

92
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

RESTAURACION DE SUELO CONTAMINADO CON COMBUSTOLEO

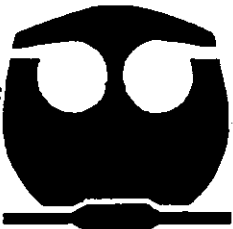
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A :

MARIA AMPARO VARGAS ALVAREZ



MEXICO, D. F.

1999.

271952

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

IMAGINACIÓN

DISCONTINUA

Jurado Asignado:

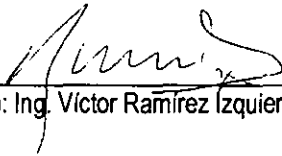
Presidente Prof. Liliana Saldivar Osorio.
Vocal Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
Secretario Prof. Rodolfo Pastelín Palacios
1^{er} Suplente Prof. Rodolfo Torres Barrera
2^{do} Suplente Prof. Luciano Hernández Gomez.

Sitio donde se desarrollo el tema:

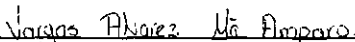
Ecológica Profesional de México S.A. de C.V.
Facultad de Química (UNAM)



Asesor: Rodolfo Pastelín Palacios



Supervisor Técnico: Ing. Víctor Ramírez Izquierdo.



Sustentante: María Amparo Vargas Alvarez.

INDICE

| CAPÍTULO | CONTENIDO | PÁGINA |
|----------|--|--------|
| I | INTRODUCCION..... | 8 |
| | OBJETIVOS..... | 10 |
| II | ANTECEDENTES..... | 11 |
| | II.1 Suelo contaminado con combustóleo | |
| | II.2 Descripción del contaminante | |
| | II.3 Aspectos legales | |
| III | TECNOLOGIA DE RESTAURACION..... | 20 |
| | III.1 Tecnologías de restauración existentes | |
| | III.2 Selección de la Tecnología | |
| | III.3 Criterio de Limpieza | |
| IV | BIOREMEDIACION IN SITU..... | 29 |
| | IV.1 Fundamentos | |
| | IV.2 Descripción de la Tecnología | |
| | IV.3 Ejemplos de sitio restaurados mediante Bioremediación | |
| | IV.4 Especies capaces de degradar hidrocarburos. | |
| | IV.5 Especie utilizada en la degradación del combustóleo | |

| CAPÍTULO | CONTENIDO | PÁGINA |
|----------|---|--------|
| V | EVALUACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES..... | 49 |
| | V.1 Consideraciones generales | |
| | V.2 Componentes de la evaluación | |
| | V.3 Descripción del medio | |
| | V.4 Identificación de impactos ambientales | |
| | V.5 Recursos alterados | |
| VI | RESTAURACION AMBIENTAL..... | 68 |
| | VI.1 Remoción de suelos contaminados | |
| | VI.2 Preparación del sitio | |
| | VI.3 Tratamiento físico | |
| | VI.4 Bioremediación | |
| | VI.5 Monitoreos | |
| | VI.6 Recursos empleados | |
| | VI.7 Resultados | |
| VII | CONCLUSIONES..... | 88 |
| VIII | BIBLIOGRAFIA..... | 89 |
| | APENDICE A | 92 |
| | ♦ Programa calendarizado de actividades | 92 |
| | ♦ Método 418.1 de la EPA para determinación de Hidrocarburos totales de petróleo. | 96 |

Agradecimientos

A Dios

Por darme la oportunidad de vivir.

A mis Padres

Por su comprensión y apoyo

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por lo que de ella he recibido.

Agradecimientos

A mis profesores

Especialmete a:
Ing. José Antonio Ortiz
Dra Lilitana Saldívar
Prof. Rodolfo Pastelín

A Todos mis Amigos

Por que juntos hemos
construido sueños, que
se hacen realidad. Por
todos los momentos
que compartimos juntos
Sinceramente:

Gracias

A Ecopromex

Ing. Víctor Ramírez I.
Ing. Magdalena Cruz C.
Por haberme brindado
una oportunidad

Lic. Alejandra Manriquez

Por el apoyo que me
brindó, pero sobre todo
por creer en mi.

Por haber estado siempre a mi lado,
por compartir conmigo cada momento,
pero sobre todo, por que los amo.
Dedico este trabajo con mucho cariño
a mis hermanos:

Leonardo
Adriana
y
Guadalupe

I
N
T
R
O
D
U
C
T
I
O
N

I. INTRODUCCION

De las afectaciones ambientales, la contaminación tanto del aire como del agua han sido ampliamente estudiadas e incluso normadas, pero con respecto al suelo muy poco se ha dicho, no obstante esta es una de las preocupaciones constantes de las autoridades y de la cada vez más atenta sociedad civil, ya sea que tenga por origen el vertimiento accidental o premeditado de sustancias que pueden ser peligrosas.

Las formas de transportación de sustancias más comunes en México son por ducto, carretera o ferrocarril. La industria química privada en general transporta sus productos desde las plantas en las que se producen hasta los consumidores o centros de distribución mediante tanques movidos por tracto camiones a través de la red carretera nacional.

El transporte de productos químicos, como toda actividad humana, no es cien por ciento seguro, los riesgos asociados al tráfico vehicular y los inherentes a la peligrosidad de las sustancias, se dejan ver eventualmente en accidentes que, además de las pérdidas humanas y daños materiales, afectan algún componente del medio ambiente. En este sentido cabe recordar que aún no se cuenta con disposiciones reglamentarias que normen lo referente a la contaminación del suelo, por lo que es competencia de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente desde julio de 1996 dictar las medidas de seguridad aplicables y vigilar el cumplimiento de estas.

El derrame de cualquier producto químico, produce alteraciones al equilibrio ecológico del medio ambiente y la gravedad de éstas depende de:

- Las características físico – químicas del suelo.
- Cantidad y concentración de la sustancia derramada
- Vocación del suelo en el sitio en el que tiene lugar el evento.

Dado que las sustancias derramadas son incompatibles con el medio natural generalmente inhiben o anulan el crecimiento y desarrollo de seres vivos en las áreas afectadas, es por ello que es necesario llevar a cabo la restauración de los sitios contaminados, la cual consiste en llevar a cabo una serie de actividades que permitan al suelo recuperar sus condiciones naturales o por lo menos el uso al que está destinado que tenía antes de ser contaminado.

OBJETIVOS

- Identificar las alternativas tecnológicas para la restauración de suelo contaminados con hidrocarburos.
- Comprobar que la bioremediación in situ es una alternativa eficiente para llevar a cabo la restauración de suelos contaminados con combustóleo.
- Identificar los daños ocasionados al ambiente provocados por el derrame de combustóleo.

A
N
T
H
R
O
P
O
L
O
G
Y

II. ANTECEDENTES

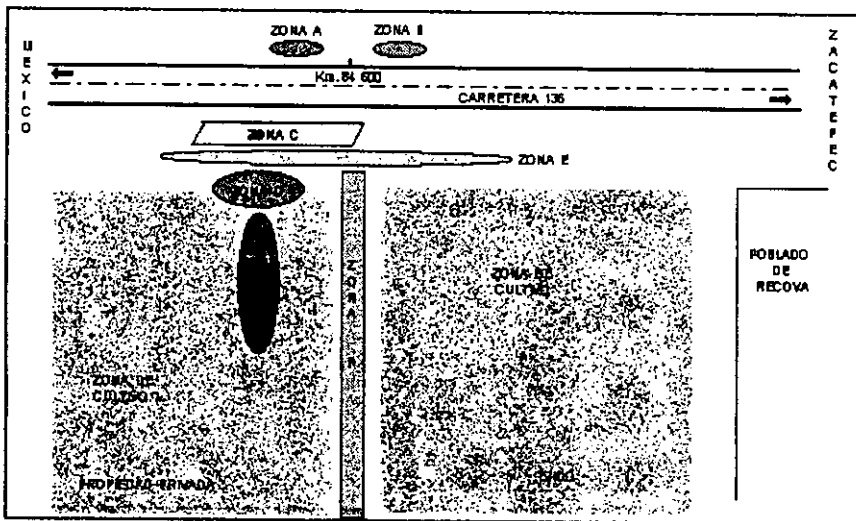
II.1. SUELO CONTAMINADO CON COMBUSTÓLEO.

El caso que nos ocupa es un suelo contaminado a causa del derrame de Combustóleo sobre el cual se llevó a cabo la restauración del sitio haciendo uso de la Bioremediación *in situ* como técnica de restauración, el derrame ocurrió sobre la carretera México-Zacatepec a la altura del Kilómetro 84+600 cerca del poblado de Recova, perteneciente al municipio de Hueyotlipan, en el estado de Tlaxcala.

En el accidente que provocó el derrame estuvieron involucrados tres vehículos, Transitaba el vehículo 1 de poniente a oriente en dirección a la ciudad de Apizaco – Tlaxcala. Sobre la carretera México - Zacatepec existe una señal restrictiva de velocidad máxima 50 km./hr. El vehículo se desplazaba a una mayor velocidad de la permitida para ese tramo, lo cual originó que perdiera el control de la dirección chocando por alcance con su parte frontal contra la parte posterior del vehículo 2 que le antecedió en la marcha y lo proyectó, lo que provocó que éste chocara con su parte frontal contra la parte posterior del vehículo 3, el cual disminuía la velocidad por el tope que se encuentra próximo al poblado de Recova, quedando finalmente los vehículos en el lugar del impacto paralelos al eje de la vía. El derrame se originó por el impacto que se produjo entre los vehículos, lo cual provocó la ruptura en la válvula del tanque, permitiendo así la fuga de 38,000 litros de combustóleo, afectando un área de 449m².

El derrame de combustóleo generó en primera instancia la contaminación del lado izquierdo de la carretera, zonas A y B, (tomando como referencia la dirección a Zacatepec), posteriormente, hacia el lado derecho el combustóleo se deslizó sobre la pendiente considerada como la zona C, la cual charco, permitió que el fluido llegara a las zonas D, E y F. El combustóleo se acumuló la zona D formando un afectando a su vez a un Canal de desahogo de aguas pluviales el cual divide predios de propiedad privada con predios ejidatarios (zona F) y por último la zona E, que considera aquellas áreas en las que el combustóleo llegó a una menor profundidad, contaminando una brecha paralela a la carretera que sirve para el acceso de carros, además existe un área paralela al canal, que se encuentra en un predio que es por completo propiedad privada, en dicho sitio (zona G), el combustóleo atravesó la paja superficial para penetrar finalmente en el suelo.

Croquis de Areas Afectadas

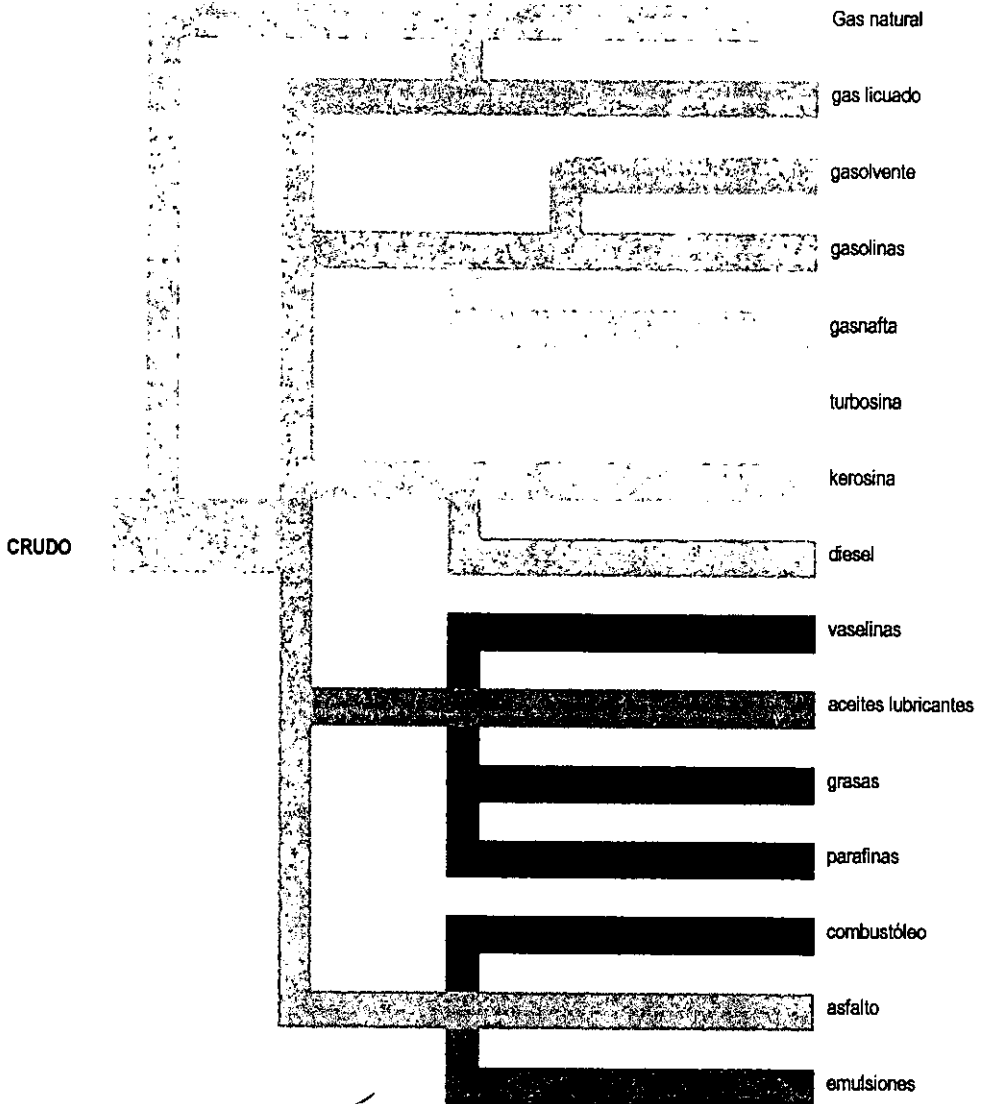


II.2. DESCRIPCIÓN DEL CONTAMINANTE.

El combustóleo es una sustancia que proviene de los residuos de la destilación del petróleo crudo, es utilizado como combustible industrial, su separación en columnas de destilación es posible debido a la diferencia de volatilidades existentes entre los diferentes hidrocarburos que integran el petróleo, obteniendo por domos los más ligeros, entre ellos gas licuado, gas solvente, gasolina, entre otros y por fondos los de mayor peso molecular, éste es el caso del combustóleo, observando su posición en el siguiente cuadro, después de él los más pesados son los asfaltos.①

El combustóleo es una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular arriba de 300, es un líquido de color negro, a temperatura ambiente presenta alta viscosidad y gravedad específica menor a la del agua.

ARBOL DE PRODUCTOS BASICOS DEL PETROLEO. ①



II.3. ASPECTOS LEGALES

El manejo y transporte de sustancias puede ocasionar accidentes que dan como resultado la contaminación de recursos naturales como el suelo, el aire y el agua.

La responsabilidad de llevar a cabo las actividades de restauración contaminados por materiales o residuos peligrosos resultado de fugas o derrames, de acuerdo con la legislación vigente en la materia, corresponde al que ocasionó dicha acción.

