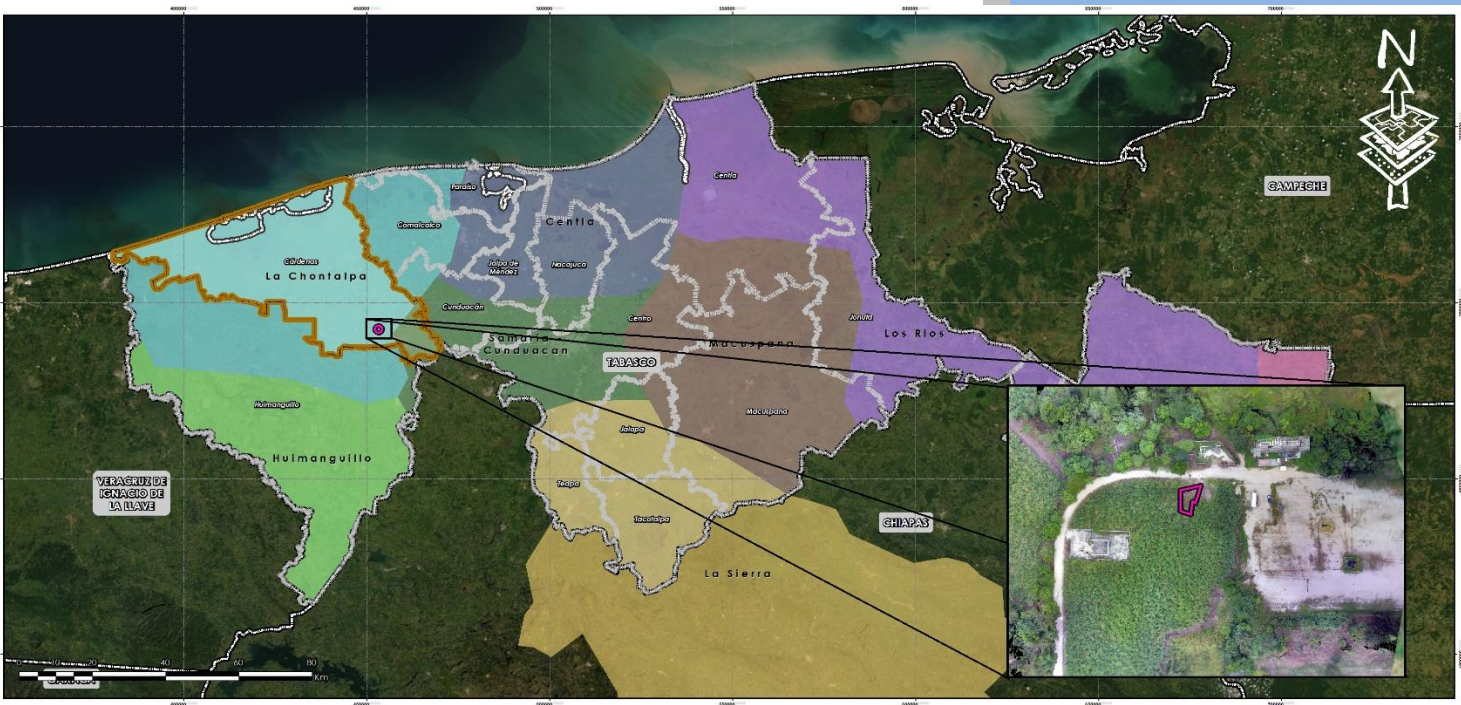


ACOMETIDA DE LA TRAMPA DE ENVÍO DEL OLEOGASODUCTO (FUERA DE OPERACIÓN TEMPORAL) DE 8" X 2.180 KM DEL CABEZAL CÁRDENAS 107 A LA BATERÍA CÁRDENAS NORTE



PROPUESTA DE REMEDIACIÓN

**CORPORATIVO DE
SERVICIOS AMBIENTALES,
S.A de C.V.**

MAYO 2022

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
1. OBJETIVOS	5
1.1. Objetivo General	5
1.2. Objetivos Específicos	5
2. ANTECEDENTES	6
2.1. Lugar y fecha en que ocurrió la emergencia	6
2.2. Descripción del sitio contaminado	6
2.3. Causa de la contaminación	7
3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA	8
3.1. Ubicación	8
3.2. Fisiografía	9
3.3. Climatología y metrología.....	10
3.3.1. Clima.....	10
3.3.2. Temperatura Media.....	10
3.3.3. Precipitación Pluvial.....	10
3.3.4. Hidrografía	10
3.4. Geología.....	11
3.5. Edafología	11
4. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN	12
4.1. Fundamentos de la selección de la técnica.....	12
4.2. Técnicas de remediación	13
4.3. Suelos y Contaminantes al que aplica la técnica	14
4.4. Descripción de las técnicas de remediación a aplicar	15
4.4.1. Descripción del proceso de “extracción de vapores en el sitio contaminado”	15
4.4.2. Descripción del proceso de “Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos y materiales semejantes a suelos contaminados con hidrocarburos”	16
4.4.2.1. Datos generales de la metodología de tratamiento por “Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos y materiales semejantes a suelos contaminados con hidrocarburos”	18
4.4.3. Factores que afectan las variables del proceso de tratamiento, métodos de monitoreo y control.....	20
4.4.4. Método para monitorear el parámetro de proceso “pH” en laboratorio fuera del sitio de tratamiento	21

4.4.5. Método para el monitoreo de los nutrientes fósforo, nitrógeno y potasio en laboratorio fuera del sitio de tratamiento	22
4.4.6. Control de los nutrientes fosforo, nitrógeno y potasio durante el tratamiento	30
5. DESCRIPCION DE LA TÉCNICA O PROCESO DE REMEDIACION	35
5.1. Descripción de las etapas de remediación de sitio	35
Etapa1.- Aplicación de la técnica de tratamiento “extracción de vapores en el sitio contaminado”.....	35
Etapa 2.- Aplicación de la técnica de tratamiento del proceso de Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado.....	35
5.2. Construcción del sistema para biorremediación.....	35
5.3. Preparación y aplicación de insumos en el proceso.....	36
5.4. Insumos empleados, control de procesos de tratamiento, frecuencia de aplicación de insumos en el proceso	37
5.5. Insumos empleados, control de procesos de tratamiento, frecuencia de aplicación de insumos desorción térmica fuera del sitio	38
6. REONSABLE TÉCNICO DE LA REMEDIACIÓN.....	39
7. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS A EMPLEAR EN LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO	42
8. NIVELES DE CONCENTRACIÓN ALCANZABLES EN LA REMEDIACIÓN	42
9. PLAN DE MONITOREO EN EL SITIO	43
9.1. Descripción de la metodología a aplicar durante las pruebas de campo con el fin de dar seguimiento a los trabajos de remediación	44
10. PLAN DE MUESTREO FINAL	45
10.1. Determinación de los puntos de muestreo y número de muestras.	45
11. EL USO FUTURO DEL SITIO REMEDIADO	48
12. ANEXOS.....	49

INTRODUCCIÓN

El presente se desarrolla en el marco jurídico que establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), misma que establece las bases legales para la prevención de la contaminación de sitios con materiales y residuos peligrosos y su remediación. El Reglamento de la LGPGIR, señala en los artículos 126 al 152 de su Título Sexto "Remediación de Sitios Contaminados" que se deberán de llevar por los responsables de la contaminación de un sitio la elaboración y la ejecución de los programas de remediación ya sea en el caso de un sitio contaminado denominado pasivo ambiental o en el caso de un sitio contaminado a causa de una emergencia ambiental.

Asimismo, en virtud del derrame de hidrocarburos ocurrido el lunes 10 de agosto de 2020 aproximadamente a las 13:45 horas, en la Acometida de la Trampa de Envío del Oleogasoducto (fuera de operación temporal) de 8" x 2.180 km del Cabezal Cárdenas 107 a la Batería Cárdenas Norte, ubicada en el Ejido Vicente Guerrero, Poblado C-29 del Municipio de Cárdenas en el estado de Tabasco, del cual se notificó la posible presencia de hidrocarburos y burbujeo que emanaba del suelo, se inspeccionó y confirmó el origen de este, para posteriormente, mediante movimientos operativos en el Cabezal Cárdenas 107, controlar la fuga y llevar a cabo las medidas de urgente aplicación para evitar su dispersión y migración.

En virtud de lo antes mencionado, se realizaron los trabajos de caracterización ambiental en un área de estudio de 0.02 ha, lo que implicó realizar un estudio indirecto y un estudio directo.

En el primero se realizó un muestreo de 23 puntos distribuidos de manera uniforme, el objetivo de estos resultados fueron definir los puntos específicos para el muestreo directo, en este muestreo se consideraron inspecciones visuales del sitio; puntos con evidente presencia de contaminante y puntos sin aparente evidencia. Los resultados permitieron determinar la pluma de contaminación y puntos específicos de concentración.

Una vez identificada la concentración de hidrocarburos en el área afectada por el derrame, se realizó el muestreo directo; para este se consideraron muestras a diferentes profundidades, en 5 puntos de muestreo; entre las muestras se consideró una duplicada y una de fondo. En total se tomaron 10 muestras.

Las concentraciones de hidrocarburos fueron determinadas analíticamente y con estricto apego a la normatividad aplicable, en función de los requisitos que establece la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. En los resultados de caracterización se encontraron concentraciones de hidrocarburos en fracción ligera (HFL), fracción media (HFM) y fracción pesada (HFP), por encima de los límites máximos permisibles.

Para el caso de los hidrocarburos de la fracción pesada se encuentran con valores mínimos y máximos que van de entre 9,022.28 mg/kg hasta 28,330.25 mg/kg, a profundidades 1.7 metros; para fracción media existe presencia mínima de 9,110.07 mg/kg y máxima de 36,937.3 mg/kg, a profundidades 1.7 metros; y para fracción ligera existe presencia mínima de 218.3 mg/kg y máxima de 7,294.42 mg/kg, a profundidades 1 y 1.8 metros respectivamente. Y una alta presencia en los compuestos orgánicos volátiles del petróleo (BTEX).

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Analizar y determinar las técnicas de remediación que se aplicarán para dar tratamiento al suelo contaminado en la emergencia ambiental ocurrida en la Acometida de la Trampa de Envío del Oleogasoducto (Fuera de Operación Temporal) de 8" x 2.180 km del Cabezal Cárdenas 107 a la Batería Cárdenas Norte, a fin de restaurar sus características utilizando lo dispuesto en la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012.

1.2. Objetivos Específicos

- Analizar el estudio de caracterización para identificar las concentraciones de hidrocarburos que se encuentren por encima de los Límites Máximos Permisibles de la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012.
- Proponer las técnicas de remediación que permitan que la concentración de hidrocarburos en el suelo contaminado sea iguales o menores a los límites máximos permisibles.
- Llevar a cabo los procedimientos y procesos de remediación, conforme a las técnicas autorizadas para el tratamiento de suelos contaminados.
- Tomar muestras de suelos durante el proceso de remediación, a fin de monitorear las concentraciones de hidrocarburos en los suelos tratados.
- Realizar un muestreo final comprobatorio para garantizar que se han alcanzado las concentraciones de hidrocarburos en el suelo tratado en niveles igual o menor a los límites máximos permisibles señalados en las la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012.

2. ANTECEDENTES

2.1. Lugar y fecha en que ocurrió la emergencia

El sitio afectado al cual se refiere esta propuesta, es una zona baja inundable destinada al uso agrícola (cultivo de caña) de uso permanente, ubicada en el Ejido Vicente Guerrero, Poblado C-29 del municipio de Cárdenas en el estado de Tabasco.

El 10 de agosto de 2020, se notificó una fuga de hidrocarburos derivado de una potencial pérdida de contención en la Acometida de la Trampa de Envío del Oleogasoducto (fuera de operación temporal) de 8" x 2.180 km del Cabezal Cárdenas 107 a la Batería Cárdenas Norte, por lo que se realizaron movimientos operativos en el Cabezal Cárdenas 107, a fin de controlar la fuga y contener los hidrocarburos para evitar su dispersión que pudieran provocar la afectación de las áreas aledañas donde principalmente los suelos son para el cultivo de caña, cabe señalar que no hubo daño a la población.

2.2. Descripción del sitio contaminado

Con base a los resultados del estudio de caracterización del suelo, realizado para determinar las concentraciones de hidrocarburos en el sitio donde ocurrió la emergencia ambiental, se determinó un volumen a remediar de 99.424 m, y un área de 124.28 m², destinada como una zona agrícola, la cual se limita para el uso de plantío de caña.

La ubicación del sitio contaminado ocurre en el Campo Petrolero Cárdenas, dentro del Área Contractual Cárdenas Mora (**ACCM**), que bien tiene su antecedente luego de la apertura energética en México, que permitió la entrada de capital extranjero para las actividades del sector hidrocarburos, resultando en que hasta el año 2017 el Campo Cárdenas Mora (inmerso en el Proyecto Guadalupe-Puerto Ceiba) fuera administrado en su totalidad por PEMEX Exploración y Producción. El de 28 de abril del 2017, la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) aprobó la convocatoria para el proceso de Licitación Pública Internacional CNH-A3-CÁRDENAS MORA/2017, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo de 2017, con lo cual daba inicio al proceso de selección de un socio para PEMEX Exploración y Producción, con el objeto de llevar a cabo actividades de extracción de hidrocarburos bajo contrato en la modalidad de Licencia en el Área Contractual Cárdenas Mora.

