

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



**"CONTROL AMBIENTAL APLICANDO BIORREMEDIACION A
LOS RECORTES DE PERFORACION EN LA INDUSTRIA DE
PETROLEO"**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO QUIMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR :

JOE YURI FALLA RUIZ

LIMA - PERU

2003

INDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCION

2. BIORREMEDIACION

- 2.1. OBJETIVOS
- 2.2. DEFINICIÓN
- 2.3. POBLACIÓN MICROBIAL

3. FACTORES FISICOQUÍMICOS QUE AFECTAN LA BIORREMEDIACION

- 3.1. HUMEDAD
- 3.2. TEMPERATURA
- 3.3. pH
- 3.4. TOXICIDAD
- 3.5. TIPO DE SUELO
 - 3.5.1. Propiedades físicas de los suelos
 - 3.5.2. Propiedades químicas de los suelos
 - a) Antagonismo
 - b) Inhibición
 - c) Sinergismo
 - d) Velocidad de absorción de los nutrientes
 - e) Capacidad de intercambio catiónico
 - f) Salinidad
 - g) Presencia de sodio
 - h) Metales pesados
- 3.6. TIPO DE CONTAMINANTE

4. ANALISIS DE SUELOS DE TIERRA NATIVA DE CORTES TRATADOS EN EL PROCESO DE BIORREMEDIACION DEL YACIMIENTO PAVAYACU

5. PROCESO DE BIORREMEDIACION

- 5.1. CORTES BASE ACEITE
- 5.2. CELDA
- 5.3. TIERRA NATIVA
- 5.4. ADITIVOS
- 5.5. PROCESO DE BIORREMEDIACION
- 5.6. ADITIVOS QUIMICOS USADOS EN BIORREMEDIACION
 - 5.6.1. Emulsificante
 - 5.6.2. Rompedor de arcillas
 - 5.6.3. Nutrientes

6. PARAMETROS DE BIORREMEDIACION

- 6.1. pH
- 6.2. HUMEDAD
- 6.3. HIDROCARBURO TOTAL DE PETROLEO (TPH)

7. DOSIFICACION DE PRODUCTOS

- 7.1. EJEMPLO DE DOSIFICACION DE UN BATCH TRATADO EN EL YACIMIENTO PAVAYACU.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

Los cortes de perforación con lodos base aceite están constituidos básicamente por sólidos, aceite diesel (o petróleo crudo) agua y aditivos propios de los lodos (empleados principalmente para emulsificar y dar peso al lodo). El aceite diesel o petróleo crudo presente, constituye el contaminante más complejo de estos componentes. El proceso de degradación de este lodo base aceite es uno de los procesos que se suceden con mayor facilidad en la naturaleza.

Diferentes estudios concluyen que para perforar muchas formaciones, es necesario el uso de lodos de perforación base aceite, cuya fase continua es el aceite diesel.

Muchas veces con lodos base agua se generan pérdidas en la producción, originadas por la filtración debido a la presencia de arcillas hidratables, las cuales reaccionan al contacto con el agua, dispersándose y taponando los espacios porosos afectando de esta manera la permeabilidad y causando daños a la formación productiva.

El empleo de lodos de perforación base aceite, inhibe el hinchamiento de las arcillas hidratables, reduce el tiempo de las perforaciones, permite el aumento en las tasas de penetración, mejora el control de las formaciones reactivas, adicionalmente los lodos OBM (oil base mud) tienen una buena capacidad de lubricación y un mejor comportamiento a altas temperaturas en comparación con los lodos base agua.

La fuente principal de hidrocarburos encontrados en los cortes base aceite proviene de las formaciones productivas y del diesel presente en los fluidos de perforación, afortunadamente el diesel responde bien a los procesos de biorremediación.

La biorremediación es un método eficiente para el tratamiento de material contaminado con hidrocarburos, el cual bien monitoreado tendrá un bajo costo y *reducirá drásticamente el riesgo ambiental.*

Los componentes hidrocarburos son metabolizados por una población de microorganismos presentes naturalmente en la tierra. Enzimas y nutrientes son agregados para mantener condiciones óptimas en el terreno, permitiendo que las bacterias crezcan y degraden el hidrocarburo en forma acelerada.

1. INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de los desechos generados en las actividades de perforación de pozos de petróleo y sobre todo los generados en los pozos perforados con lodos base aceite (OBM, oil base mud) deben de ser manejados con procedimientos ambientalmente seguros de comprobado rendimiento y efectividad, la experiencia alcanzada en el tratamiento de recortes sólidos de lodos base aceite ha permitido optimizar los procedimientos y asimismo incrementar el rendimiento de los aditivos químicos en la biorremediación. En nuestro país las experiencias en biorremediación con bacterias datan desde el año 1997, año en el que se inicia la experiencia en el Lote 8, Pozo Pavayacu 1102D, ese año fueron tratados exitosamente 5,000 barriles de recortes OBM.

La biorremediación con bacterias, es uno de los métodos utilizadas en el tratamiento de los recortes OBM, entre los principales métodos tenemos:

1. Molienda de recortes OBM y Reinyección Anular.
2. Plantas de Desorción térmica.
3. Uso de la Centrífuga Vertical para la separación de Líquidos y sólidos OBM (vortex).
4. Lavado de recortes OBM con solventes.
5. Biorremediación con bacterias oleofílicas.
6. Aplicación de Musgos biodegradables sobre recortes y suelos contaminados con Hidrocarburos.

Existen algunos otros métodos además de los mencionados, se ha tratado de enumerar los más importantes, todos ellos presentan ventajas y desventajas en su aplicación, algunos de estos métodos son más económicos para una aplicación específica, por lo cual dependiendo de las circunstancias, condiciones de operación y lugar de trabajo, se deberá adoptar el método que mejor se ajuste a cada situación.

Los métodos 1, 2 y 3 requieren de equipos mecánicos y frecuentemente se aplican para tratar volúmenes grandes o se opera a tasas continuas de perforación. Estos métodos se aplican con éxito a nivel mundial, se tiene experiencias cercanas como son los casos de Venezuela, Colombia y Ecuador, países en los cuales se manejan programas de perforación agresivos y continuos.

El método 4, quedo casi en el desuso desde que se demostró una fuerte toxicidad en los solventes usados para el lavado de los recortes OBM.

El método 5 de biorremediación es un método que ha probado ser exitoso, para su aplicación no es necesario el uso de equipos costosos y se ajusta muy bien a la tasa de producción de recortes alcanzadas en el Perú. En nuestro país se han tratado más de 25,000 bbls de recortes OBM con éxito en lo que va a la fecha.

El método 6 es también un método bacteriológico, en este se usa un musgo que absorbe los hidrocarburos y no los suelta, adicionalmente este musgo permite la degradación de los hidrocarburos en el tiempo. Este quizás podría ser el método mas practico en su aplicación, pero esto deberá probarse con la práctica, considerando tanto en rendimiento técnico como económico.

Esta trabajo esta referido al proceso de *Biorremediación con bacterias* y no se involucra ningún otro método para el tratamiento de recortes OBM.

Se puede definir la biorremediación como el proceso en el cual se busca reproducir bacterias oleofílicas nativas de manera exponencial, con el objetivo de que estas bacterias puedan metabolizar y digerir los hidrocarburos, para nuestro caso serán los contaminantes a tratar. Con este objetivo se deberán optimizar las condiciones sobre las cuales estas bacterias aeróbicas se reproducirán de manera acelerada.

La degradación de materiales orgánicos en ambientes naturales se lleva a cabo principalmente gracias a la intervención metabólica de dos grandes grupos de microorganismos: las bacterias y los hongos.

Los hongos, ayudan a la degradación natural mediante la transformación a compuestos orgánicos más simples, pero difieren de las bacterias en la versatilidad metabólica de estas últimas, lo cual hace que los hongos sean menos aptos para controlar este tipo de procesos.

En el caso de las bacterias, características tales como rápido crecimiento y metabolismo, plasticidad genética y habilidad para mantenerse en diversos ambientes, son los principales factores que hacen exitoso un proceso de biorremediación con bacterias.

El éxito de un proceso de biorremediación no sólo se alcanzará creando una superpoblación de bacterias sino también tendrá asociado factores climáticos tales como: humedad y temperatura, características físicas del suelo como son concentración de nitrógeno y fósforo, pH, presencia de sodio, salinidad; hidrocarburo total de petróleo (TPH) inicial, así como también el tipo de hidrocarburo a biorremediar.

Se definirán fundamentos teóricos generales y técnicas adecuadas para obtener procesos de biorremediación exitosos.