La restauración de sitios contaminados tiene sus bases legales dentro de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, dentro de sus artículos que hacen mención al tema están los siguientes:

II.3.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Art. 1 La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

- Fracción III La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente*
- Fracción V El aprovechamiento sustentable, la preservación y en su caso, la restauración del suelo, agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas* ☺
- Art. 3 Para los efectos de esta Ley se entiende por:*
- Fracción XXXIII Restauración: Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.* ☺
- Artículo 98 Para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo se considerarán los siguientes criterios:*
- Fracción VI La realización de las obras públicas o privadas que por sí mismas puedan provocar deterioro severo de los suelos, deben incluir acciones equivalentes de regeneración, recuperación y restablecimiento de su vocación natural.* ☺
- Art. 134 Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:*

Fracción V *En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista para el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable. ☉*

Art. 152 Bis *Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva. ☉*

II.3.2. CRITERIOS

En nuestro país es competencia de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente el dictar las medidas aplicables en casos en los que se ven alterados recursos naturales como recursos pesqueros y marinos, recursos forestales, flora y fauna silvestre y áreas naturales protegidas así como la normatividad aplicable al uso y aprovechamiento de la zona federal marítimo terrestre. Asimismo, se le confieren atribuciones para verificar el ordenamiento ecológico y el impacto ambiental, así como para la Atención de Contingencias Ambientales que afectan los recursos naturales. ③

Recientemente publicaron en la revista ambiental Teorema los criterios interinos para restauración de suelos contaminados con gasolina, diesel y aceites pesados propuestos por el grupo de trabajo de la PROFEPA integrado por el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) mediante la Facultad de Química, el instituto de ingeniería y el Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), la Universidad Autónoma metropolitana y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), las concentraciones propuestas como criterio de limpieza están dadas en mg/kg. de Hidrocarburos Totales de Petróleo y son las siguientes

CRITERIO DE LIMPIEZA ③

| COMPUESTO | SUELO 1 | SUELO 2 | SUELO 3 |
|-----------|---------|---------|---------|
| GASOLINA | 200 | 200 | 500 |
| DIESEL | 1000 | 1000 | 2000 |
| ACEITES | 1000 | 1000 | 2000 |

DONDE:

- SUELO 1. CORRESPONDE AL DE USO FORESTAL O DESTINADO A LA AGRICULTURA
- SUELO 2. DE USO COMERCIAL O RESIDENCIAL
- SUELO 3. DE USO INDUSTRIAL

Hasta el momento en lo que se refiere a suelos no existe ninguna norma que determine las concentraciones máximas permisibles de hidrocarburos, es por ello que fue necesario buscar referencias, en este caso consultamos el documento llamado Cleanup Criteria for Contaminated Soil and Groundwater DS.64 ("Criterios de limpieza para suelos y aguas subterráneas contaminadas") elaborados por la Comisión Ambiental del ASTM, en los Estados Unidos de Norteamérica, este documento tiene para cada estado un listado de la concentración considerada como criterio de limpieza para diferentes sustancias. ④

Como el combustóleo es un derivado del petróleo, en la siguiente tabla se mencionan dos ejemplos encontrados en el documento anteriormente mencionado para hidrocarburos totales de petróleo.

CRITERIOS DE LIMPIEZA.

| ESTADO | TPH (PPM) | OBSERVACIONES |
|---------------|-----------|--|
| Massachusetts | 500 | Para suelo S-1 que corresponde a suelos accesibles que se usan o pueden ser usados para crecimiento de frutas o vegetales para consumo humano. ④ |
| Delaware | 1000 | Para suelos contaminados con petróleo, los niveles de limpieza generalmente son menores o iguales a 1000 ppm., medidos en TPH's (Hidrocarburos Totales de Petróleo). ④ |

III. TECNOLOGÍA DE RESTAURACIÓN

III.1. TECNOLOGÍAS DE RESTAURACIÓN EXISTENTES.

Los tratamientos para restauración de sitios contaminados *in situ*, tales como procesos biológicos, térmicos y físico químicos, se consideran como alternativas para la restauración, siempre y cuando garanticen el restablecimiento de las condiciones naturales al suelo, y aguas superficiales y subterráneas. Las alternativas tecnológicas existentes para solucionar el problema de suelos contaminados con hidrocarburos son las siguientes: ⑤

- A) Ventilación de Suelos
- B) Degradación Biológica
- C) Bombeo de aguas subterráneas
- D) Destrucción Térmica
- E) Extracción
- F) Bio-restauración
- G) Confinamiento

En la siguiente tabla se menciona la descripción breve de la técnica, así como el costo y en qué caso se utilizan. ⑤

| | BASES | Uso |
|---|--|--|
| A | Es un método de recuperación <i>in situ</i> , es decir que no necesita excavar el terreno ni llevarse a ningún lugar de tratamiento. Permite absorber los compuestos volátiles encerrados en el suelo, por ejemplo los hidrocarburos mediante bombas que aspiran el aire subterráneo que se carga de sustancias contaminantes, | Especialmente adecuado para las zonas donde hay gasolineras. |

| | BASES | Uso |
|---|---|---|
| B | <p>La forma más simple es la bioremediación mediante "Land Farming". El suelo contaminado se extiende en capas finas que permiten que entre más oxígeno. Se pueden añadir nutrientes. Este método necesita mucho espacio y es importante impedir la contaminación del subsuelo, interponiendo una membrana. Otra forma es el bio-venteo, éste consiste en un sistema de inyección-extracción utilizando ductos de distribución de oxígeno y nutrientes.</p> | <p>Es útil para suelos con contaminación por algunos compuestos clorados, compuestos orgánicos como aceites y petróleos, con hidrocarburos y plaguicidas.</p> |
| C | <p>Para el bombeo se instala una red de pozos con el fin de extraer los contaminantes solubles en agua. Esta se depura, por ejemplo, mediante aireación y filtración con carbón activado. El equipo está compuesto por un tubo de dos bombas; una de ellas se sitúa sobre la capa y aspira el agua creando una corriente que sube a la superficie hacia una segunda bomba.</p> | <p>Sirve para eliminar hidrocarburos</p> |
| D | <p>Consiste en someter el suelo contaminado a altas temperaturas para que los contaminantes se evaporen. Para ello se excava el suelo y se traslada a una Planta donde se incineran en una cámara de combustión. Después es necesario depurar los gases y limpiar el depósito de los productos sólidos residuales.</p> | <p>Válido para suelos contaminados con aceites, petróleos, disolventes clorados y no clorados y cianuros.</p> |

| | BASES | Uso |
|----------|--|---|
| E | Este método de depuración requiere que los contaminantes se trasladen a un medio líquido o de medio de extracción (disolventes orgánicos o soluciones ácidas o básicas) Primero se mezcla el suelo contaminado con el medio de extracción, luego, se separa el suelo de la solución que hayamos empleado y se depura éste después del tratamiento. | Adecuado para suelos contaminados por metales pesados, cianuros, aceites, disolventes clorados y fenoles. |
| F | Al terreno se le añaden nutrientes para activar sus procesos biológicos naturales. El procedimiento se lleva a cabo en bancales diseñados específicamente y en los que se controlan las óptimas condiciones del oxígeno, de los nutrientes, la temperatura y la humedad. Es un tratamiento muy adecuado para pequeñas cantidades de contaminantes. | Se aplica en contaminaciones con aceites pesados, queroseno y tricloroetanos. |
| G | Si el suelo está en un lugar donde no hay aguas que se puedan contaminar, se le puede hacer un buen aislamiento, cubrimiento y sellado. Su restauración sería buena aunque el uso posterior estaría limitado. | Apto para productos tóxicos que no se pueden tratar, bien porque es muy caro o porque no es urgente. |

III.2. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Para llevar a cabo la determinación de la tecnología aplicable a cada caso es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- * Características del contaminante
- * Cantidad derramada
- * Volumen de tierra contaminada
- * Escenario del sitio a restaurar.

Considerando las características del sitio contaminado y por tratarse de un hidrocarburo, del cuadro anterior se determinó aplicar la opción "B", para la cual existen dos opciones que son:

- ◇ Degradación biológica *in situ*
- ◇ Degradación biológica *ex situ*

Las ventajas de emplear una tecnología *in situ*, con respecto a una tecnología de tratamiento biológico *ex situ* son las siguientes:

| | BAJOS | ALTOS |
|---|------------------|------------------|
| Requerimientos de excavación. | ☺ <i>in situ</i> | ☹ <i>ex situ</i> |
| Emisión de partículas volátiles | ☺ <i>in situ</i> | ☹ <i>ex situ</i> |
| Desplazamiento físico del medio. | ☺ <i>in situ</i> | ☹ <i>ex situ</i> |
| Requerimientos de medios de transporte. | ☺ <i>in situ</i> | ☹ <i>ex situ</i> |
| Costos por manejo de material. | ☺ <i>in situ</i> | ☹ <i>ex situ</i> |

Del cuadro anterior se decidió llevar a cabo la restauración del sitio haciendo uso de la tecnología de degradación biológica *in situ*.

Actualmente los dos mejores sistemas *in situ* empleados para degradar los compuestos orgánicos presentes en suelos, sedimentos, lodos y aguas subterráneas son los sistemas de bio-venteo y los sistemas de bioremediación. En general el bio-venteo ha sido utilizado para tratar contaminantes en zonas no saturadas, y la bioremediación *in situ* la mayoría de las veces ha sido utilizada para tratar suelos y aguas subterráneas saturadas. ⑥

BIOREMEDIACIÓN *IN SITU*

La tradicional bioremediación *in situ* es generalmente utilizada en conjunto con el bombeo de agua subterránea en sistemas de flujo rápido para recircular los nutrientes y el oxígeno a través del acuífero contaminado y el suelo asociado. El proceso usualmente incluye la introducción de aire, nutrientes en solución en la zona contaminada a través de un sistema de inyección y recuperación en serie. En la siguiente figura (A) se muestra el esquema general de un sistema tradicional de bioremediación *in situ*. ⑥

BIOREMEDIACIÓN *IN SITU*

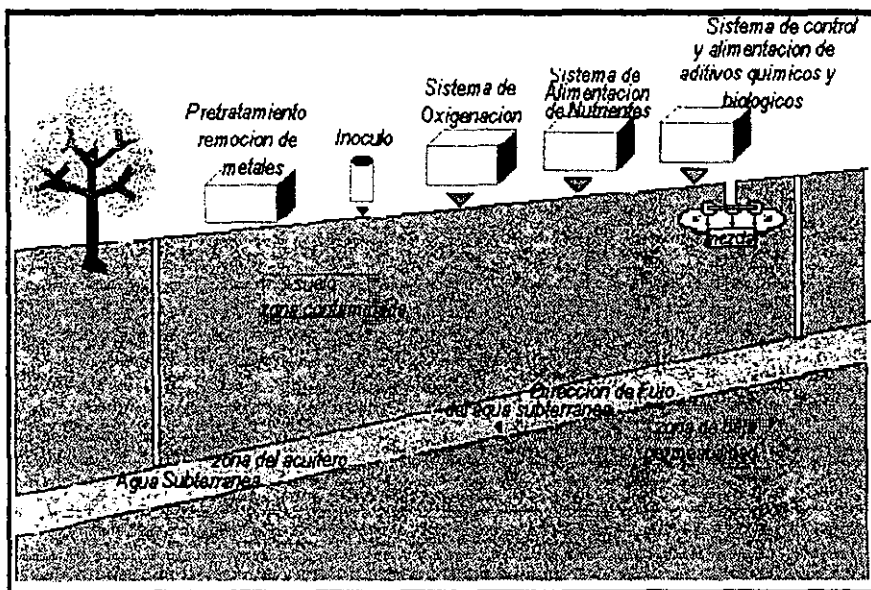


FIGURA "A"

FEDERATION OF AGRICULTURAL
RESTATANTS

En el primer paso del proceso se incluye el pre-tratamiento del agua de infiltración, para remover metales. La fuente de suministro de agua puede variar de acuerdo a los recursos que se tengan y pueden ser tanto superficiales como subterráneas

Después del pre-tratamiento se adiciona el inóculo biológico al agua de infiltración. Se puede utilizar un inóculo de especies nativas, o uno de los cultivos reportados comercialmente disponibles para degradar contaminantes específicos. Se debe tener cuidado en este punto debido a la competencia potencial que puede ocurrir entre los organismos nativos y los introducidos.

La tercera etapa en el tratamiento de bioremediación *in situ* incluye la adición de oxígeno o en su defecto sustancias capaces de proveer de oxígeno al suelo, se puede suministrar al agua de infiltración aire, ozono, peróxido de hidrógeno u otras fuentes de oxígeno.

La adición de nutrientes se emplea para proveer de nitrógeno y fósforo al medio, dos elementos esenciales para la actividad biológica de los microorganismos.

Los agentes tensoactivos pueden agregarse al sistema junto con el agua de infiltración, la finalidad de estos es incrementar la disponibilidad de moléculas del contaminante, especialmente las adsorbidas.

Durante la bioremediación *in situ* las concentraciones de los suplementos, frecuencias y puntos de aplicación pueden ser ajustadas de acuerdo a la demanda microbiana, ya que el contaminante degradado en áreas cercanas a los puntos de inyección de reactivos aumenta, mientras que en los puntos más lejanos la degradación del contaminante disminuye, es decir en aquellas áreas en las que la distribución de reactivos es más homogénea la actividad microbiana se incrementa.

Si en el sitio donde se lleva a cabo la bioremediación existen fracturas hidráulicas, pueden emplearse para incrementar la circulación de reactivos dentro del suelo, de no existir es necesario contar con un buen sistema de distribución hidráulica. ⑥

BIOVENTEO

El Bio-venteo utiliza un flujo relativamente lento en comparación con la bioremediación, la técnica se basa en la aereación de suelo para aumentar la bio-degradación de contaminantes orgánicos. A pesar de que el bio-venteo es predominantemente utilizado para tratar suelos insaturados, sus aplicaciones envuelven la remediación de suelos saturados y aguas subterráneas.

Para proveer de oxígeno al suelo generalmente se emplea la combinación de un sistema de inyección de aire con un sistema de extracción al vacío. En la siguiente figura (B) se muestra un esquema general de Bio venteo. ⑥

BIO VENTEO

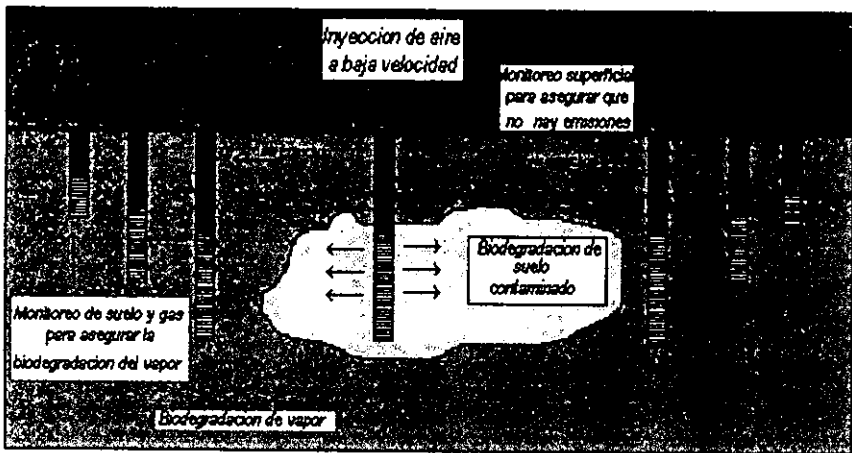


FIGURA "B"

Durante el proceso de bio-venteo se realizan monitoreos de emisiones del subsuelo, para maximizar el tiempo de retención del vapor en el suelo se inyecta aire a baja presión y se regula la velocidad de extracción, logrando así minimizar las emisiones de compuestos volátiles. ⑥

Durante todas las aplicaciones del bio-venteo es necesario emplear filtros de adsorción de carbono para garantizar el cumplimiento con los estándares de emisión y para controlar las emisiones fugitivas ⑥

Al utilizar la técnica de Bio-venteo se debe esperar una concentración más baja de gases que si se utiliza un sistema de extracción de vapor en suelo en el mismo sitio, la diferencia en concentración es atribuida al aumento de la degradación biológica en el suelo (Fig. B).

La adición de nutrientes durante el bio-venteo se emplea para incrementar la degradación, se puede incorporar al suelo por aplicación superficial o por irrigación y llegar a las capas profundas a través de canales, Sin embargo en algunos casos se ha encontrado que la aplicación de nutrientes no aportó ningún beneficio adicional.

Al incrementar la temperatura del suelo puede también aumentar la bio-degradación, aunque se debe tener cuidado, ya que las altas temperaturas pueden disminuir la población microbiana y su actividad, se recomienda el uso de aire o agua caliente, bajos niveles de calor de radio frecuencia para modificar la temperatura del suelo.

Para evaluar el sistema se debe monitorear periódicamente, para asegurar la remoción del contaminante, además de elegir un punto de control localizado cerca del sistema de bio-venteo pero no bio-venteado. ⑥

Analizando las opciones anteriores y considerando las características del sitio a restaurar la opción seleccionada fue la **BIOREMEDIACIÓN IN SITU** .

La Bioremediación *in situ* como una tecnología de tratamiento aislada o en conjunto con otras tecnologías de tratamiento físico, químico y biológico en un tren de tratamiento dependiendo de las metas de limpieza planteadas y del tiempo disponible para llevar a cabo la restauración de un sitio, en el presente caso fue empleada en combinación con un tratamiento físico que se explicará más adelante.