Para el día 04 de octubre del 2017, y conforme a lo establecido en las bases de licitación, la CNH llevó a cabo el acto de presentación y apertura de propuestas; en consecuencia, se declara la adjudicación de la Licitación a Cheiron Holdings Limited. Cheiron es una empresa dedicada a la exploración y producción de petróleo-gas que tiene lugar en distintos países, por ello y para dar seguimiento al contrato referido, Cheiron Holdings Limited y Cheiron México Finance Limited

constituyeron para la operación del Área Contractual Cárdenas Mora una sociedad mexicana denominada, Petrolera Cárdenas Mora, S.A.P.I. de C.V. (PMC).

2.3. Causa de la contaminación.

Perdida de contención de la Acometida de la Trampa de Envío del Oleogasoducto (fuera de operación temporal) de 8" x 2.180 km del Cabezal Cárdenas 107 a la Batería Cárdenas Norte, derivado de la falta de traslado de información de la tecnología del proceso y registros de inspección y de integridad mecánica de la Acometida de la Trampa de Envío del Oleogasoducto por parte del Operador anterior a PCM.

3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA

3.1. Ubicación

El estado de Tabasco se localiza en la Región Sureste de la República Mexicana, sus límites son al norte del Golfo de México, hacia el sur con el estado de Chiapas, al oeste con el estado de Veracruz, al noreste con el estado de Campeche y al sureste con la república de Guatemala.

El área afectada se ubica en el Ejido Vicente Guerrero, Poblado C-29. En la siguiente Figura 1 y Tabla 1, se muestran las Coordenadas geográficas y la ubicación del sitio, respecto al Municipio de Cárdenas, localizada aproximadamente a 55 km al Oeste de la ciudad de Villahermosa. El ACCM cuenta con una superficie de 168.146 km², aproximadamente.

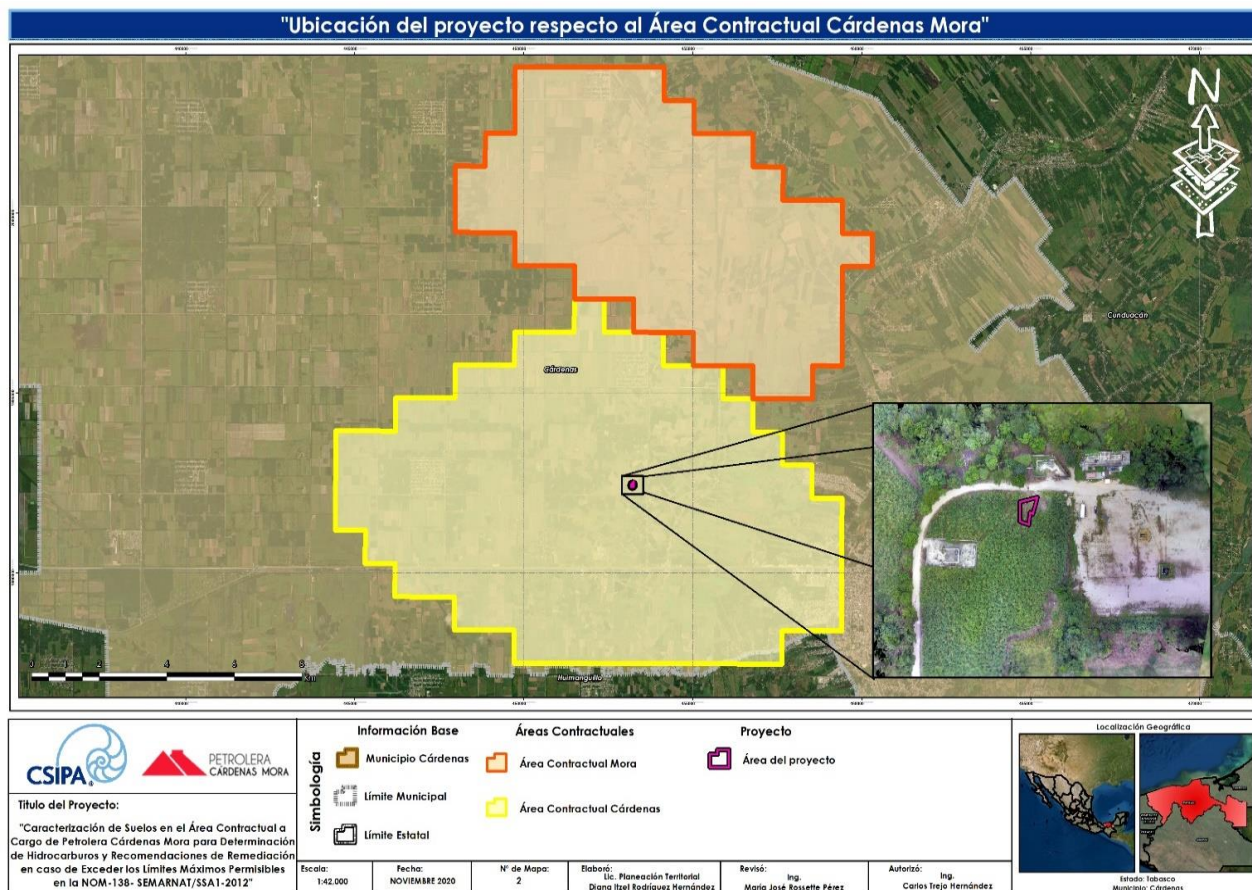


Figura 1. Ubicación del sitio a remediar (Acometida de la Trampa de Envío del Oleogasoducto (Fuera de Operación Temporal) de 8" x 2.180 km del Cabezal Cárdenas 107 a la Batería Cárdenas Norte).

Tabla 1. Coordenadas geográficas del sitio.

Vértice	Latitud	Longitud
V1	453 225	1 992 449
V2	453 214	1 992 447
V3	453 214	1 992 445
V4	453 213	1 992 433
V5	453 220	1 992 431
V6	453 220	1 992 440
V7	453 223	1 992 439

3.2. Fisiografía

El sitio a remediar se encuentra inmerso en la provincia geológica denominada Llanura costera del golfo Sur. Los factores geológicos que han influido en el modelado del relieve de esta entidad son, principalmente: el tectonismo en sus fases de plegamiento y dislocación del paquete rocoso, que se manifiesta en las sierras de Chiapas y Guatemala; y el relleno de cuencas marinas y lacustres con aportes de materiales terrestres, transportados por una compleja red de corrientes superficiales, en la Llanura Costera.

Esta provincia se caracteriza por su relieve escaso, casi plano, con altitudes menores de 100 metros, las cuales están cortadas por amplios valles, resultado de la acumulación de grandes depósitos fluviales en diferentes medios, como el lacustre, el palustre y el litoral. Este relieve presenta extensas planicies de inundación y lagunas, entre las que destacan La Machona, Mecoacán, Sitio Grande y El Rosario.

La llanura costera es una planicie sedimentaria cuyo origen está íntimamente relacionado con la regresión del Atlántico, iniciada desde el Terciario Inferior y debida al relleno gradual de la cuenca Oceánica, donde fueron acumulados grandes volúmenes de materiales rocosos provenientes del continente. El rejuvenecimiento continuo de la plataforma costera ha permitido la erosión subsecuente de los depósitos marinos terciarios, que actualmente tienen poca elevación sobre el área.

En esta provincia, desarrollada por grandes corrientes de agua sobre una zona de plataforma continental en ascenso, se ha formado un área de colmatación, donde la carga transportada por las corrientes es depositada por ríos divagantes hacia el océano, dejando abandonados sus antiguos lechos y formando nuevas vías hacia el mar, lo cual hace que el terreno o zona de estudios se vean influenciada por escurrimientos derivados de fenómenos regionales o locales.

3.3. Climatología y metrología

3.3.1. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García, las condiciones climáticas clasificadas para el municipio corresponden al clima Cálido, semicálido húmedo (Am (f)), con temperatura media anual en la entidad es de 27°C, la temperatura máxima promedio es de 36°C y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 18.5°C durante el mes de enero, mientras que la precipitación media estatal es de 2 550 mm anuales, las lluvias se presentan todo el año, siendo más abundantes en los meses de junio a octubre.

Esta zona pertenece al clima considerado como cálido Húmedo. La temperatura media anual es considerada mayor a los 22°C, con régimen de lluvias intensas en verano que compensan la sequía de invierno; la precipitación del mes más seco es inferior a los 60 mm, el porcentaje de lluvia invernal es mayor de 10.2%.

3.3.2. Temperatura Media

De acuerdo con los datos obtenidos, las fuentes de información para la caracterización climática y meteorológica del Área Contractual Cárdenas Mora son: Normales Climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), del Estado de Tabasco, de los cuales se obtendrán las variables normales de temperatura normal de 31.7°, mientras que el registro para la temperatura máxima diaria es de 43.5° y una mínima diaria de 10°, por tanto, el Área del sitio a remediar se considera como cálida.

3.3.3. Precipitación Pluvial

La precipitación media Estatal es de 2 550 mm anuales, donde las lluvias tienen presencia durante todo el año, siendo más abundantes en los meses de junio a octubre. Dentro del Municipio se encuentra considerado acorde con el portal de geo-información (CONABIO, 2020) una precipitación anual con registro de 1910 al 2009, con una precipitación de 2000 – 2500 mm.

3.3.4. Hidrografía

El estado de Tabasco es la región del país donde se localiza la red hidrológica más compleja, así como en la que se registran mayores precipitaciones. A diferencia de otras entidades de la República, es el excedente y no la falta de agua lo que ocasiona problemas, pues se carece de infraestructura adecuada para drenarla.

La abundancia de escurrimientos superficiales con una distribución aparentemente desordenada ha dado lugar a la formación de cuerpos de agua de variadas dimensiones, lo mismo que a pantanos y llanuras de inundación poblados por vegetación hidrófila, como mangle, popal y tule.

3.4. Geología

El desarrollo histórico-geológico del sitio a remediar, se encuentra determinado por eventos estratigráficos y estructurales del Mesozoico y Cenozoico, dando lugar a la base petrológica sobre la que se ha configurado el actual paisaje del estado de Tabasco.

En Tabasco las rocas más antiguas que afloran son del Mesozoico (Cretácico Superior), por su constitución litológica indican la existencia de una plataforma donde las aguas someras y tranquilas propiciaron el depósito de sedimentos carbonatados biogénicos.

El Cenozoico está representado por una secuencia gruesa de rocas sedimentarias, principalmente marinas, calcáreas y arcillo-arenosas, tipo flysch, del Terciario Inferior. En cambio, el Terciario Superior está evidenciado por rocas clásticas acumuladas en ambientes cercanos a la costa, así como por rocas volcánicas andesíticas que cubren discordantemente a las rocas del Cretácico y del Terciario Inferior.

Uno de los aspectos que caracteriza a los ríos del territorio tabasqueño (considerado una llanura costera de levantamiento) es la formación de meandros (cursos sinuosos), debido al terreno plano y al abundante acarreo de materiales. Esta particularidad está íntimamente ligada con las inundaciones provocadas por la continuidad de las lluvias a lo largo de más de ocho meses. En virtud de lo anterior, una extensión considerable del estado da la apariencia de estar compuesto por una serie de lagos con islas.

En lo que respecta al ACCM, se encuentra localizado dentro de la Región Hidrológica 29 denominada Coatzacoalcos y la subcuenca b denominada R. Santa Ana y en menor proporción del lado Este del polígono la Región Hidrológica 30 denominada Grijalva – Usumacinta y las subcuencas y R. Cunduacán y z R. Cuxcuchapa.

3.5. Edafología

La Zona Trópico Húmedo, por su heterogeneidad de relieve y condiciones climáticas, se caracteriza por presentar una gran variedad de unidades de suelo, de acuerdo con la carta edafológica del INEGI. Dentro del sitio a remediar se identifica de tipo Gleysol.

4. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN

4.1. Fundamentos de la selección de la técnica

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización, en la cual se identificaron hidrocarburos con concentraciones por encima de los límites máximos permisibles de la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, tales como fracción de hidrocarburos ligera, fracción de hidrocarburos media y fracción de hidrocarburos pesada, así como compuestos orgánicos volátiles del petróleo (BTEX), como se muestran (color rojo) en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la caracterización de suelos de las concentraciones de hidrocarburos por encima de los límites máximos permisibles de la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012.