Figura 1

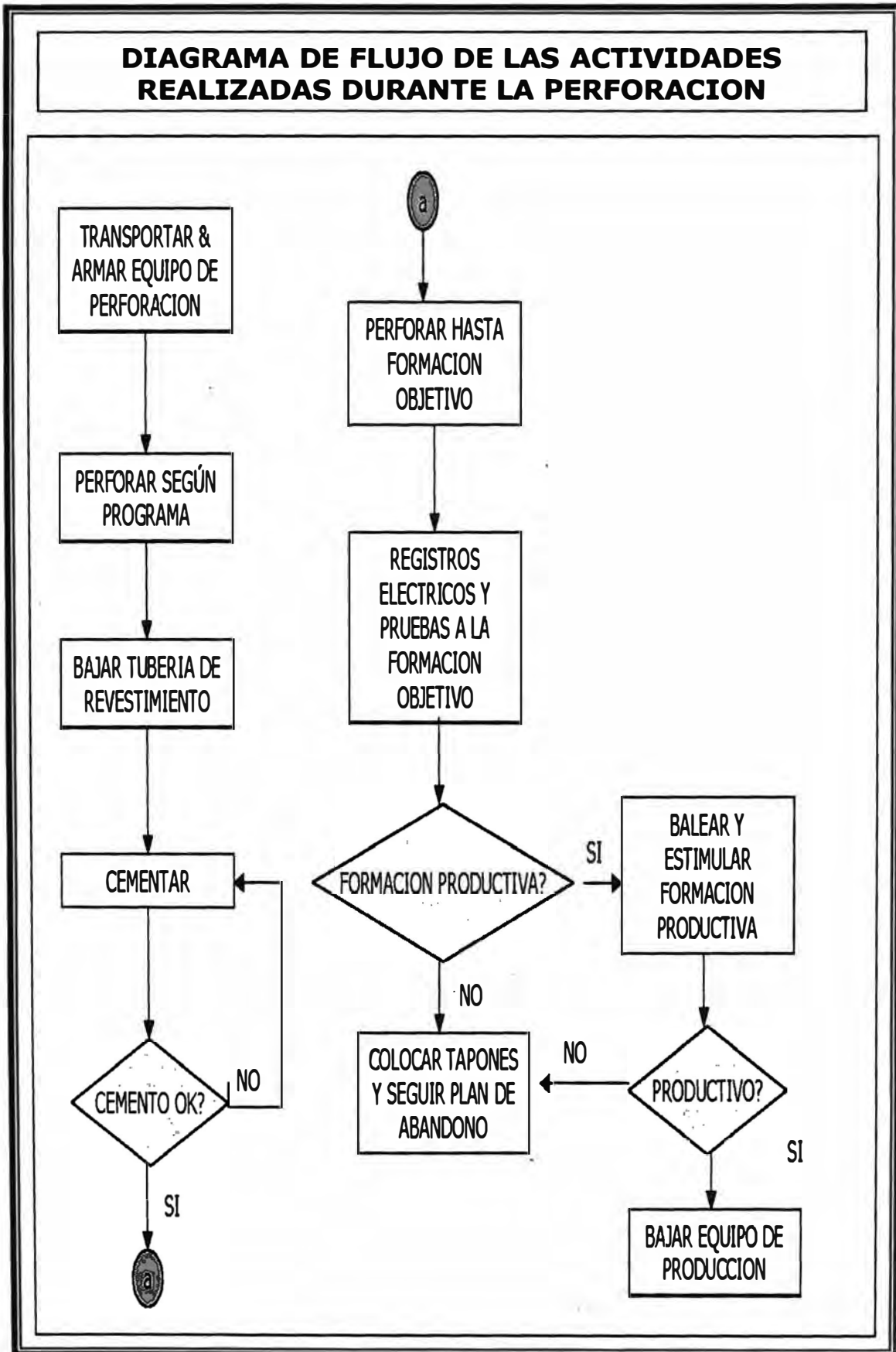


Figura 2

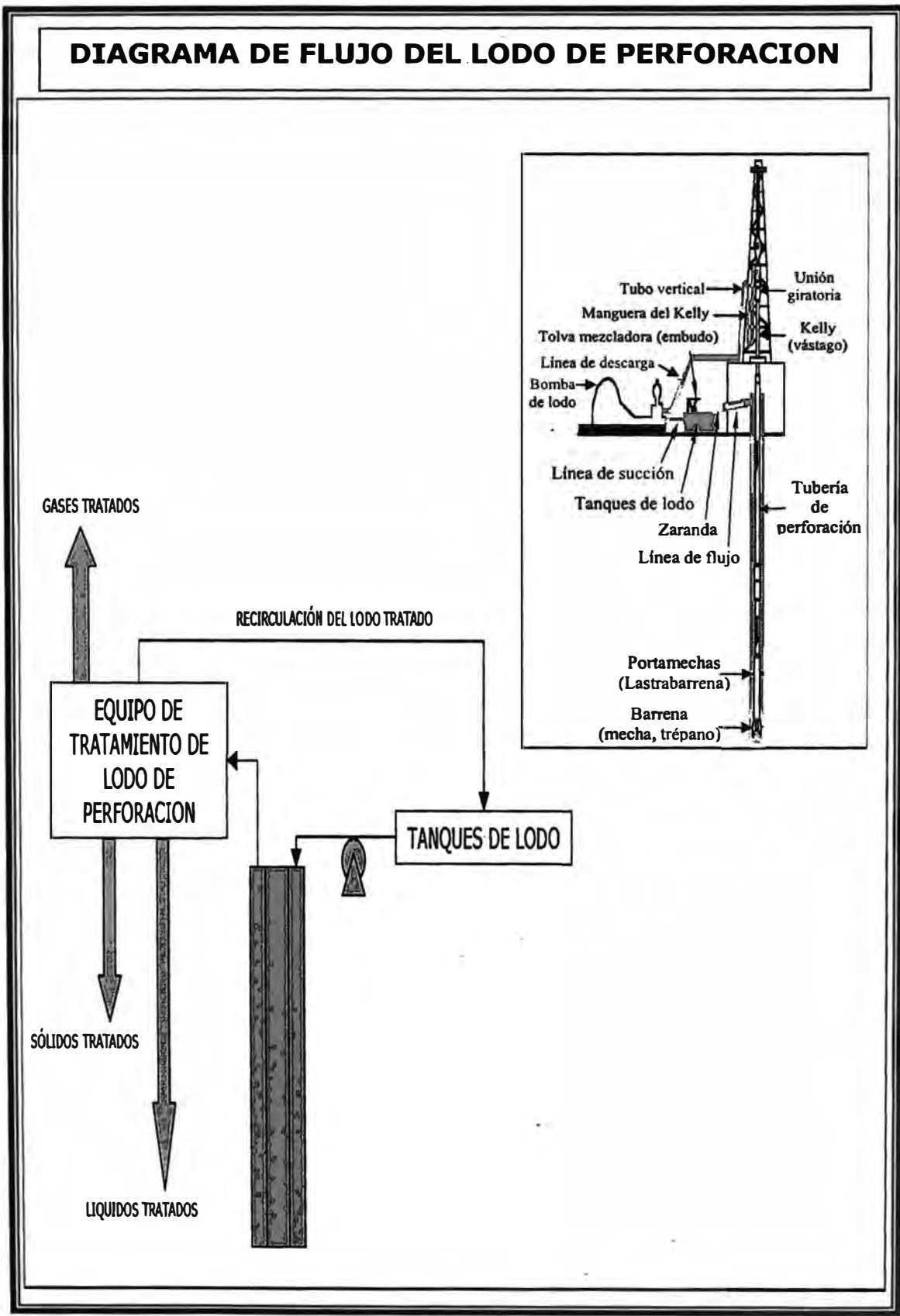
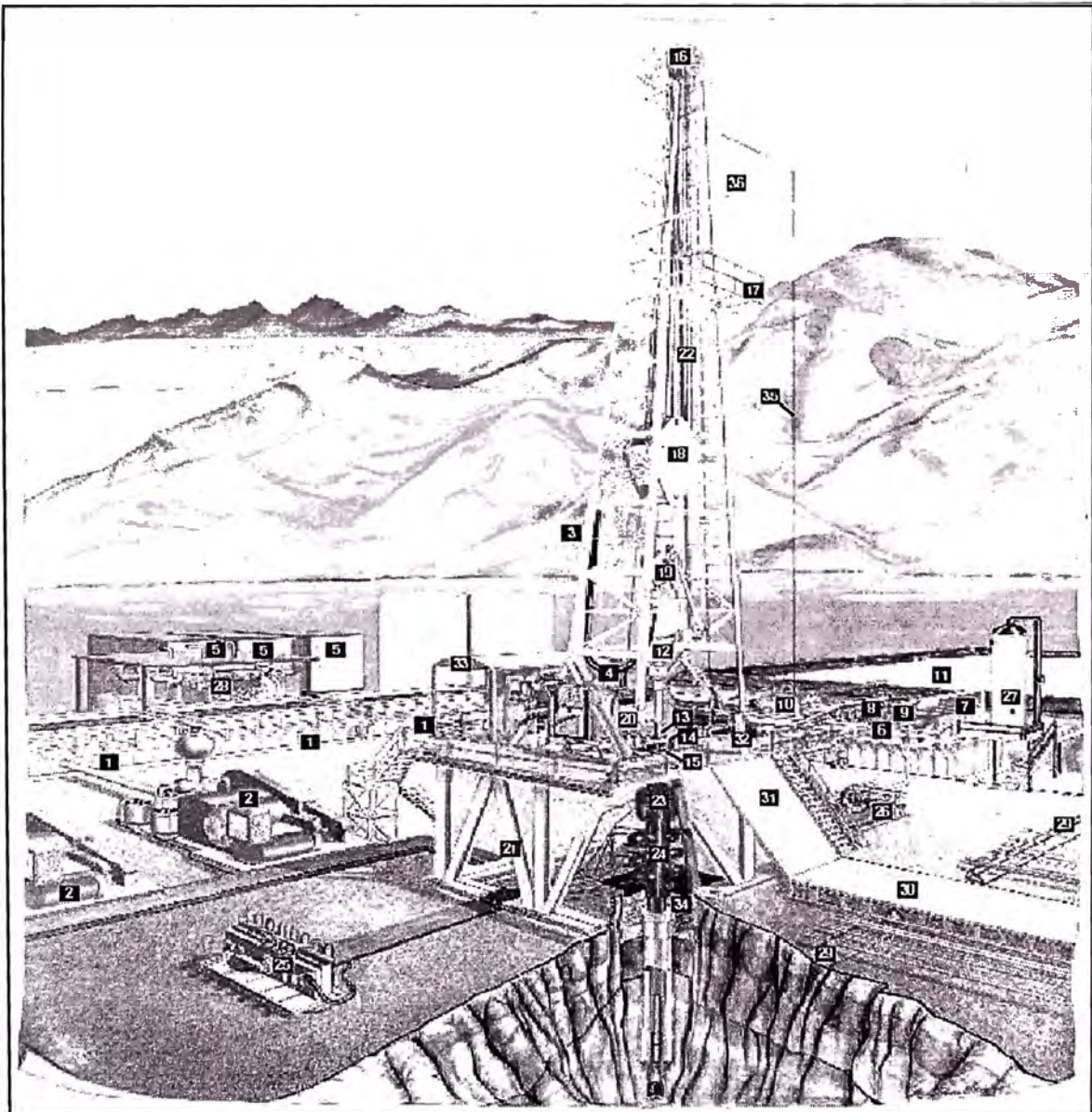


Figura 3

COMPONENTES DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN



PERSPECTIVA ESQUEMÁTICA DE UN EQUIPO DE PERFORACIÓN ROTATORIA

Sistema de Circulación	Equipo Rotatorio	Equipo de Control de Pozo	Tubería y equipo de Manejo de Tuberías
1. Tanque de lodo	12. Unión giratoria	23. Preventor anular	29. Tarimas para tuberías
2. Bomba de lodo	13. Nelly	24. Preventores de reventones de ariete	30. Planchada
3. Tubo vertical	14. Buje de junta Nelly	25. Unidad de acumulación	31. Puerta central
4. Manguera de perforación	15. Mesa rotatoria	26. Múltiple de estrangulamiento	32. Ratonera
5. Almacenamiento de lodo granel	Sistema de levantamiento	27. Separador de lodo - gas	Varios
6. Línea de retorno de lodo	16. Bloque de Corona	Sistema de Energía	33. Caseta
7. Zaranda	17. Plataforma del torrero	28. Generadores	34. Sótano
8. Deslimador	18. Bloque viajero		35. Cable de levantamiento
9. Desarenador	19. Gancho		36. Poste grúa
10. Desgasificador	20. Malacate		
11. Tanque de reserva	21. Subestructura		
	22. Cable de perforación		

2. BIORREMEDIACION

2.1.OBJETIVO

Reducir el nivel de hidrocarburos presentes en los cortes de perforación producidos durante la perforación con lodos base aceite. Se utilizará un método de degradación microbiológica de los hidrocarburos, reduciendo la concentración de hidrocarburos (TPH) a los niveles mínimos permisibles (menores al 5% en peso), lo cual transforma los cortes en sustancias no contaminantes e inclusive benéficas para el terreno.

2.2.DEFINICION

Se define Biorremediación al proceso mediante el cual se crea en forma exponencial una superpoblación de bacterias oleofílicas nativas llamadas “pseudomonas” cuya finalidad es consumir el hidrocarburo presente en un tiempo relativamente corto. Esta superpoblación de bacterias nativas se conservan con vida durante el tiempo que requiera el trabajo, por medio de condiciones óptimas para el desarrollo de las bacterias como son la oxigenación, mantenimiento de un medio húmedo, así como un nivel de pH adecuado.

2.3.POBLACION MICROBIAL

Las características de las bacterias tales como su rápido crecimiento y metabolismo, plasticidad genética y habilidad para adaptarse a una gran variedad de ambientes, son los principales factores que hacen exitosos los procesos de biorremediación.