III.3. CRITERIO DE RESTAURACIÓN

A fin de establecer el criterio a utilizar para considerar como ambientalmente restaurado el suelo contaminado con combustóleo, se propuso considerar los "Criterios de limpieza para suelos y aguas subterráneas contaminadas" mencionados anteriormente, considerando que el uso actual del terreno contaminado que corresponde a tierra de cultivo, se propone utilizar como criterio de limpieza el establecido en el Estado de Massachusetts de 500 ppm. de Hidrocarburos Totales de Petróleo.

B
I
O
R
E
M
E
D
I
A
C
I
Ó
N

/N

S

/T

V

IV. BIOREMEDIACIÓN *IN SITU*

IV.1. FUNDAMENTOS

La bioremediación *in situ* es una tecnología basada en la capacidad que presentan algunos microorganismos para degradar compuestos orgánicos en el sitio donde estos están presentes, los contaminantes orgánicos son transformados por los microorganismos orgánicos a compuestos más estables o ambientalmente aceptables como bióxido de carbono y agua, pasando por algunas etapas intermedias, esta tecnología a sido empleada para la degradación de:

- ♣ Compuestos orgánicos como aceites y petróleos
- ♣ Solventes no clorados (acetonas, cetonas y alcoholes)
- ♣ Algunos compuestos clorados (clorobenzenos, y bifenilos)
- ♣ Algunos compuestos alifáticos clorados (dicloroetano y tricloroetano)
- ♣ Hidrocarburos (gasolina, diesel, combustóleo, gasavión)
- ♣ Plagucidas

El hecho de que los microorganismos utilicen hidrocarburos como una fuente de energía no significa que el micro organismo elija esta fuente, la mayoría de las bacterias que utilizan estos hidrocarburos oxidarán fuentes mas complejas de energía como carbohidratos y proteínas preferentemente que los hidrocarburos, pero cuando son mantenidos en un medio rico en hidrocarburos se habilitan gradualmente a la utilización de este. ⑦

Generalmente hablando, desde las especies mas pequeñas presentan actividad metabólica, las bacterias son organismos altamente activos y sus enzimas son capaces de manejar grandes sumas de sustrato por unidad de tiempo, por esta razón numerosos microorganismos pueden ser utilizados industrialmente con una eficiencia considerable, muchos organismos en presencia de materiales que aparentemente no tienen enzimas, son capaces de desarrollarlas para catalizar algunas reacciones.

El propósito de las enzimas al catalizar las reacciones es ganar la energía que les permita realizar sus procesos vitales. Los sistemas biológicos obtienen energía por procesos oxidativos, los cuales son generalmente realizadas por la deshidrogenación de uno o más sustratos. El proceso es llamado metabolismo aeróbio cuando los átomos de hidrógeno se obtienen a través de la transferencia de oxígeno al agua, la eficiencia del proceso es generalmente alta porque las moléculas orgánicas pueden ser completamente oxidadas a bióxido de carbono y agua.

Una cantidad limitada de experimentos y la comparación de ciertas reacciones conocidas, permiten proponer la ecuación teórica para la oxidación completa de una larga cadena de hidrocarburos alifáticos:



Si durante un experimento con bacterias se midieran el bióxido de carbono generado y el oxígeno consumido y la oxidación fuese completa, la relación de CO_2/O_2 es llamada coeficiente respiratorio y teóricamente debería ser $n/1.5n$, es decir 0.67 tal y como se maneja en una combustión interna y la energía producida debería darse de igual manera. ②

IV.2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

El proceso de Bioremediación se conforma de varias etapas que son las siguientes:

- ✦ Aplicación de agentes tensoactivos
- ✦ Introducción del inoculo
- ✦ Adición de nutrientes
- ✦ Oxigenación

La función de los agentes tensoactivos provocar la emulsión del contaminante y así aumentar la disponibilidad del contaminante para facilitar la degradación biológica del mismo, por lo que es necesario que los suplementos requeridos sean distribuidos en las áreas donde son necesarios

La disponibilidad de un contaminante es una función de la solubilidad en agua y su tendencia a adsorberse en la tierra. Los contaminantes con baja solubilidad son menos preferidos para ser distribuidos en la fase acuosa y pueden ser más difícilmente degradados biológicamente, en general, la baja disponibilidad puede ser atribuida a la adsorción del contaminante más que a la alta o baja solubilidad. La tendencia de las moléculas orgánicas a ser adsorbidas por la tierra esta determinada por las características físicas y químicas del contaminante y del suelo, el lixiviado potencial de un compuesto químico es proporcional a la magnitud de su coeficiente de adsorción en tierra, las condiciones del contaminante pueden dirigir los enlaces en los poros del suelo, los cuales pueden limitar la disponibilidad a pesar de la solubilidad del compuesto. Las propiedades importantes del contaminante que pueden afectar la adsorción incluyen: estructura química, acidez o basicidad, solubilidad en agua, carga permanente, polaridad y dimensiones de la molécula. ⑦

En algunas ocasiones se pueden utilizar surfactantes para incrementar la biodisponibilidad de contaminantes insolubles. Sin embargo puede ser difícil identificar un surfactante que sea al mismo tiempo no tóxico y que no sea preferido por el microorganismo para su crecimiento. ⑦

El éxito de la bioremediación *in situ* se basa en la actividad de los microorganismos sobre el contaminante susceptible de degradación, durante la introducción del inóculo sobre el suelo se debe tener cuidado en controlar las condiciones del medio del tal forma que no afecten drásticamente al microorganismo, además es necesario garantizar la disponibilidad del contaminante para que el microorganismo actúe sobre él, la disponibilidad es también una función de la bio-degradabilidad de la especie química si ésta actúa como sustrato o como un co-sustrato, cuando la especie química no puede servir como un sustrato metabólico (fuente de carbono y energía) para los microorganismos, pero es oxidado en presencia de un sustrato que ya este presente o que sea adicionado a la superficie, el proceso es referido como co-oxidación y la especie química es definida como el co-sustrato. El metabolismo ocurre cuando la enzima producida por un organismo para degradar un sustrato que soporta el crecimiento microbiano, también degrada otros sustratos presentes, los procesos de cooxidación son importantes para la biodegradación de moléculas de alto peso molecular como hidrocarburos policíclicos aromáticos y algunos solventes clorados. ⑧

La actividad microbiana puede ser influenciada por la concentración del contaminante, cada contaminante tiene un rango de concentración sobre la cual el potencial de la degradación es máximo, bajo este rango la actividad microbiana puede no ocurrir sin la adición de un co-sustrato, arriba de este rango la actividad microbiana puede ser inhibida. ⑨

La actividad microbiana y la velocidad de degradación puede ser significativamente reducida por deficiencia de nutrientes, oxígeno o humedad, la temperatura extrema en el suelo, la alcalinidad o acidez de éste pueden limitar la diversidad de población microbiana y puede eliminar un degradador de un contaminante en particular, una variación de las condiciones del suelo como humedad, disponibilidad de oxígeno, pH y niveles de nutrientes pueden provocar variaciones en la actividad biológica, estas condiciones pueden ser controladas a favor de la bio-degradación. ⑦

Además de lo anteriormente mencionado se pueden añadir al suelo aditivos químicos en solución para ajustar el pH (neutro es el recomendable para la mayoría de los casos).

Para iniciar la restauración de un sitio mediante bioremediación in situ es necesario considerar algunos aspectos como son:

Requerimientos de energía eléctrica para poder accionar bombas y compresores entre otros equipos, energía térmica ya que se debe considerar el clima si son periodos de lluvia fuerte o se esperan condiciones extremadamente frías, los requerimientos de calor serán mayores, además se debe contar con una fuente constante de agua, ya que esta es utilizada para una variedad de propósitos durante el tratamiento biológico. La cantidad de estos recursos variara dependiendo del sitio y del proceso en particular. ⑧

Se recomienda tener en el sitio el equipo analítico para medir conductividad, pH, y análisis de nutrientes, ayudarán a mejorar la eficiencia de operación y a proveer de mayor información para el control del proceso. ⑨

Como en todos los procesos existen limitantes, en este caso los factores que pueden limitar la actividad microbiana y la velocidad de reacción durante la Bio-degradación *in situ* son:

- Las características específicas del contaminante, (disponibilidad, composición media y concentración)
- Las características del suelo:
 - * Tamaño de partícula
 - * Permeabilidad
 - * Contenido de humedad
 - * Conductividad hidráulica
- La localización y extensión del área afectada.

La tierra sólida, es decir la que se encuentra comprimida con componentes orgánicos e inorgánicos puede contener superficies altamente reactivas que juegan un papel importante en la inmovilización de constituyentes orgánicos y estos limitan la disponibilidad del contaminante, ciertos tipos de arcillas inorgánicas poseen cargas altamente negativas y por lo tanto exhiben una alta capacidad de intercambio catiónico, otras por el contrario presentan superficies cargadas positivamente, exhibiendo una capacidad de intercambio aniónico. Una baja conductividad hidráulica puede retardar el movimiento de agua y nutrientes en fase acuosa, como el peróxido de hidrogeno, nitrato y oxígeno libre a través de la zona contaminada. Las capas restrictivas (arcillas muy finas) a pesar de ser más resistentes a la contaminación son también más difíciles de remediar por su baja permeabilidad y en consecuencia bajas velocidades de difusión, la baja velocidad de percolación puede causar que los suplementos sean asimilados por suelos vecinos a los puntos de aplicación, el excesivo crecimiento microbiano o altas concentraciones de calcio y manganeso pueden impedir la infiltración por los poros del suelo. La conductividad hidráulica en diferentes estratos de suelo dentro de un área contaminada puede también complicar el control de flujo e impedir la transferencia de suplementos a una superficie localizada. ⑥

Numerosos mecanismos biológicos y no biológicos (volatilización, adsorción, degradación química, migración y foto descomposición) ocurren durante la bioremediación, por lo que algunos suplementos pueden reaccionar con el suelo, situaciones geoquímicas pueden limitar tanto la forma como la concentración de cualquier suplemento adicionado, así que se debe tener cuidado cuando se utilizan compuestos químicos para aumentar la degradación biológica, por ejemplo el ozono y peróxido de hidrogeno, adicionados para incrementar el nivel de oxígeno disuelto en los sistemas de suelo o aguas subterráneas, pueden reaccionar violentamente con otros compuestos presentes en el suelo, reduciendo la capacidad de adsorción del suelo recién tratado, el nitrógeno y el fósforo también deben ser aplicados con mucho cuidado a fin de evitar la formación de nitrato en exceso y la precipitación de fosfatos de hierro y calcio respectivamente. Un excesivo nivel de nitratos en el agua subterránea puede causar problemas a la salud humana, especialmente a niños, el ajuste del pH es dependiente de varios factores del suelo incluyendo textura, tipo de suelo, contenido de materia orgánica y concentración de aluminio, los cambios en el pH del suelo pueden también afectar la disolución o precipitación de materiales en el suelo. ⑥

Finalmente las altas concentraciones de metales pueden tener un efecto perjudicial sobre el tratamiento biológico de los contaminantes orgánicos en el mismo medio, ya que solo un número reducido de metales pueden ser transformados por microorganismos para producir nuevos contaminantes. La solubilidad, volatilidad y potencial de adsorción de los contaminantes originales del suelo pueden cambiar durante el proceso. ⑥

Las tecnologías biológicas buscan mineralizar los contaminantes en productos relativamente inocuos, específicamente dióxido de carbono, agua y sales inorgánicas. Sin embargo un número de factores específicos pueden causar una degradación parcial o bio-transformación de un contaminante y la generación de un producto intermediario, este metabolismo de productos puede ser localizado tanto en zonas saturadas como insaturadas. ⑥

Los microorganismos son capaces de degradar solamente una fracción de la contaminación que esta fácilmente disponible, por lo que los contaminantes biológicamente resistentes, los remanentes adsorbidos en el suelo y los sedimentados durante los trabajos de remediación pueden no ser degradados dependiendo de la naturaleza del contaminante y del medio, estos compuestos pueden ser desadsorbidos lentamente en largos periodos de tiempo (meses o años) volviendo a contaminar potencialmente el medio tratado cerca de la contaminación residual, adicionalmente fluctuaciones en la calidad del agua pueden resultar en la re-contaminación de suelos previamente remediados, si el agua subterránea esta contaminada. ⑥

Con respecto a las actividades realizadas en el suelo, para asegurar que las acciones de remediación cumplen adecuadamente con los requerimientos de regulación, puede generarse un volumen significativo de residuos que requieren disposición, por ejemplo, cuando el agua subterránea es usada para distribuir los suplementos en la superficie, es necesario tratar el agua antes de que esta vuelva a ser introducida a la superficie, además para proyectar la calidad del agua que sale de la zona de tratamiento se debe evaluar la concentración del contaminante y de los reactivos adicionados al tratamiento a través del sistema de tratamiento diseñado para colectar y tratar el agua subterránea. ⑥

IV.3. EJEMPLOS DE SITIOS RESTAURADOS MEDIANTE BIOREMEDIACIÓN.

A continuación se mencionan tres casos en los que ha sido empleada la bioremediación como técnica de restauración y los resultados que con ella se han obtenido.

a) California "Bioremediación de suelo contaminado con compuestos clorados."

En California se realizaron una serie de estudios (estímulo respuesta) para investigar la degradación metabólica de los siguientes compuestos :

Cis-dicloroetano (c-DCE)

Trans-dicloroetano (t-DCE)

Cloruro de vinilo (CV)

Tricloroetano

En los estudios utilizaron bacteria nativa y se realizaron bajo condiciones de inyección y extracción en una zona hidráulicamente controlada y bio-estimulada.

En el primer grupo de experimentos se adicionaron metano oxígeno y tricloroetano para estimular la degradación metanotrófica de los compuestos alifáticos clorados, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

| COMPUESTO | % DEGRADADO |
|----------------------------|-------------|
| Cis-dicloroetano (c-DCE) | 50 |
| Trans-dicloroetano (t-DCE) | 90 |
| Cloruro de vinilo (CV) | 95 |
| Trocloretoano (TCE) | 20 |

Durante la segunda serie de experimentos el metano fue reemplazado por el fenol para estimular el crecimiento de la población nativa que utiliza fenol, el resultado obtenido fue que con este cambio la concentración de tricloroetano se vio disminuido en más del 90% ⁶.

b) San Diego " Bioremediación de una zona contaminada con gasolina"

En San Diego en un área contaminada con gasolina fue instalado un sistema de bioremediación in-situ, en el agua de infiltración extraída del subsuelo se introdujeron nitratos y fosfatos antes de infiltrarla y se utilizó bacteria nativa, los resultados obtenidos fueron satisfactorios llegando incluso a los límites de detección para los siguientes compuestos: ⑥

| COMPUESTO | LÍMITE DE DETECCIÓN |
|-----------|---------------------|
| Xileno | 0.02 ppm. |
| Benceno | 0.01 ppm. |
| Tolueno | 0.01 ppm. |

c) California " Bioremediación de una zona contaminada con gasolina"

Para tratar una zona saturada, contaminada con gasolina, la cual forma parte de una estación de servicio en el sur de California se empleo un sistema de bioremediación in-situ que consiste de 4 puntos de inyección y 3 pozos de recuperación, durante el tratamiento, al agua subterránea recuperada se le agregaron peróxido de hidrogeno y nutrientes y para ser reinyectada al acuífero, el sistema se mantuvo en operación hasta alcanzar los límites de detección de los siguientes compuestos: ⑥

| COMPUESTO. | INICIAL | FINAL |
|-----------------------------------|-----------|-----------|
| Hidrocarburos totales de petróleo | 4500 ppm. | 32 ppm. |
| Xileno | 4100 ppm. | 0.02 ppm. |
| Benceno | 2700 ppm. | 0.01 ppm. |
| Tolueno | 6600 ppm. | 0.01 ppm. |

IV.4. ESPECIES CAPACES DE DEGRADAR HIDROCARBUROS.

Como ya hemos mencionado con anterioridad la bioremediación *in situ* se basa en la capacidad de los microorganismos para degradar a los contaminantes, en la siguiente lista se mencionan algunas de las especies reportadas en la literatura como capaces de degradar hidrocarburos: ⑧

- Methanomonas methanica, carbonatophila
- Psuedomonas aeruginosa y fluorescens
- Mycobacterium album, rubrum, paraffinae y lacticola
- Micrococcus paraffinae
- Aspergillus fumigatus, flavus niger, versicolor
- Bacillus naphslnicus phenanthrenicus ethanicus
- Nocardia opaca

En la mayoría de los casos la bacteria es cultivada en mezclas de sales minerales, disueltas en agua destilada y con el hidrocarburo bajo estudio como única fuente de carbono, en el medio en que se encuentre deben contar con:

- a) Un contenido balanceado de minerales
- b) Una fuente de nitrógeno.
- c) Oxígeno
- d) pH neutro.