Parámetro	Límites Máximos Permisibles	M-1-PCM-1.7M / M3	M-2-PCM-1M / M4	M-2-PCM-1.7M / M5	M-2-PCM-1.8M DUP / M5 DUP
		1.7	1	1.7	1.8
Hidrocarburos Fracción Pesada (HFP) Extracción y gravimetría	3000	9,022.286125	946.331346	28,330.25262	28,001.51496
Hidrocarburos fracción Media (HFM) BS	1200	9,110.07263	587.72082	36,937.3	34,921.5
Hidrocarburos Fracción Ligera (HFL) NOM-138	200	2,465.1	218.3	6,995.5	7,294.42
Benceno (71-43-2)	6	4.36	ND	15.84	18.26
Etilbenceno (100-41-4)	10	37.82	1.39	121.23	120.57
Tolueno (108-88-3)	40	30.05	0.4	148.14	150.99
M+P-xileno	40	102.04	4.92	339.59	320.58
O-xileno (95-47-6)	40	49.57	2.37	163.24	161.13

Para estos contaminantes se determinó un tren de tratamiento, consistente en la remediación de los compuestos orgánicos volátiles del petróleo (BTEX) y los Hidrocarburos de Fracción Ligera con la técnica de "Extracción de vapores en el sitio contaminado", para continuar con el tratamiento de Hidrocarburos de Fracción, Media y Pesada por medio de la técnica de "Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos y materiales semejantes a suelos contaminados con hidrocarburos".

4.2. Técnicas de remediación

Se iniciarán los trabajos con los primeros 3 puntos M3, M4, M5 y M5 DUP, puntos donde se identificó presencia de BTEX, para estos se aplicará la primera técnica que será “Extracción de vapores en el sitio contaminado” donde se inyectará aire para aumentar la corriente de aire y mejorar la tasa de remoción de contaminante.

Una vez alcanzado los resultados máximos permisibles se procederá con la “Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos y materiales semejantes a suelos contaminados con hidrocarburos”.

TECNICA 1 SELECCIONADA	FUNDAMENTACION RESPECTO AL TIPO DE CONTAMINANTE	FUNDAMENTACIÓN RESPECTO A LAS CONDICIONES DEL SITIO IDENTIFICADOS EN LA CARACTERIZACIÓN
EXTRACCIÓN DE VAPORES EN EL SITIO CONTAMINADO	Mediante esta técnica, se inyecta vapor de agua a la zona insaturada del suelo para arrastrar los componentes menos volátiles del mismo. La condensación de parte del vapor inyectado suministra el suficiente calor para la evaporación del contaminante, siendo necesaria la instalación de algún tipo de sistema en la superficie para el control de las emisiones tóxicas que puedan producirse.	La extracción de vapor en suelo es una técnica costosa pero efectiva en la remoción de Compuestos Químicos Orgánicos Volátiles para suelos contaminados. Entre las ventajas del proceso de extracción de vapores son que perturban mínimamente el suelo contaminado, se puede construir con equipo estándar, puede ser utilizado para tratar suelos de gran volumen que prácticamente se pueden excavar.

TECNICA 2 SELECCIONADA	FUNDAMENTACION RESPECTO AL TIPO DE CONTAMINANTE	FUNDAMENTACIÓN RESPECTO A LAS CONDICIONES DEL SITIO IDENTIFICADOS EN LA CARACTERIZACIÓN
BIORREMEDIACIÓN POR BIOPILAS A UN LADO DEL SITIO CONTAMINADO PARA EL	Las biopilas son una forma de compostaje en el cual, además de agentes de volumen, se le adiciona agua y nutrientes al sistema (para la estimulación de los microorganismos)	Es un proceso considerado de bajo nivel tecnológico que no requiere exigentes consideraciones de ingeniería, y a la vez permite una fácil

TECNICA 2 SELECCIONADA	FUNDAMENTACION RESPECTO AL TIPO DE CONTAMINANTE	FUNDAMENTACIÓN RESPECTO A LAS CONDICIONES DEL SITIO IDENTIFICADOS EN LA CARACTERIZACIÓN
TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS Y MATERIALES SEMEJANTES A SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS.	y se dispone en áreas de tratamiento (que incluyen alguna forma de aireación y sistemas para colectar lixiviados).	manipulación y control de las variables de diseño y operación. La técnica es viable toda vez que el uso de suelo que se pretende dar al sitio una vez descontaminado es agrícola y la biorremediación favorece un suelo con nutrientes y materia orgánica para favorecer su regeneración.

4.3. Suelos y Contaminantes al que aplica la técnica

Las técnicas de remediación fueron seleccionadas con respecto al tipo de contaminante y a las condiciones del sitio identificado en la caracterización.

Conforme al estudio de la caracterización muestra las concentraciones de hidrocarburos a una profundidad de 1.7, mismas que concuerdan con la delimitación en campo del Nivel freático, el cual indica que el desplazamiento de los hidrocarburos en una fase líquida no acuosa, debido a que estos contaminantes no se disuelven ni se mezclan fácilmente con el agua, sin embargo, es importante considerar la saturación de las arcillas y arenas a profundidades mayores de 1.70m, que si bien son materiales que se caracterizan por su alta capacidad de absorción se encontraban saturadas, optimizando el desplazamiento de fluidos a través de estos estratos.

Para estos contaminantes se aplicarán las técnicas de la siguiente manera;

NO.	TECNICA DE TRATAMIENTO	SUELOS	CONTAMINANTE	INSUMOS
1	Extracción de vapores en el sitio contaminado.	- Arcilloso - Arenoso	- HFL - HFM - BTEX	N/A
2	Biorremediación por Biopilas a un lado	- Arcilloso - Arenoso	-HFM -HFP	Triple 17, Microsol 400, Aserrín, Paja, Bagazo,

NO.	TECNICA DE TRATAMIENTO	SUELOS	CONTAMINANTE	INSUMOS
	del sitio contaminado.			Composta madura, Estiércol o Desechos Agrícolas.

4.4. Descripción de las técnicas de remediación a aplicar

4.4.1. Descripción del proceso de “extracción de vapores en el sitio contaminado”

El tratamiento se realizará en el sitio donde se encuentran los suelos contaminados, por lo que no se deberán remover o transferir a un sitio diferente al original. Este proceso únicamente podrá aplicarse al tratamiento de suelos contaminados con Hidrocarburos Fracción Ligera, BTEX e Hidrocarburos Fracción Media.

Procedimiento de la aplicación:

- Con barreno helicoidal se perforarán pozos entre 2” y 12” de diámetro a diferentes profundidades, dependiendo de la extensión de la pluma contaminante y de los requerimientos específicos del sitio.
- Terminada la perforación, se instalará dentro del pozo tubería de PVC hidráulica cedula 40 de 2” a 4” de diámetro, con tramos ranurados y tramos lisos, dependiendo de las características específicas del sitio, dejando un diámetro que permita tener 2” de espacio anular libre entre la tubería y la pared del pozo de extracción.
- En el extremo inferior de la tubería se instalará un tapón capa de PVC hermético.
- En el extremo superior de la tubería se instalará una conexión tipo Cruz o tipo “T”. En la parte superior de la Cruz o “T” se instalará un tapón de hule hermético y un extremo lateral de la Cruz o “T” se instalará una válvula de paso o de cierre para interconectar cada pozo a un cabezal.
- El espacio anular se rellenará con gravilla de media pulgada o arena silica No. 6-9, seguido de un sello de bentonita y a nivel de piso se colocará un sello de bentonita-cemento.
- Los pozos de inyección se conectarán entre sí a través de un ramal de interconexión superficial, construido con tubería de PVC hidráulica de 2” a 4” de diámetro con accesorios necesarios (TES, coples, niples, codos, válvulas, etc).
- El ramal de interconexión se conectará a un soplador de presión/vacío con el fin de extraer Compuestos Orgánicos Volátiles e inyectar aire para aumentar la corriente de aire y mejorar la tasa de remoción de contaminante.
- Los vapores extraídos serán canalizados a un sistema de tratamiento conformado por uno o varios filtros (dependerá de la concentración de hidrocarburos) de carbón activado granular previo a su descarga a la atmósfera.

- El número, ubicación y profundidad de los pozos dependerá del tamaño del sitio contaminado y del volumen de suelo a remediar. Para este caso se ubicarán 4 pozos, en los puntos M3, M4, M5 y M5 DUP.
- La extracción de Compuestos Orgánicos Volátiles se realizará de manera continua durante el proceso de tratamiento se controlarán las condiciones de temperatura, humedad.
- Como control interno se realizará el monitoreo de COV's e hidrocarburos. Los COV's se monitorearán de manera semanal mientras que los Hidrocarburos de manera mensual.
- Si las concentraciones de hidrocarburos analizados se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles se considerará concluido el tratamiento y se procederá al muestreo final comprobatorio.
- La toma de muestras y las determinaciones analíticas de los parámetros se realizará de acuerdo a lo establecido en la normatividad aplicable y conforme a la propuesta de remediación que al efecto se apruebe.
- El agua extraída por los pozos durante el proceso será enviada fuera del sitio para su tratamiento y disposición final por terceros autorizados, debiendo cumplir con la normatividad aplicable en la materia.
- Una vez concluido el tratamiento no incluye el uso de oxidantes y/o surfactantes químicos ya que no se asegura el control total de la migración, al subsuelo y manto freático, de estos productos y de los contaminantes presentes en el sitio.

4.4.2. Descripción del proceso de “Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos y materiales semejantes a suelos contaminados con hidrocarburos”

De acuerdo con la caracterización inicial del sitio contaminado se obtuvo la distribución de la mancha contaminante y en base a dicha información el suelo contaminado será excavado empleando maquinaria pesada y transportada a la celda de tratamiento y se iniciará el proceso de homogenización. Se homogeniza y se airea empleando maquinaria agrícola en el sitio aplicando agua para humedecer el suelo en tratamiento.

Procedimiento de la aplicación:

- Teniendo el suelo o material contaminado en la celda de tratamiento, se conformarán las Biopilas.
- Se procede a la aplicación del microorganismo comercial MicroSolv – 400 previamente activado y se homogeniza con el suelo contaminado.
- Se adiciona en solución acuosa de Nutriente triple 17 y materia orgánica disponible en la región tal aserrín, paja, bagazo, composta madura, estiércol o desechos agrícolas. Estos se mezclan nuevamente para su homogenización.

- La cantidad y concentración de la solución de nutrientes y microorganismos dependerá del tipo de suelo en tratamiento, así como del volumen, tipo y concentración de hidrocarburos a remover.
- Con mezcla de suelo e insumos agregados, se construirán las Biopilas de dimensiones variables para que en estas se realice la biorremediación de hidrocarburos.
- Una vez conformada la Biopila se cubrirá con un revestimiento de polietileno de alta densidad de 1.2 a 2.00 mm, a fin de evitar emisiones de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera y pérdida de calor en el proceso.
- Cada 7 días se descubrirán las Biopilas para remover mecánicamente el suelo o material semejante al tratamiento y mantener la humedad optima del sistema evitando la generación de lixiviados.
- Los lixiviados generados serán manejados como residuo peligroso y serán enviados a disposición final, debiendo cumplir con la normatividad aplicable en la materia.
- De manera periódica se aplicará los insumos y el traspaleo y homogenización del suelo o material semejante al suelo en tratamiento y se conformará nuevamente la Biopila durante todo el proceso de tratamiento hasta alcanzar los niveles de limpieza requerido.
- La cantidad y la concentración de la solución de nutrientes y microorganismos dependerá del tipo del suelo en tratamiento y de la concentración y tipo de hidrocarburo a remover.
- Durante todo el proceso de tratamiento se controlará las condiciones de temperatura, humedad, ph y conteo bacteriano realizado en laboratorio.
- La frecuencia de aplicación de insumos y traspaleo, homogenización y mezclado de la Biopila se realizará de manera continua durante todo el proceso de tratamiento hasta alcanzar los niveles de limpieza requeridos.
- Se realizará el monitoreo de las concentraciones de hidrocarburos empleando para ello equipo de campo.
- Con base en los resultados obtenidos se evaluará si se requiere o no un nuevo ciclo de aplicación de los insumos enunciados.
- Si los valores de hidrocarburos analizados se encuentran por debajo de los niveles de remediación requeridos se considerará concluidos el tratamiento y se procede al muestreo final comprobatorio.
- La toma de muestras y las determinaciones analíticas de los parámetros se realizará de acuerdo a lo establecido y la normativa aplicable y conforme a la propuesta de remediación que al efecto se apruebe.
- La geomembrana se podrá utilizar sin contaminante, para otros tratamientos o en su caso disposición final.

4.4.2.1. Datos generales de la metodología de tratamiento por “Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos y materiales semejantes a suelos contaminados con hidrocarburos”

Esta técnica está fundamentada en la capacidad que tienen los microorganismos para degradar los compuestos orgánicos biodegradables utilizándolos como fuente de energía en su metabolismo y reincorporándolos a los ciclos biogeoquímicos. El empleo de este proceso de tratamiento ha demostrado eficiencia en el tratamiento de suelos y materiales contaminados con hidrocarburos y derivados, diésel, gasolina, naftas, BTEX, fenoles y compuestos orgánicos poliaromáticos.