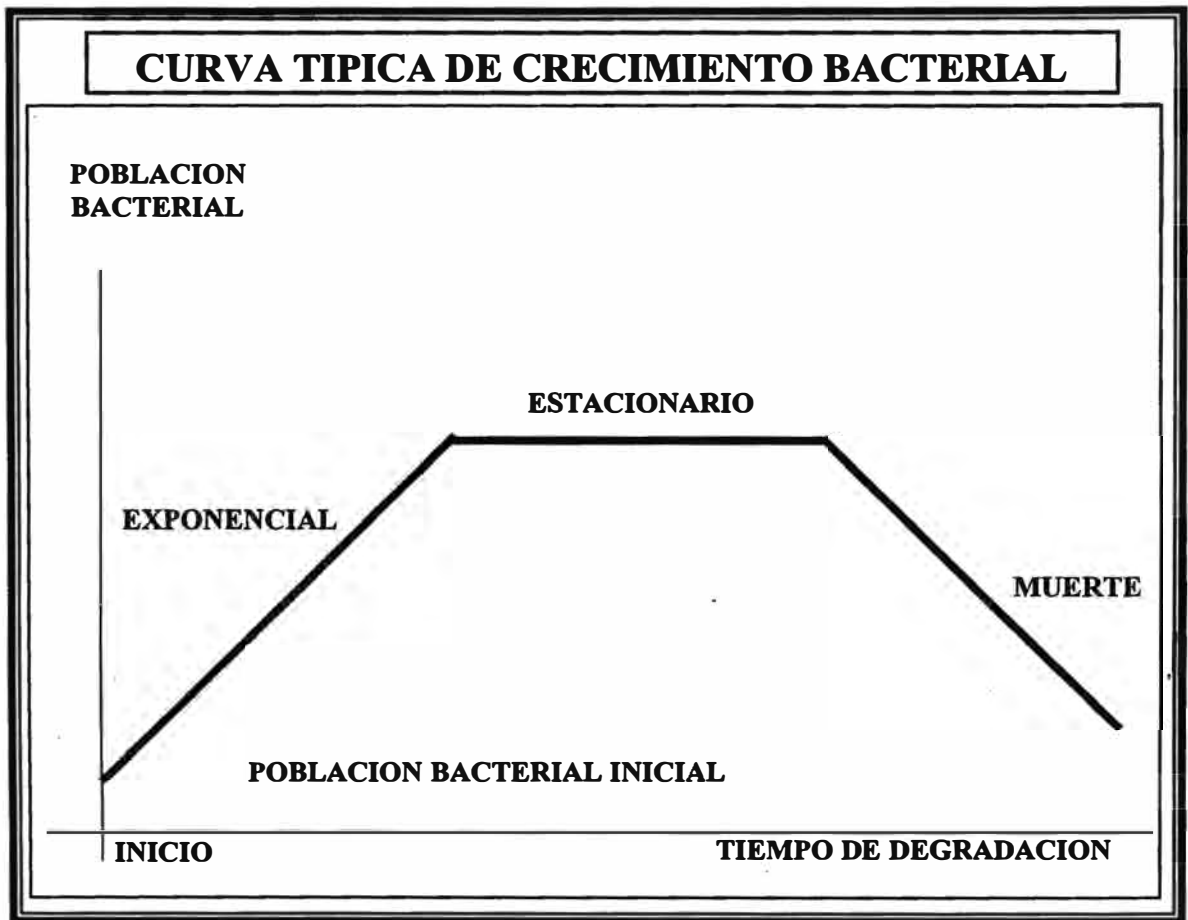
Aproximadamente del 60% al 80% del metabolismo total del suelo es originado por la microflora. El contenido poblacional microbial esta en un rango de 10^7 a 10^8 bacteria por gramo de suelo seco. La población bacteriana incrementa su

número mediante el proceso conocido como **Fisión Binaria**, en este proceso una célula bacteriana se divide para formar dos células hijas, consecuentemente cada división forma sucesivamente cuatro nuevas células. La cantidad de tiempo necesario para la división de la célula bacteriana y la duplicación correspondiente se conoce como **Tiempo de Generación**. Las bacterias tienen cortos tiempos de generación, estos se pueden medir en minutos, horas, días o semanas, desde el inicio de la división de la primera célula bacteriana hasta que la población total se ha duplicado, luego de mucho tiempo de generación el número de bacterias se puede incrementar en tiempos cortos. Matemáticamente el crecimiento de una población bacteriana bajo condiciones no limitadas, puede expresarse en términos de una **Función Exponencial**. Es así que si se asume que el tiempo de generación de una población bacteriana, es de 30 minutos, una simple célula bacteriana puede incrementar dicha población en un número de 10 millones de células más en aproximadamente 12 horas.

Este tipo de crecimiento exponencial de la población bacteriana no continúa sin control por largos períodos de tiempo, puesto que una población bacteriana en crecimiento puede alterar rápidamente el medio ambiente circundante, la cantidad de nutrientes necesarios puede depletar o se pueden generar productos metabólicos inhibitorios que causarán que el crecimiento poblacional se detenga.

Estudios de crecimiento de poblaciones bacterianas, han llevado a resumirlos en un sistema que resulta en una curva similar a la ilustrada en la siguiente figura.

Figura 4



Esta curva de crecimiento puede dividirse en cuatro fases. Inicialmente la población de bacterias presenta un período con una cantidad mínima de bacterias, ésta fase del crecimiento se conoce como **Fase Inicial**, durante esta fase los microorganismos están sintetizando las moléculas necesarias para el crecimiento y la duplicación de sí mismos, produciendo enzimas metabólicas y adaptándose a las nuevas condiciones de crecimiento, la extensión de la fase inicial dependerá en primer término de las condiciones del crecimiento de la población bacteriana, luego de la Fase Inicial la población ingresa a la **Fase de Crecimiento Exponencial**, aquí la población de bacterias se incrementa al máximo, es durante esta Fase Exponencial que el tamaño de la población se duplica como una función del tiempo de generación, como el número de bacterias se incrementa los nutrientes disponibles se van consumiendo, esto produce retardo en la tasa de

crecimiento poblacional y es entonces cuando se ingresa en la **Fase Estacionaria**, durante ésta Fase Estacionaria la tasa de crecimiento de la población se iguala a la tasa de mortandad por lo tanto no se incrementa el número de bacterias, finalmente como los nutrientes se van agotando mientras que la acumulación de productos metabólicos tóxicos continúa, llegamos a la situación en que la mortandad aventaja al crecimiento, es entonces cuando la población y la actividad declinan de igual manera, en esta etapa es donde se inicia la **Fase de Mortandad**, la cual lleva a la población bacteriana a estabilizarse en el equilibrio natural inicial.

3. FACTORES FISICOQUIMICOS QUE AFECTAN LA BIORREMEDIACION

El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos, en la cual se pueden encontrar desde compuestos muy volátiles hasta compuestos pesados, estos compuestos son afectados por las variaciones de las condiciones ambientales.

3.1.HUMEDAD

Un primer requisito de las condiciones necesarias para la biorremediación es que esta se debe mantener en un ambiente acuoso saturado. Aunque el agua es esencial para activar y mantener la descomposición de los hidrocarburos, también mucha agua puede interferir en la disponibilidad de oxígeno, ya que ésta puede llegar a ocupar los espacios donde se encontraba el aire necesario para la supervivencia de los microorganismos.

El estado de humedad de los suelos es expresado generalmente con un porcentaje de la capacidad del suelo de retener agua (WHC) . Con menos de un 10% de WHC las fuerzas osmóticas y de adsorción reducen la disponibilidad de agua para los microorganismos y se presenta una reducción en la actividad metabólica de estos. En general la biodegradación aerobia de material orgánico depende de la capacidad de retención de agua del suelo, la cual tiene un rango óptimo entre 50 a 70%.

Los hidrocarburos emulsionados generalmente se pueden romper mejor y más rápidamente que en fase pura, ya que presentan una mayor área superficial, se utilizan surfactantes químicos para promover la emulsificación.

3.2.TEMPERATURA

La actividad metabólica se presenta comúnmente en suelos y aguas que tengan temperaturas entre 15 y 35° C, sin embargo pueden existir organismos especializados con actividad metabólica a temperaturas mayores a 65°C. Algunos organismos tiene actividades a 4°C , pero ningún microorganismo tiene actividad bajo 0°C ya que mueren por enfriamiento, por lo tanto cualquier actividad de biorremediación debe darse dentro de una temperatura que es determinada por el lugar de origen del microorganismo. Igualmente excesos de calor pueden causar problemas, aunque estos se presentan más frecuentemente en la biodegradación de desechos industriales en plantas especiales en comparación con la remediación natural de los suelos.

3.3.pH

La importancia del pH en los procesos de Biorremediación, se relaciona con el impacto en el crecimiento y metabolismo de los microorganismos capaces de degradar hidrocarburos de petróleo.

Muchas bacterias presentan tolerancia limitada a las condiciones ácidas, mientras que los hongos tienden a ser más resistentes a dichas condiciones. En general las tasas de biodegradación tienden a aumentar ligeramente bajo condiciones de pH entre 6 y 8.

Relativamente son muy pocos los microorganismos que tienen una alta actividad metabólica en ambientes con un pH menor de 4 o mayor que 9. En general las bacterias prefieren ambientes neutrales o alcalinos, mientras que los hongos sistemas ácidos, así de esta manera algunas poblaciones de hongos se dan con un pH próximo a 2, el rango óptimo para el crecimiento de dichos microorganismos se debe mantener entre 6 y 8, preferentemente 7. Se debe notar que durante el transcurso de la biorremediación los productos de degradación microbial como los

iones clorhídricos pueden alterar el pH inicial. Se debe tener en cuenta también que los suelos pueden tener diversos valores de pH.

3.4. TOXICIDAD

La toxicidad es un factor crítico en todas las evaluaciones de tratamientos con biorremediación. En muchas instancias el contaminante puede tener intrínsecamente alta toxicidad para el microorganismo o presentar concentraciones que son tóxicas, por ejemplo el aceite diesel o la gasolina en fases puras y altas concentraciones son tóxicos para la mayoría de los microorganismos presentes en los suelos. Frecuentemente es posible encontrar especies selectas de microorganismos (pseudomonas) que pueden resistir normalmente niveles tóxicos de contaminantes y es con estos microorganismos que se logran degradar contaminantes hasta los niveles de su tolerancia.

3.5. TIPO DE SUELO

El tipo de suelo es un factor importante en la medida que determina la capacidad de adsorción y absorción de los contaminantes. Suelos compuestos de materiales húmicos y arcillas dificultan en cierta medida la biodegradación, debido a la poca porosidad de los mismos que resulta en una disminución del oxígeno disponible. Sin embargo, el tipo de suelo no es un factor tan relevante para la biodegradación en comparación con la humedad, la temperatura y el pH existentes.

3.5.1. PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS

Las propiedades físicas más importantes de los suelos son la textura, retención de humedad, capacidad de infiltración, formas de riego de acuerdo al tipo de suelo, necesidad de agua de los principales cultivos.

A continuación se detallan tablas de las propiedades físicas que se consideran más importantes para la caracterización de suelos para tratamientos de cortes contaminados con petróleo, también se presenta una tabla de métodos ASTM para la caracterización de los suelos.

Cuadro 1. Textura.

