

BIOREMEDIACIÓN: OPCION PARA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE PERFORACIÓN EN EL LOTE 8 - SELVA

Ings. César Olea / José Figueroa

Pluspetrol Perú Corporation

1. RESUMEN

Pluspetrol Perú Corporation en su Plan de Manejo de Residuos para actividades de perforación en el Lote 8, ha incorporado el método de Bioremediación en lodos base aceite, iniciándolo en el pozo de desarrollo PA 1104H, en Pavayacu en 1998.

El proceso de Bioremediación consiste en crear una superpoblación de bacterias nativas, logrando que consuman el hidrocarburo en un tiempo relativamente corto. La superpoblación de bacterias nativas se conserva con vida por medio de condiciones óptimas como son la oxigenación, el mantenimiento de un medio húmedo y un nivel de pH adecuado.

El objetivo del trabajo era reducir el nivel de hidrocarburos presentes en los rípios de perforación(base aceite), desde un nivel inicial de 12 al 15% de TPH(Hidrocarburos Totales) hasta un nivel final inferior al 5% TPH, que fue aceptado por la Dirección General de Hidrocarburos, para el lote 8.

Se trataron 5,000 bls de cortes de perforación contaminados en un período de 273 días de tratamiento. Los resultados arrojaron una degradación de los hidrocarburos hasta valores promedio del 3%TPH a un costo de 180 MUS\$. De esta manera se demostró la efectividad de la Bioremediación en la disposición de residuos sólidos contaminados con lodo en base aceite para el Lote 8.

La biorremediación es una innovación para la disposición de los desechos sólidos contaminados con petróleo en el lote 8.

2. INTRODUCCION

El presente informe tiene como objeto la presentación de los resultados y actividades desarrolladas durante el trabajo de biorremediación en el área de Pavayacu. En él se incluyen tanto resultados de análisis de laboratorio, observaciones de campo, gráficos, y fotografías; como conclusiones y recomendaciones.

DEFINICION

La biorremediación es un proceso mediante el cual se crea en forma exponencial una superpoblación de bacterias nativas, logrando que esta mayor cantidad de microorganismos degraden o consuman el hidrocarburo presente en una tiempo relativamente corto. Esta superpoblación de bacterias nativas se conserva con vida durante el tiempo que requiera el trabajo por medio de condiciones óptimas para ellas cómo lo son la oxigenación, y el mantenimiento de un medio húmedo y un nivel de pH adecuado.

OBJETIVO

Reducir el nivel de hidrocarburos presentes en los rípios de perforación producidos en la perforación con base aceite de una o varias secciones del pozo; hasta obtener una concentración por debajo del 5% en peso, de acuerdo con lo especificado en el Estudio Ambiental aprobado para el Lote 8. Se utilizó un método de degradación microbiológica de los hidrocarburos, hasta transformarlos en sustancias no contaminantes e inclusive benéficas para el terreno.

Factores:

Una serie de factores relacionados entre sí influyen en la velocidad y eficiencia de un tratamiento de biodegradación de hidrocarburos.

- **PH:** El desarrollo bacteriano depende plenamente del pH del medio en el cual van a crecer. Para los residuos de lodos de perforación es normal encontrar pH por encima de 9.5 unidades, precisamente porque se usa para prevenir la aparición de microorganismos en el fluido. Debe tenerse en cuenta este factor antes de iniciar el trabajo. El rango ideal de pH es entre 6.0 y 8.0 unidades.
- **HUMEDAD:** Las bacterias requieren un medio en el cual reproducirse y moverse dentro del residuo. Aunque su actividad conduce a la transformación de hidrocarburos, es en el medio acuoso donde se produce el contacto con las fases oleosas y se facilita la movilidad a través de todo el desecho contaminado. Un medio muy seco impide la reproducción de este tipo de vida. Por el contrario, un medio excesivamente húmedo destruirá las bacterias aeróbicas y promoverá la aparición de organismos anaeróbicos. Estos últimos pueden desarrollar el mismo proceso, pero con mucho menos estabilidad, lo que significa un mayor riesgo de muerte de todos los microorganismos en caso de un ligero cambio en una de las condiciones. El nivel ideal de humedad está alrededor de 35%. Se debe evitar valores por debajo de 15% o por encima de 45%.
- **AIREACION:** La disponibilidad de oxígeno es fundamental para el proceso. Actividades periódicas de agitación mecánica del residuo son extremadamente importantes para optimizar el trabajo. La agitación se hizo manualmente. Aunque puede ser mas lenta, tendrá a su favor la no compactación del terreno, que es muy común cuando se emplean medios mecánicos de gran tamaño para la aireación (ej: tractores).
- **CONCENTRACION Y TIPO DE HIDROCARBUROS PRESENTES:** El volumen inicial de hidrocarburos en el residuo es determinante en la velocidad del proceso. A mayor concentración, mayor dificultad de las bacterias para actuar sobre el aceite.