Los productos utilizados presentan las siguientes características:

- Son totalmente biodegradables.
- Para el caso de hidrocarburos y derivados, estos se pueden recuperar, permitiendo ser reutilizado en procesos productivos.
- El hidrocarburo recuperado, en caso de no cumplir con las exigencias para reintegrarse a proceso, puede reutilizarse en procesos alternos tales como: base de combustibles alternos, de asfalto, de lubricantes y/o impermeabilizantes.
- Esta tecnología de tratamiento genera condiciones que favorecen la reproducción y actividad del micro fauna nativa, ocasionada por la disgregación y saturación de oxígeno, así como la dosificación de nutrientes y el incremento en cantidad y biodiversidad de microorganismos degradadores.
- La utilización de microorganismos en suelos contaminados con hidrocarburos supera los valores de descontaminación establecidos en la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, ya que aporta valores de fertilización, tales como Materia orgánica, Nitrógeno y Fósforo, aparte de la carga de microorganismos que los que en realidad conforman, transforman y permiten el desarrollo de vegetación.

La Biorremediación por Biopilas en el sitio contaminado ha sido exitosamente desarrollada para intensificar la velocidad de degradación que la naturaleza realiza en los ecosistemas y ofrece un proceso de degradación y mineralización biológica de los contaminantes, la cual presenta las siguientes ventajas:

- Reducidos costos.
- Sin efectos colaterales.

Universidades de muchos puntos del mundo han llevado a cabo investigaciones sobre la degradación de contaminantes de compuestos de origen orgánico, comprobando que existen microorganismos que obtienen su comida y su energía de este tipo de materiales. Asimismo, han determinado que la aireación, mantenimiento de variables de humedad y temperatura, la oxidación química controlada, el manejo de las necesidades nutricional de microorganismos

endémicos y la adición de bacterias especializadas, incrementan significativamente la velocidad de degradación.

Para la aplicación de la tecnología de biorremediación por Biopilas ex situ, se optó por utilizar el consorcio de microorganismo comerciales Microsolv 400, el cual son los fabricantes más grandes en el mundo de microorganismos que se presentan naturalmente para aplicaciones en el medio ambiente. Con la experiencia se seleccionó un producto conformado por varias sepas de microorganismos las cuales se desarrollan, activan y participan en la degradación de una gran gama de compuestos contaminantes que inhiben el desarrollo y actividad de los microorganismos endémicos.

El producto bacteriano fue formulado para ser utilizado en los sistemas de tratamiento de lodos y sedimentos generados en sistemas de tratamiento de efluentes, lodos aceitosos, recortes de perforación base aceite y base agua, en derrames de compuestos de origen orgánico. El proceso fue diseñado para tratar exitosamente desechos resultantes de procesos: de destilaciones, fraccionamientos, alquilación y procesos de polimerización, en donde los desechos que contienen un alto nivel de sólidos suspendidos y disueltos, como surfactantes, aceites, ceras, sulfuros, mercaptanos, compuestos fenólicos, poliaromáticos, crisol y otros compuestos con base orgánica.

El producto bacteriano aparte de microorganismos está preparado y estabilizado con aceleradores bioquímicos, macro y micro nutrientes, coenzimas, vitaminas, aminoácidos y liberador de oxígeno.

El proceso de degradación biológico consiste en promover, mantener y/o inocular una población microbiana (biomasa) que metaboliza compuestos de origen orgánico y muchos inorgánicos. Al respecto, cabe mencionar que existen una serie de variables que influyen en la velocidad de crecimiento microbiológico, en el metabolismo celular y por lo tanto también en la biodegradación.

A través del estudio y la práctica se pueden identificar, establecer y controlar las variables para asegurar el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. En este caso la biodegradación se puede dar a una velocidad aceptable para que el costo del tratamiento biológico sea competitivo con otras alternativas de tratamiento, con la ventaja de que esta tecnología de tratamiento no sólo degrada compuestos de origen orgánico, tales como los hidrocarburos, además aporta mejoras significativas en indicadores de fertilidad tales como materia orgánica, carbono, nitrógeno, fósforo, relación carbono-nitrógeno, actividad y conteo bacteriano.

Este procedimiento es factible tratar suelos, lodos, sedimentos, líquidos remanentes materiales y residuos contaminados por hidrocarburos susceptibles de ser degradado biológicamente. No

existen valores exactos en cuanto al límite superior de contaminación que es posible tratar por este método.

La ciencia ha encontrado la forma de acelerar drásticamente los procesos de degradación de la materia orgánica; aislando bacterias naturales, seleccionándolas y reproduciéndolas mediante un proceso que permite condicionarlas y otorgarles capacidades especiales que junto con nutrientes y activadores enzimáticos han demostrado degradar compuestos comunes tales como: grasas, aceites animales y vegetales, detergentes, surfactantes, papel, hidrocarburos, fenoles, alcoholes, solventes complejos, almidón, celulosa, fibras de la madera, productos aromáticos polinucleares, entre otros.

De esta manera, se incorpora a través de un programa de bioaumentación una población microbiana viva e inoña para el medio ambiente, logrando completar y realizar esa labor que en numerosas oportunidades la naturaleza ya no puede lograr con eficiencia. El principio básico de este proceso, es el enriquecimiento de la biomasa existente mediante la adición de productos biológicos de acción dirigida, basado en un estudio científico y en una planificación y ejecución práctica.

La Biorremediación por Biopilas en el sitio contaminado utiliza procesos naturales para eliminar contaminantes ingresados al ambiente por cuestiones naturales o por actividades industriales. El hecho es que cuando son derramados hidrocarburos en el ambiente, inmediatamente microorganismos del medio comenzarán a producir los surfactantes orgánicos necesarios y realizarán esta tarea de degradación de la materia.

Los productos de remediación se aplican una vez que se han generado condiciones favorables para la adaptación, reproducción y actividad de los microorganismos especializados. Estas condiciones se dan por:

- La disgregación de los materiales sólidos por efecto del mezclado.
- Ingreso de oxígeno al sistema por mezclado.
- Estimulación de la microfauna nativa por mejoras en el ambiente y por la introducción de nutrientes.

4.4.3. Factores que afectan las variables del proceso de tratamiento, métodos de monitoreo y control

- **Variable pH:** El pH del suelo debe estar alrededor de 7, considerando que el intervalo de concentraciones compatible con procesos biológicos es relativamente estrecho, ya que la actividad enzimática depende del pH. La mayoría de las bacterias crece mejor en un estrecho rango próximo a la neutralidad (entre 6 y 8). Generalmente la ausencia de crecimiento se produce por debajo de 4-5 y por encima de 9-9.5. Este valor de pH puede ser ajustado directamente en fase sólida.

4.4.4. Método para monitorear el parámetro de proceso “pH” en laboratorio fuera del sitio de tratamiento

Fundamento: El método potenciométrico o electroquímico para medir pH de un suelo es el más utilizado. Con este método se mide el potencial de un electrodo sensitivo a los iones H⁺ (electrodo de vidrio) presentes en una solución.

En la práctica se utilizan soluciones amortiguadoras, de pH conocido, para calibrar el instrumento y luego comparar, ya sea el potencial eléctrico o el pH directamente de la solución por evaluar.

Interferencias: Debido a que el pH del suelo es medido en una matriz acuosa como agua o una solución de sales diluidas, es dependiente del grado de dilución (relación suelo-dilución). Cuando se mide en agua es importante controlar el agua adicionada, ya que un aumento causará un incremento en pH; por ello es necesario mantener relación constante y tan baja como sea posible.

Sin embargo, la solución sobrenadante puede no ser suficiente para sumergir el electrodo apropiadamente, sin causar mucho estrés cuando se inserta dentro del suelo. Los suelos con alta cantidad de materia orgánica tienden a formar una gruesa pasta seca, por lo que una relación menor de muestra en agua puede ser aceptable (1:5 o 1:10)

En suelos contaminados con hidrocarburos la interferencia va a depender de la concentración y tipo de hidrocarburos, se puede producir desde una simple iridiscencia sin afectar la determinación, hasta un impedimento de la determinación por la alta concentración y viscosidad del contaminante.

Material y equipo:

1. Muestra de suelo.
2. Balanza analítica.
3. Vasos de precipitado de 25 ml.
4. Pipeta de 10 ml.
5. Piceta con agua destilada.
6. Potenciómetro.
7. Agua destilada.
8. Solución amortiguadora de pH 7 y 4.
9. Agitadores magnéticos.

Procedimiento:

1. Pesar 1 g de suelo y colocarlo en un vaso de precipitado de 25 ml.

2. Agregar 10 ml de agua destilada.
3. Agitar y dejar reposar 10 minutos.
4. Ajustar el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras.
5. Pasados los 10 minutos, medir el pH con el potenciómetro.

Control del pH durante el proceso de tratamiento: Solo se aplicará esta técnica o método de tratamiento cuando el pH del suelo se encuentre en el rango próximo a la neutralidad (entre 5.5 y 8.5) por lo que no se empleará algún otro insumo para controlar el valor de pH.

Variable Nutriente: El nitrógeno, el fósforo y otros nutrientes minerales son necesarios para su incorporación en la biomasa. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo disponibles limitan la degradación microbiana. Algunas de las recomendaciones prácticas para el tratamiento del terreno fueron resumidas por el American Petroleum Institute (API) y por CONCAWE en Europa.

La relación óptima de C:N:P:K debe ser de 100:15:1:1. La fuente de carbono la constituyen los contaminantes mismos. El nitrógeno y el fósforo pueden encontrarse en el suelo en niveles suficientes. En caso contrario se usará en insumo Triple 17 que incluye el potasio.

Normalmente los estudios de tratabilidad analizan el contenido de nitrógeno en forma de nitrógeno amoniacal y el fósforo en forma de ortofosfato, siendo las sales de amonio y nitratos las fuentes más comunes de nitrógeno, mientras que los fosfatos son la fuente más común de fósforo. Existen marcas de productos comerciales, generalmente mezclas de nitrógeno, fósforo, para estimular el crecimiento y actividad bacteriana.

4.4.5. Método para el monitoreo de los nutrientes fósforo, nitrógeno y potasio en laboratorio fuera del sitio de tratamiento

La determinación de Nitrógeno inorgánico presente en el suelo se realizará a través del método AS08 establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000, que se describe a continuación:

Principio y aplicación: Método para la determinación de nitrógeno inorgánico extraíble con el procedimiento Micro – Kjeldahl. Se utiliza como índice de disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Se realizará su evaluación para generar recomendaciones de fertilización. El nitrógeno inorgánico determinado con este procedimiento ha mostrado una alta relación con la respuesta de la planta de estudios de correlación de métodos químicos.

Se basa en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de la muestra de suelo en KCl 2 N y su determinación por MgO. La adición de la aleación de Devarda permite incluir la determinación de nitratos y nitritos.

Reactivos:

- **Oxido de magnesio (MgO):** Se calcina en una mufla a 600 - 700°C durante dos horas y se almacena en frascos con tapa hermética, después de enfriarlo en desecador provisto de gránulos de KOH.
- **Solución de ácido bórico con indicador:** Disolver 20g de H₃BO₃ puro en 700 ml de agua caliente y transferir la solución fría a un matraz volumétrico de 1 litro que contenga 200 ml de etanol (96%) y 20 ml de la solución indicadora descrita más abajo. Ajustar a pH de 5.0 con NaOH 0.05 N. Complete el volumen de 1 litro.
- **Mezcla de indicadores:** Disolver 0.300 g de verde de bromocresol y 0.165 g de rojo de metilo en 500 ml de etanol (96%).
- **Aleación de Devarda:** En (Al:Zn:Cu 10:9:1). Moler si es necesario en un molino de bolas o mortero hasta que el 75% pase un tamiz de 300 mallas.
- **Ácido sulfúrico 0.005 N:** Estandarizarlo con THAM (trihidroximetilaminometano).
- **Solución patrón de 50 ppm de N-NH₄ y N-NO₃:** Pesar 0.236 g de (NH₄)₂SO₄ y 0.361 g de KNO₃ desecados y diluirlos a 1 litro con agua destilada. Guardar en refrigerador.
- **Solución de cloruro de potasio 2N:** Disolver 1490.8 g de KCl grado reactivo en 8 litros de agua y diluir la solución a 10 litros.

Material y equipo:

1. Balanza analítica.
2. Matraces de destilación.
3. Destilador con arrastre de vapor.
4. Microburetas de 5 ml, graduadas a intervalos de 0.01 ml.
5. Matraces Erlenmeyer de 125 ml.
6. Agitador de vaivén regulado a 180 oscilaciones por minuto.

Procedimiento:

1. Pesar 5 g de suelo y colocar en un bote de polietileno de 100 ml de capacidad o en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregar 50 ml de solución de KCl 2 N y agitar por 60 minutos en agitador de acción recíproca regulado a 180 rpm y centrifugar 5 minutos. Decantar o filtrar si es necesario.
3. Colocar 10 ml de solución H₃BO₃ con indicador en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y conectarlo en un tubo de salida del refrigerante, de modo que éste quede en contacto con el líquido.
4. Pipetear una alícuota de 10 a 20 ml del extracto de suelo y colocar en un matraz de destilación y agregar 0.2 g de MgO calcinado y 0.2 g de aleación de Devarda.
5. Conectar el aparato de destilación y destilar hasta completar aproximadamente 30 ml en 3-4 minutos (6-7 ml min⁻¹).
6. Titular la muestra y los blancos (se preparan de forma similar a las muestras) con ácido sulfúrico 0.005 N. En el punto final el color cambia de verde a rosa tenue.

