



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

TESIS

***“BIORREMEDIACIÓN DE AGUA CONTAMINADA POR
DIESEL Y PETRÓLEO EMPLEANDO UN MICROBIOMA Y
SUSTANCIAS HÚMICAS”***

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

PRESENTA

DANIELA CASTRO CABELLO

ASESOR: DR. ENRIQUE RICO ARZATE

MÉXICO, D.F.

JUNIO, 2015





SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO



T-051-15

México, D. F., 18 de mayo del 2015.

A la C. Pasante:
DANIELA CASTRO CABELLO

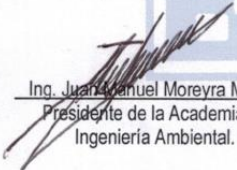
Boleta: Carrera: Generación:
2009320989 IQI 2009-2013

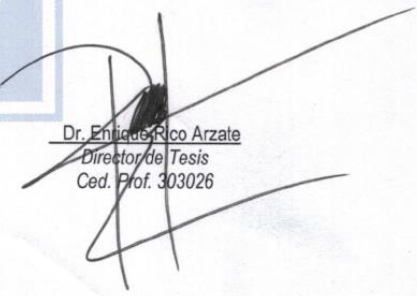
Mediante el presente se hace de su conocimiento que este Departamento acepta que el **C. Dr. Enrique Rico Arzate**, sea orientador en el tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:


"Biorremediación de agua contaminada por diésel y petróleo empleando un microbioma y sustancias húmicas".

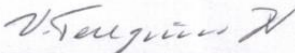
Resumen.
Introducción.
I.- Generalidades.
II.- Parte experimental.
III.- Análisis y discusión de los resultados.
Conclusiones y recomendaciones.
Bibliografía.
Anexos.

Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.


Ing. Juan Manuel Moreyra Mercado
Presidente de la Academia de
Ingeniería Ambiental.


Dr. Enrique Rico Arzate
Director de Tesis
Ced. Prof. 303026


Lic. Guillermo Alberto de la Torre Arteaga
Jefe del Departamento de Evaluación y
Seguimiento Académico


Ing. Victor Manuel Feregrino Hernández
Subdirector Académico Interino

c. c. p.- Control Escolar.
GATA/rcr



SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO



T-051-15

México, D. F., 05 de junio del 2015.

A la C. Pasante:
DANIELA CASTRO CABELLO
PRESENTE

Boleta:
2009320989

Carrera:
IQI

Generación:
2009-2013

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente denominado:

"Biorremediación de agua contaminada por diésel y petróleo empleando un microbioma y sustancias húmicas"

encontramos que el citado Trabajo de **Tesis Individual**, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y **PROCEDER A SU IMPRESIÓN** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

Atentamente

JURADO


IPN


Ing. Juan Manuel Moreyra Mercado
Presidente


Dr. Enrique Rico Arzate
Secretario


Ing. José Javier Castro Arellano
1er. Vocal


M. en A. Héver Honorato Cervantes
2º Vocal


M. en C. Yair Cruz Narváez
3er. Vocal

c.e.p.- Expediente
GATA/rcr



Reconocimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por ser la institución que me brindo las herramientas y conocimientos técnicos para mi formación profesional

A mi alma mater la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas que a través de sus enseñanzas me formo para poder desempeñarme en la industria y darme la oportunidad de terminar esta meta tan importante.

Al Dr. Enrique Rico Arzate que confió en mí para poder desempeñar este proyecto de tesis, por brindarme el apoyo y el conocimiento para desarrollar este proyecto, así como su tiempo y dedicación.

A Yair por compartirme sus conocimientos y explicaciones, por su gran apoyo incondicional durante este proyecto, por su tiempo, consejos y gran paciencia, por transmitirme esa pasión que tiene por la investigación para llevar a cabo esta tesis. Así como también por brindarme su gran amistad.

“El trabajo del pensamiento se parece a la perforación de un pozo: el agua es turbia al principio, más luego se clarifica ” Proverbio Chino



Dedicatorias

En primera instancia agradezco a mi madre, por haberme dado la vida, por su gran apoyo en cada una de mis metas y decisiones, por su amor incondicional en cada momento. Por alentarme a seguir a pesar de todos los obstáculos, por darme la educación, valores y consejos para crecer en la vida.

