con el suelo y minimizar las pérdidas del mismo por evaporación y filtración. Hay que tener en cuenta que el crudo derramado es liviano y de bajo tenor de parafinas y asfaltenos, de alrededor de 41 grados API ($0,8203 \text{ g/cm}^3$).

Metodología utilizada

Del análisis situacional se definió la metodología del trabajo, estableciéndose premisas básicas para la realización de todas las tareas:

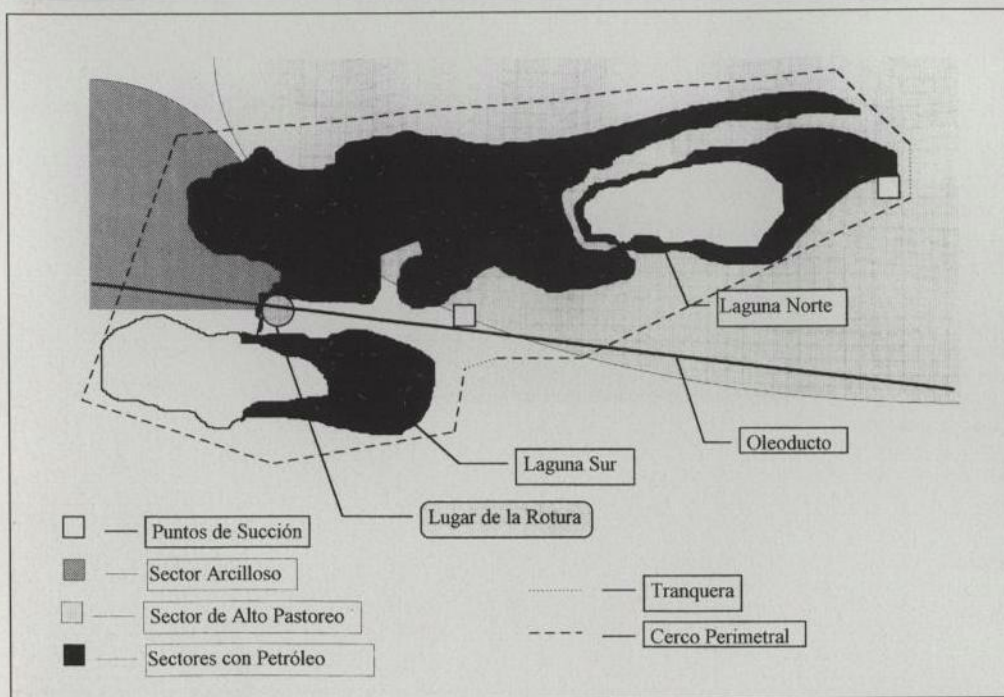
- no profundizar el daño,



*Eficiencia
en la Exploración y Producción
de Gas y Petróleo*

La Rioja 301 - Buenos Aires - Argentina

Figura 3. Configuración de la zona afectada



- generar una mínima cantidad de residuos,
- devolver el terreno al superficiario en el menor tiempo posible.

De acuerdo con estas premisas, los trabajos se llevaron a cabo en cinco etapas:

- 1a - Aislamiento de la zona afectada.
- 1b - Análisis de los niveles topográficos.
- 2 - Extracción del petróleo.
- 3 - Barrido manual del petróleo remanente.
- 4a - Determinación de la penetración alcanzada por el petróleo.
- 4b - Extracción de suelos saturados mediante laboreo manual.
- 5 - Biorremediación natural.

Etapas 1

1a - Aislamiento de la zona afectada

Esta tarea se realizó mediante el cercado del área con un alambrado del tipo rural convencional de cinco hilos, con la finalidad de evitar el ingreso de animales al lugar. Se establecieron delimitaciones de circulación al personal y vehículos que intervinieron en las operaciones.

1b - Análisis de los niveles topográficos del lugar afectado

Se realizó un estudio de la topografía del lugar que permitió obtener las cotas y determinar la ubicación de canales de drenaje y definir los puntos de succión del fluido.

De acuerdo con esto, se establecieron dos puntos bajos de succión y dos canales troncales con una serie de derivaciones que, aprovechando los desniveles naturales del terreno, permitieran trasladar el fluido desde los puntos más lejanos del área afectada hasta el lugar de succión de las bombas o camiones de vacío.

Además se establecieron claramente las

vías de circulación del personal para evitar el traslado de petróleo con los pies, contaminando sectores no afectados o aumentando el impacto del derrame.

En la figura 4 se observan detalles de lo realizado.