SUELOS	TEXTURA	CLASE TEXTUAL	
Arenoso	Gruesa	Arena	
		Arena Franca	
	Moderadamente Gruesa	Franco arenosa gruesa	
		Franco arenosa	
		Franco arenosa fina	
	Franco	Media	Franco arenosa muy fina
Franca			
Franco limosa			
Limo			
Moderadamente Fina		Franco arcillosa	
		Franco arcillo arenosa	
		Franco arcillo limoso	
Arcilloso		Fina	Arcillo arenosa
			Arcillo limosa
	Arcilla		

Los suelos ligeros son de textura gruesa y moderadamente gruesa y fáciles de trabajar a diferencia de los suelos pesados que presentan texturas muy finas y difíciles de trabajar.

Cuadro 2. Retención de humedad.

TEXTURA	DENSIDAD APARENTE (gr/cm)	POROSIDAD TOTAL (%)
Arenoso	1.7	36
Franco Arenoso	1.6	40
Franco	1.5	43
Franco Arcilloso	1.4	47
Arcilloso	1.3	51

Cuadro 3. Capacidad de infiltración.

CLASE TEXTURAL	VELOCIDAD DE INFILTRACION (cm/hora)	CALIFICACION
Arenoso	5	Muy rápida
Franco Arenoso	2.5	Rápida
Franco	1.3	Moderada
Franco Arcilloso	0.8	Lenta
Arcilloso	0.05	Muy lenta

Cuadro 4. Métodos ASTM para la caracterización de los suelos.

ENSAYOS GEOTECNICOS	NUMERO ASTM
Tamaño de partícula	D-422
Contenido de humedad	D-2216
Densidad relativa mínima	D-4254
Densidad in situ	D-2435
Gravedad específica	D-854
Limites atterberg	D-4318
Densidad bruta	D-1587 o D-2937
Descripción de los suelos	D-2488
Conductividad hidráulica	D-5126

3.5.2. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS SUELOS

Entre las propiedades químicas de los suelos tenemos la composición del suelo, concentraciones de los elementos en la solución del suelo, efectos inter iónicos, materia orgánica, calcáreo total, reacción del suelo, disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en los suelos, capacidad de intercambio catiónico, fertilidad y factores limitantes de los suelos cultivados en el Perú.

Cuadro 5. Composición de la solución del suelo (milimol/litro)

ELEMENTO	INTERVALO PARA TODOS LOS SUELOS	SUELO ACIDO	SUELO CALCAREO
Ca	0.5-38	3.4	14
Mg	0.7-100	1.9	7
K	0.2-10	0.7	1
Na	0.4-150	1	20
N	0.16-55	12.1	13
P	0.001-1	0.007	0.03
S	0.1-150	0.5	24
Cl	0.2-230	1.1	20

Cuadro 6. Concentración de los elementos en la solución del suelo (micromol/litro)

ION	DEFICIENTE	CRITICA	MEDIA
Nitrato	10-700	200-500	9000
Amonio	0.5-400	2-1800	-
Potasio	1-100	3-120	800
Calcio	0.5-600	6-1000	1900
Magnesio	2-300	9-400	3100
Fosfato	0.1-12	0.2-0.9	<1
Sulfato	-	4	1200
Cobre	0.001	0.002	0.001-0.6
Manganeso	0.001-1	0.001-42	0.002-70
Zinc	0.001-0.005	0.005-0.2	0.003-3

Cuadro 7. Efectos Inter – Iónicos.

ION	SEGUNDO ION PRESENTE	EFEECTO DEL SEGUNDO ION SOBRE EL PRIMERO
Cu^{2+}	Ca^{2+}	Antagonismo
$\text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}$	K^+	Inhibición competitiva
H_2PO_4^-	Al^{3+}	Inhibición competitiva
$\text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$	Al^{3+}	Inhibición competitiva
K^+	Ca^{2+}	Inhibición competitiva
SO_4^{2-}	Cl^-	Inhibición competitiva
MoO_4^{2-}	SO_4^{2-}	Inhibición competitiva
Zn^{2+}	Mg^{2+}	Inhibición competitiva
Zn^{2+}	Ca^{2+}	Inhibición competitiva
Fe^{2+}	Mn^{2+}	Inhibición competitiva
Zn^{2+}	H_2BO_3	Inhibición no competitiva
Zn^{2+}	H_2PO_4^-	Inhibición no competitiva
K^+	Ca^{2+}	Sinergismo
MoO_4^{2-}	H_2PO_4^-	Sinergismo
Cu^{2+}	MoO_4^{2-}	Inhibición no competitiva

a.) Antagonismo

La presencia de un elemento disminuye la absorción del otro cuya toxicidad es así evitada, el calcio impide la absorción exagerada de cobre.

b.) Inhibición

Consiste en la disminución de la absorción de un ión provocada por otro ión. Esta es competitiva cuando el inhibidor se combina con el mismo sitio que el portador. Inhibición no competitiva cuando el inhibidor se combina con el sitio no activo del portador.

c.) Sinergismo

La presencia de un elemento dado aumenta la absorción de otro. El calcio en concentraciones no muy elevadas aumenta la absorción de aniones y cationes por su papel de manutención de la integridad funcional del plasmalemma. El magnesio aumenta la absorción del fósforo. El boro y el potasio en proporciones adecuadas aumentan la síntesis de azúcares.

d.) Velocidad de absorción de los nutrientes

Aniones: nitratos>cloruros>sulfatos>fosfatos monobásicos

Cationes: amonio>potasio>sodio>magnesio>calcio

Cuadro 8. Materia Orgánica.

Nivel bajo	Menos de 2%
Nivel medio	2-4%
Nivel alto	Mayor de 4%

Cuadro 9. Calcáreo Total.

Nivel bajo	<1%
Nivel medio	1-5%
Nivel alto	5-15%
Nivel muy alto	>15%

Cuadro 10. Reacción del suelo.

Muy ácido	pH < 5.5
Ácido	pH 5.6-6.5
Neutro	pH 6.6-7.3
Alcalino	pH 7.4-8.4
Muy alcalino	pH > 8.5

Cuadro 11. Disponibilidad de Nitrógeno-Fósforo y Potasio en los suelos

NIVEL	N%	P(ppm)	K₂O(Kgha⁻¹)
Bajo	0-0.1	0-6	0-300
Medio	0.1-0.2.	7-14	300-600
Alto	>0.2	>14	>600

Cuadro 12. Capacidad de Intercambio Catiónico.

Baja	6-12 meq/100(ppm)
Media	12 a 20 meq/100(ppm)
Alta	Mayor de 20 meq/100(ppm)

e.) Capacidad de Intercambio Catiónico.

Representa la fertilidad potencial del suelo, es la disponibilidad del suelo para poder proporcionar aniones y cationes. Cuando se obtienen los resultados del análisis de la CIC en suelos ácidos ($\text{pH} < 5.5$) con el método del acetato de amonio ($\text{pH}: 7$) se debe determinar matemáticamente la CIC efectiva (suma de valores correspondientes a todos los cationes) ya que con este método se comete un error por exceso, hay una sobrestimación de la CIC.

Cuadro 13. Capacidad de Intercambio Catiónico de los Coloides del Suelo.

COLOIDE	CIC meq/100(ppm)		UBICACIÓN GEOGRAFICA
	Acidez	Alcalinidad	
Caolinita	4	10	Selva baja
Montmorillonita	80	120	Zonas áridas
Vermiculita	100	160	Sierra, costa
Ilita	40	60	Sierra, costa
Humus	30	400	Sierra alta

Coloides con carga negativa dependiente del pH:

Caolinita : Origen de la fractura de los cristales

Humus : Ionización de grupos fenólicos y carboxílicos

Coloides : De carga negativa permanente, originada por procesos de sustitución isomórfica en la capa tetraedra y octaedra.

f.) Salinidad

Es la suma total de iones presentes en la muestra. La mayor parte de iones positivos corresponden al calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+). La mayoría de iones negativos son cloruros (Cl^-) y sulfatos (SO_4^{2-}), otros iones pueden estar presentes pero no tiene suficiente concentración para afectar la salinidad.

La concentración total de sal o salinidad, puede ser expresada en términos de conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica indica la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua, de tal forma que cuando mayor sea el contenido de sales solubles ionizadas, mayor será el valor de aquella. La conductividad es expresada como milimhos por centímetro. La conductividad eléctrica del suelo o ripios puede medirse usando un extracto de agua desmineralizada (Agua: Suelo 1:1).

1 milimhos/cm = decismens/m = 1000 microsimens/cm

Aunque la salinidad no influye en las propiedades físicas del suelo, esta reduce la absorción del agua del suelo por las plantas y por ende la disponibilidad de nutrientes, reduciendo el rendimiento y calidades de la siembra. Excesos de salinidad pueden deshidratar las plantas hasta matarlas debido a la alta presión osmótica generada.

Cuadro 14. Clasificación de la conductividad eléctrica y su relación con el crecimiento de los cultivos.

Suelos normales	Salinidad muy ligera	2000 uS/cm
	Ligera	4000 uS/cm
Suelos salinos	Media	8000 uS/cm
	Fuerte	16000 uS/cm
	Muy fuerte	>16000 uS/cm

$$\text{PRESION OSMOTICA} = \text{CE} \times 0.36$$

CE: Conductividad eléctrica específica del extracto de saturación a 25°C y expresada en (mmhos/cm).

Cálculo de la concentración salina en meq/L

$$C_s = \text{CE} \times 10.37^{1.065} \quad \text{meq/l de sales totales}$$

$$C_s = \text{CE} \times 640 \quad \text{(ppm de sales totales)}$$

La salinidad del suelo solo se puede disminuir a través de lavados con cantidades excesivas de riego. En las regiones de alta pluviosidad el impacto ambiental puede considerarse mínimo pues el agua de lluvia lava el exceso de sal en el suelo.

Cuadro 15. Clasificación de los Suelos Salinos.

PROPIEDADES	SUELO SALINO	SUELO SODICO	SUELO
PH	Alcalino blanco Solonchack	Alcalino negro Solonetz	Salino Sódico
	<De 8.5	>de 8.5	> de 8.5
CONDUCTIVIDAD (uS/cm)	>De 4000	<de 4000	> de 4000

g.) Presencia de sodio

Uno de los iones que más favorecen a la degradación de los suelos es el sodio. Cantidades excesivas de sodio con respecto al calcio y magnesio pueden crear un incremento en el porcentaje intercambiable de sodio en el suelo. Este sodio afecta al suelo volviéndolo más compacto cuando se seca y más resistente a la penetración del agua debido a la dispersión y hinchamiento cuando se humedece. Una acción contraria a la señalada por el sodio es la que desempeña el calcio, por esta razón el efecto de sodio en el suelo esta relacionado con las concentraciones de calcio y magnesio.