A mis abuelos Felipe y María Eugenia por brindarme la enseñanza en cada uno de sus sabios consejos, por compartirme su experiencia de vida, por estar ahí en cada uno de mis desvelos durante esta etapa, por apoyarme y cuidarme siempre.

A mis hermanos Monica y Daniel por estar siempre a mi lado apoyándome, alentándome y acompañarme en todo momento, por todos los momentos de alegría que me hacen pasar y estar siempre unidos ante todo.

Y a cada uno de mis profesores durante esta etapa que con sus enseñanzas formaron en mí una profesionalista.

A todas aquellas personas que compartieron y comparten conmigo alegrías y tristezas, triunfos y fracasos; y son parte de mi corazón.

Y a aquellas personas que ya no se encuentran entre nosotros pero siempre estarán en mi corazón eternamente.

“La confianza en sí mismo, es el primer secreto del éxito” Ralph Waldo Emerson



Contenido

CAPITULO I GENERALIDADES.....	18
1.1 El agua	18
1.2 El ciclo natural del agua.....	18
1.3 Contaminación hídrica.....	19
1.4 Petróleo	21
1.4.1 Origen del Petróleo.....	22
1.4.2 Teoría de Engler	22
1.4.3 Composición.....	23
1.4.4 Clasificación del petróleo o crudo	26
1.5 Hidrocarburos	27
1.6 Tipos de Hidrocarburos	28
1.6.1 Los hidrocarburos alifáticos	28
1.6.2 Hidrocarburos Aromáticos	28
1.7 Hidrocarburos Totales del Petróleo	31
1.8 Fracciones de Hidrocarburos Totales del Petróleo	32
1.9 Derrames de petróleo	34
1.10 Sistemas de limpieza de los vertidos de petróleo.....	35
1.11 Diésel	36
1.12 Alteración del ambiente.	38
1.12.1 Contaminantes Industriales.....	39
1.12.2 Característica de los Contaminantes Orgánicos.	39
1.13 Capacidad de Biodegradación.	40
1.14 Biorremediación.....	40
1.15 Biodegradación de Hidrocarburos	41
1.16 Sustancias húmicas.	42
1.16.1 Ácidos Fúlvicos	44
1.16.2 Ácidos Húmicos.	44
1.16.3 Huminas.....	45
1.17 Microorganismos utilizados en la biorremediación.....	45



1.17.1	<i>Pseudomonas sp.</i>	46
1.17.2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	47
1.17.3	<i>Pseudomonas putida</i>	47
1.17.4	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	48
1.18	Efectos generales del petróleo sobre el medio ambiente	49
1.18.1	Efectos de la luz.....	49
1.18.2	Efectos tóxicos.....	50
1.18.3	Otros efectos generales del petróleo en el medio ambiente.....	50
1.19	Efectos de los hidrocarburos en la salud humana.	51
1.19.1	Ingesta.....	51
1.19.2	Aspiración.....	51
1.19.3	Contacto.....	51
1.20	Descripción toxicológica de algunos componentes de los hidrocarburos.	52
1.21	Medidas de seguridad durante las labores de recuperación.	52
1.22	Convenios y Protocolos internacionales.	52
1.23	Antecedentes	54
1.24	Planteamiento del problema.....	59
1.25	Justificación	60
1.26	Objetivos	61
1.26.1	Objetivo general.	61
1.26.2	Objetivos específicos.....	61
2	CAPITULO II.PARTE EXPERIMENTAL.	62
2.1	Solución de medio mínimo	62
2.2	Adaptación del microbioma.....	63
2.3	Contaminación de agua (medio mínimo) por hidrocarburos.	64
2.4	Preparación de los sistemas de diésel y petróleo	65
2.5	Conteo de unidades formadoras de colonia en el inóculo de petróleo.....	67
2.6	Peso seco.....	68
2.7	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno	69
2.8	Determinación de Carbón Orgánico Total.	70



3	CAPITULO III. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	71
3.1	Remoción de la materia orgánica.....	71
3.2	Variación del carbono orgánico, inorgánico y total.....	74
3.3	Tratamiento biocinético de los datos.	77
3.4	Estequiometria	78
3.5	Balance de masa.....	79
3.6	Operación intermitente.	80
3.7	Tratamiento de datos.....	81
3.8	Cálculo de peso seco, masa de CO ₂ y de sustrato.....	81
3.9	Modelamiento de sistemas con el metodo de Monod.....	81
	CONCLUSIONES.....	90
	Bibliografía.....	92
	Anexos.....	97
	Glosario	113