El tipo de hidrocarburo presente también es importante por que afecta tanto el proceso de degradación bacteriano, como otros procesos laterales que contribuyen a la descontaminación. Entre éstos se encuentran la evaporación y la degradación fotoquímica producto de la radiación solar; en ambos casos se encuentra que entre más volátil sea el compuesto, mayor será el efecto que estos procesos paralelos tendrán en la recuperación del residuo.

Los hidrocarburos de alto peso molecular resultan mucho más complejos de transformar, y requieren mayor tiempo para que la acción microbiana descomponga las largas cadenas en sustancias no contaminantes.

Otros productos adicionados al lodo de perforación, pueden tener un efecto retardante en la velocidad de descomposición del hidrocarburo, de acuerdo con su capacidad de aislamiento de las moléculas y su resistencia a la acción biológica.

- **TIPO DE SUELO:** En todas las operaciones de Land Farming se acostumbra utilizar dilución del desecho con una proporción igual de suelo nativo. Este material facilita y mejora las condiciones necesarias para un trabajo exitoso:
 - acerca el pH del residuo al pH del área donde se trabaja; proporciona un medio donde se encuentran las bacterias nativas en su estado natural
 - da mayor consistencia al residuo, incrementando la permeabilidad, la humedad y la cantidad de oxígeno disponible
 - reduce el nivel inicial de contaminación.
- **TEMPERATURA:** Toda actividad bacteriana depende directamente de la temperatura ambiente a que esté sometida; a mayor temperatura, mayor será la actividad.

VENTAJAS DE LA BIORREMEDIACION

- La biorremediación de residuos aceitosos consiste básicamente en la optimización de las condiciones de una cierta área para la aceleración de un proceso completamente natural. Desde ese punto de vista es un procedimiento completamente ecológico, pues no agrega ningún tipo de sustancia u organismo extraño y transforma un residuo aceitoso en componentes naturales no contaminantes.
- Al final de un tratamiento no queda ningún rastro de productos nocivos, mientras que la población bacteriana disminuye naturalmente, a medida que desaparece su alimento.

- Constituye una solución definitiva para el problema. No enmascara la contaminación y desaparece cualquier riesgo futuro de tratamientos adicionales por fallas en la estabilidad de los tratamientos por solidificación.
- Bajo consumo de energía, materiales y personal.

LIMITACIONES DE LA BIORREMEDIACION

La biorremediación proporciona un método para la transformación de desechos aceitosos en sustancias no contaminantes. Por su misma naturaleza, este procedimiento no afecta las concentraciones originales de metales pesados y salinidad, que permanecerán fundamentalmente inmodificables, a excepción de la reducción natural como consecuencia de la dilución con suelo nativo.

3. DESARROLLO

3.1 PERSONAL, MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS

PERSONAL:

- 1 Ingeniero supervisor: A cargo de las labores de muestreo, coordinación de movimiento de materiales tratados, sin tratar y suelos nativos; aspersión de productos y mantenimiento de humedad, monitoreo y control de las aguas recolectadas.
- Obreros de apoyo. Durante la mayor parte del proyecto fueron 6. Al final del mismo (últimos 45 días) fueron doce (12) personas.

MATERIALES QUÍMICOS:

- Aditivos Químicos
 - SP-7010: Mezcla de naturaleza orgánica, que actúa como acelerador del proceso de biorremediación
 - S-1540: Emulsificante para biorremediación, que facilita el contacto entre las moléculas de los hidrocarburos y el agua, y mejora la aireación del desecho.
 - SP-7014: Rompedor de arcillas, que puede ser usado en el área de acuerdo con el material empleado para dilución.
- Suelo nativo: Es el material usado para dar consistencia al residuo aceitoso, y mejorar la ejecución del proceso. Se obtuvo de diferentes áreas cercanas a la plataforma.