El agua del mar puede ser considerada como balanceada, para que la bacteria se multiplique se necesita una adecuada fuente de fosfato, si la tiene se obtienen altos niveles de crecimiento. ⑨

IV.5 ESPECIE UTILIZADA PARA LA DEGRADACIÓN DEL COMBUSTÓLEO.

Para tratar el suelo contaminado con combustóleo se utilizó bacteria comercial que había sido utilizada con anterioridad para degradar hidrocarburos obteniendo resultados satisfactorio, sin embargo se llevo a cabo la identificación de esta mediante pruebas bioquímicas obteniendo los siguientes resultados:

Los microorganismos, se obtiene en suspensión de color café claro y poco viscosa, para la identificación de la bacteria se sembró en algunos medios de cultivo para aislar colonias y realizar pruebas de caracterización.

IV.5.1. Pruebas Generales.

Las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se mencionan en la siguiente tabla:

| PRUEBAS: | OBSERVACIONES: |
|--|--|
| Tinción de Gramm | ⇒ se observaron Bacilos Gramm Negativos. |
| Siembra en agar Mac. Conckey | ⇒ Presenta crecimiento |
| Siembra en agar nutritivo. | ⇒ Presenta crecimiento |
| Oxidasa | ⇒ Positiva. |
| Las colonias formadas presentan pigmentos verde - azul, olor como a uvas, son opacas (gris verdoso). | |

Mediante estas pruebas y basándonos en el olor característico de las colonias y la producción de pigmentos fluorescentes, se pensó que se trataba de una pseudomona, lo cual habría de comprobarse posteriormente mediante la realización de las pruebas bioquímicas.

Pseudomonas

Pseudomonas: Esta bacteria presenta colonias opacas (gris verdoso), con márgenes lacerados a diseminados, forma pigmentos verde azul y desprende un olor característico. ☉

Gilardi ha ayudado a simplificar la identificación de especies de *Pseudomonas* sugiriendo subgrupos basados en observaciones y resultados de pruebas obtenidos con este sistema. En un principio ubicó las diversas especies de *Pseudomonas* en 11 grupos bien definidos, actualmente el sistema se ha simplificado un poco por la reducción del número de grupos a seis. La siguiente es una lista de los seis grupos y las especies incluidas en cada uno de ellos. ⑧

| GRUPO | ESPECIE |
|--------------------|---|
| Fluorescens | aeruginosa. fluorescens putida |
| Stutzeri | stutzeri mendocina |
| Grupo Alcaligenes | alcaligenes pseudoalcaligenes |
| Grupo Acidovorans | acidovorans testosteroni terrigena |
| Grupo Pseudomallei | mallei pseudomallei cepacia pickettii maltophilia |
| Grupo Diminuta | Diminuta |

Según la descripción formal de las especies *Pseudomonas*, son bacilos gram negativos rectos o levemente curvos y aerobios estrictos; muchas cepas son móviles por medio de uno o mas flagelos polares, utilizan glucosa y otros hidratos de carbono en forma oxidativa. ①

Estos microorganismos comprenden un grupo heterogéneo, en el que las *Pseudomonas* (familia de las pseudomonadáceas) son particularmente importantes. Aunque las Pseudomonadales se parecen superficialmente a los bacilos entéricos, se diferencian de éstos en varios aspectos fundamentales y su hábitat es principalmente extraentérico. ②

Las *Pseudomonas* y algunos otros organismos no fermentadores (por ejemplo, *Flavobacterium*) pueden oxidar los azúcares, pero no pueden fermentarlos, mientras que otros miembros de este grupo (*Alcaligenes*, *Moraxella* y algunas cepas de *Acinetobacter*) son, de hecho, fermentadores, pero de substratos que no sean hidratos de carbono. ③

Las *Pseudomonas* se encuentran sobre todo en el suelo, el agua o las plantas y como grupo son capaces de atacar a gran número de compuestos orgánicos. Las pseudomonas psicrófilas, es decir, las que crecen en frío, son responsables de la corrupción de los alimentos refrigerados. Algunas pseudomonas y otros organismos no fermentadores se encuentran en la piel u otras superficies corporales y a menudo también en pequeñas cantidades en el intestino; varios de ellos ocasionalmente provocan enfermedades en el hombre. ④

Las *Pseudomonas* se parecen morfológicamente a las enterobacteriáceas y la mayoría crecen bien en medios de coprocultivos diferenciales. Sin embargo, poseen flagelos polares, son fuertemente oxidasa-positivos (salvo *P. maltophilia* y algunas cepas de *P. cepacia*) y son aerobios estrictos (exceptuando algunas especies que pueden usar el nitrato para la respiración anaerobia). Las *Pseudomonas* en su mayoría metabolizan los azúcares a través de la vía del 2-ceto-3-desoxiguconato (Entner-Doudoroff), y no por la vía glucolítica. Algunas cepas producen pigmentos hidrosolubles. ⑤

IV.5.2. Caracterización Bioquímica

Para realizar las pruebas bioquímicas se utilizó un sistema comercial diseñado para la identificación de bacilos no fermentadores, en general su uso es conveniente, tienen una vida útil prolongada y eliminan la necesidad de suministros frescos de medios y reactivos. Los sistemas comerciales también proporcionan técnicas estandarizadas que son exactas y dan resultados reproducibles iguales o mejores que los procedimientos convencionales. El sistema utilizado para la identificación de la bacteria se denomina API 20E Analytab Products, Inc., Plainview, NY.

El sistema API 20E, originalmente diseñado para la identificación de Enterobacteriaceae, se ha ampliado sin modificación para la identificación de bacilos no fermentadores. Estudios recientes indican que el sistema API 20E identifica la *Pseudomona Aeruginosa*, *Pseudomona maltophilia* con una exactitud hasta del 99%, en particular después de 48 horas de incubación, el rendimiento para otros fermentadores puede ser menos aceptable. ④

El sistema consiste en una tira de plástico con veinte cápsulas en miniatura que contienen substratos deshidratados y una cámara plástica de incubación con una tapa floja, cada cúpula tiene un pequeño agujero en la parte superior a través del cual puede inocularse la suspensión bacteriana con una pipeta. La acción bacteriana sobre los sustratos produce cambios de color que se interpretan visualmente. ④

Procedimiento operativo:

Se agregan 5 ml. de agua corriente a una bandeja de incubación para proporcionar humedad durante la incubación. Se coloca una tira API 20E en la bandeja. Se prepara una suspensión bacteriana del microorganismo en estudio suspendiendo las células de una colonia bien aislada en 5ml de solución salina estéril al 85%. La turbidez de la suspensión se compara con un estándar. Usando una pipeta pasteur se llena cada cúpula con la suspensión bacteriana a través del agujero de inoculación. Se cubren las tres cúpulas para descarboxilasas y la cúpula para la ureasa con aceite mineral estéril. La unidad se incuba a 35 °C durante 24 o 48 horas antes de leer los resultados.

El sistema utilizada consta de 20 pruebas bioquímicas que se encuentran en la primera columna de la siguiente tabla, cabe mencionar que en al sembrar la bacteria en agar nutritivo se observaron dos colonia que diferían en su tamaño, a las dos se les aplico el mismo sistema de caracterización (API 20E) aunque ambas presentaron el mismo cuadro de resultados.

Los resultados obtenidos se mencionan en la siguiente tabla, también se incluyen los datos encontrados en la literatura para *Pseudomona Aeruginosa*. ⑥

PRUEBAS BIOQUÍMICAS.

| | 1 | 2 | Pseudomonas aeruginosa |
|----------------------|---|---|---------------------------|
| OPNG | - | - | |
| ARGININA | - | - | + |
| LISINA | - | - | - |
| ORNITINA | - | - | + |
| CITRATO | - | - | |
| SULFURO DE HIDROGENO | - | - | - |
| UREASA | - | - | v |
| TRIPTÓFANO DEAMINASA | - | - | |
| INDOL | - | - | - |
| VOGES PROSKAEUR | - | - | |
| GELATINA | + | + | + |
| GLUCOSA | - | - | + |
| MANITOL | - | - | v |
| INOSITOL | - | - | - |
| SORBITOL | - | - | - |
| RAMNOSA | - | - | - |
| SACAROSA | - | - | - |
| MELIBIOSA | - | - | |
| AMIGDALINA | - | - | |
| ARABINOSA | - | - | - |
| OXIDASA | + | + | + |

+ Positivo

- Negativo

v variable

Con los datos de la tabla anterior se hizo una comparación entre los resultados de las pruebas obtenidas para la bacteria empleada en la bioremediación y los resultados típicos obtenidos para la *Pseudomona Aeruginosa*, considerando solo aquellas pruebas que aparecen en la literatura obtendremos el % de similitud con.

$$S = [a / (a + b + c)] * 100$$

| | |
|-------|--------------------------------------|
| a= 12 | Número de Pruebas iguales para ambas |
| b= 0 | Pruebas (+) para 1 y (-) para 2 |
| c= 3 | Pruebas (-) para 1 y (+) para 2 |
| S= 80 | % de similitud |

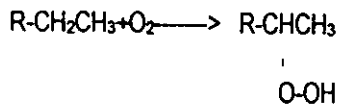
En base a los resultados anteriores concluimos que se trata de *Pseudomona aeruginosa*.

Pseudomonas aeruginosa

La *Pseudomonas aeruginosa* (conocida durante mucho tiempo como *Bacillus pyocyaneus*), es un microorganismo frecuentemente encontrado en el suelo, ha sido aislado a menudo de lesiones humanas, las necesidades nutritivas de la *Pseudomonas aeruginosa* son simples (incluyendo el uso de NH_3 como fuente de nitrógeno) puede metabolizar una gran variedad de fuentes de carbono. De ahí su capacidad para multiplicarse en casi cualquier medio húmedo que contenga incluso cantidades mínimas de compuestos orgánicos. ①

La *Pseudomonas aeruginosa* crece fácilmente en medios de laboratorio estándares, la mayoría de las cepas producen un pigmento fenacina de color azul verdoso, piocianina, así como fluoresceína, de color amarillo verdoso fluorescente; los pigmentos colorean el medio que rodean las colonias. Alrededor del 10 % de las cepas no forman pigmento. ②

La *P. aeruginosa* ha sido empleada para la degradación de ciclohexano, para este proceso se sugiere la oxidación como paso inicial y la formación de peróxido de hidrogeno como agente oxidante, por lo que para la degradación de hidrocarburos por bacteria probablemente incluye la formación de este compuesto. ③



Dependiendo de varias consideraciones la reacción podría darse de varias maneras, ya que el alcohol es un intermediario en la oxidación del hidrocarburo

Las alternativas de los mecanismos pueden ser variables dependiendo de la especie y de la enzima en particular.

Se tienen pocos estudios publicados sobre los efectos de la composición del medio en que las bacterias que utilizan hidrocarburos, para *Pseudomonas* la concentración de magnesio y fosfato es muy crítica, mientras que la concentración de zinc y calcio no tienen efectos, las sales de amonio resultan ser mejores que los nitratos o fuentes de nitrógeno y el uso de carbonato de calcio es indeseable, un incremento en las sales buffer no es satisfactorio ya que probablemente tenga efectos osmóticos. ⑦

El pH del medio no es crítico y puede estar entre 6 y 8 este es un límite para la concentración del ion hidrogeno, en el crecimiento bacteriano y es generalmente en este rango que se da la mejor conversión cuantitativa de hidrocarburos. ⑦

Algunos de los compuestos en que se ha comprobado la degradación mediante *P. aeruginosa* son hidrocarburos (C₅ - C₈) pentano, hexano, heptano, n-octano ciclohexano, y naftaleno. ⑦

A M B I E N T A L E S

E V A L U A C I O N E S D E D A Ñ O S

V. EVALUACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES.

En el presente capítulo se realiza la identificación de afectaciones ambientales originadas por el derrame accidental de combustóleo en el Km. 84+600 de la carretera 136 (México - Zacatepec), así como la descripción de estas.

V.1 CONSIDERACIONES GENERALES:

Una afectación ambiental es cualquier modificación al entorno natural o humano, o de alguno de sus elementos o condiciones, producida directa o indirectamente por toda clase de actividades humanas que sean susceptibles de modificar su calidad ambiental. Estas modificaciones pueden ser tanto positivas como negativas, y cabe la posibilidad que sean provocada por fenómenos naturales. Es así que en el ambiente en el cual nos encontramos existen múltiples alteraciones, que van desde la simple transformación del paisaje hasta el cambio en las condiciones climáticas.

Para la identificación de alteraciones ambientales se utilizaron listas de verificación y la matriz de Leopold.

Las *matrices de Leopold* son cuadros de doble entrada en los que las filas (o columnas) relacionan los factores o características del medio que pueden ser afectadas o impactadas, y las columnas (o filas) detallan las actividades y características de los proyectos o actividades que pueden incidir desfavorablemente sobre la calidad del entorno. El análisis de las intersecciones, o cruces de columnas y filas, ayudará a descubrir la existencia de afectaciones.

La identificación de afectaciones ambientales utilizando una matriz, permite hacer una evaluación cualitativa. Mediante la interpretación de cada interacción que se forma entre los componentes del accidente y los del medio en que se desarrolla la obra, se puede establecer si es necesario o no implementar medidas de mitigación.

Esta técnica nos permite tener una visión integral de la problemática ambiental, todos los factores ambientales que estuvieron involucrados; solo se consideraron interacciones relevantes, tomando en cuenta el sentido adverso o benéfico de las acciones, por lo que la matriz que se presenta en este estudio se presenta reducida (cribada), con la finalidad de tener una mejor visión de los factores interactuantes.

Las *listas de verificación* tienen posibilidades analíticas más limitadas que las matrices, pero son más sencillas de usar, sin necesidad de un conocimiento profundo de la problemática ambiental. En muchos casos estas listas pueden cubrir todas las características del proyecto estudiado, pero en otros deben ser completadas y modificadas o acopladas a las características específicas de cada proyecto, como ya se ha dicho antes para las matrices de afectación.

Se debe tener presente también que tanto las matrices como las listas de verificación, no suelen relacionar más que los efectos directos y algunos de los derivados, pero no pueden dar todos los efectos inducidos y finales, por lo que, identificadas las afectaciones directas significativas, es necesario también analizar las interrelaciones y sus consecuencias, así como aquellas resultantes del efecto acumulativo de las mismas.

Usualmente, la identificación se realiza para cada alternativa y cada fase de un proyecto, tales como: selección del sitio, preparación del terreno, construcción, operación, mantenimiento, y abandono del sitio, así como para las actividades conexas del proyecto en turno. No obstante, en este caso al tratarse de un evento único y aislado, no se tienen fases de un proyecto a contemplar.

Se eligieron estas técnicas por las ventajas que ofrecen al permitir disminuir o aumentar las características ambientales o las acciones según las necesidades del evento a evaluar, además de ser un excelente método para identificar gráficamente las acciones que deben ser objeto de mayor atención.

V.2. COMPONENTES DE LA EVALUACIÓN

Este apartado nos permite destacar los factores que deberán ser considerados para la Identificación de Afectaciones Ambientales.

- * Agua
- * Suelo
- * Paisaje
- * Flora
- * Fauna
- * Tráfico
- * Aire
- * Salud
- * Medio Socioeconómico

V.3. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO.

Antes de identificar los impactos provocados por el derrame de combustóleo es necesario conocer las características del entorno del sitio afectado.