Cálculos:

Calcular la cantidad de nitrógeno inorgánico con la siguiente ecuación:

$$N \text{ (ppm)} = (M - B) \times N \times 14 \times (Vi / a) \times 1/p \times 1000$$

Dónde:

M y B = Son los mililitros de ácido sulfúrico usados en la titulación de muestra y el blanco, respectivamente.

N = La normalidad del ácido.

Vi = Es el volumen del extractante.

a = La alícuota destilada.

p = El peso de la muestra en gramos.

Informe de la prueba: Se reporta la cantidad de N inorgánico (nitratos + amonio + nitritos) en miligramos por kilogramo de suelo (mg Kg^{-1}). Se recomienda el uso de una cifra decimal. Adjunto al resultado debe citarse el método empleado.

Sensibilidad: Con este procedimiento es posible detectar concentraciones de aproximadamente 0.5 mg Kg^{-1} de nitrógeno inorgánico en el suelo, suficiente para fines de diagnóstico.

Comentarios: No es necesario utilizar cantidades exactas de MgO o de aleación de Devarda en el método descrito, es conveniente el uso de cucharillas de vidrio calibradas a las cantidades referidas.

La determinación de fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos se realizará a través del método AS-10, por el procedimiento de Olsen y colaboradores establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Principio y aplicación:

Este método, es ampliamente utilizado en estudios de fertilidad de suelos para la determinación de fósforo disponible tanto en suelos neutros como alcalinos. El fósforo determinado con este procedimiento ha mostrado una estrecha relación con la respuesta de los cultivos. El fósforo es extraído del suelo con una solución de NaHCO_3 0.5 M ajustada a un pH de 8.5. En suelos neutros, calcáreos o alcalinos, conteniendo fosfatos de calcio, este extractante disminuye la concentración de Ca en solución a través de una precipitación del CaCO_3 , por tanto, la concentración de P en solución se incrementa. En suelos ácidos conteniendo fosfatos de Al y Fe tales como la variscita y estregita, la concentración de P en solución, se incrementa conforme el pH se eleva. Este extractante evita que se presenten reacciones secundarias en suelos ácidos y calcáreos debido a que el nivel de Al, Ca y Fe se mantiene muy bajo en dicha solución.

Reactivos:

- **Hidróxido de sodio 1M.** Disolver 4 g de NaOH en 100 ml de agua.
- **Bicarbonato de sodio (NaHCO₃) 0.5 M.** Disolver 42 g de NaHCO₃ en aproximadamente 1 litro de agua. Ajustar el pH de esta solución a 8.5 mediante la adición de solución de NaOH 1M. Llevar a volumen con agua destilada. Algunos autores recomiendan adicionar aceite mineral para evitar la exposición de la solución al aire. Guardar la solución en un recipiente de polietileno y revisar el pH de la solución antes de usarse, de requerirse, volver a ajustar a 8.5.
- **Solución de tartrato de antimonio y potasio al 0.5%.** Pese 0.5 g de K(SbO) C₄H₄O₅. ½ H₂O, transfíralo a un matraz volumétrico de 100 ml disuélvalo y afore con agua destilada.
- **Solución de molibdato de amonio [(NH₄)₅Mo₇O₂₄. 4H₂O].** Disolver 20 g de molibdato de amonio [(NH₄)₅Mo₇O₂₄. 4H₂O]. en 300 ml de agua destilada. Agregue lentamente bajo constante agitación y con cuidado, 450 ml de H₂SO₄ (14 N) (194.4 ml H₂SO₄ concentrado diluido a 500 ml con agua da una concentración de aproximadamente 14 N). Agregue 100 ml de una solución al 0.5% (p/v) de artrato de antimonio y potasio. Diluya las mezclas a 1 L con agua destilada. Este frasco se debe tapar y con papel aluminio, proteger de la luz.
- **Solución reductora con ácido ascórbico.** Disolver 0.50 g de ácido ascórbico con un poco de solución de molibdato de amonio y aforar a 100 ml con la misma solución. Esta solución es preparada cada vez que se vaya a formar color.
- **Solución patrón de fósforo (200 mg L⁻¹).** Pesar exactamente 0.8786 g de fosfato de potasio monobásico (KH₂PO₄) seco al horno a 105°C, disolver en agua y aforar a 1 litro. Guardar en envase de plástico o vidrio y conservar en refrigeración. Algunos autores recomiendan adicionar 25 ml de H₂SO₄ 7N antes de aforar para conservar la solución libre de contaminantes biológicos.
- **Solución patrón de 5 mg L⁻¹ de P.** Diluir 5 ml de la solución de 200 mg L⁻¹ de P a 200 mL con agua destilada. Preparar fresca cada 5 días.

Material y equipo:

1. Tubos de polietileno de 100 ml.
2. Papel Whatman No. 42 o equivalente.
3. Agitador mecánico recíproco, ajustado a 180 oscilaciones por minuto.
4. Balanza analítica.
5. Matraces volumétricos de 50 ml.
6. Bureta de 10 ml.
7. Espectrofotómetro para leer a 880 nm y celdas de vidrio.

Procedimiento:

1. Pesar 2.5 g de suelo previamente tamizado por malla de 2 mm y colocarlos en los tubos de polietileno.

2. Adicionar 50 ml de la solución extractora tapar y agitar la suspensión en agitador de acción recíproca durante 30 min. a 180 oscilaciones por minuto.
3. Filtrar inmediatamente a través de papel filtro Whatman No. 42 u otro de calidad similar.
4. Preparar blancos a partir de alícuotas de solución extractora y adicionando todos los reactivos como en las muestras.
5. Tomar una alícuota de 5 ml (o 10 ml si la concentración de P es muy baja) del filtrado y colocarla en un matraz aforado de 50 ml.
6. Agregar 5.0 ml de la solución reductora, agitar y aforar. Leer después de 30 min. pero antes de una hora a una longitud de onda 882 nm (leer previamente la curva de calibración).
7. Preparar una curva de calibración con patrones de O, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 mg L⁻¹ de P.
8. Pipetear O, 1, 2, 4, 6 y 10 ml de una solución de 5 mg L⁻¹ de P a matraces aforados de 50 ml.
9. Adicionar un volumen de solución extractante de NaHCO₃ 0.5 M igual a la alícuota empleada para medir en las muestras desconocidas.
10. Llevar a aproximadamente 40 ml con agua y adicionar 5 ml de la solución reductora con ácido ascórbico, aforar.
11. Agitar nuevamente. Leer después de 30 minutos, pero antes de una hora a 882 nm, leer las muestras y los patrones al mismo tiempo de reacción, contando el tiempo desde que se agrega el reactivo que genera el complejo hasta el momento de la lectura.

Cálculos:

$$P \text{ (mg Kg}^{-1} \text{ de suelo)} = CC \times Vi/p \times Vf/a$$

Donde:

CC = mg L⁻¹ de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mg L⁻¹) e interpolando en la misma los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha estado el valor promedio de los blancos o por medio de una regresión simple.

Vi = volumen de la solución extractora adicionada.

p = peso de la muestra de suelo seca al aire.

Vf = volumen final de la solución colorimétrica a leer.

a = alícuota de la muestra empleada para la cuantificación.

Informe de la prueba: Los resultados se expresan en mg Kg⁻¹. Se deberá expresar mediante el uso de una cifra decimal. Adjunto al resultado debe especificarse el método empleado.

Comentarios: Se usarán recipientes de plástico para almacenar la solución extractante. En caso de utilizar vidrio, esta solución deberá prepararse cada mes.

La determinación del Fósforo extraíble en suelos neutros y ácidos se realizará a través del método AS-11, por el procedimiento de Bray y Kurtz I.

Principio y aplicación: Este método, es ampliamente utilizado en estudios de fertilidad de suelos para la determinación de fósforo disponible en suelos ácidos. El fósforo determinado con este procedimiento ha mostrado una estrecha relación con la respuesta de los cultivos. La solución extractora de P consiste de una combinación de HCl y NH_4F la cual remueve formas de P ácido solubles como los fosfatos de calcio y una porción de fosfatos de aluminio y hierro. El NH_4F disuelve los fosfatos de aluminio y de hierro al formar un ion complejo con estos iones metálicos en solución ácida.

Reactivos:

1. Solución de fluoruro de amonio 1 N. Disolver 37 g de NH_4F en agua destilada y diluir hasta un litro. Conservar esta solución en botella de polietileno.
2. Ácido clorhídrico 0.5 N. Diluir 20.4 ml de HCl concentrado hasta 500 ml con agua destilada.
3. Solución extractora Braykurtz I. Mezclar 30 ml de la solución de fluoruro de amonio 1 N con 50 ml de la solución de ácido clorhídrico 0.5 N y diluir a un litro con agua destilada. La solución resultante es 0.03 N en NH_4F y 0.025 N en HCl y es estable por más de un año si se conserva en frasco de polietileno.
4. Solución de tartrato de antimonio y potasio al 0.5%. Pese 0.5 g de $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ transfíralo a un matraz volumétrico de 100 ml disuélvalo y afore con agua destilada.
5. Solución de molibdato de amonio $[(\text{NH}_4)_5\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$. Disolver 20 g de molibdato de amonio $[(\text{NH}_4)_5\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$. En 300 ml de agua destilada. Agregue lentamente bajo constante agitación y con cuidado, 450 ml de H_2SO_4 (14 N) (194.4 ml H_2SO_4) concentrado diluido a 500 ml con agua da una concentración de aproximadamente 14 N). Agregue 100 ml de una solución al 0.5% (p/v) de tartrato de antimonio y potasio. Diluya las mezclas a 1 litro con agua destilada. Este frasco se debe mantener tapado y con papel aluminio y protegido de la luz.
6. Solución reductora con ácido ascórbico. Disolver 0.50 g de ácido ascórbico con un poco de solución patrón de molibdato de amonio y aforar a 100 ml con la misma solución. Esta solución es preparada cada vez que se vaya a formar color.
7. Solución patrón de 200 mg L^{-1} de P. Disolver 0.8786 g de fosfato dihidrógeno de potasio (KH_2PO_4), seco al horno, en agua y diluirla a un litro. Esta solución contiene 200 mg L^{-1} y debe guardarse refrigerada en frasco de plástico o de vidrio blando (no Pyrex) para evitar contaminación con arsénico. Algunos autores recomiendan agregar antes de envasar 25 ml de H_2SO_4 7 N, lo cual ayudará a su conservación indefinida.
8. Solución patrón de 10 mg L^{-1} de P. Diluir 10 ml (medidos con bureta) de la solución de 200 mg L^{-1} P en 200 ml con agua destilada.

Material y equipo:

1. Tubos de polietileno de 50 ml
2. Papel Whatman No. 42.
3. Balanza analítica.
4. Espectrofotómetro para hacer lecturas a 880 nm y celdas.
5. Agitador mecánico recíproco ajustado a 180 oscilaciones por minuto.
6. Bureta de 10 ml.
7. Matraces volumétricos de 50 ml.

Procedimiento:

1. Pesar 2.5 g de suelo previamente tamizado por malla de 2 mm y colocarlo en un tubo de polietileno de 50 ml.
2. Adicionar 25 ml de la solución extractora taparlo.
3. Agitar la suspensión en agitador de acción recíproca regulado a 180 oscilaciones por minuto, por 5 min.
4. El extracto se filtra a través de papel Whatman No. 42 u otro de calidad similar. Debe recordarse que algunos papeles filtro pueden contener cantidades altas de fósforo.
5. Tomar una alícuota de 2 a 40 ml del extracto, dependiendo de la concentración de P en solución (alícuotas de 5 a 10 ml son en general adecuadas para suelos bajos y medios en P) y colocarla en un matraz aforado de 50 ml.
6. Adicionar agua hasta completar aproximadamente 40 ml. Si es que se usa una alícuota inferior a este volumen.
7. Agregar 5 ml de la solución reductora, agitar y completar a volumen.
8. Esperar 30 minutos y leer la intensidad de la absorción de luz a 882 nm (nanómetros).
9. Preparar blancos siguiendo el mismo procedimiento que en las muestras.
10. Preparar una curva de calibración que contenga puntos correspondientes a 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5 mg L⁻¹ de PP. Para ello colocar en matraces aforados de 50 ml 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ml de la solución de 10 mg L⁻¹ de P y proseguir en la forma descrita para las muestras.
11. Adicionar un volumen de solución extractante igual a la alícuota empleada para medir en las muestras conocidas.
12. Llevar a aproximadamente 40 ml con agua y adicionar 5 ml de la solución reductora, agitar y completar a volumen.
13. Esperar 30 minutos y leer la intensidad de la absorción de luz a 862 nm (nanómetros).

Cálculos:

$$P \text{ (mg Kg}^{-1} \text{ de suelo)} = ce \times Vf/A \times Vi/p$$

Donde:

$CC = \text{mg L}^{-1}$ de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mg L^{-1}) e interpolando en la misma los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha restado el valor promedio de los blancos o por medio de una regresión simple.

Vf = volumen final de la solución colorimétrica, ml.

A = alícuota del extracto usado colorimetría, ml.