EQUIPO:

- Un volquete: para transporte de los materiales. No se usará permanentemente, sólo en los momentos en que se requiera ese tipo de labor.
- Un retroexcavador: Para remover el material desde la fosa de almacenamiento hacia el volquete, y retirar el material tratado de la celda.
- Bombas, mangueras y accesorios: Para aspersión de agua cuando sea necesario humedecer el terreno. Para remover líquido sobrenadante de la fosa de almacenamiento.
- Zaranda Secadora: Ubicada en la descarga del tornillo recolector. Un tanque recolector instalado debajo de la zaranda para recibir el líquido separado de los ripios, y de allí fue retornado al sistema activo de lodos, u otro equipo de control de sólidos (shakers, mud cleaner).
- Equipo de laboratorio: Medidor de pH, retorta para determinación aproximada in situ de humedad y contenido de aceite.

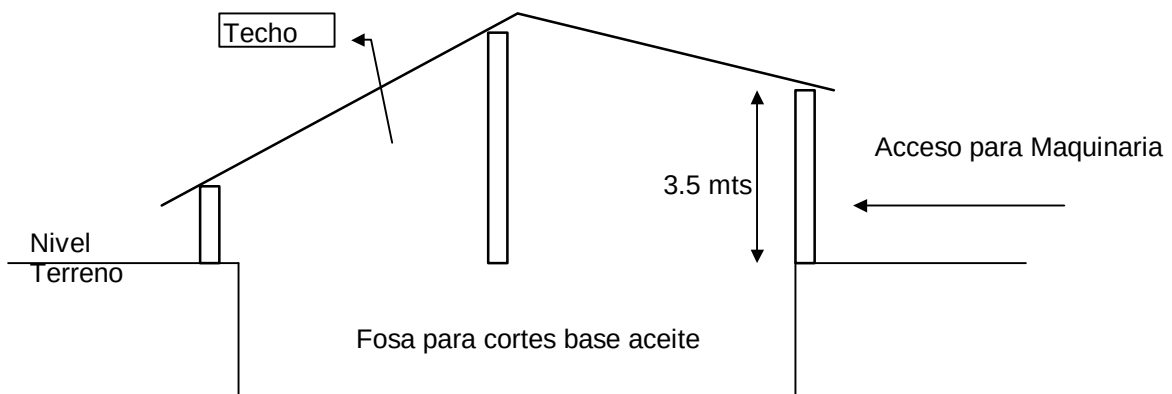
3.2 INSTALACIONES REQUERIDAS

AREAS:

El trabajo se concentró en tres áreas principales: la fosa de almacenamiento en concreto, una parte de la fosa de almacenamiento de cortes base agua y la celda de biorremediación.

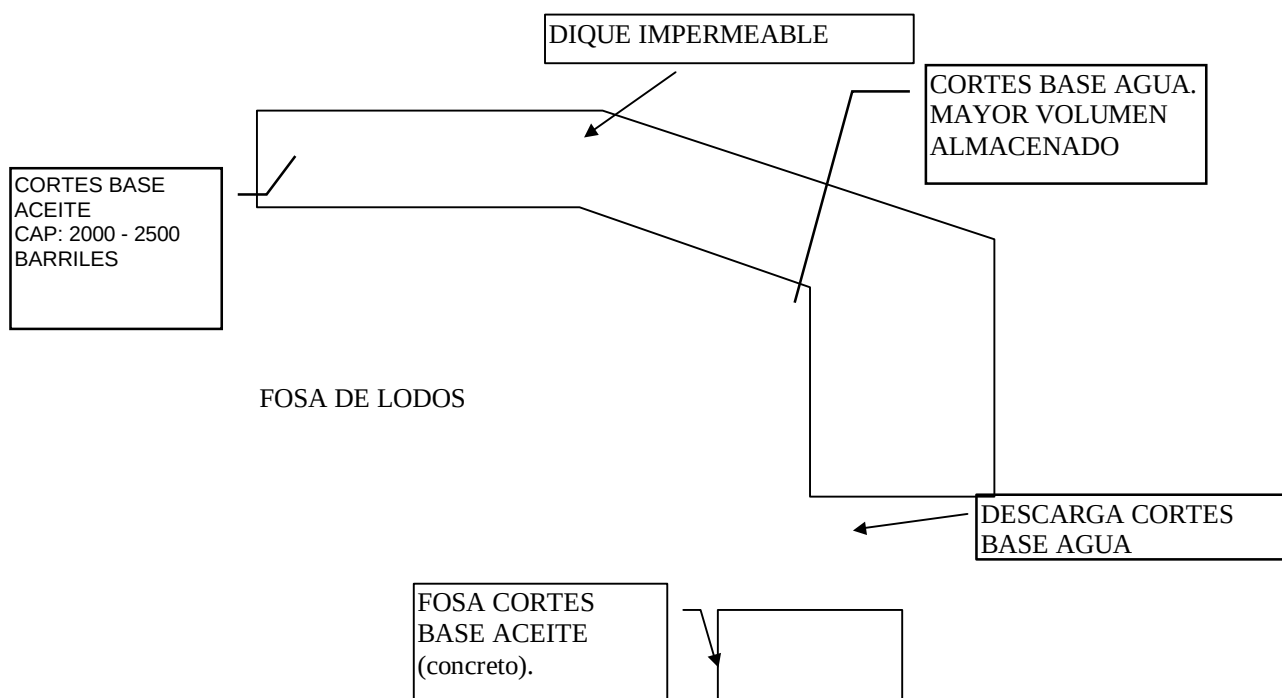
- Fosa de almacenamiento:

En el área entre la fosa mayor para "cortes base agua" y las trampas o separadores API, se construyó la fosa en cemento para almacenamiento de "cortes base aceite". La fosa fue techada, para evitar entrada de agua de lluvia, especialmente durante períodos de alta pluviosidad. Uno de sus lados fue instalado a mayor altura para que la maquinaria pudiera acceder a los desechos y trasladarlos al área de tratamiento. El siguiente esquema puede dar mayor claridad:



- Sección de la fosa para cortes base agua.

Debido a la modificación en la extensión del uso del lodo base aceite al pozo P-1102D incluyendo su sección de 12 ¼", fue necesario adecuar un espacio adicional para almacenar el volumen producido. El espacio seleccionado fue el extremo de la fosa para cortes base agua mas próximo a la celda de biorremediación. Este contaba con el volumen suficiente pues la cantidad de cortes base agua disminuyó proporcionalmente. Las dos áreas fueron separadas por un tabique construido por PLUSPETROL. El siguiente gráfico ilustra esta recomendación.



- Celda de Tratamiento:

Diseño:

Se construyó con el piso en forma de un pequeño domo, para facilitar la evacuación del agua acumulada.

Teniendo en cuenta que el suelo de la zona es altamente arcilloso, se utilizó este material compactado como base de la celda.

Se construyeron canales recolectores de agua, para poder controlar cualquier tipo de derrame o salida de hidrocarburos por efecto del arrastre de agua de lluvia.

Se construyó una trampa de aceite, en una de las esquinas del sistema de canales para recolectar el agua y controlar cualquier arrastre no deseado de hidrocarburos. La estructura se hizo en concreto.

Techo:

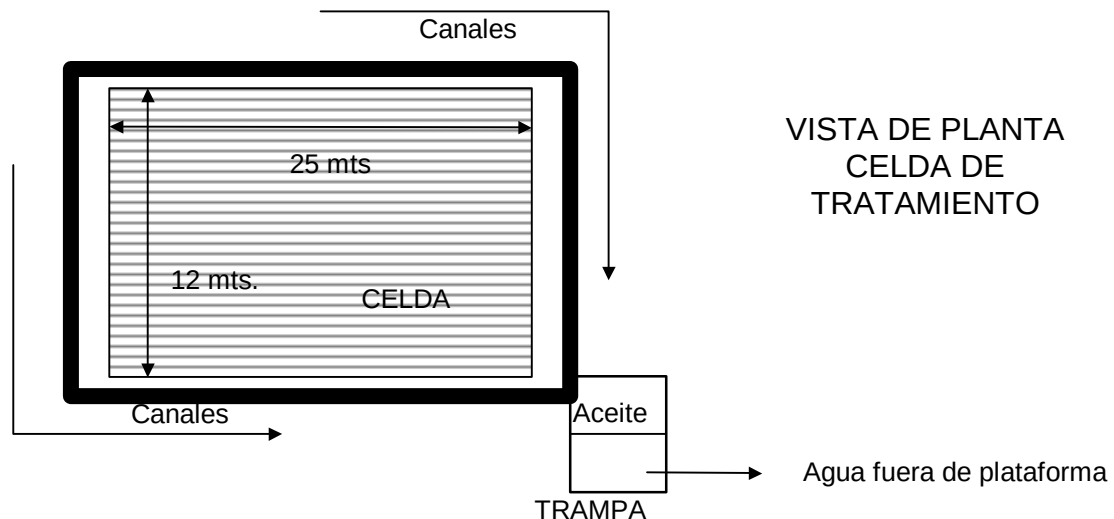
Se instaló un techo a dos aguas sobre el área, cuya altura fue suficiente para permitir el acceso del brazo mecánico de la retroexcavadora.