V.3.1 CLIMATOLOGÍA

En el estado de Tlaxcala predomina el clima templado subhúmedo con verano fresco y largo, y con isotermales máximos de 5°C; excepto en los municipios de Atzacan, Cuapiaxtla y Tequexquitta en donde el clima es semiseco con oscilación termal entre 5 y 7°C, el promedio anual de temperatura es de 14.7°C, siendo la de mayo de 16.8 y el de Diciembre y Enero de 11.8. ①③

La precipitación pluvial máxima es en el mes de Junio con 1675mm y la mínima de 55mm en Enero y la media anual corresponde a 782mm. ①④

Los vientos dominantes provienen del norte en casi todas las regiones del estado con una velocidad promedio de 20 km./h. La humedad relativa promedio del estado es mayor que el cociente $P/T - 65$, la evaporación es de 1956.6mm. ①④

Se presentan entre 102 y 266 días despejados anualmente. Se presentan heladas muy frecuentes en el estado, en la ciudad de Tlaxcala el promedio es de 100 días con helada y en las regiones de Huamantla y Tlaxco puede helar en todas las épocas del año. Los días con granizo varían anualmente entre 6 y 18 y en general se producen en los meses de mayo junio y agosto. ①④

En el municipio de Hueyotlipan encontramos un clima templado subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5, $c(w1)(w)$. La precipitación media anual es de 869 mm, y la temperatura media anual es de 13.4 °C, con un régimen de lluvias en los meses de julio a septiembre, la dirección de los vientos en general es de sur a norte y con una humedad relativa de 48%. ①④

V.3.2 HIDROLOGÍA

Aguas Superficiales:

El territorio del estado esta dividido en tres cuencas geográficas de las cuales la más importante es la del río Balsas, en segundo termino están al noroeste de la cuenca del río Pánuco y al noroeste la del río Tuxpan. ① ③

La cuenca del río Balsas pertenece al Océano Pacífico; el río Balsas es uno de los más caudalosos de la República Mexicana, nace en la Sierra de Tlaxco con el nombre de Zahuapan, desciende de las faldas del Peñon del Rosario, llega a la presa de San José Atlanga, donde se encuentra la estación hidrológica del mismo nombre. El río Zahuapan recibe primero las contribuciones de los ríos Apizaco y Totolac, después del río Jilotepec, San Juan y Barranca de la Soledad y por último se une con el río Atoyac al norte de la ciudad de Puebla. ① ③

El río Atoyac, nace en la vertiente oriental de la sierra nevada, entra a Tlaxcala por el municipio de Lardizabal, continua por el de Nativitas y sirve de linea limítrofe entre los estados de Puebla y Tlaxcala. ① ③

La región hidrológica del río Atoyac-Zahuapan con una superficie de 2852.6 km² en el estado de Tlaxcala, beneficia a 6029ha. Y a 3665 usuarios. ① ③

Dentro de la dotación hidrológica del estado están el río de San Juan o barranca de los Brioles y la presa de San José Atlanga ① ③

Aguas Subterráneas.

Acuíferos. Existen tres tipos de acumulaciones de aguas subterráneas en el Estado, epifreáticas, fráticas y cautivas. En las sierras la infiltración de los suelos forestales forma un sistema venoso que en algunos sitios da lugar a manantiales caudalosos como el Atzompa, Venta de Ordaz, Tecama, Pénico y Tiopa. ① ③

Los acuíferos fráticos existen en capas de arenas, gravas y aluviones del subsuelo de las planicies. El volumen total de las aguas fráticas pueden valorizarse en un 70% del total. La infiltración en la superficie de las planicies es del 21.8% del caudal acuífero. ① ③

Agua potable de uso urbano.

El número de sistemas de agua potable es de 210 con 298 fuentes de abastecimiento, entre los cuales son 130 pozos, 134 manantiales y 34 fuentes más, el gasto de explotación es de 2106 l/s. ① ③

Se necesitan 980 l/s. Para satisfacer al total de los habitantes del estado la diferencia entre la capacidad y el gasto de explotación se debe a que la población está muy dispersa dentro del estado la carencia de agua potable entubada se solventa con aljibes y autotanques para las poblaciones con menos de 200 habitantes. Los 25 municipios del estado que pertenecen a la zona conurbada del centro del país cuentan con 120 de los 210 sistemas de agua potable; 70 pozos, 108 manantiales y 2 fuentes más de abastecimiento. ① ③

En el municipio de Hueyotlipan se cuenta con arroyos de caudal en época de lluvia, localizadas en la barranca El brinco, Potrero y Paso del coyote, que nacen del cerro del Techalote.

Existen cuerpos de agua que almacenan aproximadamente $4,985E6 \text{ m}^3$, entre los más importantes están El sol y la luna, Recova, San Fernando y Guridi y Acocer, además cuenta con 19 jagüeyes y 12 pozos para extracción de aguas, de los cuales Recova cuenta con un pozo de extracción de agua y con una presa. ① ②

V.3.3 GEOLOGÍA

En Tlaxcala predominan los afloramiento de rocas volcánicas como las andesitas, las riolitas, los basaltos, las tobas y las brechas volcánicas; así como diversas asociaciones de éstas. Además hay sedimentos lacustres, fluviales y fluvio-glaciares.

El estado esta comprendido en su totalidad dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico por lo que su geología ha sido moldeada por una actividad volcánica la cual ha dado al relieve un perfil característico.

Las unidades estratigráficas más antiguas del estado son las rocas sedimentarias; en particular los depósitos clásticos formados en un ambiente continental lacustre que, de acuerdo con su litología, son clasificadas como asociaciones alternantes de areniscas y limolitas y areniscas y calizas. La actividad volcánica basáltica comenzó en el terciario superior y alcanzó una gran intensidad en el Cuaternario dejando distribuidas numerosas estructuras volcánicas relativamente pequeñas.

Las estructuras geológicas más importantes de Tlaxcala son volcánicas, entre ellas destaca, como uno de los seis estratovolcanes más grandes del país la majestuosa Malinche, la cual se encuentra en su mayor parte dentro de los límites del estado. En toda la entidad hay numerosas estructuras volcánicas menores de tipo basáltico. Además de los volcanes se presentan otras estructuras como fallas y fracturas que han contribuido a modelar el relieve del estado y que están asociadas con la actividad volcánica y tectónica continental.

Debido a la relativa homogeneidad litológica de la provincia del eje neovolcánico, la actividad extractiva se ha limitado al aprovechamiento de materiales para la construcción, de los que el tezontle, las gravas, las arenas y las arcillas ocupan los primeros renglones, estos materiales se obtienen de bancos aledaños a las poblaciones principales y a los centros industriales de creación reciente.

V.3.4 OROGRAFÍA.

Hueyotlipan presenta tres formas de relieve: la primera corresponde a zonas accidentadas que abarcan un 22% de la superficie localizadas en la parte sur, sudoeste y sudeste del municipio, formadas por un pequeño relieve montañoso de áreas arboladas; la segunda es un área semiplana que ocupa el 23% del territorio y en la parte central se encuentran los terrenos de cultivo con una permeabilidad aceptable; la tercera esta conformada por terrenos planos que ocupan el 55% localizadas en la parte norte, formada por terrenos de cultivo y poblaciones. ① ③

V.3.5 SUELOS

La variedad de tipos de suelo se debe fundamentalmente a la constitución litológica y al clima de la zona. En la provincia predominan las rocas ígneas extrusivas básicas aunque hay zonas con rocas ígneas extrusivas intermedias y ácidas. ① ③

En lo que respecta a los suelos del municipio de Hueyotlipan se formaron en el período cuaternario de la era cenozoica provenientes de rocas sedimentarias y vulcano-sedimentarias y presenta dos tipos, el primero es de tipo Aluvial, localizado al noreste del campo y el segundo son suelos de toba intermedia, localizada al sur del territorio. ① ②

El uso de suelo es principalmente agrícola, a esta actividad se destinan 9056.91ha. De las cuales 38 has. son de riego y las restantes son de temporal. ① ②

V.3.6 FLORA

Predomina en la entidad un clima templado frío, debido a que se encuentra en su totalidad arriba de los 2000 metros sobre el nivel del mar, por lo que en general la vegetación es propia de los climas templado y frío, con especies dotadas para resistir bajas temperaturas, como el oyamel, el encino, el pino y el enebro, entre otras y esta distribuida como sigue:

Los bosques predominantes (diseminados por todo el estado) son los de coníferas aunque también los hay de encino; generalmente se localizan a una altitud promedio de 2568 metros sobre el nivel de mar.

El bosque de encino tiene una fase de crecimiento de fustal y los troncos de sus árboles tienen un diámetro promedio de 35cm. Sus elementos dominantes son, en el estrato arbóreo madroño y encino (*Arbutus* sp y *Quercus rugosa* respectivamente) y en el estrato arbustivo encino (*Quercus castanea*) y en el estrato herbáceo pastos (*Muhlenbergia* sp y *Aristida* sp.). Se localiza principalmente en la meseta o bloque de Tlaxcala, en el volcán de la Malinche y en la sierra de Huamantla.

Los bosques de coníferas se presentan combinados o solos y su composición esta determinada con frecuencia por la altitud, los elementos que sufren mayor variación en estos bosques son los del estrato arbóreo; así tenemos, para el bosque de pino: pinos (*Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus* sp.). en el de oyamel: cedro blanco (*Cupressus lindlyi*), oyamel (*Abies religiosa*), pino (*Pinus* sp) y encino (*Quercus rugosa*), en el de Juníperos: encinos y sabino (*Quercus crassipes* y *Juniperus deppeana* respectivamente).

Los sistemas de gran llano con lomeríos al este, la llanura de piso rocoso con lomeríos al oeste y los lomeríos al sur de la entidad, están dedicados actualmente a las labores agrícolas, por lo que no son representativos de la vegetación del estado y son, en teoría, los únicos en donde no hay bosques, aunque cabe decir que es la mano del hombre la que con la tala immoderada, ha ocasionado esto. ① ③

También existe vegetación secundaria de matorral rosetofo e izotal. El chaparral y el pastizal inducido son otros dos tipos de vegetación presentes en el estado.

De acuerdo con las condiciones climatológicas dominantes en el municipio de Hueyotipán encontramos: pinos, cedros, alcanfores, encinos , ocotes, madroños y piñones, los cuales son árboles perennes que cuentan con hojas todo el año, también encontramos de hoja caediza tales como nogales, peras, duraznos, zapotes, capulines, manzanas, ciruelas y tejocote, la mayor parte de estos últimos son cultivados en huertos familiares. ① ②

V.3.7 FAUNA

La existencia de la fauna depende primordialmente de la conservación de la vegetación de una región. Tlaxcala conserva especies representativas originales, sobre todo en áreas de vegetación abundante, además existen aun algunas especies acuáticas en ríos y lagunas.

Entre las especies existentes en el Estado están las siguientes:

Peces y Anfibios: acocil, ajolote, charal, truchas carpa hervíhora, carpa dorada, carpa criolla, lobina negra, pez blanco, tilapia, mojarra, carpa de Israel y rana.

Aves: ganso, grulla, gorrion y cardenalito.

Mamíferos perjudiciales para la agricultura, la avicultura y el ser humano:
tuzas, cacomixtle, liebre, conejo, comadreja y rata.

Especies en extinción: venado de cola blanca, zorra y coyote.

La mayor parte del estado tiene aptitud para uso pecuario, aunque con diferente intensidad. El pastoreo intensivo de ganados ovino, bovino y caprino puede llevarse a cabo en las faldas de la Malinche, a lo largo del corredor llano que va desde los llanos de Apan y Pie Grande, hasta el llano de Huamantla al sureste, y en todo el estado en las zonas localizadas en los lomeríos y las mesetas. Este uso esta condicionado por diferentes limitantes como las pendientes de 4 a 20%; la profundidad del suelo, entre 20 y 90cm, además de la obstrucción superficial y algunos problemas de erosión. Este último se presenta principalmente en las faldas del volcán. Una segunda alternativa de uso pecuario es el pastoreo extensivo de ganados bovino y caprino sobre vegetación diferente al pastizal, el cual se lleva a cabo en toda la superficie de la entidad, en áreas de pendientes de 12 a 40%, pedregosidad de 40 a 45% y una cobertura vegetal que en ocasiones tiene un bajo valor forrajero.

Dentro del municipio la fauna esta conformada por liebres, conejos, zarnijuelas, codornices, pato silvestre, corre caminos, gorriones, urracas, topos, ardillas, armadillos, tlacuaches, zorrillos, linces, etc.; reptiles y una gran variedad de insectos. Existe una gran variedad de animales domésticos que va desde la gallina austríaca hasta guajolotes , además de patos, gansos, conejos, vacas, caballos, etc. ① ③

V.3.8 POBLACIÓN

El estado de Tlaxcala es el más pequeño del país, cubre 3914 km², tiene una gran densidad de población y un índice de crecimiento demográfico superior a la media nacional, cuenta con 44 municipios agrupados en 6 distritos político-administrativos que cuentan con delegaciones de la tesorería del estado y de la Procuraduría General de Justicia. ① ③

La superficie del Estado de Tlaxcala representa el 0.2% del territorio nacional, con aproximadamente el 0.8% de la población total del país. El estado de Tlaxcala cuenta con 761,277 habitantes, de los cuales el 1.6%, es decir 12,422 radican en el municipio de Hueyotlipán, correspondiendo al sexo masculino el 51%. ① ③

HABITANTES POR SEXO.

| POBLACIÓN | HOMBRES | MUJERES | TOTAL |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| Estado de Tlaxcala | 375,130 | 386,147 | 761,277 |
| Municipio de Hueyotlipán | 6,339 | 6,083 | 12,422 |

La población económicamente activa en el estado corresponde al 50.9% teniendo una mayor participación en el proceso productivo los habitantes de entre 25 y 45 años de edad. ① ①

HABITANTES POR EDAD

| EDAD | 0-14 | 15-65 | TOTAL |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| Estado de Tlaxcala | 310,062 | 451,215 | 761,277 |
| Municipio de Hueyotlipán | 4,771 | 7,651 | 12,422 |

Dentro de los pobladores existentes de 15 a 65 años de edad en el municipio 6719 son alfabetas y el resto analfabetas. ① ③

Dentro del municipio existen 2,290 viviendas particulares habitadas, de las cuales son 12,422 los ocupantes, siendo el promedio de 5 habitantes por vivienda. ① ②

V.3.9 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La población económicamente activa en el estado de Tlaxcala se ubica de acuerdo a las ramas existentes y está distribuidas de la siguiente manera: ① ②

POBLACIÓN OCUPADA SEGÚN RAMAS DE ACTIVIDAD EN EL ESTADO.

| RAMA | % |
|---|------|
| Servicios | 27.6 |
| Industria de la Transformación | 25.5 |
| Comercio | 19 |
| Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. | 11.6 |
| Comunicaciones y Transportes | 5.7 |
| Gobierno | 5.7 |
| Otras Ramas | 4.9 |

La distribución de ingresos entre la población económicamente activa en el estado se da de la siguiente forma: ① ②

DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS

| % | MENOS DE 1 S.M. | DE 1 A 2 S.M. | DE 2 A 5 S.M. | MÁS DE 5 S.M. | SIN INGRESOS | NO ESPECIFICA |
|-----------|--------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
| POBLACIÓN | 12.9 | 31.5 | 33.7 | 8.5 | 11.2 | 2.2 |

S.M. Salario mínimo.

De acuerdo con el anuario estadístico del estado de Tlaxcala en 1994 hubo 18,442 personas que solicitaban un empleo, de las cuales solo 1792 pudieron ser colocadas, es decir menos del 10% de estas personas consiguieron un empleo. ① ②

La actividad económica que predomina en el municipio es la agricultura teniendo un 80%, la ganadería en un 10% y el otro 10% esta integrado por la construcción, obreros, confección, emigrantes a las ciudades y a los Estados Unidos ① ②

POBLACIÓN OCUPADA POR ACTIVIDAD EN EL MUNICIPIO

| ACTIVIDAD | % |
|----------------------|----|
| Agricultura | 80 |
| Ganadería | 10 |
| Obreros, emigrantes. | 10 |

La economía del municipio se basa principalmente el la agricultura obteniendo de ella un ingreso insuficiente, además no existen otras fuentes de trabajo que puedan respaldar la economía de la población, por lo que esta se ve obligada a emigrar a otros estados o países en busca de ingresos. ① ②

V.3.10 SERVICIOS

En el municipio de Hueyotipán se cuenta con escuelas de enseñanza Preescolar, Primaria, Telesecundaria, secundaria técnica y colegio de bachilleres, la población analfabeta constituye un 26% del total de los habitantes que integran el municipio, específicamente en el poblado de Recova existen solamente escuelas para educación preescolar y primaria, lo más cercano para recibir educación secundaria y bachillerato es hueyotipán cabecera municipal.

Dentro del municipio solo se cuenta con tres unidades deportivas y de recreación, están ubicadas en Sn. Simeón, Ignacio Zaragoza y en la cabecera municipal, en recova se encuentra una presa.

En el municipio aun se encuentran edificaciones de épocas remotas siendo estas los Cascos de la Hacienda que datan del siglo XVII, el ex convento Franciscano del siglo XVII, el templo de la cabecera municipal y algunas casas habitacionales que hay en cada comunidad. ① ②

Actualmente existen cada vez mas construcciones de los cuales un 82% es de concreto, 8% de tabique o block y techo de lámina o teja.