Etapas 2

Extracción de agua y petróleo

Esta etapa se realizó utilizando bombas centrífugas y a diafragma y camiones de vacío que permitieron, con un trabajo intensivo las 24 horas, extraer en 3 semanas el volumen total de petróleo derramado recuperable, estimado en 500 m³.

El crudo sobrenadante en las lagunas fue succionado mediante el uso de mantas ray conectadas a camiones de vacío, para recolectar el petróleo con el más bajo contenido de agua posible.

Esta maniobra fue facilitada por el arrastre que provocaba el viento, acumulando el petróleo sobre uno de los costados de cada laguna.

El total del fluido recuperado (petróleo-agua-sólidos) fue transportado hasta la planta de tratamiento de Cruz del Sur para su tratamiento. Se transportaron 1200 m³ de fluido debido a la cantidad de agua presente en el lugar, estimándose una recuperación de 90% del petróleo derramado.

El desplazamiento del petróleo por los caudales se produjo por gravedad en los primeros días pero luego debió forzarse la circulación del mismo, mediante el barrido manual con secadores de madera.

Etapas 3

Barrido manual del petróleo

El barrido del petróleo se realizó desde el

sector externo hacia el centro del derrame.

Aquí comenzó la utilización intensiva de mano de obra.

Las tareas consistieron básicamente en ejercer una presión sobre la pastura embebida en petróleo, utilizando secadores de madera, a fin de desalojar la mayor cantidad de fluido de la superficie del terreno.

En este sitio las pasturas crecen en forma muy cerrada y al entrar en contacto con el crudo provocan un efecto de impermeabilización, disminuyendo la velocidad de penetración en el suelo y haciendo las veces de barrera.

El tiempo de realización de ese trabajo tiene una relación directa con el grado de penetración del petróleo en el terreno, por lo que mientras más rápido sea ejecutado, menor será el daño ocasionado y el costo de la remediación.

Terminada esta etapa se obtuvo una superficie libre de hidrocarburos líquidos sin destruir la vegetación.

Etapas 4

Determinación de la profundidad alcanzada por los fluidos

Con la finalidad de poder establecer la profundidad de penetración de los fluidos derramados en el suelo, se realizaron pozos de monitoreo de aproximadamente 30 cm de profundidad y 25 cm de diámetro. El dato de la profundidad de penetración se utilizó para determinar los espesores de terreno saturados con petróleo que debían extraerse de la forma más exacta posible.

En el mismo lugar se observaron las raíces de la pastura para determinar la profundidad de arraigo de las mismas y establecer los espesores del corte del terreno, lo que debía estar acorde con el grado de penetración del crudo.

En este análisis se dio mayor importancia al tipo de raíces y a la profundidad de las mismas. Dado el caso, se puede tener que optar por favorecer las raíces, o sea extraer menor espesor de suelo, quedando así un terreno con cierto contenido de petróleo, pero con una importante población de plántulas en crecimiento con raíces firmes, lo que permite conservar la capa vegetal del suelo.

McKell (1979) manifiesta que: "El restablecimiento de la vegetación es el camino más eficiente para estabilizar campos con disturbios de su ecosistema, reduciendo ade-

más los potenciales fenómenos erosivos”.

Los pozos de monitoreo fueron realizados en varios sectores teniendo en cuenta los lugares de mayor concentración inicial de crudo en superficie.

Los espesores de suelos para extracción, determinados en los sectores analizados, fueron de 1 cm a 2 cm como máximo.

Extracción de suelos saturados mediante laboreo manual

Con la finalidad de evitar, según lo manifestado por Gudín (1975), “una alta compactación, por formación de aglomerados e impermeabilización superficial”, se realizó la extracción de la pastura saturada en petróleo y la primera capa de terreno.

Este trabajo exigió la capacitación y supervisión del personal que lo realizaba, tratando de controlar los espesores del material que estaban retirando, evitando un cavado excesivo de terreno, lo que hubiera implicado por un lado, una mayor cantidad de residuos a mover y el riesgo de extraer las raíces de la pastura provocando un avance mucho más lento de la recuperación del terreno.

La superficie total afectada fue subdividida en zonas menores que fueron asignadas ordenadamente y en forma diaria al personal encargado de la tarea. Esto facilitó el monitoreo continuo de los avances realizados evitando la circulación del personal por sectores aún no trabajados, y permitiendo que la persona que ya la había realizado pudiera verificar su grado de avance diario en el sector asignado.

La tarea se realizó utilizando palas planas anchas, las cuales poseen su borde frontal con filo, para facilitar el trabajo y evitar que por error se aumentara el espesor de terreno extraído.