Tamaño:

El tamaño fue de 25 metros de largo por 12 metros de ancho.

Volumen:

Se trataron baches de aproximadamente 300 bbls cada uno, correspondientes al 50% del volumen efectivo de la celda. El resto fue ocupado por material de estabilización.



3.3 DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS

RECOLECCION

Los cortes descargados de los scalper y las zarandas vibratorias lineales del equipo de perforación, son recogidos por el tornillo sin fin; en la descarga de éste se instaló una zaranda secadora, cuya función es la de separar la mayor cantidad posible de fluido libre de los ripios. Con ésto se buscaban dos objetivos: recuperar el fluido perdido a través de los shakers, el cual tiene gran valor por su componente principal (diesel); al mismo tiempo, la recuperación del fluido significa una reducción en el nivel de contaminación de los desechos, y mayor rapidez en el tratamiento.

Los cortes mas secos son descargados en la fosa "base aceite", donde son almacenados temporalmente.

Dependiendo del estado de preparación de la celda, se extrajo el residuo aceitoso de la fosa por medio de una retroexcavadora, o en forma manual.

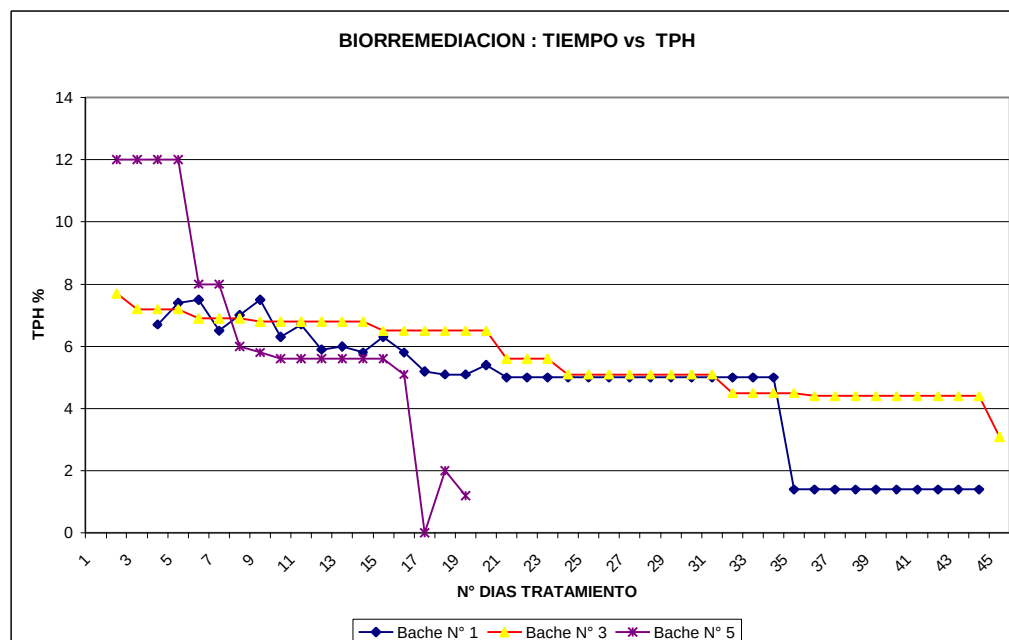
TRANSPORTE

Los cortes son cargados en el volquete y transportados a la celda de tratamiento. Se tuvo cuidado de evitar derrame de cualquier contaminación. Igual cuidado se tuvo cuando el transporte se hizo por medio de carretillas.