En el municipio se cuenta con cinco unidades médicas que están localizadas en la comunidad de San Simeón X., Cuaximala, Zaragoza, Ixcotla, Recova y la cabecera municipal. En estos se atienden a los habitantes de dichas comunidades y las de sus alrededores, cabe mencionar que en dichos centros NO se atienden partos de alto riesgo, accidentes graves, operaciones: riñón, hernia vesícula, etc., neumonías graves y estudios de laboratorio.

En el municipio 820 viviendas cuentan con agua potable dentro de ellas, 2060 cuentan con el servicio fuera de la vivienda pero dentro del terreno, 48 viviendas no cuentan con agua y 5 viviendas tienen sólo una llave para todas.

El alcantarillado dentro del municipio esta conectado a la red pública y este lo deposita en una presa de oxidación siendo 2024 viviendas las involucradas, 148 viviendas están conectadas al drenaje el cual desemboca a una fosa séptica, 92 viviendas están conectadas pero desembocan a una barranca y 383 no cuentan con el servicio.

En lo que respecta a energía eléctrica 2877 viviendas cuentan con el servicio y solo 99 viviendas no disponen de electricidad.

Dentro del municipio solo el 25% cuenta con guarniciones y banquetas y solo el 20% con pavimento.

La economía del municipio se basa principalmente en la agricultura obteniendo de ella un ingreso insuficiente, además no existen otras fuentes de trabajo que puedan respaldar la economía de la población, por lo que esta se ve obligada a emigrar a otros estados o países en busca de ingresos. ① ②

V.3.11 TRANSPORTE

El estado de Tlaxcala cuenta con una longitud en red carretera de 335.4 km. que pertenecen a las principales carreteras pavimentadas, 297.1 km. corresponden a carreteras secundarias también pavimentadas y 1210 km. en caminos rurales solamente revestidos.

Las comunidades que integran el municipio cuentan con caminos principales que los unen entre si, una de las principales vías de comunicación que atraviesa el municipio de oriente a poniente es la carretera federal 139 que comunica de México a Veracruz.

Dentro de la cabecera municipal se cuenta con servicio postal y telefónico tanto público (caseta) como particular, en el poblado de Recova solo se cuenta con caseta telefónica, de la cual hace uso toda su comunidad.

En cuanto al servicio de transporte público se tiene en las comunidades que están a paso de carretera. En las comunidades de caminos rurales cuentan solo con servicio particular que proporcionan algunos propietarios de vehículos en forma eventual. ① ③

V.4. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

En la siguiente matriz se utiliza una simbología a base de letras solo considerando si la interacción es adversa o benéfica. En la matriz se considera el análisis de un evento particular sobre cada uno de los factores ambientales analizados. Asimismo, en la matriz se identifican las afectaciones adversas significativas con la letra **A**, y las benéficas con la letras **B**, y las adversa poco significativas con la letra **a**.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.

| FACTOR | Impacto | DERRAME |
|--------|----------------------------|--|
| | | Descripción |
| AGUA | No identificado | Este recurso no presentó ninguna alteración. |
| AIRE | Adverso poco significativo | La afectación identificada en la calidad del aire se debió principalmente a la evaporación de los compuestos volátiles del líquido derramado en un área abierta y expuesta a corrientes de viento, por lo que se califica como negativo, pero poco significativo por su carácter temporal. |
| FLORA | Adverso poco significativo | El impacto detectado en la flora del sitio se califica como poco significativo debido a que la vegetación afectada por el derrame corresponde solo a hierbas de importancia secundaria y pastizal. |
| FAUNA | Adverso poco significativo | El líquido derramado a su paso causó la muerte de algunas especies animales abundantes en el sitio e incluso nocivas como las ratas, por lo que el impacto detectado es poco significativo. |

| FACTOR | Impacto | DERRAME |
|-----------------------|------------------------|--|
| | | Descripción |
| PAISAJE | Adverso significativo. | En el momento en el que ocurre el derrame y, mientras permanece el contaminante el paisaje se ve afectado de forma negativa. |
| SUELO | Adverso significativo | Referente al suelo tenemos un impacto que se calificó como negativo y significativo, ya que el contaminante afecta las características fisicoquímicas del suelo impidiendo el desarrollo de cualquier tipo de vida en el sitio contaminado. |
| TRANSPORTE | Adverso Significativo | Durante esta primera etapa el tránsito vehicular se vio afectado de forma negativa, si consideramos el tipo de vehículos que transitan esta vía, la cual solo cuenta con dos carriles, uno para cada dirección y que permaneció bloqueada, podemos ver que la entrega de ciertos productos se vio retardada debido al accidente. |
| MEDIO SOCIO-ECONÓMICO | Adverso significativo | Las pérdidas materiales corresponden primeramente a la empresa transportista y enseguida a los campesinos, ya que mientras permanece el contaminante en los suelos de cultivo se ven obstruidas sus labores agrícolas. |
| PAISAJE | Adverso significativo. | En el momento en el que ocurre el derrame y, mientras permanece el contaminante el paisaje se ve afectado de forma negativa. |

En términos generales, podemos considerar que con motivo del evento se presentan afectaciones negativas.

V.5. RECURSOS ALTERADOS

Para llevar a cabo la evaluación de recursos alterados se tomaron las dimensiones (largo y ancho) correspondientes a cada una de las zonas afectadas descritas en el capítulo 2, esto se realizó en forma directa, es decir el fluido derramado es de color oscuro por lo que impregna su color en el área en la cual se derramó y es posible percibir visualmente las manchas.

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de cada una de las áreas contaminadas con combustóleo, así como el volumen total de tierra afectada.

RECURSOS ALTERADOS.

| ZONA | ANCHO m | LARGO m | AREA m ² | PROF. cm | VOLUMEN m ³ | |
|--------------|------------|------------|---------------------|-----------|---------------------------|---------------------------------------|
| A | 5 | 8 | 40 | 25 | 10 | Extremo Noreste |
| B | 4 | 10 | 40 | 25 | 10 | Extremo Sureste |
| C | 6 | 20 | 120 | 45 | 54 | Pendiente (extremo de la carretera). |
| D | 7 | 8 | 56 | 30 | 17 | Charco adjunto al canal. |
| E | 5 | 45 | 225 | 15 | 34 | Brecha paralela a la carretera. |
| F | 3.4 | 250 | 850 | 35 | 300 | Canal de desahogo de aguas pluviales. |
| G | 8 | 20 | 160 | 15 | 24 | Zona paralela al canal. |
| TOTAL | | | 1491 | 30 | 449 | Tierra contaminada. |

La profundidad alcanzada por el combustóleo en el predio alcanza los 30 centímetros en promedio, para las zonas A, B y C 60 cm. para el Canal de desahogo de aguas pluviales. por lo que el volumen total de tierra contaminada asciende a 449 metros cúbicos

A M B I E N T A L

R E S T A U R A C I Ó N

VI. RESTAURACIÓN AMBIENTAL

Para llevar a cabo la restauración del sitio contaminado se definieron las siguientes actividades:

- ⊗ Remoción de suelos contaminados.
- ⊗ Preparación del terreno para llevar a cabo la biorremediación.
- ⊗ Tratamiento físico
- ⊗ Biorremediación
- ⊗ Reincorporación del material tratado.

IV.1 REMOCIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

En la primera etapa de restauración, con el fin de evitar que el material derramado tuviese una mayor infiltración sobre el suelo, se recolectó la tierra impregnada con combustóleo de las diferentes zonas contaminadas y se colocó sobre un linner impermeable

Antes de comenzar a remover la tierra contaminada de la zona F (canal de recolección de aguas pluviales), se recolectó una cantidad considerable de combustóleo líquido, el cual se colocó en tambores de 200L y parte de este se utilizó para acostumbrar a la bacteria a consumir el combustóleo como su única fuente de carbono y lograr acelerar el proceso de degradación de hidrocarburos.

Para llevar a cabo esta actividad y prácticamente todas las contempladas en el proyecto, se contrato personal de la misma región, el trabajo en forma manual, utilizando herramientas como palas, picos, barretas, carretillas etc. y bajo supervisión del personal técnico de Ecológica Profesional de México S.A. de C.V.

Esta primera etapa del proyecto se llevo a cabo en un periodo de 17 días.

VI.2. PREPARACION DEL SITIO (ÁREAS DE TRABAJO)

Durante el trabajo de remediación se definieron solo dos áreas, la primera de ellas α (propiedad privada), corresponde al sitio en el que se llevó a cabo el tratamiento biológico y la zona β (límite entre propiedad privada y ejido), correspondiente al canal de retención de aguas pluviales, donde se recolectó parte del líquido derramado y donde se realizó el tratamiento físico-químico de la tierra contaminada.

AREAS DE TRABAJO.

| ZONA | DESCRIPCIÓN |
|----------|-------------------------------|
| α | Zona de tratamiento Biológico |
| β | Zona de tratamiento Físico |

El área necesaria para llevar a cabo la Bioremediación fue de 1280m^2 , esta se ubicó a sobre una franja paralela al canal de retención de aguas pluviales (zona F), la zona es propiedad privada y de uso agrícola, fue necesario nivelar la superficie para poder colocar una membrana impermeable cuya función fue evitar cualquier infiltración posible, además de que nos permite realizar el movimiento de la tierra sin provocar un incremento en la cantidad de tierra a tratar, esta corresponde a un liner calibre 600, la longitud de este fue de 160m, con 8m de ancho, por lo que el área total ocupada por la tierra contaminada fue de 1280m^2 , a esta zona la denominamos α , la distancia aproximada entre la carretera y el extremo norte de esta área fue de 10m, las dimensiones de esta área son las siguientes:

| | LARGO | ANCHO | ÁREA |
|---------------|---------|-------|-------------------|
| zona α | 160.0 m | 8.0 m | 1280 m^2 |

La tierra contaminada fue distribuida a lo largo de esta zona con un grosor aproximado de 35 cm, con lo cual el volumen total de tierra tratada fue de 448 m^3 .

Para llevar a cabo el tratamiento físico de la tierra contaminada se utilizó parte del canal de captación de aguas pluviales, una vez retirado el combustible de la zona se llevó a cabo la construcción de diques de lavado a base de concreto aprovechando el canal, la capacidad de los diques fue de tres metros cúbicos de tierra (zona β).

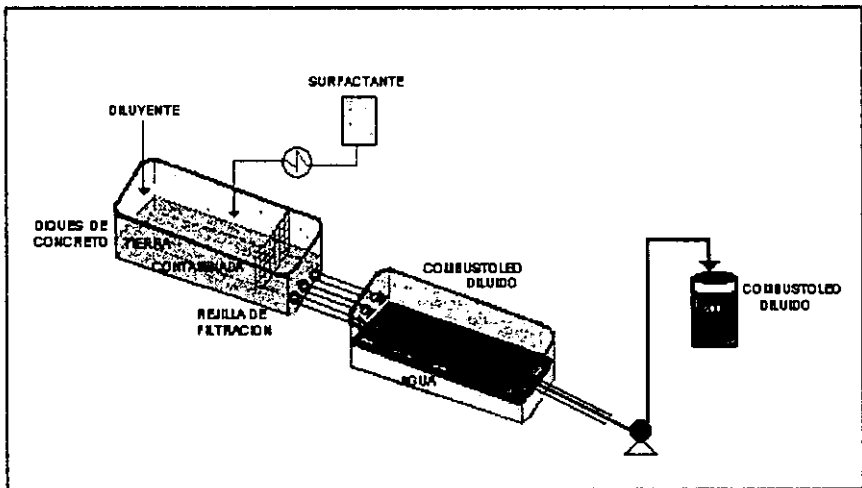
VI.3. TRATAMIENTO FÍSICO

La finalidad de esta etapa fue provocar la emulsión del combustóleo, separar la mayor cantidad posible de éste, con lo cual además de disminuir la concentración del combustóleo se aumenta la disponibilidad de este en la tierra tratada.

Los diques de lavado se utilizaron al 80% de su capacidad, en promedio se trataban 14m³ de tierra contaminada por día.

El esquema de operación es el siguiente:

Tratamiento Físico



El procedimiento que se empleo para el lavado fue el siguiente:

1. Se coloca una capa de tierra contaminada en el fondo del tanque de lavado, como el combustóleo es un fluido muy viscoso se le agregó diesel como diluyente.

2. El segundo paso es agregar un agente surfactante que permite la formación de pequeños conglomerados de hidrocarburo, formando dos fases, posteriormente se realiza una separación de la fase orgánica en la cual se extrae combustóleo diluido con diesel.
3. Como resultado de esta etapa se obtiene por un lado la tierra con una concentración del hidrocarburo menor a la inicial, y por el otro el combustóleo diluido que se somete a degradación biológica.

Este proceso se inició después de haber recolectado la mayor parte del material contaminado sobre el liner, la construcción de los diques se llevó 4 días y se mantuvieron en operación durante 40 días.

Estas actividades se realizaron en forma simultánea con el tratamiento biológico, ya que una vez que la tierra contaminada había pasado por los tanques de lavado, se incorporaba nuevamente al liner colocado en la zona α . El procedimiento consistió en iniciar el tratamiento biológico y posteriormente retirar el material contaminado, lavarlo y finalmente regresarlo otra vez al tratamiento biológico.

VI.4 BIOREMEDIACIÓN

La Bio-Remediación es un proceso biológico en el cual el papel principal es desempeñado por bacterias, las cuales necesitan un medio adecuado para poder sobrevivir, desarrollarse y cumplir su función, que es la de degradar los hidrocarburos presentes en el sitio en el cual se habitan, para obtener ese medio se deben adicionar agentes externos que proporcionen las condiciones necesarias.

Para lograr un medio en el cual la bacteria pueda desarrollarse, reproducirse y realizar sus funciones en forma óptima, es necesario introducir sustancias químicas que cumplen diferentes funciones dentro del proceso de Bio-Remediación.

Las etapas o fases que se llevaron a cabo durante la bioremediación son las siguientes:

- ✦ Incorporación de aditivos
- ✦ Aireación y Humidificación
- ✦ Inoculación

VI.4.1. INCORPORACIÓN DE ADITIVOS:

Estas sustancias son principalmente agentes oxidantes, emulsificantes y nitrificantes, los cuales se incorporaron al proceso en cantidades y concentraciones previamente determinadas y por medio de riego.

Oxidante

Este producto desempeña una función muy importante dentro del proceso, ya que destruye algunos de los microorganismos que se encuentran en el medio, es decir aquellas bacterias nativas que pudiesen impedir el desarrollo de la especie de interés, además al oxidar y romper algunos de los enlaces del hidrocarburo facilita la acción degradadora de la bacteria.

El agente oxidante utilizado se denomina OXI-PENTA, se aplico en solución, para el manejo de esta substancia fue necesario utilizar guantes, La solución se fue distribuida en forma uniforme a lo largo de la zona α mediante el uso de una bomba eléctrica y manguera flexible.

Los equipos empleados en la aplicación de oxidantes fueron los siguientes:

La duración de esta etapa fue sólo de 7 días consecutivos, esta actividad estuvo cubierta

Emulsificantes:

Este aditivo es un agente surfactante que permite la interacción entre el medio de dilación y el hidrocarburo, en este caso el tensoactivo utilizado fue SURFAC-2000, esta substancia es biodegradable y provoca la formación de una emulsión, es decir, el hidrocarburo se fragmenta en pequeños aglomerados llamados miscelas, cuya propiedad de interés en la bioremediación es su polaridad, la cual permite la miscibilidad del hidrocarburo en el medio de dilución.

La preparación de este aditivo se llevó a cabo en un tanque de polietileno con capacidad para contener 1000L, se aplicó al suelo contaminado por medio de riego.

Esta actividad tuvo una duración de 5 días consecutivos, posteriormente la frecuencia de aplicación fue de cada 36 horas

Nutrientes

Como todo sistema vivo, los microorganismos empleados para la degradación de hidrocarburos, necesitan encontrar en el medio una fuente de nitrógeno, la cual es vital para el desarrollo del sistema, en el caso que nos ocupa el aditivo que empleamos se denomina NITRO2-SIN, el cual incorporó al medio en solución, mediante riego por aspersión.

Este producto se añadió al medio después de la adición del tensoactivo.

La aplicación de NITRO2-SIN se realizó durante 2 meses con una frecuencia 1 vez por semana, esto con el fin garantizar una atmósfera adecuada y evitar la saturación del medio con sales que pudiesen inhibir el crecimiento de los microorganismos.