Vi = volumen de la solución empleada para hacer el extracto, ml

p = peso de la muestra seca al aire.

Informe de la prueba:

Los resultados del contenido de P disponible en el suelo se reportan en miligramos por kilogramo de suelo (mg Kg^{-1}). Se recomienda el uso de una cifra decimal. Adjunto al resultado debe hacerse referencia al método empleado.

La determinación de Potasio presente en el suelo se realizará a través del método, que se describe a continuación:

1. Preparación de solución extractora de NaCl 10%.
Pesar 100 de NaCl, disolver en 800 ml de agua, llevar a volumen de 1000 ml.
2. Procedimiento (Extracción)
Pesar 5g de suelo, adicionar 25ml de NaCl al 10%, mezclar y dejar en contacto durante la noche, filtrar al día siguiente haciendo 5 lavadas de 10ml con NaCl al 10% y enrazar a 100ml con agua destilada. (Ph:3-10).
3. Aplicación de Kit
Pipetear de filtrado 2 ml, comprobar el pH intervalo previsto; pH 10,0-11,5, añadir 6 gotas de K-1 y mezclar, añadir intensamente para disolver la sustancia sólida, esperar 5 min. Tiempo de reacción, colocamos cubeta en el compartimento para cubetas, que coincida la raya de marcado de la cubeta con la marca del fotómetro.
4. Cálculos
Efectuar la conversión de la siguiente manera:

$$\text{mg/kg de K} = LR \times 250 \times 0.2/2.5 \text{ (con OLSEN)}$$

$$\text{mg/kg de K} = LR \times 50/5 \text{ (con el KIT NaCl 10\%)}$$

4.4.6. Control de los nutrientes fosforo, nitrógeno y potasio durante el tratamiento

Para que la actividad microbiana sea optima, la concentración de nutrientes en el suelo debe estar en el rango normal de C:N:P:K sea de 100:15:1:1, por lo que el cálculo para estimar la cantidad de adición del nutriente Triple 17 debe realizarse bajo proporción. Sin embargo, para el control de dichos nutrientes no se tiene contemplado la adición de otro insumo.

Variable Humedad: La biodegradación necesita humedad por dos razones: para el desarrollo celular y para el desplazamiento de los microorganismos hacia el sustrato. Es aceptado por lo general que el mínimo contenido de humedad necesario para tratar suelos contaminados es de un 40-50% de saturación.

Método para el monitoreo de la humedad en el suelo mediante el procedimiento gravimétrico realizado en laboratorio fuera del sitio de tratamiento.

Fundamento: La humedad del suelo se calcula por la diferencia de peso entre una misma muestra húmeda, y después de haberse secado en la estufa hasta obtener un peso constante.

Material y equipo:

1. Muestras de suelo.
2. Balanza analítica.
3. Espátula.
4. Charolas o papel aluminio a peso constante.
5. Estufa.

Procedimiento:

1. Pesar 1 g de muestra sobre un papel o charola de aluminio a peso constante.
2. Colocar la muestra dentro de la estufa a 80°C de 12 a 24 horas.
3. Sacar la muestra de la estufa y colocarla dentro de un desecador para que se enfríe.
4. Pesar la muestra con todo y papel.
5. Calcular los porcentajes de humedad en el suelo por la diferencia de pesos.
6. % Humedad del suelo = $(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso inicial} * 100$.

Control de la humedad en el suelo durante el proceso de tratamiento: En caso de que en la humedad sea menor al 40% de capacidad de campo del suelo en proceso de tratamiento, se procederá a su incremento procediendo a la adición de agua sin llegar a la saturación del suelo pues puede dificultar la difusión del oxígeno disponible para la actividad microbiana. Por lo que no se requerirá adición de insumos nuevos.

Variable Temperatura: La temperatura tiene una gran influencia sobre la velocidad de crecimiento. La actividad celular, especialmente en lo que a sistemas enzimáticos se refiere, responde a las variaciones de temperatura. Al ir aumentando la misma, se produce un aumento en la velocidad de crecimiento hasta alcanzar un nivel óptimo. Un aumento de unos grados por encima de este valor ideal hace disminuir nuevamente el crecimiento. La temperatura proporciona una base para clasificar a las bacterias según los rangos típicos en los que son activas.

Método para el monitoreo de la Temperatura en el suelo en campo: Se empleará un Termómetro analógico con carcasa protectora de plástico para introducir en el sustrato y conocer la temperatura del suelo. Características: 325 mm, 80 g.

Estos termómetros están especialmente diseñados para medir la temperatura del suelo. La carcasa es de plástico rígido, lo que evita que se quiebre con facilidad.

Cómo medir la temperatura del suelo: Debe insertar el termómetro en la tierra hasta la línea marcada en el medidor (12 cms. aprox.) y esperar unos minutos, aproximadamente 3 o 4 minutos para obtener el resultado del indicador de temperatura.

Si el suelo es muy duro o pedregoso, se realizará previamente haga un agujero con un clavo largo o varilla de madera para facilitar la introducción posterior del termómetro.

Control de la Temperatura durante el proceso de tratamiento: El consorcio de microorganismos Microsolv 400 tiene como rango efectivo de temperatura entre 5 °C a 59 °C. Por lo que únicamente se aplicara esta técnica o método de tratamiento en ese rango de temperatura, por lo que no se utilizaran algún otro insumo o actividad para su control.

Variable Oxígeno: Los pasos iniciales en la biodegradación de hidrocarburos, al menos en la realizada por la mayoría de las bacterias y hongos implican la oxidación de un sustrato mediante la incorporación de oxígeno.

En estos casos por lo tanto el crecimiento de microorganismos y el desarrollo de sus actividades metabólicas específicas dependen de la disponibilidad de oxígeno. Para este proceso los espacios porosos llenos de aire del suelo facilitan la difusión de oxígeno, mientras que en un suelo saturado la difusión del oxígeno es extremadamente lenta, no siendo posible mantener el ritmo de demanda de los procesos de descomposición heterotrófica. Las grandes concentraciones de residuos orgánicos en descomposición crean una demanda de oxígeno muy alta en suelos bien drenados y de textura ligera. El suelo subsuperficial no saturado (vadoso) normalmente es aerobio, pero una fuerte actividad de biodegradación de hidrocarburos puede acabar con el oxígeno más rápidamente de lo que puede ser reemplazado mediante difusión.

Método para el monitoreo de oxígeno: Se empleará un equipo portátil de medición directa, denominado oxímetro con el cual se conocerán la cantidad de oxígeno existente en el suelo.

Control del Oxígeno disponible durante el proceso de tratamiento: Considerando que se requieren de aproximadamente de 3 kg de oxígeno por kg de hidrocarburos para que la degradación bacteriana sea óptima. En caso de que la cantidad de oxígeno disponible durante el tratamiento no sea adecuada se deberá incrementar el suministro por la técnica de arado, por lo anterior no se requirieran el empleo de nuevos insumos para controlar este parámetro.

Variable Población microbiana: Los microorganismos asociados con la Remediación de hidrocarburos son generalmente bacterias, pero también intervienen hongos indígenas en la biodegradación. Para degradar completamente los hidrocarburos más livianos se necesitan múltiples cepas de bacterias.

La población indígena de los suelos generalmente contiene la mezcla de bacterias necesarias para cumplir esta función. Las especies más comúnmente aisladas del suelo incluyen Pseudomonas, Arthrobacter, Alcaligenes, Corynebacterium, Flavobacterium, Achromobacter, Micrococcus, Nocardia, Mycobacterium y Acinetobacter. Para los hidrocarburos más pesados pueden utilizarse preparaciones de bacterias para suplementar a la población microbiana nativa.

La velocidad de crecimiento y la utilización del sustrato es, con frecuencia superior en cultivos mixtos enriquecidos que en un cultivo puro aislado de la mezcla. En una mezcla de poblaciones microbianas no solo son importantes aquellos organismos que pueden iniciar procesos catabólicos sino también los consumidores secundarios (es decir los organismos que utilizan los compuestos intermedios procedentes de la transformación del sustrato original). También los consumidores secundarios pueden contribuir al crecimiento de los primarios (por ejemplo, suministrando un factor de crecimiento específico, eliminando productos tóxicos, mediante procesos metabólicos concertados, así como por transferencia de material genético entre cepas). En algunos casos los productos primarios son totalmente dependientes de los secundarios para su crecimiento.

Cuando de forma natural se exponen los organismos a contaminantes orgánicos, tienden a desarrollar por adaptación una gran capacidad para degradarlos como sustrato. La velocidad a la cual los microorganismos se adaptan determina en gran medida la rapidez con que la concentración de los contaminantes disminuye en el agua y en el suelo. La adaptación tiene como resultado la selección natural de los consumidores primarios. Estas cepas adaptadas pueden surgir de entre cepas ya existentes o por mutación y transferencia genética (en el último caso, por ejemplo, por plásmidos o transposones). De esta forma aparecen en una población

nuevas actividades enzimáticas. También es posible que el gen que codifica para estas enzimas estuviera inicialmente presente en una forma no expresada. Como la adaptación necesita un gran período de tiempo para incrementar la degradación microbiana de los residuos químicos, se introducen por inoculación especies previamente adaptadas.

Método para el monitoreo del conteo bacteriano se utilizado el procedimiento de dilución y vertido en placas realizado en laboratorio fuera del sitio de tratamiento.

Materiales:

1. Muestra.
2. Muestra sólida del suelo.
3. Material por grupo.
4. Baño de agua a 50° C; Balanza Espátulas y Papel encerado Vortex.
5. Material por equipo Mechero Gradilla.
6. Tubos de ensaye con 9 mL de SSIE.
7. Matraz Erlenmeyer (250 mL) con 90 mL de solución salina isotónica estéril (SSIE).
8. Matraz Erlenmeyer (250 mL) con 150 mL de agar triptona glucosa extracto de levadura (TGEA) estéril.
9. Pipetas graduadas de 1 mL estériles.
10. Cajas Petri de plástico desechable estériles 1 colador.

Metodología:

1. Etiquetar los tubos con las siguientes diluciones: 10-1, 10-2 y 10-3. Así como las cajas Petri por duplicado.
2. Pesar 10 g de muestra en el papel encerado y mezclar con la SSIE del matraz (Suspensión).
3. Homogenizar vigorosamente, en vórtex, durante 5 minutos.
4. En condiciones asépticas, realizar tres diluciones decimales a partir de la suspensión: tomar 1.0 mL e inocular el tubo 10-1; subir y bajar la suspensión, tres veces, con la misma pipeta para homogenizar la dilución. Repetir la operación hasta concluir con la dilución 10-3.
5. A partir de la dilución 10-3, agitar y tomar 1.0 mL y depositar en una caja Petri vacía (por duplicado). Repetir con la dilución 10-2 y 10-1.
6. Verter, en cada caja el medio TGEA previamente fundido (aproximadamente 20 mL) y a una temperatura de 45° C.
7. Homogeneizar cuidadosamente; para ello mezclar el inóculo con el medio, colocando la caja sobre la mesa y girar 5 veces en el sentido de las manecillas del reloj, 5 veces en sentido inverso, 5 veces hacia adelante atrás y 5 en sentido horizontal.
8. Dejar solidificar e invertir las cajas.
9. La caja Petri etiquetada como "Control" no es inoculada con la muestra.

10. Incubar a 37° C durante 24 horas.
11. Al término de la incubación, hacer el recuento de las Unidades Formadoras de Colonia (UFC)/mL. Las colonias pueden encontrarse sobre, inmersas y debajo del medio de cultivo.

Precauciones generales: Procura que el medio de cultivo (TGEA) esté a 45° C para verterlo en las cajas de Petri con las muestras. Homogenizar perfectamente el medio de cultivo con la muestra, en las cajas Petri. Procura mantener limpias la superficie de las cajas para tener una cuenta de UFC confiable.

Disposición de desechos:

1. La muestra se desecha mediante un colador. Los residuos sólidos se desechan en la basura y el líquido en la tarja. 2. Esteriliza los tubos en los que preparó las diluciones microbianas y posteriormente desecha el contenido en la tarja y lavarlos. 3. Las placas Petri se desechan en los contenedores correspondientes para este material.

5. DESCRIPCION DE LA TÉCNICA O PROCESO DE REMEDIACION

5.1. Descripción de las etapas de remediación de sitio

Teniendo como referencia los resultados de caracterización donde se observa que la presencia de contaminación en sitio para Etilbenceno, Tolueno, Xilenos, Fracción Ligera, Media y Pesada se ejecutará la remediación de sitio en 2 etapas que constan de la siguiente manera.

Etapa1.- Aplicación de la técnica de tratamiento “extracción de vapores en el sitio contaminado”.

Se construirán 4 pozos de inyección que se conectarán entre sí a través de un ramal de interconexión superficial, construido con tubería de PVC hidráulica, para tratar Etilbenceno, Tolueno, Xilenos y Fracción Ligera en los puntos M-1-PCM-1.7M / M3, M-2-PCM-1M / M4, M-2-PCM-1.7M / M5 y M-2-PCM-1.8M DUP / M5 DUP, donde se aplicara la técnica hasta obtener los resultados deseados.