TRATAMIENTO

- Se mezcló el residuo con el suelo nativo, y se esparció sobre la celda, evitando que la capa de material contaminado tuviera un espesor mayor a 20 cms.
- Se humedeció la mezcla con los productos de acuerdo con la proporción calculada, al tiempo que se mantiene la aireación.
- Se continuó el proceso de aireación diariamente, cuidando de detectar cualquier tipo de aglomeración de partículas aceitosas, rompiéndolas para facilitar el ataque microbiano.
- Se controló el nivel de humedad, cuidando que no se presentasen inundaciones por entrada de agua de lluvia, o resecamiento del material.
- Se realizó monitoreo sobre los canales perimetrales y la trampa, especialmente durante periodos de lluvias fuertes.
- Se tomaron muestras representativas del residuo, haciendo un análisis de retorta para establecer un nivel aproximado de contenido de aceite. Una vez que se comprueba que se ha alcanzado el nivel esperado de TPH, se retira el residuo y se dispone como material no tóxico.
- Este procedimiento se repitió para cada bache hasta finalizar con la totalidad del residuo generado por la perforación.

3.4 GRAFICOS DE LOS RESULTADOS



ANALISIS DE GRAFICO TIEMPO VS. TPH

La tendencia en la mayoría de los baches tratados fue una rápida reducción por debajo del límite establecido (5%) durante los primeros 20 días de tratamiento. En los primeros baches el tiempo transcurrido hasta alcanzar las concentraciones esperadas fue mayor superando en algunos casos los 30 días (baches 1, 3 y 4).

En algunos baches se obtuvieron concentraciones considerablemente bajas llegando a menos de 2% de TPH en peso en muy corto tiempo:

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La eficiencia del tratamiento quedó demostrada en la efectiva reducción de los niveles de TPH desde 12% en peso para material puro y 8% del material diluido, hasta valores en promedio por debajo de 3% de TPH en peso.
2. En total se trataron 5,000 bbls de cortes y residuos contaminados con lodo de perforación de base aceite, distribuidos en 13 baches durante 273 días de operación en los pozos 1102D y 1104H. Esto da un promedio de 21 días y 384 bbls por bache.
3. Los promedios anteriores presentan cifras razonables considerando las dificultades y limitaciones existentes en regiones remotas. Sin embargo, son afectados notablemente por los últimos 3 baches en los cuales se trataron mayores volúmenes en tiempos relativamente bajos, debido a la menor contaminación del material y al aumento en los equipos disponibles. Los primeros baches presentaron promedios de duración por encima de 40 días cada uno.
4. El uso intensivo de tierra nativa como elemento de estabilización en el proceso aumenta la velocidad del tratamiento, pero al mismo tiempo aumenta al final del trabajo el volumen de material, que presenta cierto nivel de contaminación.
5. El retraso evidenciado en los primeros baches fue resultado de factores logísticos de la operación. Aspectos tales como acceso de maquinaria a las zonas de trabajo, disponibilidad de personal y tierra nativa, y arribo a tiempo de los productos químicos, influyeron decisivamente en la duración total del trabajo.
6. La utilización de la zaranda secadora en las secciones de 8 ½" fue adecuada y permitió obtener ripios mas secos y recuperar lodo de perforación para el sistema. Sin embargo, en la sección de 12 ¼" donde el volumen y tipo de cortes es muy diferente, se presentaron serios problemas operativos para lograr reducir la humedad de los mismos, se aumentó el consumo de mallas y se requirió de un gran esfuerzo físico de parte del personal de tratamiento de sólidos (BRANDT) para empujar los cortes hacia la fosa de concreto.
7. Debido a que los baches alcanzaban rápidamente una concentración de TPH por debajo de 5% e inmediatamente se retiraban de la celda, no fue posible observar el comportamiento asintótico que presenta este parámetro en el tiempo en la medida en que se acerca al rango de 1%. Por el contrario se pudo observar una fuerte caída en el TPH durante el lapso en que se evaluó cada bache.
8. El análisis realizado por la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana – UNAP – mostró que el principal contaminante encontrado eran los residuos de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd). Estos metales son aportados por los cortes mismos o inclusive el lodo de perforación, y, como se especificó en nuestra propuesta original hace parte de las limitaciones de la biorremediación la imposibilidad de remover o transformar metales pesados y sales.

RECOMENDACIONES

1. Diferenciar los sistemas e infraestructuras necesarios para realizar un trabajo de biorremediación de cortes base aceite. En el caso específico de Pavayacu el factor mas importante a tener en cuenta es el volumen de desecho que se generará. Las secciones de 8 ½" son mas cortas, producen una cantidad de desecho mucho menor, a una velocidad mucho mas baja y se caracterizan por contener mayor cantidad de arenas. Contrariamente, las secciones de 12 ¼" son mas extensas, producen mayor volumen de cortes por metro perforado a una velocidad considerablemente mas alta y el desecho se caracteriza por un mayor contenido de arcillas y lutitas. Estas características individuales determinan el diseño adecuado para cada caso: área de almacenamiento, áreas de tratamiento, utilización de zarandas secadoras, utilización de maquinaria pesada, tiempo de duración etc.