La toxicidad del sodio es evaluada por medio de dos parámetros que son: La relación de absorción del sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable. Para determinar el segundo parámetro es necesario determinar la capacidad de intercambio catiónico.

h.) Metales pesados

Metales solubles en agua y en forma de intercambio son las principales formas de riesgo asociadas con metales pesados en el ambiente. Si el metal es no soluble y es estable, este no produce ningún impacto ambiental, sin embargo la solubilidad y estabilidad de los metales depende principalmente del pH, factor que puede cambiar con el tiempo. Experiencias anteriores recomiendan monitorear continuamente los metales: bario, cromo, plomo y zinc, arsénico, cadmio, mercurio, selenio y plata, deben ser considerados cuando se esta caracterizando un suelo por primera vez. Estas consideraciones deben ser estipuladas en el plan de manejo de cortes en la locación donde se va a realizar el proceso de tratamiento en base a consideraciones geológicas de la región y los aditivos agregados al lodo de perforación. Teniendo estas consideraciones se puede afirmar que el impacto ambiental se puede controlar; para reducir el impacto ambiental causado por metales, los cortes deben ser caracterizados por metales y determinar los metales que exceden los límites permisibles.

Cuadro 16. Concentraciones Máximas Aceptadas en Metales Pesados.

CONTAMINANTE	MAXIMO VALOR PERMITIDO (mg/L)
Arsénico	5
Bario	20
Cadmio	0.02
Cromo	5
Plomo	5
Mercurio	0.01
Selenio	0.1
Plata	0.1
Zinc	10

Cuadro 17. Fertilidad y Factores Limitantes de los Suelos en Regiones del Perú

REGIONES	NIVEL DE FERTILIDAD	FACTORES LIMITANTES
Costa	Medio-alto	Poca agua y nitrógeno
Sierra	Bajo-medio	Erosión, baja profundidad y escasez de N y P
Selva alta	Medio	Erosión, bajo N y P
Selva baja	Muy baja	Baja disponibilidad de nutrientes, acidez, toxicidad de aluminio, mal drenaje

3.6.TIPO DE CONTAMINANTE

Los compuestos orgánicos pueden clasificarse de acuerdo a la facilidad para biodegradarse. Por ejemplo los componentes aromáticos son más resistentes a la biodegradación que los componentes alifáticos. Los Compuestos halogenados son mucho más resistentes a la biodegradación.

Cuadro18. Lista Parcial de Contaminantes Ambientales.

Cloro metileno	Acetona
Naftaleno	Antraceno
Octano	Benceno
Nonato	Ácido Benzoico
Pentaclorofenol	Benzopireno
Fenantreno	Butanol
Fenol	Butilcelulosa
Bienales Policlorinados	Tetraclorhidro de carbón
Pireno	Cloroformo
Estireno	P-cresol
Tetracloroetileno	Dibenceno Antraceno
1,1,1-Tricloroetano	DDT
Tricloroetileno	Diclorobenceno
Trinitrotolueno	Dicloroetano
Xileno	Diexano
Indenol pireno	Etil benceno
Acetato Isopropílico	Etil glicol
Lindano	Heptanohexano

4. ANÁLISIS DE SUELOS DE TIERRA NATIVA DE CORTES TRATADOS EN EL PROCESO DE BIORREMEDIACION DEL YACIMIENTO PAVAYACU

Previo al proceso se realiza un análisis de los suelos y la tierra nativa que se empleará para la mezcla con el corte, luego se realizaran los mismos análisis con los cortes tratados, se presentan a continuación los análisis correspondientes.

Cuadro 19. Análisis de Tierra Nativa del Yacimiento Pavayacu..

PARAMETROS	TIERRA NATIVA	EXPRESADO EN:
pH a 20°C	4.2	
Aceites y grasas	0.43	mg/L
Sulfatos	8	mg SO ₄ /L
Cloruros	5	mg CL-/L
Nitrógeno amoniacal	0.021	mg N-NH ₃ /L
Nitratos	0.066	mg N-NO ₃ /L
Nitritos	<0.01	mg N-NO ₂ /L
Arsénico	<0.01	mg/L
Bario	<0.01	mg/L
Boro	<0.01	mg/L
Cadmio	0.003	mg/L
Cromo	0.011	mg/L
Hierro	11.150	mg/L
Manganeso	0.774	mg/L
Mercurio	<0.0001	mg/L
Plomo	0.12	mg/L
Potasio	24.5	mg/L
Sodio	73.45	mg/L
Cinc	0.159	mg/L
Plata	<0,01	mg/L

Cuadro 20. Cortes Tratados Dispuestos Al Ambiente (Pavayacu)

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE SUELOS	
PARAMETROS	VALORES
Textura	Franco Arcilloso
Materia orgánica(%)	2.008
PH	6.38
CIC meq/100(ppm)	13.448
Ca ²⁺ (ppm)	102
Mg ²⁺ (ppm)	9.72
Na ⁺ (ppm)	10.8
K ⁺ (ppm)	1.62
Al ³⁺ (ppm)	10.34
Nitrógeno total (%)	0.331
P-Disponible(ppm)	19.806
% Saturación-bases	23.11%
%Saturación AL ³⁺	76.89
K-Disponible(ppm)	41.325
Sulfatos (ppm)	101.824
Bario (ppm)	0.167
Cadmio (ppm)	0.225
Cromo hexavalente (ppm)	0.001
Mercurio (ppm)	0.16
Plomo (ppm)	0.622
Hidrocarburos totales (aceites y grasas)(ppm)	134.796

De acuerdo con los resultados de los análisis químicos a las muestras tomadas podemos observar los siguientes puntos:

Capacidad orgánica media

Reacción ligeramente ácida

Buena disponibilidad para proporcionar aniones y cationes que harán del corte tratado apto para la siembra en un plazo aproximado entre 30 y 40 días

Alta saturación de aluminio, este elemento tiene la propiedad de destruir los suelos al ocupar espacios en las arcillas, desplazando a otros elementos benéficos para el suelo como el nitrógeno.

Para las plantas cultivadas el porcentaje de saturación de bases hace que este suelo sea apto para cultivos exigentes en nutrientes.

El contenido de metales pesados los suelos tienen diferentes concentraciones, para un análisis correcto se deberán tener en cuenta los análisis de suelos donde no hubo alteración o actividades antrópicas, los valores de la presencia de plomo y cadmio son los que presentan mayor problema ya que pueden ser asimilables por las plantas, ingresando de esta manera a la red alimentaria, acumulándose en el consumidor final -el hombre- con consecuencias nocivas para la salud humana

La cantidad de fósforo es alta debido a que el corte fue tratado con nutrientes, sin embargo el nitrógeno es bajo para la siembra de plantas, para superar este problema se deberá añadir Nitrato el Amonio para dar al suelo mayor poder de fertilización, no es recomendable el uso de urea como fertilizante en zonas tropicales donde las temperaturas son muy elevadas, podría causar que la urea se evapore.

Se recomienda el uso de estos suelos para cultivos de especies maderables o frutales nativos, la determinación de especies a usar deberá considerar otros parámetros como son la topografía del terreno, drenaje, permeabilidad, densidad del suelo, estructura y profundidad efectiva de las raíces y otros parámetros que deben ser analizados "in situ".

5. PROCESO DE BIORREMEDIACION

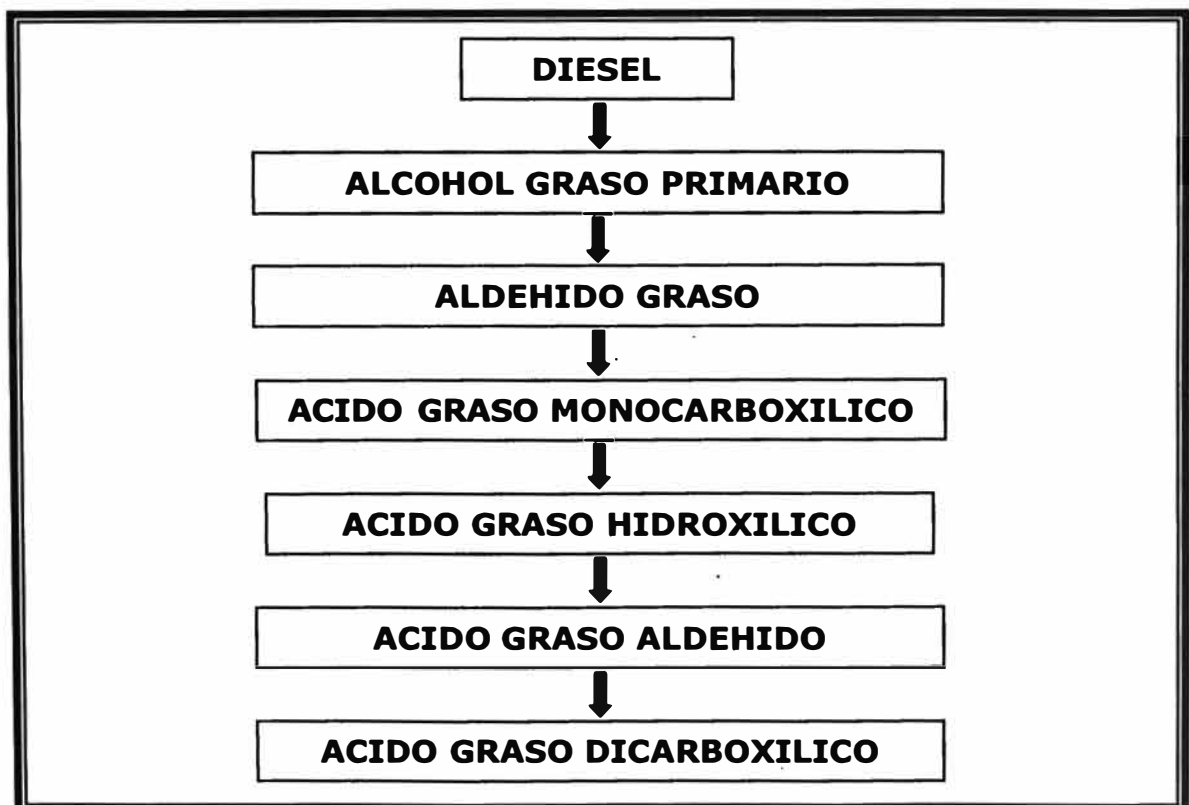
Para el desarrollo de la biorremediación, se encuentran involucrados una serie de factores, entre ellos tenemos:

- Relación Aceite/Agua en los Cortes Base Aceite
- Construcción recomendada de la Celda de Biorremediación.
- Selección de la Tierra nativa
- Aditivos químicos a usarse