Retirado todo el material saturado de petróleo del lugar, se obtuvo un terreno libre de fluidos y levemente manchado, con un porcentaje de crudo variable pero generalmente inferior al 6% en las capas superficiales.

El material extraído fue utilizado para el mejoramiento de superficies pobres en vegetación, mediante el mezclado del suelo contaminado con terreno seco y la realización del laboreo agrícola del lugar para promover la biodegradación del petróleo remanente.

RESUMEN DE LOS RECURSOS UTILIZADOS

Equipamiento	Cantidad	Días trabajados jornada 24 hs	jornada 12 hs
Bomba Centrífuga	2	20	10
Bomba Diafragma	1	20	20
Camiones de Vacío	2	15	12
Camiones Cisterna	5	20	8
Manta Ray	2	20	20
Gamela	1	20	65
Ambulancia	1	-	-
Personal 1 Etapa	12	-	6
Personal 2 Etapa	8	20	20
Personal 3 Etapa	26	-	15
Personal 4 Etapa	36	-	24
Personal 5 Etapa	2	-	Monitoreo hasta la devolución del sector
El costo total de la remediación se estima en \$ 200.000 aproximadamente.			

Etapas

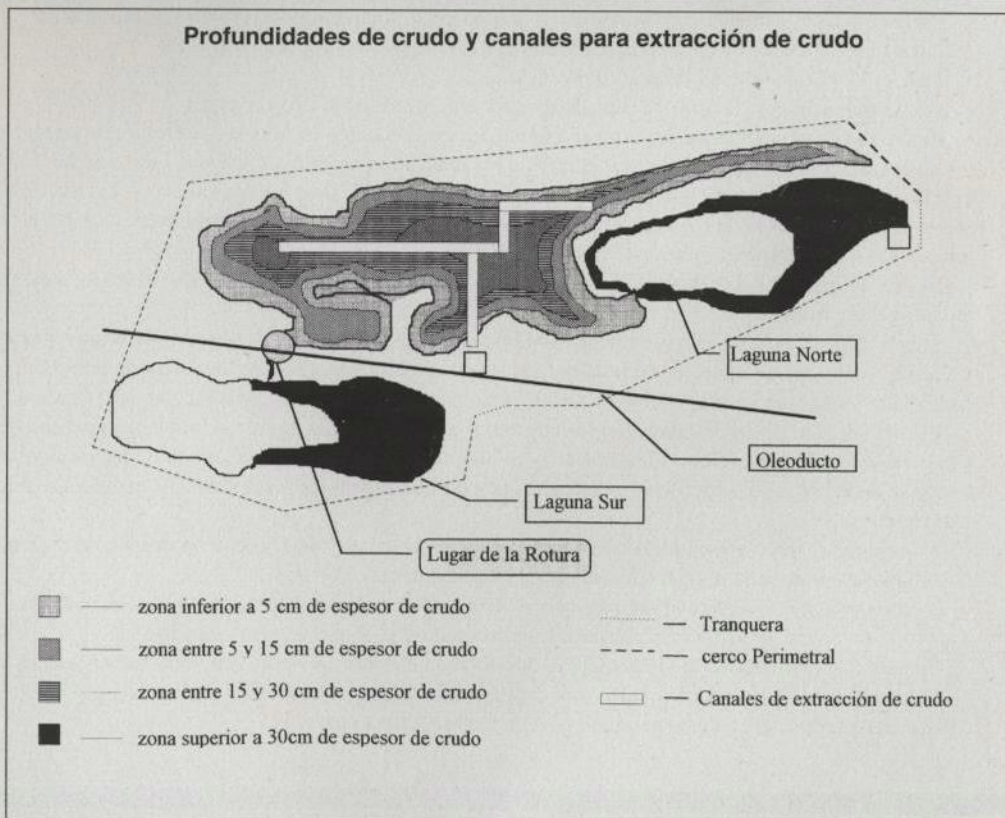
Biorremediación

La zona afectada se monitoreó continuamente para controlar los parámetros básicos necesarios para el mantenimiento de las

bacterias naturales. Estos parámetros son: niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo), oxígeno, humedad y pH.

Los niveles de nitrógeno y fósforo fueron controlados en base al factor de creci-

Figura 4. Configuración de la zona afectada



miento de las plántulas naturales en gestación, provenientes de las raíces originales dejadas en el terreno en la etapa anterior. Esto también permitió determinar si los niveles de oxígeno eran los correctos.

Los factores de crecimiento se verificaron estableciendo sectores de control por parcelas, en los cuales se midieron durante períodos iguales, plántulas previamente identificadas, lo que permitió establecer la necesidad de agregar nutrientes en forma artificial, aumentar los índices de humedad, etcétera.