Esta solución se preparó en tambores de 200L en el predio en tratamiento y su manejo no requiere de ningún cuidado en especial.

VI.4.2. AEREACIÓN Y HUMIDIFICACIÓN

Aereación

La bacteria empleada como ya mencionamos anteriormente corresponde a la pseudomona aeruginosa, la cual es estrictamente aerobia, razón por la cual es necesario proporcionar al medio una cantidad suficiente de oxígeno, esto se logra a través de la aereación del suelo.

El proceso de aereación consiste en permitir el contacto entre el material contaminado y el aire, esto se realizó en forma manual, a través del movimiento de tierra, de tal forma que la parte inferior pase constantemente a la superior y viceversa, esta actividad nos permite en primer lugar oxigenar el medio en cual se llevará a cabo la inoculación de bacteria y en segundo prepara el terreno para que la impregnación de aditivos sea adecuada.

Además, la degradación realizada por la bacteria es una actividad aerobia, lo cual quiere decir que requiere del oxígeno para su adecuado funcionamiento; condiciones anaerobias inhiben su desarrollo y actividad.

Esta actividad se llevó a cabo durante todo el proceso de bio-remediación, ya que además nos permite que el proceso sea homogéneo, al mezclar las sustancias incorporadas al suelo en tratamiento.

Esta actividad se realizó diariamente durante 68 días y estuvo intercalada con las demás.

Humidificación.

El proporcionar la humedad suficiente al suelo en tratamiento ayuda a conservar un medio propicio en el cual los microorganismos no solo se desarrollen, si no que además se reproduzcan y desarrollen las reacciones enzimáticas que provocan el desdoblamiento de las cadenas del hidrocarburo.

Para llevar a cabo esta actividad fue necesario emplear una gran cantidad de agua, la cual se aplicó en combinación con reactivos químicos en el medio de trabajo, las exigencias en cuanto a la calidad del agua requerida nos obliga a buscar un medio de suministro confiable, en este caso el agua se obtuvo de un pozo de extracción de agua subterránea ubicado en Apizaco Tlaxcala.

Al igual que la aereación, la humidificación también se realizó durante el periodo completo que abarca la bio-remediación.

VI.3. INOCULACIÓN

Esta etapa del proyecto representa la parte fundamental de la bio-remediación, ya que en las fases anteriores solo se logra la preparación del terreno, atmósfera bajo la cual han de llevarse a cabo las reacciones enzimáticas que provocan la ruptura de cadenas en los hidrocarburos; Para que estas reacciones se lleven a cabo, es indispensable el adecuado funcionamiento de los microorganismos, los cuales se mantienen con el hidrocarburo a degradar como única fuente de carbono por lo menos 45 días antes de su aplicación en el suelo, el proceso de degradación es lento, razón por la cual se debe mantener el medio en condiciones óptimas para el desarrollo de la bacteria.

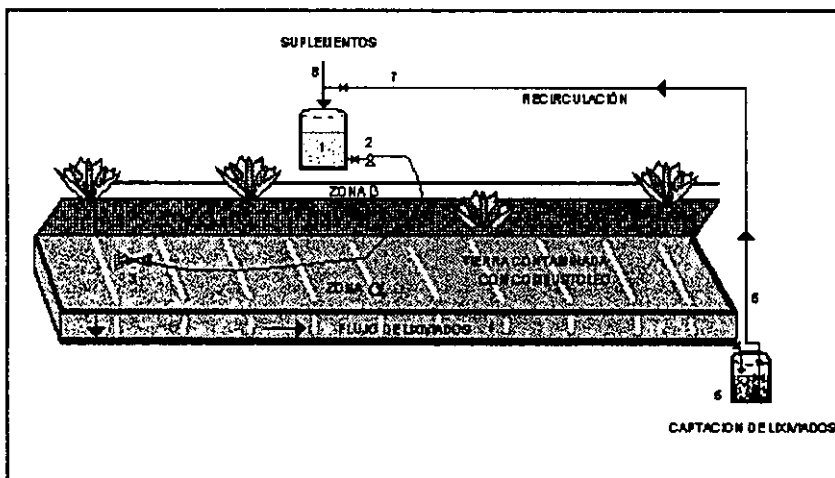
El cultivo de microorganismos capaces de degradar hidrocarburos (*P. aeruginosa*) se debe mantener lo más cercanamente posible al sitio en restauración, en esta ocasión, el cultivo se mantuvo en tanques especiales llamados bio-reactores, en los cuales se les presta especial atención y se busca la manera de aclimatarlas de forma eficiente sin que disminuya la calidad de su trabajo, el proceso no es tan sencillo, ya que los microorganismos tienen que luchar contra los interperismos característicos de cada lugar, pero una vez que lograron adaptarse al medio de vida, su actividad degradadora comienza a elevarse de forma considerable, esta especie es estrictamente aerobia, por tal motivo es necesario inyectar aire al bioreactor para mantener la concentración de oxígeno en el medio.

El cultivo bacteriano que empleamos lleva por nombre ENZIMA y se incorporó al medio mediante riego, se aplicó a toda la superficie en tratamiento, que corresponde a 1280m², la dosis de aplicación fue de alrededor de mil unidades formadoras de colonias por metro cúbico de tierra en tratamiento cada 48 horas, de las cuales solo logran sobrevivir alrededor del 20%, razón por la cual es necesario primero darles tiempo para aclimatarse y segundo adicionar constantemente más microorganismos para asegurar la que existen en el medio microorganismos encargados de la degradación del hidrocarburo.

La inoculación de microorganismos se llevo a cabo durante dos meses, su distribución en la zona se hizo mediante riego por aspersión.

En el siguiente esquema como se llevó a cabo la bioremediación *in situ* en la zona α .

Esquema de Operación. (Tratamiento Biológico)



1. Tanque de distribución de suplementos y bacteria.
2. Los nutrientes y tensoactivos se distribuyen en la tierra mediante riego por aspersión utilizando una bomba eléctrica.
3. Para regar las soluciones en la tierra se hizo uso de un equipo lavador de alta presión.
4. Las soluciones inyectadas se infiltran a través de la tierra contaminada, llegan al linner colocado en la parte inferior y llegan al punto 5.
5. Tanque de almacenamiento de lixiviados
6. El líquido recolectado en el tanque se recircula al sistema.
7. Los lixiviados se mueven a través de una bomba sumergible que permite que el líquido llegue al punto 1 nuevamente.
8. En este punto se inyecta al sistema los suplementos necesarios para llevar a cabo la biodegradación.

VI.5 MONITOREOS

Durante el proceso de restauración se realizarán análisis de concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo (TPH's) en el suelo, para verificar el avance en la descontaminación del suelo y asegurar el funcionamiento de la técnica empleada en la degradación del hidrocarburo.

Las muestras se recolectaron en bolsas de plástico, etiquetados con los datos de campo correspondientes, tales como número de muestra, punto de muestreo, fecha, etc. Las muestras fueron depositadas en un contenedor plástico para su transportación al laboratorio.

VI.6 RECURSOS EMPLEADOS

Los recursos empleados en las actividades involucradas en la reatauración de sitio contaminado con combustóleo fueron los siguientes:

Equipos

| CANTIDAD | EQUIPO | CAPACIDAD |
|--|-------------------------------|---------------|
| 3 | Bombas | ½, ¾ y 1. HP. |
| 1 | Compresores | 1 HP |
| 1 | Lavador de alta presión | ½ HP |
| 1 | Planta eléctrica | 5 HP |
| 2 | Calentadores de fuego directo | 50 L |
| 2 | Bioreactores | 1000 L |
| Palas, picos, barretas, mangueras, tambores plásticos etc. | | |

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Las sustancias requeridas para los trabajos de Remediación *in situ* básicamente fueron:

- Surfactante
- Oxidante
- Nutrientes
- Bacteria
- Agua

Personal:

Coordinador de proyecto

Supervisor de obra

Obreros

VI.6 RESULTADOS

VI.6.1. CUALITATIVOS.

Una vez terminado el trabajo de restauración se hizo un análisis comparativo de impactos ambientales Atendiendo a las medidas de mitigación sugeridas en el Diagnóstico de afectación para este caso, se realizaron actividades que formaron parte del plan de restauración ambiental identificadas en el programa calendarizado para la Bio-Remediación *in situ* del precio afectado. Estas actividades provocaron otro tipo de impactos en la zona, las interacciones entre el medio y las actividades se dieron de la siguiente manera:

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

| Actividad | INICIO | FINAL |
|-----------------------|---------|--------------|
| Factor | DERRAME | RESTAURACIÓN |
| AGUA | -- | -- |
| AIRE | a | a |
| FLORA | a | B |
| FAUNA | a | B |
| SUELO | A | B |
| TRANSPORTE | A | -- |
| MEDIO SOCIO-ECONÓMICO | A | b |
| PAISAJE | A | B |

El sitio afectado está rodeado de predios de cultivo, donde se siembra principalmente maíz, además podemos identificar casas habitación a escasos 300m de distancia y el paso de la carretera.

La flora existente en el sitio específico del accidente corresponde solo a especies de importancia secundaria como pastizal, ramas y magueyes, estos últimos figuran entre las especies existentes en el lugar que no sufrieron daño alguno, la razón fue que se en el borde del canal de captación de aguas pluviales, y el combustóleo no alcanzó a subir hasta ellos.

En lo referente a la fauna, durante el tiempo que se trabajo en la Restauración del sitio encontramos que el fluido derramado a su paso termino con la vida de algunos ratones, pájaros, víboras de arrollo, entre otros reptiles, afortunadamente en el momento en el que ocurrió el accidente no estaban presentes ninguno de los pastores que acostumbran ir al sitio con su ganado.

Con respecto a recursos hídricos, se encuentra muy cerca del predio contaminado la presa de Recova, en la cual se tiene criadero de peces, afortunadamente este recurso tan importante para la población de Recova no sufrió daño alguno debido a que el material derramado se alcanzó a retener en el canal de captación de aguas pluviales, evitando así la contaminación de la presa.

Afortunadamente estos tres recursos naturales tan importantes para la población de Recova no sufrieron daños tan severos como los ocasionados al suelo, cuyo volumen fue bastante considerable, si además tomamos en cuenta que la mayor parte de este corresponde al terreno de cultivo agrícola.

Después del trabajo de restauración se tiene lo siguiente:

- El terreno queda expuesto a las condiciones naturales del medio, es decir recupera su estabilidad y si la concentración de hidrocarburos presentes es la adecuada los vegetales sembrados crecerán sin ningún problema, por lo que el impacto se califica como Benéfico significativo.

- Con respecto la flora, una vez que se abandona el sitio las especies animales podrán volver a ocupar su hábitat natural y llevar a cabo sus funciones dentro de las cadenas tróficas de la zona sin peligro de morir por acción de agentes extraños a su medio de vida.
- El suelo finalmente recupera condiciones que le permiten que lo que en el se siembre pueda cultivarse sin problemas, ya que el efecto de inhibición del crecimiento de especies vegetales habrá desaparecido.
- El paisaje se ve afectado en forma positiva, ya que recupera las características de la zona de cultivo agrícola a la cual corresponde y imagen esperada del área coincide nuevamente con la real.

VI.6.2. CUANTITATIVOS.

Para verificar que el proceso de bioremediación tubo los efectos esperados fue necesario realizar análisis de tierra durante el tratamiento de esta.

La realización de los análisis del suelo a lo largo del periodo de restauración estuvo a cargo del personal del Laboratorio de Bufete Químico, S.A. de C.V., mismo que cuenta con acreditación del Sistema Nacional de Laboratorios de Prueba (SINALP). Para lo anterior, se recolectaron muestras compuestas del material en tratamiento y se les hizo determinación de hidrocarburos Totales de Petróleo conforme al método 418.1 propuesto por la EPA¹.

Para la elaboración de muestras compuestas, se tomaron varia muestras simples (cantidades iguales de tierra en tratamiento de puntos de monitoreo escogidos aleatoriamente), se mezclaron hasta obtener una muestra homogénea, de la cual se toma la cantidad necesaria para su envío al laboratorio.

Para definir los puntos de muestreo se utilizó se consultó el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (Técnicas de muestreo y manejo de muestras para el análisis de residuos generados con objeto de determinar su peligrosidad), la técnica indica que para suelos contaminados por derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de materiales o residuos, se debe dividir el área superficial con un enrejado imaginario, en este caso la tierra estaba dividida en cuadros, el ancho del cuadro era de 4m y la distancia entre un punto y otro fue de 5m, cada cuadro se dividió en cuatro, se enumera cada una de las celdas utilizando números consecutivos y se toman muestras aleatoriamente, se envía al laboratorio la cantidad necesaria para realizar el análisis.

El tiempo entre un muestreo y otro no estaba previamente determinado, fueron realizándose conforme se vela avance en el trabajo en campo.

¹ Ver Apéndice A.

MUESTREO

Muestra 1 Inicial. La primera muestra se tomo el día 30 de Enero de 1998, para esta fecha a una parte de la tierra contaminada ya se le había sometido a tratamiento físico, y se había iniciado ya el tratamiento biológico.

- La tierra fue recolectada en bolsas de polietileno, etiquetada por Ecológica Profesional de México como "Recova-Tlax., 30-Enero-1998".

Muestra N°2 Esta toma corresponde al 25 de Febrero de 1998, la técnica empleada fue la mencionada anteriormente, para esta fecha la tierra contaminada con combustóleo había pasado ya por tratamiento físico y estaba ya en tratamiento biológico.

- La tierra fue recolectada en bolsas de polietileno, etiquetada por Ecológica Profesional de México como "Recova 25-Febrero-1998".

Muestra N°3 Durante la Restauración Esta muestra se tomo el día 25 de marzo de 1998, para esta fecha el tratamiento biológico estaba en fase estable.

- La tierra fue recolectada en bolsas de polietileno, etiquetada por Ecológica Profesional de México como "Recova 25-Marzo-1998".

Muestra N°4 Etapa final. Para esta fecha ya se había terminado el tratamiento de la tierra se había concluido y se esperaban solo los resultados de laboratorio para poder abandonar el sitio.

E

- La tierra fue recolectada en bolsas de polietileno, etiquetada por Ecológica Profesional de México como "Recova 12-Abril-1998".

Los resultados del análisis de las muestras de tierra contaminada con combustóleo, son los siguientes:

Concentración fijada como criterio de Restauración: 500ppm.

RESULTADOS DE LABORATORIO

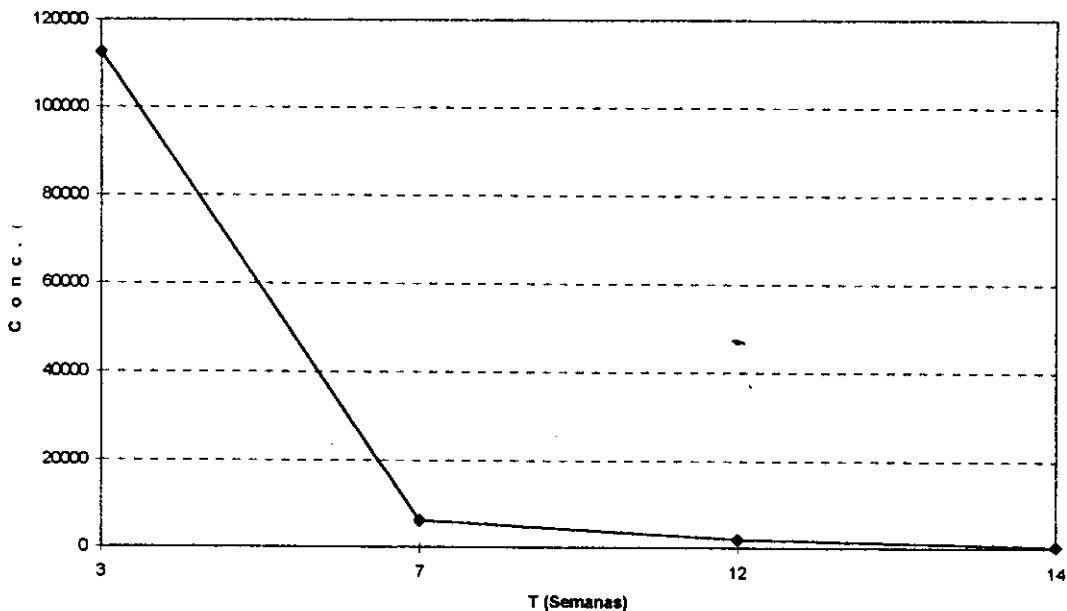
| FECHA | MUESTRA | TPH's (PPM) | AVANCE (%) | AVANCE (%) |
|---------|---------|-------------|------------|------------|
| Enero | 1 | 112632 | 00.0 | 00.0 |
| Febrero | 2 | 6150.6 | 94.0 | 94.0 |
| Marzo | 3 | 1984.3 | 67.7 | 98.2 |
| Abril | 4 | 390.0 | 80.3 | 99.0 |

La concentración final es menor a la fijada como criterio de restauración, por lo que se dió por concluido este trabajo.