5.1. CORTES BASE ACEITE

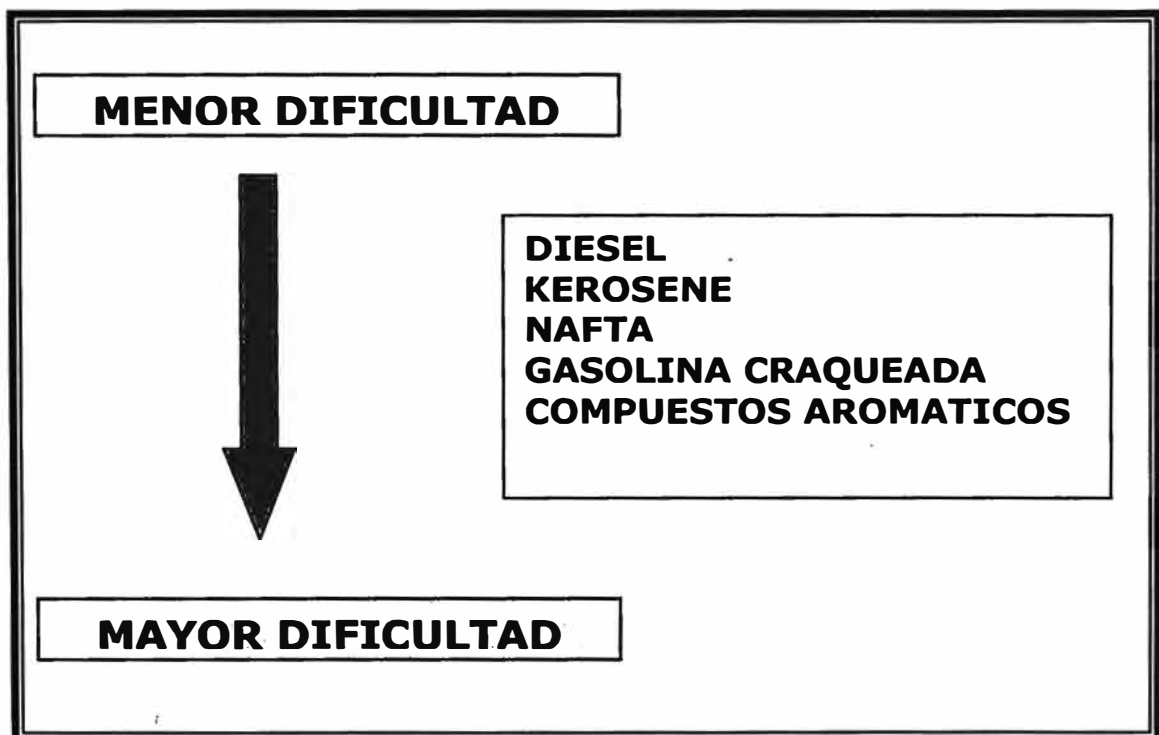
Sólidos generados producto de la perforación con lodos base aceite. Los cortes de las perforaciones con lodos base aceite, se constituyen básicamente por sólidos, aceite diesel y agua, mas los aditivos propios de los lodos empleados para emulsificar y dar peso al lodo, básicamente la oxidación se presenta de la siguientes forma

Figura 5.



Es por esta mayor facilidad de oxidación que el aceite diesel empleado como fase continua en los lodos de perforación base aceite, se clasifica como uno de los hidrocarburos más fáciles para la degradación natural. La experiencia ha demostrado que el orden de facilidad de degradación de los hidrocarburos en primer lugar se encuentra el aceite diesel.

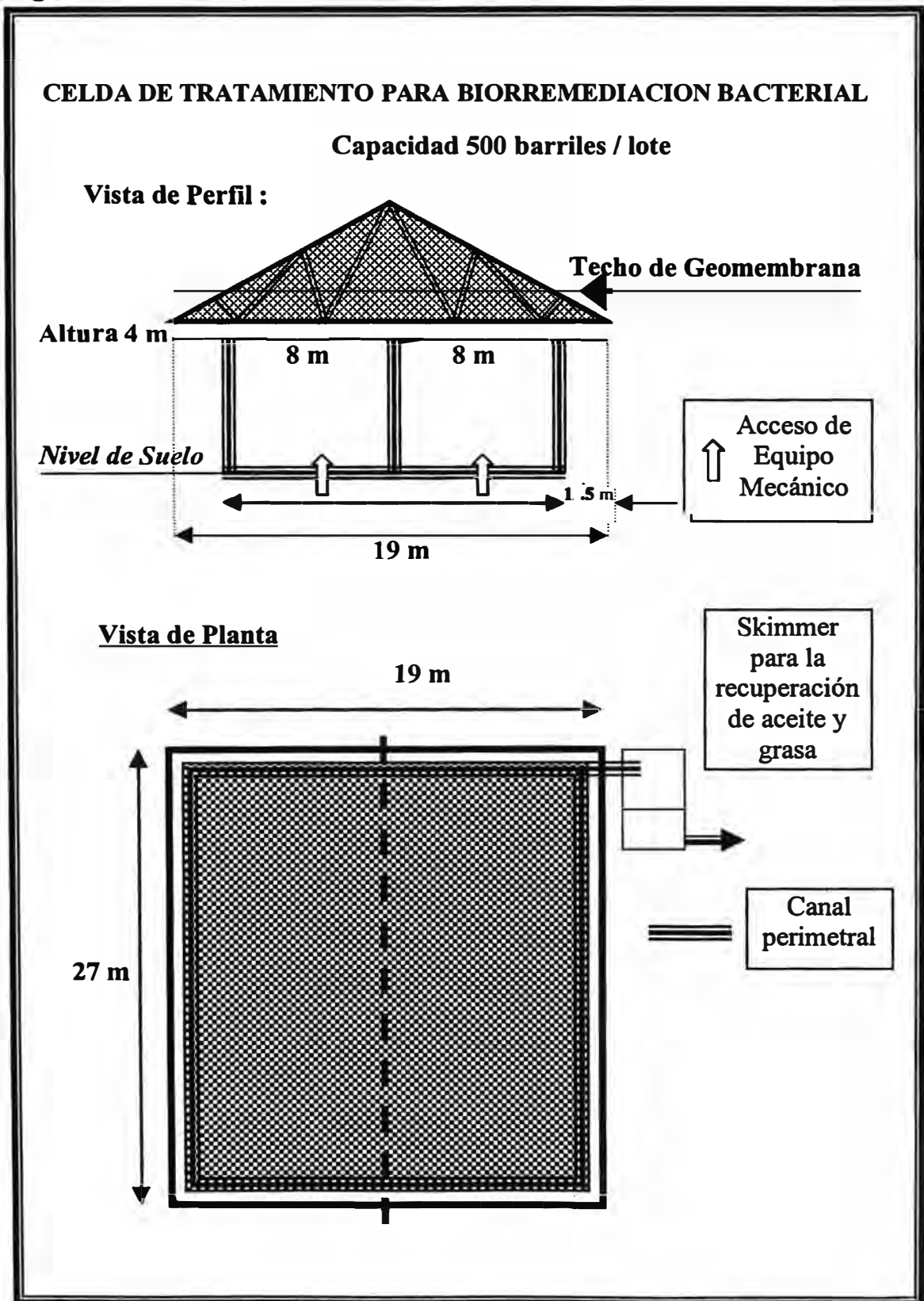
Figura 6.



5.2.CELDA

Es aquella donde se realiza el proceso , pueden ser de geometría regular con sistemas de drenaje adecuados, debe tratar también los cortes en plena perforación y acelerar el proceso de biorremediación. En zonas tropicales deberá ser herméticamente cerrada para impedir el ingreso de agua de lluvia.

Figura 7.



5.3. TIERRA NATIVA

Es aquella que se utiliza para el mezclado con el corte base aceite, presentan ciertas características, como coloración, textura y es la portadora de las bacterias que degradaran al hidrocarburo presente en los cortes. La tierra nativa a utilizar debe ser sometida a un análisis fisicoquímico, análisis de suelos así como el respectivo análisis bacteriológico para asegurar que tiene las principales características y ver si efectivamente la bacteria oleofílica se encuentra presente en concentraciones adecuadas para permitir su desarrollo y fortalecimiento con el objetivo de degradar el hidrocarburo. En el supuesto que la bacteria no se encuentre en la tierra nativa escogida se tendrá la posibilidad de cultivarla si fuese necesario.

5.4. ADITIVOS

Son aquellos con características definidas que sirven para acelerar y mejorar el proceso de biorremediación, estos son nutrientes, emulsificantes, y rompedores de arcillas, también tenemos aditivos que se agregan al final a los cortes ya tratados con la finalidad única y exclusiva de abonar la tierra.

5.5. PROCESO DE BIORREMEDIACION

Para dar inicio al proceso de biorremediación tenemos que seguir las siguientes pautas:

De acuerdo al volumen de cortes en barriles y las dimensiones de la celda de tratamiento los cortes se disponen por cantidades constantes (lotes).

Disposición de tierra nativa para el inicio del mezclado con los cortes base aceite, la relación de mezclado será de 1:1 , por ejemplo a 350 bbls de corte corresponden 350 bbls de tierra nativa.

Se toma un kilo de muestra al inicio ($t = 0$) para determinar pH, TPH y humedad, para ver como se inicia el tratamiento, se procede si es necesario a estabilizar el pH con la cantidad correspondiente de Ácido fosfórico, los cortes base aceite por lo general presentan elevada alcalinidad.

Se adiciona un emulsificante para facilitar el contacto entre las moléculas de los hidrocarburos y el agua permitiendo una mayor área superficial donde se localizaran las bacterias, esto además mejora la aereación del desecho.

Se dosifica la mezcla con un rompedor de arcillas, que puede ser usado en el área de acuerdo con el material empleado para dilución.

Finamente se adiciona un nutriente que es una mezcla de naturaleza orgánica que actúa como un acelerador del proceso de reproducción de las bacterias.

5.6. ADITIVOS QUIMICOS USADOS EN BIORREMEDIACION

5.6.1. EMULSIFICANTE

La emulsión se puede definir como líquidos integrados por dos sustancias no miscibles, una de las cuales se halla dispersa en otra en forma de gotas pequeñas, su función principal es facilitar el contacto entre las moléculas del hidrocarburo y el agua permitiendo una mayor área superficial. Para el proceso se utiliza el S1540 este producto no contiene componentes peligrosos de acuerdo con las definiciones actuales OSHA. Entre sus propiedades fisicoquímicas podemos mencionar:

Punto de ebullición: 212° F

Gravedad Especifica (Agua = 1) : 1.07

Solubilidad completa en el agua

Apariencia y color amarillo

Olor suave.

5.6.2 ROMPEDOR DE ARCILLAS

Cuando el suelo contenga una concentración alta de arcillas mayor a 45% se utilizará un rompedor de arcillas SP-7014, este se utiliza en el área de tratamiento con el material de dilución empleado con el objeto de mejorar su permeabilidad y su absorción sobre los líquidos, este es un surfactante que le da a las arcillas una textura arenosa mejorando las propiedades físicas de los suelos a usarse como dilución, este producto no contiene componentes peligrosos de acuerdo con las definiciones actuales OSHA. Entre sus propiedades fisicoquímicas podemos mencionar:

Punto de ebullición : 212°F

Gravedad Específica (Agua=1): 1.129

Solubilidad completa en el agua

Apariencia líquido claro

No tiene olor específico.