Etapa 2.- Aplicación de la técnica de tratamiento del proceso de Biorremediación por Biopilas a un lado del sitio contaminado.

Para esta etapa, se considera el inicio de los trabajos de tratamiento de suelo por el método de Biorremediación en sitio contaminado (autorización ASEA-ATT-SCH-0024-17) Anexo 2, en cuanto a los volúmenes estimados a tratar basados en los resultados de caracterización parten del área del polígono de afectación que son 124.28 m² por una profundidad de 1 a 1.8 metros, donde la concentración del contaminante no excede los 50,000 mg/kg, con un volumen total de tratamiento de 99.424 m³.

5.2. Construcción del sistema para biorremediación

Se obtendrá la distribución de la mancha contaminante y en base a dicha información el suelo contaminado se homogeniza y se airea empleando maquinaria agrícola en el sitio aplicando agua para humedecer el suelo en tratamiento. Se procede a la aplicación del microorganismo comercial MicroSolv – 400 previamente activados y se homogeniza con el suelo contaminado. Se adiciona en solución acuosa de Nutriente triple 17 y materia orgánica disponible en la región tal aserrín, paja, bagazo, composta madura, estiércol o desechos agrícolas. Estos se mezclan nuevamente para su homogenización. La cantidad y concentración de la solución de nutrientes y microorganismos dependerá del tipo de suelo en tratamiento, así como del volumen, tipo y concentración de hidrocarburos a remover. Se continuará la aplicación de los insumos, movimiento mecánico (arado) y homogenización del suelo hasta alcanzar los niveles de limpieza requeridos para lo cual se monitorearán los niveles de hidrocarburos con equipo de campo.

5.3. Preparación y aplicación de insumos en el proceso

➤ **Nutriente triple 17**

Para que la actividad microbiana sea optima la concentración de nutrientes en el suelo debe estar en el rango normal de C:N:P:K sea de 100:15:1:1, por lo que el cálculo para estimar la cantidad de adición del nutriente Triple 17 debe realizarse de acuerdo al procedimiento siguiente:

1. En laboratorio se realiza prueba de tratabilidad para determinar la concentración óptima de nutriente Triple 17 que debe usarse tomando en cuenta el tipo de contaminantes, su concentración y tipo de suelo.
2. Se prepara una pre mezcla del Triple 17 al 10% en agua para posteriormente diluir a 75 – 150 ppm.
3. Se aplica al suelo por medio de bombas autocebantes homogenizando el suelo con la maquinaria pesada.
4. Se monitorea la concentración de los nutrientes favoreciendo una relación óptima de C:N:P:K debe ser de 100:15:1:1, siendo la fuente de carbono los contaminantes en el suelo.
5. La frecuencia de aplicación del nutriente dependerá del monitoreo continuo de la concentración de nutrientes, promoviendo su aplicación cuando su concentración no sea optimo por lo que se reiniciará el proceso antes descrito.

➤ **Consortio de microorganismos**

Una vez que se identifique las Unidades formadora de Bacterias y su comportamiento para el tipo de suelo e hidrocarburos que se pretenden tratar, se determinará si se requiere el uso complementario del consorcio de bacterias Microsolv 400 y la concentración de dicho consorcio que se deberá aplicar. En laboratorio se obtendrá el caldo concentrado de bacterias nativas facultativas y consorcio de bacterias Microsolv 400 que serán empleados en los sitios contaminados.

El caldo de cultivo de bacterias antes mencionado se trasladará a sitio contaminado, en donde se realizará una preparación adicionando 4 litros del caldo de cultivo en 5,000 litros de agua almacenado en un tanque tipo Rotoplas de PVC en la que se le agitará de manera manual o mediante la aplicación de aire con equipo de bombeo neumático para su homogenización por 8 hrs en intervalos de 2 hrs. Posteriormente se dejará reposar el producto preparado por 24 horas.

A continuación, se procederá a su aplicación al suelo contaminado utilizando bombas autocebantes homogenizando el suelo con maquinaria pesada.

La frecuencia de aplicación del consorcio bacteriano dependerá del monitoreo continuo del conteo bacteriano, promoviendo su aplicación cuando el conteo no sea óptimo por lo que se reiniciará el proceso antes descrito.

➤ **Materia orgánica**

De acuerdo a la materia orgánica disponible en la región se emplean Aserrín, Paja, Bagazo, Composta madura, Estiércol o Desechos Agrícolas para elaborar composta compuesta conforme a la siguiente metodología:

1. Elaborar recipientes donde se elaborará la composta tal como totes, tambores de plástico, o en fosas u hoyos en el suelo de 2 a 3 metros de largo por 1.5 metros de profundidad.
2. Se mezcla la materia orgánica disponible.
3. Se aplica una capa de estiércol (preferentemente seco).
4. Aplique otra capa de materia orgánica disponible.
5. Se aplica una capa de estiércol (preferentemente seco).
6. Aplicar suelo.
7. Humedecer la pila de composta.
8. Controlar los parámetros de control tal como humedad (muy húmedo se promueve producción de hongos no deseados y muy seco favorece la invasión de hormigas, ácaros, etc; Temperatura (no rebasar 50 °C para su control se volteará y se aplicara más agua y estiércol); para favorecer la oxigenación de volteará la composta a las 2 semanas del inicio del proceso de composteo y se continuara cada 3 días el volteo hasta que la composta se encuentre madura.

La composta ya madura se aplicará directamente al suelo en un porcentaje no mayor al 10% de la cantidad de suelo a tratar promoviendo su mezclado para mejor homogenización por medio de la maquinaria pesada.

5.4. Insumos empleados, control de procesos de tratamiento, frecuencia de aplicación de insumos en el proceso

- **Control de la emisión de compuestos orgánicos volátiles:** Se asegura que no se presentarán emisiones de COV'S en esta etapa, toda vez que la conclusión de la primera etapa se comprobará con muestreos y análisis de laboratorio acreditados que no hay presencia de los contaminantes hidrocarburos fracción ligera.

5.5. Insumos empleados, control de procesos de tratamiento, frecuencia de aplicación de insumos desorción térmica fuera del sitio

Esta técnica no requiere aplicación de insumos en el sitio contaminado toda vez que se realizará fuera del sitio.

- Control de la emisión de compuestos orgánicos volátiles:** Se asegura que no se presentarán emisiones de COV'S en esta etapa toda vez que la conclusión de la primera etapa se comprobará con muestreos y análisis de laboratorio acreditados que no hay presencia de contaminantes hidrocarburo fracción ligera.

Nombres genéricos y químicos para el compostaje

Nombre genérico	Nombre Químico	Nombre comercial
Nutrientes (s)	N.A.	Triple 17;17-17-17-
Microorganismo (s)	N.A.	Microsolv 400
Materia orgánica	N.A.	Aserrín, Paja, Bagazo, Composta madura, Estiércol o Desechos Agrícolas

6. REponsable TÉCNICO DE LA REMEDIACIÓN

Nombre de la persona física o moral: CORPORATIVO DE SERVICIOS AMBIENTALES, S.A. DE C.V.	
Registro Federal de Contribuyentes: RFC del Responsable Técnico, información protegida bajo los artículos 113 fracción I de la LFTAIP y 116 primer párrafo de la LGTAIP.	
Nacionalidad: MEXICANA	
Domicilio	
Domicilio, teléfono y correo electrónico del responsable técnico, datos protegidos conforme al Art. 113 fracción I de la LFTAIP, y 116 primer párrafo de la LGTAIP.	
Reformas o modificaciones al acta constitutiva:	
<p>Escritura Pública No. 2332 De fecha: 15 DE NOVIEMBRE DE 1999 Nombre del Notario: LICENCIADO GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO Número del Notario: NOTARIO NUMERO 28 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO BAJO EL NÚMERO 993 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 07035 AL 07038 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 104 EN EL FOLIO 72 DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO VI, REC. NO. 1376674 DE FECHA 16 DE NOVIEMBRE DE 1999.</p> <p>Escritura Pública No. 2555 De fecha: 24 DE FEBRERO DEL 2000 Nombre del Notario: LICENCIADO GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO Número del Notario: NOTARIO NUMERO 28 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO, BAJO EL NÚMERO 344 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 2211 AL 2214 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 105 EN EL FOLIO 136 VUELTA DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO VI, REC. NO. 080613 DE FECHA 28 DE MARZO DEL 2000</p> <p>Escritura Pública No. 72 De fecha: 24 DE AGOSTO DE 2002 Nombre del Notario: DOCTOR JESUS ANTONIO PIÑA GUTIERREZ Número del Notario: NOTARIO NUMERO 31 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO, BAJO EL NÚMERO 1050 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 7763 AL 7769 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 107 EN EL FOLIO 33 DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO IX, REC. NO. 823167-823166 DE FECHA 27 DE AGOSTO DE 2002.</p>	

<p>Escritura Pública No. 13736 De fecha: 23 DE ENERO DE 2003 Nombre del Notario: LICENCIADO ADÁN AGUSTO LÓPEZ HERNANDEZ Número del Notario: NOTARIO NUMERO 27 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO BAJO EL NÚMERO 143 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 975 AL 980 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 108 EN EL FOLIO 119 FRENTE DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO IX, REC. NO. 0942692, DE FECHA 28 DE ENERO DE 2003.</p>	
<p>Relación de socios o accionistas.</p>	
<p>Nombre de persona física, información protegida bajo los artículos 113 fracción I de la LFTAIP y 116 primer párrafo de la LGTAIP.</p>	
<p>Acta Constitutiva 1830 Nombre del Notario: LICENCIADO GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO Número del Notario: NOTARIO NUMERO 28 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO</p> <p>Escritura Pública No. 2332 Nombre del Notario: LICENCIADO GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO Número del Notario: NOTARIO NUMERO 28 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO</p> <p>Escritura Pública No. 2555 Nombre del Notario: LICENCIADO GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO Número del Notario: NOTARIO NUMERO 28 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO</p> <p>Escritura Pública No. 72 Nombre del Notario: DOCTOR JESUS ANTONIO PIÑA GUTIERREZ Número del Notario: NOTARIO NUMERO 31 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO</p> <p>Escritura Pública No. 13736 Nombre del Notario: LICENCIADO ADÁN AGUSTO LÓPEZ HERNANDEZ Número del Notario: NOTARIO NUMERO 27 Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO</p>	
<p>Fecha y datos de su inscripción en el Registro Público de Comercio:</p>	
<p>Acta Constitutiva 1830 INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO BAJO EL NÚMERO 234 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 1763 AL 1774 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 104 EN EL FOLIO 218 DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO V, REC. NO. 1199678-1199677 DE FECHA 12 DE MARZO DE 1999 EN LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO</p> <p>Reformas o modificaciones al acta constitutiva:</p> <p>Escritura Pública No. 2332 INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO BAJO EL NÚMERO 993 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 07035 AL 07038 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 104 EN EL FOLIO 72 DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO VI, REC. NO. 1376674 DE FECHA 16 DE NOVIEMBRE DE 1999.</p>	

Escritura Pública No. 2555

INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO, BAJO EL NÚMERO 344 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 2211 AL 2214 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 105 EN EL FOLIO 136 VUELTA DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO VI, REC. NO. 080613 DE FECHA 28 DE MARZO DEL 2000

Escritura Pública No. 72

INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO, BAJO EL NÚMERO 1050 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 7763 AL 7769 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 107 EN EL FOLIO 33 DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO IX, REC. NO. 823167-823166 DE FECHA 27 DE AGOSTO DE 2002.

Escritura Pública No. 13736

INSCRITA EN EL REGISTRO PÚBLICO DE LA PROPIEDAD Y DEL COMERCIO DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO BAJO EL NÚMERO 143 DEL LIBRO GENERAL DE ENTRADAS A FOLIOS DEL 975 AL 980 DEL LIBRO DUPLICADOS VOLUMEN 108 EN EL FOLIO 119 FRENTE DEL LIBRO PRIMERO DE COMERCIO TOMO IX, REC. NO. 0942692, DE FECHA 28 DE ENERO DE 2003.

Descripción del objeto social:

SERVICIO INTEGRAL DE RECOLECCIÓN, MANEJO, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROS, INDUSTRIALES Y DE MANEJO ESPECIAL, BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS, TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA CON HIDROCARBURO TIPO INDUSTRIAL Y AGUA SANITARIA, SUMINISTRO DE UNIDADES HABITACIONALES TIPO CAMPERS Y SANITARIOS, SERVICIOS AMBIENTALES, ATENCION A CONTINGENCIAS AMBIENTALES, PROCESO PARA LA GESTIÓN, PLANEACIÓN, EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO DE AUDITORÍAS EN MATERIA DE EN SEGURIDAD INDUSTRIAL, PROTECCIÓN AMBIENTAL Y SALUD OCUPACIONAL.

En caso de concursos nacionales, las pequeñas y medianas empresas podrán presentar copia para cotejo del documento expedido por la Secretaría de Economía, que la acredite como PYME.

DATOS DEL APODERADO O REPRESENTANTE DEL PARTICIPANTE:

Nombre del apoderado o representante:

Nombre, domicilio, teléfono y correo electrónico de persona física, datos protegidos conforme al Art. 113 fracción I de la LFTAIP, y 116 primer párrafo de la LGTAIP.