2. El área de la celda de tratamiento debe ser ampliada hasta donde sea prácticamente posible. Al ampliar esta área es posible trabajar con baches mas grandes, reduce el tiempo de espera entre baches y se optimizan los recursos disponibles.
3. Minimizar la distancia entre el área de almacenamiento de los cortes sin tratar y la celda de tratamiento. Al ubicar dichas áreas una junto a la otra se reduce el tiempo empleado en el transporte de material, se eliminan las dificultades asociadas al movimiento de maquinaria y personal a través de terrenos húmedos y altamente arcillosos y disminuyen los riesgos de contaminación ambiental por derrames o fugas de material contaminado durante el transporte.
4. Siguiendo la política de minimización de generación de desechos, utilizar menor cantidad de material (tierra) nativo como elemento de estabilización y sustento microbiano para el tratamiento. Esto puede alcanzarse mediante una reducción en las relaciones de dilución (relación corte:tierra, 2:1 en lugar de 1:1) o mayor reutilización de material tratado. La consecuencia de este cambio es posiblemente una mayor duración en el tratamiento de cada bache y un mayor consumo de químicos.
5. La aireación manual de cada bache requiere contar con el personal suficiente en todo momento en la celda de trabajo, para evitar retrasos innecesarios en la operación.
6. No utilizar una zaranda secadora de cortes si se esta perforando una sección de 12 ¼" con lodo base aceite. Debido al volumen de cortes producidos, la máquina no dispone del área suficiente para procesarlos rápidamente, ocasionando acumulaciones inmóviles de cortes sobre la malla, que deben ser removidas manualmente, con el subsiguiente perjuicio a las mallas y a la máquina. El trabajo de separación de líquido libre puede ser realizado dentro de la fosa de almacenamiento: una vez que se produce una separación por gravedad, el fluido sobrenadante es bombeado hacia una zaranda o al acondicionador de lodo y eventualmente a una centrífuga para retirar los sólidos y recuperar el fluido para el sistema.
7. Evitar el almacenamiento de cortes base agua y cortes base aceite en la misma fosa. El primer objetivo del sistema de manejo es impedir la contaminación innecesaria de cualquier material que no sea producto de la operación de perforación con lodo base aceite.
8. Realizar análisis simultáneos de muestras de material tratado en dos o mas laboratorios, para aumentar el control de calidad sobre los procedimientos.
9. Mantener la realización de pruebas de laboratorio en campo como referencia únicamente.
10. Mantener disponible en todo momento en el sitio de tratamiento el químico SP-7014 que actúa como rompedor de arcillas. Aunque las características del nutriente SP-7010 permite cumplir con esta función, es recomendable tener un producto específicamente designado para mejorar la permeabilidad de la mezcla, especialmente en esta zona donde tanto los suelos como los cortes son altamente arcillosos.
11. El costo involucrado en este trabajo ha sido de \$180 MUS.

5. CONTRIBUCIONES TECNICAS

La biorremediación es una innovación para la disposición de los desechos sólidos contaminados con petróleo en el lote 8. Se ha incorporado al Plan de Manejo Ambiental para actividades de perforación del Lote 8 el uso de la Bioremediación, cuando se utilice lodos en base aceite.