5.6.3. NUTRIENTES

Los microorganismos requieren cierta cantidad de materiales para su desarrollo, los cuales no deben exceder ciertos límites ya que el ambiente puede llegar a ser tóxico para las poblaciones microbiales existentes. Aunque los suelos y el medio frecuentemente contienen muchos de estos materiales requeridos para el crecimiento de las bacterias, estos pueden no presentarse en cantidades suficientes, por esta razón se deben agregar nutrientes adicionales. Los principales nutrientes inorgánicos necesarios para los procesos de biodegradación son el Nitrógeno y el Fósforo. El Nitrógeno es necesario para la síntesis de proteínas y componentes de la pared celular. El Fósforo es necesario para los ácidos nucleicos y membranas celulares, sin embargo estos compuestos son limitados en los suelos naturales. La forma inorgánica del nitrógeno en el suelo incluye, Amonio, Nitrato, Oxido nitroso y Oxido nítrico. La forma orgánica del nitrógeno se presenta como

ácidos de amonio libre, azúcares de amonio y otros complejos. En general la forma preferida del Nitrógeno para el crecimiento de los microorganismos del suelo es la forma reducida, amonio (iones de amonio). Estudios en laboratorio han indicado que el amonio es preferencialmente usado con respecto a otras formas en que el nitrógeno puede presentarse, cuando se presenta en otras forma el nitrógeno generalmente se transforma en amonio antes de ser asimilado por los microorganismos. En cuando al fósforo, éste es frecuentemente limitado debido a su baja solubilidad y por ende baja biodisponibilidad. El fósforo orgánico del suelo, se encuentra generalmente en el humus, mientras la fracción inorgánica se encuentra en numerosas combinaciones con Fe, Al, Ca, F, y otros elementos. Los componentes inorgánicos son en general levemente solubles en agua. El fósforo también puede reaccionar con las arcillas para formar complejos arcillosos insolubles. Las formas más comunes en que se encuentra el fósforo en el suelo son H_2PO_4 y HPO_4 . Menores concentraciones de fósforo orgánico pueden encontrarse en solución en el suelo. En un suelo ácido el fosfato se precipita como fosfato de aluminio, mientras en suelos neutros y alcalinos se precipita como fosfato de calcio. En la mayoría de los suelos, el fósforo es soluble en rangos de pH de 5.5 a 7. Muchas veces el suelo nativo no es lo suficientemente rico en compuesto nitrogenados y fosforosos por lo que se tiene que reacondicionar y adicionar nitrógeno y fósforo además de sales inorgánicas. Para el proceso de biorremediación se utilizará el nutriente cuyo nombre comercial es SP-7010 que contiene minerales y compuestos orgánicos, no contiene componentes peligrosos de acuerdo a las definiciones actuales OSHA. Entre sus propiedades fisicoquímicas podemos mencionar:

Punto de Ebullición 212°F

Presión de Vapor igual a la del agua

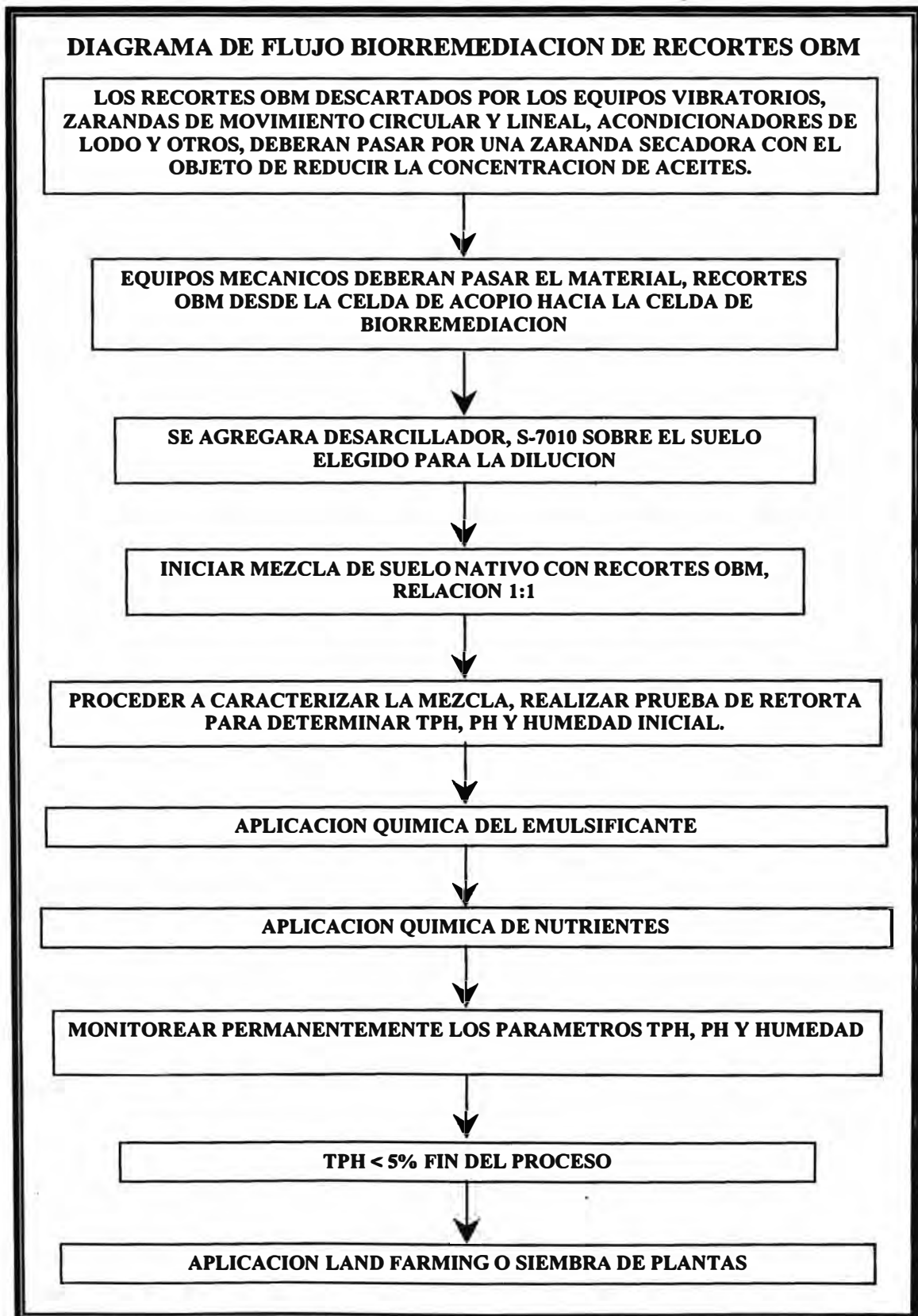
Densidad de vapor (Aire=1) igual a la del agua

Gravedad Específica (agua=1): 1.06

Soluble en cualquier concentración con pH 7 o ligeramente mayor

Apariencia líquido negro con algún olor y viscosidad media.

Figura 8



6. PARAMETROS DE BIORREMEDIACION

Para obtener óptimos resultados debemos mantener control sobre ciertos parámetros que se deben monitorear a medida que el proceso avanza, estos son:

6.1. pH

El desarrollo bacteriano depende plenamente del pH del medio en el cual van a crecer las bacterias. Para los residuos de lodos de perforación es normal encontrar valores por encima de 9.5 , se debe tener en cuenta este factor antes de iniciar el trabajo, el rango ideal de pH es entre 6 a 8 unidades, para las pruebas de laboratorio se medirá el pH a 20°C.

6.2. 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. Un medio excesivamente húmedo destruirá las bacterias aeróbicas que necesitan oxígeno para vivir y esto promoverá la aparición de organismos anaerobios. El nivel ideal de humedad está alrededor del 35%, se deben evitar valores por debajo del 15% o por encima del 45%.

6.3. HIDROCARBURO TOTAL DE PETROLEO (TPH):

El volumen de hidrocarburos iniciales 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

porque afecta el proceso de biodegradación bacteriano, así como otros procesos laterales que contribuyen a la descontaminación. Entre estos 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. El TPH se da en porcentaje y este debe alcanzar un valor menor del 5% en peso para su disposición final.

Un factor primordial para obtener un proceso de biorremediación exitoso es la AERACIÓN, durante todo el tiempo que dure el proceso, la disponibilidad del oxígeno es fundamental para optimizar el trabajo.

7. DOSIFICACION DE PRODUCTOS

Normalmente la dosificación es secuencial de acuerdo al mezclado entre los cortes y la tierra nativa, a continuación se describe la dosificación regular de un Lote en un tratamiento.

12 galones de SP7010 en 1000 bbls de corte base aceite

25 galones de S1540 en 1000 bbls de corte base aceite

17 galones de SP7014 en 1000 bbls de cortes base aceite

7.1 EJEMPLO DE DOSIFICACION DE UN LOTE TRATADO EN EL YACIMIENTO PAVAYACU

Para 350 barriles de corte mezclado con 350 barriles de tierra nativa, se procede a oxigenar (aerear) la mezcla como mínimo 24 horas para un mezclado efectivo, luego se añaden 8.75 galones de emulsificante S1540, acto seguido se añadirán 6 galones de desarcillador SP7014 y se espera 8 horas para agregar el nutriente SP-7010, todo esto se realiza con la oxigenación constante, luego de 24 horas se toma la segunda muestra en diferentes puntos de la celda, para esto la celda se subdivide en 8 pequeñas áreas iguales, estas áreas vienen hacer los puntos donde se toman las muestras, aproximadamente 125 gramos por punto para su respectivo análisis de retorta y el calculo de los parámetros a monitorear.

Debemos mencionar por ejemplo que los costos para el tratamiento de los cortes OBM de un Lote de 400 barriles de lodo tratados por biorremediación puede bordear los US\$ 50000, en el pasado la disposición de los desechos no estaba orientada hacia la preservación del medio ambiente, pero una mirada en retrospectiva nos indica que se incurrirán en costos mucho mayores cuando se deban realizar las tareas de rescate de las zonas que no fueron tratadas adecuadamente en su momento.

Cuadro 21. Tabla de Consumo y Rendimiento de Quimicos por Lote Tratado Pozo 1102D Pavayacu.

LOTE	BARRILES	DIAS	SP7014	SP7014 (barriles/gal)	SP7010	SP-7010 (barriles/gal)	S1540	S1540 (barriles/gal)
1	302	44	2	151	12	25.17	3	100.67
2	302	19	2	151	21	14.38	22	13.73
3	380	46	0	N/A	9	42.22	0	N/A
4	300	44	0	N/A	7	42.86	0	N/A
5	328	20	19	17.26	8	41	16	20.5
6	320	11	4	80	8	40	16	20
7	370	19	0	N/A	9	41.11	13	28.46
8	358	14	0	N/A	8	44.75	0	N/A
9	360	18	0	N/A	8	45	18	20
10	560	11	0	N/A	14	40	28	20
11	560	16	0	N/A	17	32.94	9	62.22
12	560	7	0	N/A	16	35	0	N/A
13	300	4	0	N/A	8	37.5	0	N/A
TOTAL	5000	273	27	399.26	145	481.93	125	285.58

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En base a estadísticas realizadas sobre la metodología de tratamiento de recortes OBM por el método de biorremediación se puede concluir que los cortes base aceite producen un impacto ambiental mínimo si estos son manejados adecuadamente, es decir si se establecen límites bien definidos dependiendo del área de trabajo, considerando factores geológicos del suelo y subsuelo, así como las condiciones meteorológicas, sensibilidad del área y uso de la tierra donde finalmente se disponen los cortes tratados.
- Antes de desarrollar un proceso de biorremediación se deberá realizar un análisis de suelo nativo para conocer las propiedades fisicoquímicas de los suelos, así como un análisis de conteo *bacteriológico*.
- En la selva alta se tiene niveles de fertilidad medios debido a que estos presentan mucha erosión y son bajos en nitrógeno y fósforo.
- La presencia de sodio y aluminio es muy perjudicial para los suelos, debido a que estos ocupan espacios en las arcillas, desplazando a otros elementos necesarios, además del hecho de que las plantas no los asimilan fácilmente.
- En la selva baja los niveles de fertilidad de los suelos son muy bajos debido a la baja disponibilidad de nutrientes, acidez, toxicidad de aluminio y mal drenaje.
- Los cortes de perforación base aceite generados por la perforación deben ser continuamente analizados. Hay parámetros que producen grandes daños al ambiente, por ejemplo los cortes de perforación con altos índices de alcalinidad pueden llegar a quemar la vegetación.