Escritura pública número:
597

Fecha:
19 DE FEBRERO DE 2004

Nombre, número y circunscripción del Notario o Fedatario Público ante el cual se otorgó:

Nombre del Notario: DOCTOR JESUS ANTONIO PIÑA GUTIERREZ

Número del Notario: NOTARIO NUMERO 31

Circunscripción: VILLAHERMOSA TABASCO

7. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS A EMPLEAR EN LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO

Tabla 3. Listado de equipo y maquinaria para la aplicación de la técnica de tratamiento.

Descripción de Equipo y/o Maquinaria	Breve descripción del Uso
Excavadora 320	Utilizada para el arado mecánico del suelo contaminado.
Rotoplas de 10,000 lts	Utilizados para la recepción y almacenamiento del producto Microsolv 400.
Rotoplas de 5,000 lts (2 pieza)	Utilizados para la inoculación de bacterias nativas y de laboratorio. Así como para la preparación de nutrientes.
Bombas Autocebantes de 2 y 3" (4 piezas)	Utilizadas para el riego insumos (Nutrientes, Bacterias), al suelo contaminado.
Bombas Neumáticas de 2 y 3 pulgadas (1 pieza)	Utilizadas para el riego insumos (Nutrientes, Bacterias), al suelo contaminado.
Compresor de aire	Utilizado como equipo auxiliar de la Bomba neumática.
Equipo Portátil Petroflag	Utilizado para el monitoreo del suelo en tratamiento y ver la disminución del contaminante presente.

8. NIVELES DE CONCENTRACIÓN ALCANZABLES EN LA REMEDIACIÓN

Los Límites Máximos Permisibles que se deberán alcanzar por la aplicación de los procesos de remediación de la presente propuesta, serán los establecidos en la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, tomando como referencia los parámetros de Fracción de Hidrocarburos (Tabla 4) e Hidrocarburos Específicos (Tabla 5), para uso de suelo predominante clasificado como "Agrícola", debido a que este tipo de suelo es el que más se asemeja a las condiciones del área caracterizada.

Tabla 4. Niveles de concentración Fracciones de Hidrocarburos a alcanzar en la remediación.

Fracción de Hidrocarburos	USO DE SUELO PREDOMINANTE (mg/kg BASE SECA)			Método analítico
	Agrícola, forestal, pecuario y de conservación	Residencial y recreativo	Industrial y comercial	
Ligera	200	200	500	NMX-AA-105-SCFI-2008
Media	1 200	1 200	5 000	NMX-AA-145-SCFI-2008
Pesada	3 000	3 000	6 000	NMX-AA-134-SCFI-2006

Tabla 5. Niveles de concentración de Hidrocarburos Específicos a alcanzar en la remediación.

Hidrocarburos Específicos	USO DE SUELO PREDOMINANTE (mg/kg BASE SECA)			Método analítico
	Agrícola, forestal, pecuario y de conservación	Residencial y recreativo	Industrial y comercial	
Benceno	6	6	15	NMX-AA-141-SCFI-2007
Tolueno	40	40	100	NMX-AA-141-SCFI-2007
Etilbenceno	10	10	25	NMX-AA-141-SCFI-2007
Xilenos (suma de isómeros)	40	40	100	NMX-AA-141-SCFI-2007

9. PLAN DE MONITOREO EN EL SITIO

Como parte de los trabajos de remediación del sitio, se tiene contemplado realizar el muestreo del suelo tratado, con apoyo de equipo de campo denominado "Petroflag" y el Método analítico no acreditado, a fin de analizar las concentraciones de Fracciones de Hidrocarburos e Hidrocarburos Específicos y monitorear el avance del proceso de remediación.

- **Monitoreo de tratamiento (no acreditados).**

El monitoreo del tratamiento no acreditado dará inicio a partir de la semana 3 después de ser aprobada la propuesta de acuerdo con el programa calendarizado (Anexo 4). Los análisis de campo se programarán durante y próximos a finalizar el tratamiento conforme al programa; se tomarán muestras de suelo ya tratados que se analizarán en campo cada día que estén programados o en su caso de observarse resultados favorables en el tratamiento, se ejecutara con anterioridad a las fechas, estos muestreos serán realizados con equipo petroflag.

- **Puntos de muestreo.**

El muestreo del suelo tratado se llevará a cabo en el sitio de tratamiento, tomando 4 muestras de forma aleatoria. Las muestras de suelo en tratamiento serán tomadas por el personal Técnico del laboratorio acreditado ante la EMA.

El equipo de muestreo que se utilizará durante la toma de muestras del suelo en tratamiento será un hand auger de perforación manual, una palita de acero Inoxidable y material para el lavado del equipo de muestreo utilizado, colocando dichas muestras en un frasco de vidrio de boca ancha de 125 ml de capacidad.

El equipo de muestreo utilizado se lavará entre cada toma de muestras con detergente biodegradable y agua con el fin de evitar el potencial de la contaminación cruzada. El Tipo de muestra a realizarse, será simple.

9.1. Descripción de la metodología a aplicar durante las pruebas de campo con el fin de dar seguimiento a los trabajos de remediación

Las pruebas de campo se llevarán a cabo con un equipo analizador de campo PetroFlag, el cual determina la concentración de hidrocarburos por medio del método analítico EPA SW 846 Método 9074, el cual se realiza de la siguiente manera.

1. Se prepara la calibración de los reactivos (blanco de calibración y estándar).

- 1.1. Se identifican los tubos de ensayo, uno como "Blanco" y otro como "Estándar".
- 1.2. Al tubo identificado como "Blanco", se le agrega el solvente de extracción (*extraction solvent*).
- 1.3. Al tubo identificado como "Estándar", se le agrega el estándar de calibración (*calibration estándar*).
- 1.4. Enseguida se procesan el blanco y el estándar de igual manera que las muestras de suelo como se indica a continuación.

2. Preparación de las muestras a analizar.

- 2.1. Se identifican los tubos de ensayo como muestra 1, muestra 2, hasta completar la cantidad de muestras a analizar.
- 2.2. Se preparan los viales de vidrio con capacidad de 6 ml (que contienen líquido transparente) identificando claramente cada uno (no escribir en el vidrio del vial, ya que puede interferir en las lecturas, a partir de este paso se incluyen el blanco y el estándar).
- 2.3. Se agregan 10 g (± 0.1 gramo) de muestra a los tubos identificados como muestra 1, muestra 2, hasta la cantidad de muestras requeridas (si se desea realizar la calibración con suelo se agregan 10 gramos de suelo limpio a cada uno de los tubos blanco y estándar, si no se tiene la certeza de que el suelo sea limpio, se puede llevar a cabo la calibración sin muestra de suelo).
- 2.4. Se agrega el líquido del vial de solvente de extracción (*extraction solvent*) al primer tubo de ensayo (y a cada uno de los tubos restantes, el solvente debe mojar todo el suelo), se indica el reloj en 5 minutos y se agita por 15 segundos.
- 2.5. Agitar los tubos intermitentemente durante los primeros cuatro minutos.
- 2.6. Dejar reposar el último minuto.
- 2.7. Verificar que el disco de la jeringa, este apretado y remover la tapa del vial de 6 ml.
- 2.8. Transferir contenido del solvente en fase libre del tubo de ensayo, a la jeringa (por la parte superior o boca, evitando que entre suelo a la jeringa porque puede tapan el filtro).

- 2.9. Descartar las primeras gotas del filtro a un contenedor de desechos.
- 2.10. Filtrar el solvente al vial de 6 ml en forma de goteo hasta el nivel de menisco del cuello del vial.
- 2.11. Agitar vial por 10 segundos.
- 2.12. Iniciar el reloj con 10 minutos y proceder a la siguiente muestra.
- 2.13. Si el medidor está apagado, prenderlo _presionando 'READ/ON' y calibrar (opcional).
- 2.14. Después de los 10 minutos colocar el vial en el PetroFlag (asegurarse que el vial está limpio).
- 2.15. Tomar la lectura en el equipo PetroFlag, presionado "READION" (no dejar viales por más de 20 minutos sin tomar lecturas).

Los resultados obtenidos de los análisis de las muestras de campo, con lo cual se dará seguimiento a los trabajos de remediación, se incluirán en la "Bitácora de Campo" en forma diaria asentando las actividades relacionadas con la remediación del suelo contaminado.

Las muestras serán analizadas por método directo no acreditado en atención a los lineamientos establecidos por la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012.

10. PLAN DE MUESTREO FINAL

El objetivo del Plan de Muestreo Final es verificar que se han alcanzado las concentraciones, los niveles o los límites de remediación que se señalen en la propuesta de remediación.

Características del sitio de muestreo:

- Suelo: arenoso-arcilloso.
- Permeabilidad: baja.
- Clima: cálido – húmedo.
- Hidrocarburos para analizar: HFP, HFM, HFL, BTEX Y HAP's.
- Método del muestreo: Muestreo dirigido.
- Tipo de muestreo: Muestreo aleatorio simple.

10.1. Determinación de los puntos de muestreo y número de muestras.

- Los muestreos se realizarán conforme al programa calendarizado.
- El número de puntos de muestreo en superficie se establecerá conforme a la Tabla siguiente de la Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012.

ÁREA CONTAMINADA (ha)	PUNTOS DE MUESTREO
Hasta	
0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1	20
2	25
3	27
4	30
5	33
10	38
15	40
20	45
30	50
40	53
50	55
100	60

En función del área y de acuerdo a la tabla anterior para este sitio corresponden 4 puntos de muestreos, basándonos en la *“Guía técnica para orientar en la elaboración de estudios de caracterización de sitios contaminados” numeral 1.7.4.- “Especificaciones técnicas para llevar acabo el muestreo”*, que nos dice que en medida de lo posible se tomen más muestras, por cada punto a diferentes profundidades para tener un panorama más claro del contaminante presente en el extracto vertical del sitio contaminado. Adicional a esto se tomará 1 duplicado por cada 10 muestras, es decir, se tomarán 5 puntos de muestreo.

El equipo de muestreo a utilizar será:

- Hand Auger de perforación manual.
- Palita de acero inoxidable.
- Geoposicionador.
- Material para el lavado del equipo de muestreo.

Procedimiento del lavado del equipo: Entre cada toma de muestra se lavará el equipo de muestreo utilizado con detergente biodegradable y con agua con el fin de evitar el potencial de la contaminación cruzada.

Tipo de recipiente, identificación, preservación y transporte.

- Los recipientes en los cuales se tomarán las muestras de suelo afectado, serán en frasco de vidrio de boca ancha, con contratapa de PTF.
- Cada muestra será sellada y etiquetada inmediatamente después de ser tomada, conteniendo la siguiente información:
- Identificación de la muestra.
- Fecha del muestreo.
- Hora del muestreo.
- Lugar del muestreo.
- Nombre del muestreador.
- Se llenará la cadena de custodia correspondiente.
- Se tomará un volumen de 125 ml por muestra, cantidad que se requiere para realizar los análisis con los cuales se determinará el grado de contaminación existente en el área afectada por el derrame. Además, las muestras se colocarán en una hielera y se utilizara hielo para ser preservadas a 4 ° C durante su transporte vía terrestre hasta el laboratorio para sus análisis.

Especificaciones técnicas para llevar a cabo el muestreo:

- Se sugiere realizar la toma de muestras en los puntos de muestreo indicados, partiendo de las coordenadas de los puntos de muestreos que dieron origen a la caracterización, o en los puntos de muestreo indicados por el personal de la ASEA.
- Las muestras de suelo tratado que se tomarán serán muestras simples (de un solo punto de muestreo).
- Durante la perforación para obtener las muestras de suelo, no se ocasionará ningún tipo de contaminación a los acuíferos en caso de que existan.

Especificaciones sobre la integridad, identificación y manejo de las muestras: Los métodos analíticos indicados son los utilizados por Laboratorios y Suministros Ambientales e Industriales, S.A. de C.V, que cuenta con la Acreditación No. R-0091-009/11 otorgada por la Entidad Mexicana de Acreditación, AC. De acuerdo con la NOM-138-SEMARNAT/SSAI-2012.

MÉTODO ANALÍTICO: NMX-AA-134-SCFI/2006 HFP, NMX-AA-145-SCF/-2008 HFM, NMX-AA-105-SCFI-2014 HFL.

11. EL USO FUTURO DEL SITIO REMEDIADO

El uso futuro del suelo, una vez que se hayan concluido los trabajos de remediación será para el cultivo de caña de azúcar, ya que como se indicó la Acometida de la Trampa de Envío del Oleogasoducto (Fuera de Operación Temporal) de 8" X 2.180 Km del Cabezal Cárdenas 107 a la Batería Cárdenas Norte, se ubica en una zona agrícola, la cual se limita para el uso de plantío de caña.

12. ANEXOS

1) HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS PRODUCTOS

2) AUTORIZACIÓN PARA TRATAMIENTO

3) ACREDITACIÓN DE LA EMA Y APROBACIÓN DE LA PROFEPA DEL LABORATORIO

4) PROGRAMA CALENDARIZADO