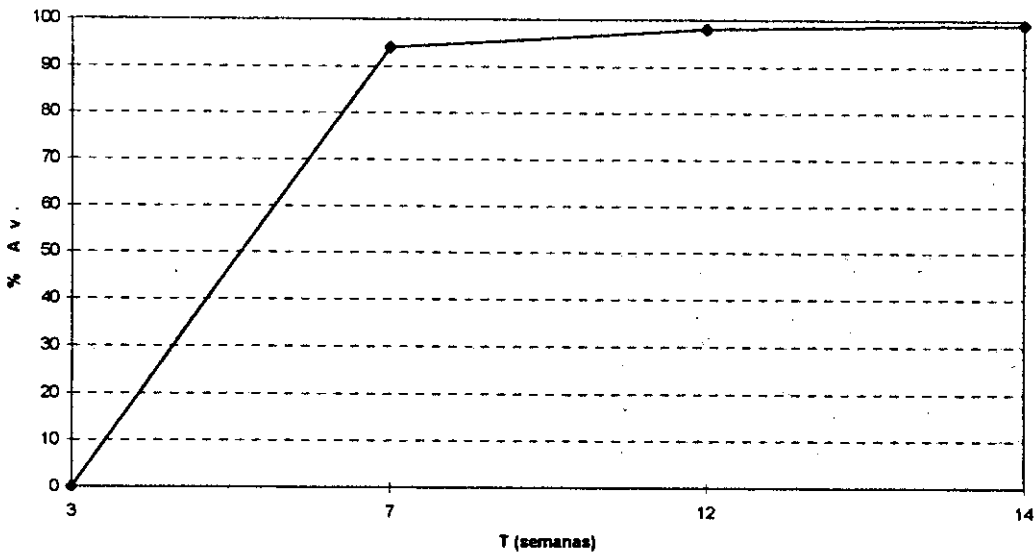
Las siguientes gráficas muestran el avance en la degradación del hidrocarburo con respecto al tiempo.

Degradación de Combustóleo

Recova - Tlaxcala



Avance en la Degradación de Combustóleo



CONCLUSIONS

VII. CONCLUSIONES:

De acuerdo con los objetivos que pretende alcanzar el presente trabajo respecto a la restauración realizada, en el estado de Tlaxcala, con motivo del derrame de combustóleo, podemos concluir lo siguiente.

- El derrame accidental de combustóleo ocasionó alteraciones graves en el medio ambiente, sin embargo mediante la restauración del sitio se logró minimizar los impactos identificados.
- Con las actividades desarrolladas en campo, se logró alcanzar la concentración propuesta como criterio de restauración, con la cual se considera que la Bio-Remediación *in situ* es una técnica eficiente en la degradación del combustóleo.
- El suelo que estuvo bajo tratamiento, tiene ahora una concentración menor a las 500ppm, con la cual es posible utilizarlo en la actividad agrícola a la que está destinado originalmente (siembra de maíz).
- Se puede afirmar que al cumplir los objetivos de la bioremediación *in situ*, el suelo restaurado cumple con las especificaciones necesarias para cumplir con el uso que se le daba antes de ser contaminado.

B
I
B
L
I
O
G
R
A
F
Í
A

VIII. BIBLIOGRAFIA.

- ① **EL PETRÓLEO**
Petróleos Mexicanos, México 1988.
Pag. 39-52

- ② **LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE**
Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.
Periférico Sur 4209, Tlalpan, México D.F.
1ª Edición, 1997

- ③ **Anthony J. Buonicore**
CLEANUP CRITERIA FOR CONTAMINATED SOIL AND GROUNDWATER.
ASTM, Philadelphia.
Pág 75-210.

- ④ **TEOREMA**
RESTAURACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS
EL PAPEL DE LA PROFEPA
México D.F., Septiembre – Noviembre 1998
AÑO 5 N°18, Pag. 73-75

- ⑤ **MUY INTERESANTE**
TODAS LAS TÉCNICAS PARA DESCONTAMINAR SUELOS
COMO SALVAR LAS TIERRAS ENVENENADAS
México D.F., Octubre de 1998
AÑO 15 N°10, Pag. 68-73

- ⑥ Harry M Freeman, Eugene F Harris
HAZARDOUS WASTE REMEDIATION
INNOVATE TRATMENT TECHNOLOGIES
Technomic Publishing Company
Lancaster Pennsylvania U.S.A., 1995
pp.342
- ⑦ Ernest Beer Stecher Jr.
PETROLEUM MICROBIOLOGY.
An Introduction to microbiological Petroleum Engineering.
Elsevier Press Inc,Houston 1954.
pág. 127-203.
- ⑧ Koneman, Allen, Dowell, Jnada, Sommers,Winn.
DIAGNÓSTICO MICROBIOLÓGICO.
Ed. Panamericana, México 1997.
pág 854.
- ⑨ R Krieg Noel, G Holt John.
BERGEY'S MANUAL OF SISTEMATIC BACTERIOLOGY
Ed. Board, Baltimore London 1984 Vol 1
pag.
- ⑩ B.P. Davis, R Dulbeco, H.N. Eisen, H.S. Ginsberg
TRATADO DE MICROBIOLOGÍA
3ª Edición, Salvat, España 1984.
Pág. 552-553

- ❶ ❶ **ANUARIO ESTADISTICO DEL ESTADO DE TLAXCALA 1997.**
Instituto Nacional de Estadística y Geografía
México 1995.
pp. 389

- ❶ ❷ **González Olvera Marcelino**
ESTUDIO DE LOS RASGOS QUE EXISTEN EN EL MUNICIPIO DE HUEYOTLIPAN.
Hueyotlipan Tlaxcala, 1998
pp 54.

- ❶ ❸ **DESARROLLO URBANO**
ECOPLAN DEL ESTADO DE TLAXACALA.
Gobierno del estado
Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas

- ❶ ❹ **Servicio Meteorológico Nacional.**
CONDICIONES NORMALES CLIMATOLÓGICAS
PARA EL ESTADO DE TLAXCALA.

A p e n d i c e



REPORTE DE ACTIVIDADES BIO-REMEDIACIÓN "INSITU" **DERRAME DE COMBUSTÓLEO** **RECOVA - TLAXCALA**

| DIA/ ACTIVIDAD | M | M | V | S | L | M | M | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | |
|-------------------|-----------|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | 23 | 24 | 26 | 27 | 29 | 30 | 31 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| | Diciembre | | | | | | | | | | | | | | Enero | | | | | | | | | | | | | |
| R.S.C. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P.S. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T.F. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OXI-PENTA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AEREACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HUMIDIFICACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SURFAC-2000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BIO-ACITIBAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NITRO2-SIN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENZIMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- R.S.C. Remoción de suelo contaminado.
- P.S. Preparación del sitio
- T.F. Tratamiento Físico

REPORTE DE ACTIVIDADES BIO-REMEDIACIÓN "INSITU"
DERRAME DE COMBUSTÓLEO
REGOVA - TLAXCALA

| DIA/ ACTIVIDAD | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M | J | V | S | L | M | M |
|-------------------|---------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 23 | 24 | 25 |
| | Febrero | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R.S.C. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P.S. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T.F. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OXI-PENTA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AEREACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HUMIDIFICACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SURFAC-2000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BIO-ACITIBAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NITRO2-SIN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENZIMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

R.S.C. Remoción de suelo contaminado.
P.S. Preparación del sitio
T.F. Tratamiento Físico

REPORTE DE ACTIVIDADES BIO-REMEDIACIÓN "INSITU"
DERRAME DE COMBUSTÓLEO
REGOVA - TLAXCALA

| DIA/ ACTIVIDAD | J 26 | V 27 | S 28 | L 2 | M 3 | M 4 | J 5 | V 6 | S 7 | L 9 | M 10 | M 11 | J 12 | V 13 | S 14 | L 16 | M 17 | M 18 | J 19 | V 20 | S 21 | L 23 | M 24 | M 25 | J 26 | V 27 | S 28 | |
|-------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| | Marzo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R.S.C. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P.S. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T.F. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OXI-PENTA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AEREACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HUMIDIFICACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SURFAC-2000 | ■ | | | ■ | | | | ■ | | | | | ■ | | | ■ | | | ■ | | | | ■ | | | | ■ | |
| BIO-ACITIBAN | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | ■ | |
| NITRO2-SIN | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | ■ | |
| ENZIMA | ■ | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | ■ | |

R.S.C. Remoción de suelo contaminado.
P.S. Preparación del sitio
T.F. Tratamiento Físico

APENDICE A

DETERMINACION DE TPH's

Método 418.1 de la EPA.

1. CAMPO DE APLICACIÓN.

1.1 Este método es para la medición de hidrocarburos de petróleo extraíbles con fluorocarbono-113 de superficies, agua salina y desechos industriales y/o domésticos.

1.2 Este método es aplicable para medir combustibles ligeros, aunque la pérdida de cualquier presencia de gasolina durante el procedimiento de extracción puede ser esperada.

1.3 El método es sensible para determinar hasta niveles de 1 mg/l.

2. RESUMEN DEL MÉTODO.

2.1 La muestra es acidificada a un pH bajo (< 2) y varias veces extraída con fluorocarbono-113 en un embudo de separación. Las interferencias son removidas con sílica gel adsorbente. El análisis de infrarrojo del extracto se realiza por comparación directa con muestra patrón.

3. DEFINICIONES

3.1 Como en el caso de aceites y grasas, el parámetro de Hidrocarburos del Petróleo es definido por el método. La medición puede estar sujeta a interferencias y los resultados deberían ser evaluados así como tal.

3.2 Aceites y grasas es una medición de grasas animales y aceites vegetales biodegradables junto con aceite mineral no biodegradable. Los hidrocarburos del petróleo es solamente la medición de aceites minerales. Mayor información puede ser obtenida usando ambos métodos para medir y caracterizar aceites y grasas de todas las fuentes.

4 MUESTREO Y PRESERVACIÓN.

4.1 Una muestra representativa de 1 litro deberá ser colectada en un frasco de vidrio. La recolección de una muestra compuesta no es recomendable. La muestra completa es consumida por la prueba; ningún otro análisis puede ser realizado usando alicuotas de la muestra.

4.2 Una demora en el muestreo y el análisis que sea mayor de 4 horas requiere preservación de la muestra adicionando 5 ml de HCl (6.1). Un retraso mayor de 48 horas también requiere refrigeración para la preservación de la muestra.

5 APARATOS.

- 5.1 Embudo de separación, 2000 ml, con llave de teflon.
- 5.2 Papel filtro, Whatman N° 40, 11 cm
- 5.3 Espectrofotómetro infrarrojo, con amplitud de onda variable o fija para mediciones alrededor de 2950 cm.
- 5.4 Celdas. 10mm, 50 mm y 100 mm de longitud, de cloruro de sodio o vidrio para infrarrojo.
- 5.5 Parrilla o agitador con base magnética.
- 5.6 Barras magnéticas.

6 REACTIVOS.

- 6.1 Acido clorhídrico, 1:1. Mezcla de igual volumen de HCl concentrado y agua destilada.
 - 6.2 Fluorocarbon-113, (1,1,2-trifluoroetano), punto de ebullición 48°C.
 - 6.3 Sulfato de sodio, cristales anhidros.
 - 6.4 Silica gel, malla 60-200, grado Davidson S50 o equivalente. Deberá contener de 1 a 3 % de humedad.
 - 6.5 Mezclas de calibración:
 - 6.5.1 Aceite de referencia: pipetear 1 ml de n-hexadecano, 15 ml de isooctano, y 10 ml de clorobenceno en un matraz de vidrio de 50 ml. Manteniendo cerrada la mezcla excepto cuando se tomas las alicuotas.
 - 6.5.2 Provisión estándar: pipetear 1 ml de aceite de referencia (6.5.1) en un matraz volumétrico tarado de 200 ml e inmediatamente cerrarlo. Peso y diluya a un volumen con fluorocarbon-113.
 - 6.5.3 Estándares de trabajo: pipetear un volumen apropiado del stock standar (6.5.2) en un matraz volumétrico de 100 ml a la longitud de la celda a ser usada. Diluir a volumen con fluorocarbon-113. Calcular la concentración de los standar de la provisión standar.
-

7 PROCEDIMIENTO.

- 7.1 Marcar el frasco de la muestra en el menisco del agua para la determinación posterior del volumen de muestra. Si la muestra no fue acidificada al momento de la recolección, adicione 5 ml de HCl (6.1) al frasco de la muestra. Después de mezclar la muestra, revisar el pH con papel sensible al pH en la tapa asegurandose que el pH es 2 o menor. Adicionar más ácido si es necesario.
- 7.2 Vacío la muestra en un embudo de separación.
- 7.3 Adicione 30 ml de fluorocarbon-113 (6.2) al frasco de la muestra y girar el frasco para que entre en contacto con las paredes del frasco. Transferir el solvente al embudo de separación. Extraer por agitación vigorosa por 2 minutos. Permita que las fases se separen.
- 7.4 Filtre la fase del solvente a través de un embudo que contenga papel filtro, humedecido en solvente, en un matraz volumétrico de 100 ml. NOTA 1: Una emulsión que no se disipa puede ser separada agregando 1 g de sulfato de sodio (6.3) en el cono del papel filtro y vaciando lentamente la emulsión a través de la sal. Una porción de 1 g adicional puede ser agregado al filtro como sea requerido.
- 7.5 Repetir (7.3 y 7.4) dos veces más con una porción de 30 ml de solvente fresco, combinando todo el solvente dentro del matraz volumétrico.
- 7.6 Enjuague las orillas del embudo de separación, el papel filtro y el embudo con un total de 5 a 10 ml de solvente y colecte el enjuague en el matraz. Diluya al extracto a 100 ml. Si el extracto es conocido por contener mayor de 100 mg de material orgánico no hidrocarbonado, pipetear una porción apropiada de la muestra a un volumen de 100 ml y diluir a un volumen.
-

7.7 Descartar de 5 a 10 ml de solución del matraz volumétrico. Adicionar 3 g de silica gel (6.4) y una barra de agitación, tapar el matraz volumétrico, y agitar la solución por un mínimo de 5 minutos sobre una base magnética.

7.8 Seleccionar el estándar de trabajo apropiado y el tamaño de las celdas de acuerdo a la siguiente tabla de los rangos de trabajo aproximados:

| Tamaño de celda | Rango |
|-----------------|-------------|
| 10mm | 2.0-40.0 mg |
| 50mm | 0.5-8.0 mg |
| 100mm | 0.1-4.0 mg |

Calibrar el instrumento para la celda apropiada usando una sola serie de estándares de trabajo (6.5.3). No es necesario adicionar silica gel a los estándares. Determinar adsorbancia directamente para cada solución en el rango máximo de adsorbancia de 2930 cm/l. Preparar una curva de calibración de adsorbancia contra mg de Hidrocarburos del petróleo por 100 ml de solución.

7.9 Después de que la silica gel ha sido colocada en el extracto de la muestra, tener una celda limpia con solución y determine la adsorbancia del extracto. Si la adsorbancia excede 0.8 preparar una dilución apropiada. NOTA 2 : La posibilidad de que la adsorbancia de la silica gel ha sido excedida puede ser probada en este punto por adición de otros 3.0 g de silica gel al extracto y repetir el tratamiento y la determinación.

7.10 Determinar la concentración de hidrocarburos del petróleo en el extracto, comparando la respuesta contra la curva de calibración.

8 CÁLCULOS.

8.1 Calcular los hidrocarburos del petróleo en la muestra usando la fórmula:

$$\text{mg/l de hidrocarburo del petróleo} = \frac{R \times D}{V}$$

donde:

R = mg de hidrocarburos del petróleo determinados de la curva de calibración (7.1)

D = factor de dilución del extracto si es usado.

V = volumen de muestra, en litros.

9 PRECISIÓN Y EXACTITUD.

9.1 Los datos de precisión y exactitud no se obtienen en esta ocasión.