- En zonas tropicales donde llueve intensamente es necesario controlar la humedad, para esto se debe acondicionar celdas herméticas que cuenten con un buen sistema de drenaje que no permita posibles inundaciones al tratamiento creando ambientes anaerobios que impidan que la bacterias no puedan desarrollarse y degradar los hidrocarburos.
- Debido a la acidez característica de los suelos del área y a la salinidad de los lodos de perforación empleados, los valores del pH se pueden controlar, debido a la mezcla 1:1 de éstos dos componentes que originan neutralidad de los suelos. Sin embargo es aconsejable la utilización de agentes estabilizadores de pH con el fin de garantizar que dichos valores se aproximen a la neutralidad.
- La biorremediación de cortes base aceite consiste básicamente en la optimización de las condiciones de una cierta área para la aceleración de un proceso completamente natural . Este es un proceso completamente ecológico.
- Al final del tratamiento no queda ningún rastro de productos nocivos, mientras que la población bacteriana disminuye naturalmente a medida que desaparece el hidrocarburo.
- Constituye una muy buena solución para el problema de contaminación, ya que reduce al mínimo los contaminantes y desaparece cualquier riesgo futuro de tratamientos adicionales por fallas en la estabilidad de los tratamientos de solidificación.
- Se tiene que dosificar nutrientes para tener una buena disponibilidad de nitrógeno y fósforo para acelerar la acción de biodegradación los cortes de perforación en los procesos de biorremediación.

BIBLIOGRAFIA

1. US EPA, Understanding Bioremediation, EPA/540/2-91/002, February 1991.

2. US EPA, Bioremediation: Innovative Pollution and Treatment Technology, EPA/640/K-93/002, November 1993.

3. Baker, Katherine H. and Herson, Diane S., Bioremediation, McGraw-Hill 1994.

4. <http://clu-in.com/remed1.cfm>

5. <http://www.epa.state.oh.us/pic/facts/bioremed.html>

6. http://www.pdvsa.com/intevp/vision_tecnologica/especial/VT144.pdf

ANEXOS

Principales microorganismos degradadores de Petróleo

Todos los ecosistemas contienen algún tipo de microorganismo degradador de Petróleo.

Bacterias

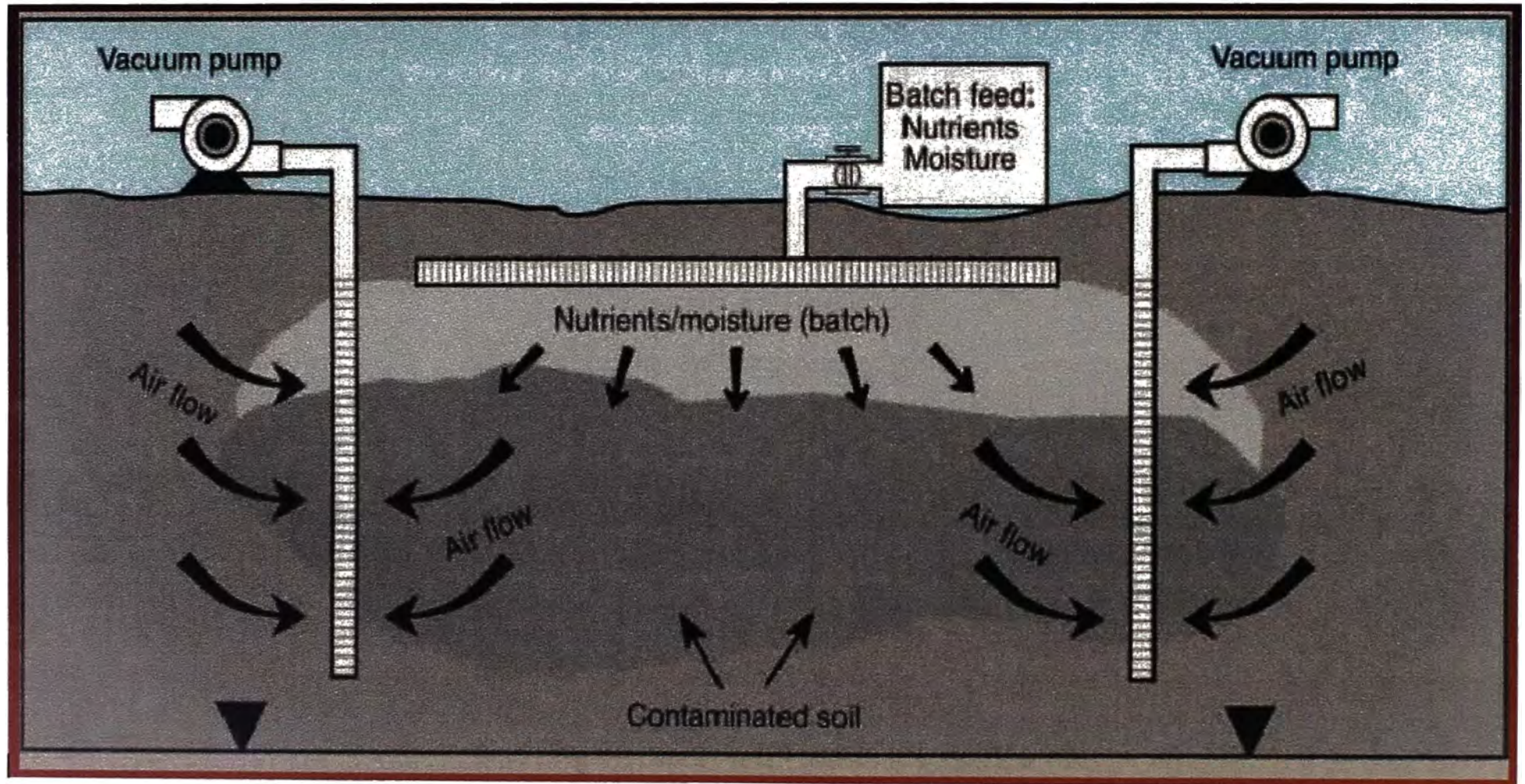
Achromobacter	Acinetobacter
Actinomyces	Aeromonas
Alcaligenes	Arthrobacter
Bacillus	Beneckea
Brevebacterium	Coryneforms
Erwinia	Flavobacterium
Klebsiella	Lactobacillus
Leumthrix	Moraxella
Nocardia	Peptococcus
Pseudomonas	Sarcina
Spherotilus	Spirillum
Streptomyces	Vibrio
Xanthomyces	

Hongos

Allescheria	Aspergillus
Aureobasidium	Botrytis
Candida	Cephalosporium
Cladosporium	Cunninghamella
Debaromyces	Fusarium
Gonytrichum	Hansenula
Helminthosporium	Mucor
Oidiodendrum	Paecylomyces
Phialophora	Penicillium
Rhodosporidium	Rhodotorula
Saccharomyces	Saccharomycopsis
Scopulariopsis	Sporobolomyces
Torulopsis	Trichoderma
Trichosporon	

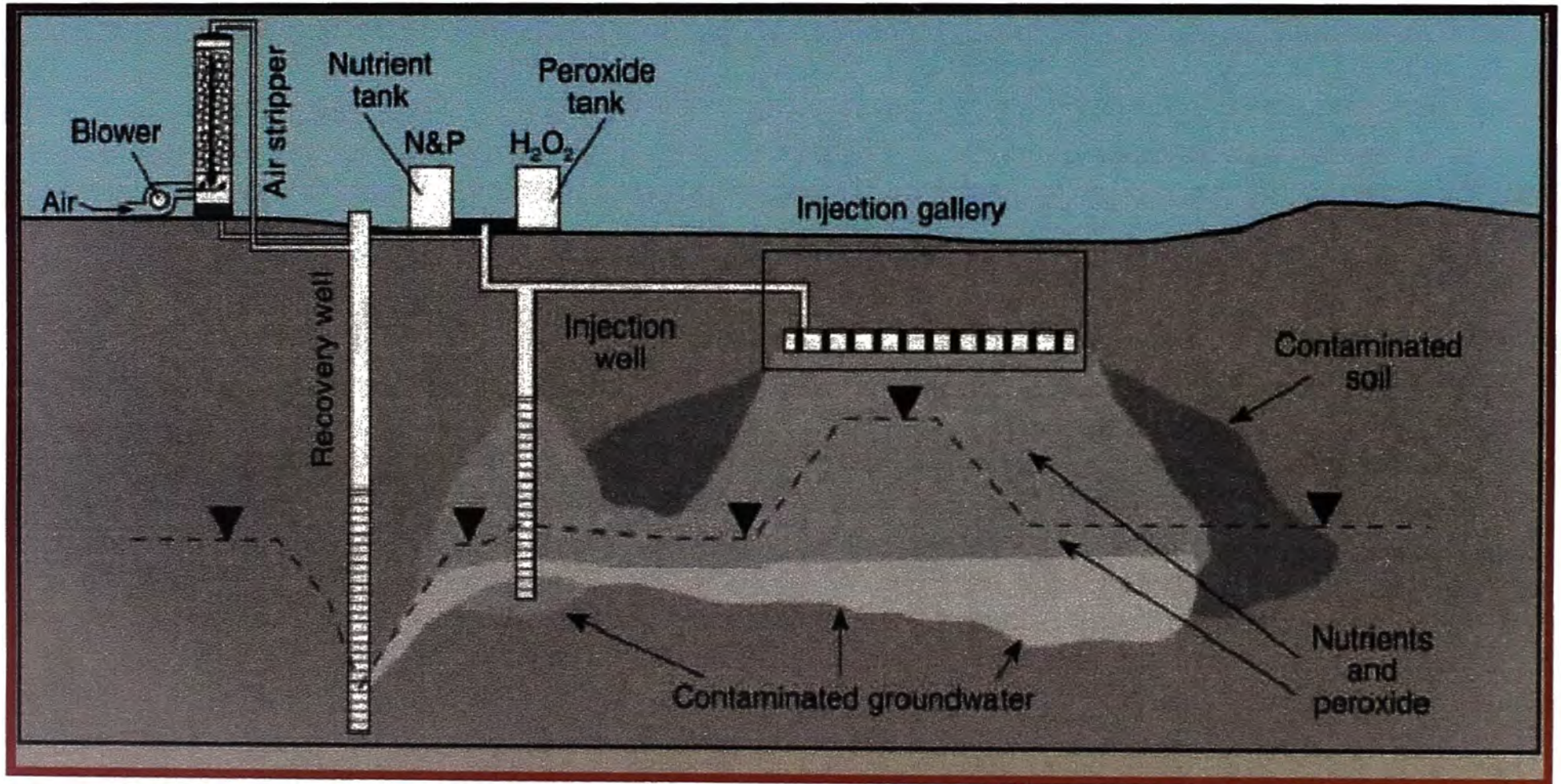
INGENIERIA DE BIORREMEDIACION

Ingeniería de Biorremediación de la Zona no saturada (ventilación biológica)



INGENIERIA DE BIORREMEDIACION

Ingeniería de Biorremediación de la Zona no saturada y la Zona Saturada



INGENIERIA DE BIORREMEDIACION

Ingeniería de Biorremediación de la Zona no saturada y la Zona Saturada (Bioinyección)