El factor de crecimiento de las plántulas se determinó por comparación con las plántulas de un terreno vecino, no alcanzado por el derrame, al cual se lo sometió a la misma operación que la zona afectada (sacado superficial del suelo en un espesor no superior a 2 cm). A la relación de la velocidad de desarrollo de la pastura empetrolada vs. zona de control se denominó factor de crecimiento.

Es importante mencionar que en algunos sectores del área del derrame el factor de

crecimiento fue superior que en el sector de referencia.

Las desviaciones del pH también se establecieron por comparación con porciones de terreno muy cercanas en el límite del área del siniestro, utilizando un medidor de pH de tierra. En algunos casos se determinó la necesidad de realizar extracción de nuevas capas de terreno, para bajar el porcentaje de petróleo.

Es importante en esta etapa, evitar excesos de concentración de crudo, facilitando la acción de las bacterias naturales y favoreciendo en forma paulatina la adecuación de las mismas a la nueva situación, para que inicien la metabolización de los restos de petróleo logrando su transformación en dióxido de carbono y agua.

“...los hidrocarburos saturados de 17 y 18 átomos (cadenas lineales) son los que primero atacan las bacterias, luego con menor eficacia lo hacen sobre los aromáticos y finalmente actúan sobre los ramificados isoprenoides...” (Calabrese y Kostecki, 1993).

BIBLIOGRAFIA

- *Interpretación climática de Tierra del Fuego*. Servicio Meteorológico Río Grande, Dependiente de la Fuerza Aérea Argentina.
- *Descripción de suelos del área San Sebastián*. I.N.T.A. A.E.R. RIO GRANDE.
- *Recuperación edáfica y revegetación de áreas afectadas por derrames de petróleo en la región árida fría de la Patagonia*. D.Molina Sánchez, J. Luque, M. Amari, R. MacCarthy.
- *Selection propagation and field establishment of native plants species on disturbed arid lands*. Mc Kell, C. 1979
- *Biological aspects of lands rehabilitation following hydrocarbon contamination*. Gudin, C and W Syrrat, 1975
- *Medición y control del pH en tierra*. E.P.A. 150.1

CONCLUSIONES

Producido un evento de esta naturaleza, en la zona geográfica descripta, es de vital importancia:

- Extraer en el menor tiempo posible los hidrocarburos líquidos presentes en el lugar.
- Realizar el barrido manual de la zona afectada.
- Extraer manualmente la primera capa de terreno saturado en petróleo (1 a 2 cm).
- Monitorear la zona afectada en forma continua, durante el tiempo en que se desarrollen las tareas.

En el caso concreto que nos ocupa, el trabajo así realizado permitió a los pocos meses de iniciado, observar el paulatino restablecimiento de la zona afectada y restituirla a su propietario a los 7 meses de producido el evento (febrero de 1994) en condiciones de ser utilizada como zona de pastoreo al 75% de su rendimiento original. En la primavera de 1995 estaba al 100% de su capacidad como pastura, luciendo mejor que los terrenos aledaños.

No fue necesario el agregado de fertilizantes en los suelos tratados, pero esta alternativa se debe tener en cuenta para zonas pobres en nitrógeno y fósforo.

Si bien en este caso no se experimentaron deficiencias de humedad, los períodos de sequía y grandes vientos (fines de primavera y verano) provocan un aumento en las velocidades de evaporación tanto de los restos de petróleo como del agua. Por esto la humedad deberá monitorearse continuamente y si es necesario, programar el riego de la zona en cuestión.

El costo de este tipo de saneamiento es inferior al que demandaría la utilización de maquinaria vial en forma intensiva debido a la alta generación de desperdicios que produce y al costo que representa su tratamiento y disposición, sumándose a esto el resarcimiento que se debe abonar al superficiario durante el tiempo prolongado de inactividad del campo. En algunos casos provoca un daño permanente.

Es importante tener presente el costo indirecto que representa el deterioro de la imagen de la Compañía en este tipo de contingencia, lo que se agrava si la remediación se efectúa erróneamente.

La forma en que se realizó la remediación en este caso no solo sirvió para mejorar la relación con el superficiario sino que además estableció una clara atmósfera de confianza con la comunidad, la prensa y las autoridades.

En base a la experiencia obtenida, el plan de contingencias para derrames en tierra fue revisado y mejorado.

Si bien el área no ha vuelto a sufrir una contingencia de esta naturaleza y sólo se han producido derrames menores, en todos los casos se ha vuelto a aplicar esta metodología con idénticos resultados.