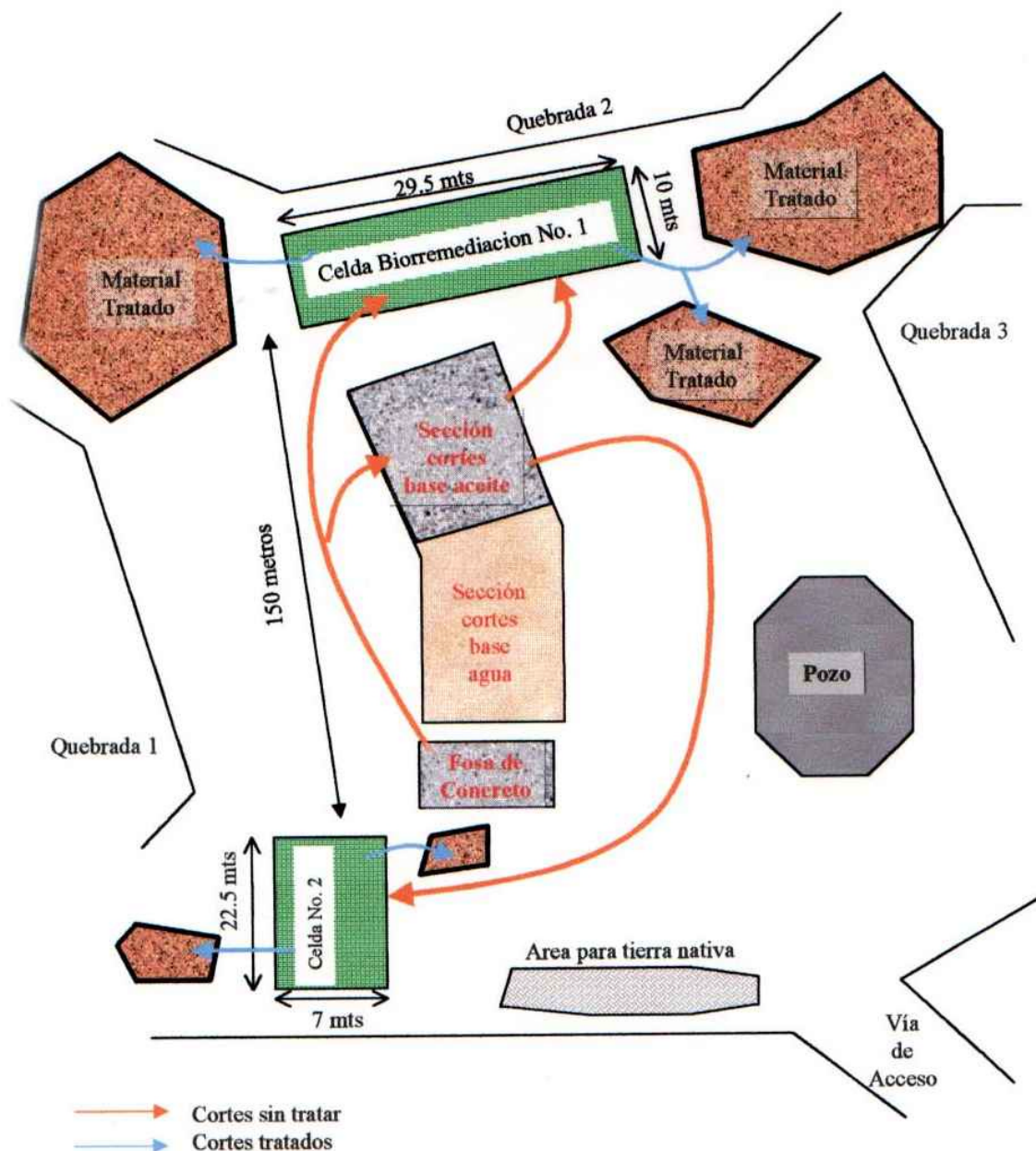
6. BIBLIOGRAFIA

- In Situ Treatment Technology Evan Nyer, Donald Kidd 1996 CRC Press Lewis Publishers
- Remediation Engineering Suthan Suthersan 1997 CRC Press Lewis Publishers
- Handbook of Bioremediation Norris, Hinchee, Brown 1994 CRC Press Lewis Publisher

7. LEYENDA DE ILUSTRACIONES

- Diagrama de Area de Trabajo y Movimiento de Materiales
- Fotografia de Fosa de Concreto para Lodos Base Aceite
- Fotografia de Celda de Bioremediación
- Fotografia de Celda de Bioremediación
- Fotografia de Pruebas con Material Tratado

BIORREMEDIACION DE CORTES BASE ACEITE DIAGRAMA ESQUEMATICO AREA DE TRABAJO Y MOVIMIENTO DE MATERIALES



Octubre/98

**FOTOGRAFIA N°2: FOSA DE CONCRETO
PARA LODOS BASE ACEITE
EN PAVAYACU LOTE 8**



**FOTOGRAFIA N°3 CELDA DE BIORREMEDIACION
EN PAVAYACU LOTE 8**



FOTOGRAFIA N°4 CELDA DE BIORREMEDIACION EN PAVAYACU LOTE 8



FOTOGRAFIA N°5: PRUEBAS REALIZADAS EN SUELOS REMEDIADOS PAVAYACU LOTE 8