Índice de Tablas

Tabla 1 Alteraciones físicas del agua (Metcalf, 2004)	19
Tabla 2 Alteraciones biológicas del agua (Metcalf, 2004).....	20
Tabla 3 Clasificación de tipos de crudos (IMP, 2014)	27
Tabla 4 Crudos de la República Mexicana y sus características. (IMP, 2014)	27
Tabla 5 Características de los principales contaminantes Orgánico (Sax, 1976).....	30
Tabla 6 Indicadores anuales de crudo derramado en el territorio nacional (PROFEPA, 2013)....	57
Tabla 7 Acrónimos	96

Índice de Figuras

Figura 1 Principales sustancias involucradas en emergencias ambientales reportadas a la PROFEPA entre 1997 y 1999.....	15
Figura 2 Ciclo del Agua	18
Figura 3 Reacciones de formación del petróleo.	22
Figura 4 Estructuras moleculares de las parafinas formadas a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014).....	23
Figura 5 Estructuras moleculares de las parafinas formadas a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014).....	23
Figura 6 Estructuras moleculares de las olefinas formadas a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014).....	24
Figura 7 Estructuras moleculares de los naftenos formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014).....	24
Figura 8 Estructuras moleculares de los compuestos aromáticos formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)	24
Figura 9 Estructuras moleculares de compuestos de nitrógeno formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)	25
Figura 10 Estructuras moleculares de compuestos de azufre formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)	25
Figura 11 Estructuras moleculares de compuestos de oxígeno formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)	26
Figura 12 Estructura del Benceno	29
Figura 13 Estructura del Tolueno	29
Figura 14 Estructura del Xileno.....	30
Figura 15 Esquema de la clasificación de los Hidrocarburos.....	31
Figura 16 Hidrocarburos que existen como una fase inmiscible y separada cuando entran en	



contacto con el agua o el aire. (Huaiquilaf, 2008).....	34
Figura 17 Evolución de una mancha de petróleo (Echarri, 2008).....	34
Figura 18 Cromatograma de diésel. Fuente: Laboratorio de espectrometría de masa del Instituto Mexicano del Petróleo, 1998.....	37
Figura 19 Reacciones de degradación aerobia y anaerobia.....	40
Figura 20 Estructura molecular de las Sustancias Húmicas (Kleinhempel, 1970).....	43
Figura 21 Proceso de generación de las Sustancias Húmicas.....	43
Figura 22 Estructura Molecular del Ácido Fúlvico (Miller Camargo Valero, 1999).....	44
Figura 23 Estructura Molecular de Acido Húmico (Miller Camargo Valero, 1999).....	45
Figura 24 Micrografía de <i>Pseudomona aeruginosa</i> obtenida con microscopio de barrido (Narvaez, 2013).....	47
Figura 25 Micrografía de <i>Pseudomona putida</i> obtenida con microscopio de barrido (Narvaez, 2013).....	48
Figura 26 Micrografía de <i>Pseudomona fluorescens</i> obtenida con microscopio de barrido (Narvaez, 2013).....	49
Figura 27 Derrames y fugas de petróleo en el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013) .	55
Figura 28 Cuantificación de petróleo crudo derramado en el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013).....	55
Figura 29 Derrames de crudo cuantificados y no cuantificados por estado en el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013).....	56
Figura 30 Volumen de petróleo derramado por estados de la República Mexicana (PROFEPA, 2013).....	56
Figura 31 Volumen derramado de petróleo crudo en mar y tierra en la República Mexicana 2000-2013 (PROFEPA, 2013).....	57
Figura 32 Volumen de petróleo crudo derramado por Zona en territorio nacional durante el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013).....	58
Figura 33 Fugas cuantificadas y no cuantificadas de petróleo crudo en territorio nacional (PROFEPA, 2013).....	58
Figura 34 Refinerías, Poliductos y Oleoductos dentro del Territorio Nacional Mexicano.....	59
Figura 35 Derrame de petróleo crudo en el mar.....	60
Figura 36 Fuga de tubería de diésel causando contaminación de un río.....	60
Figura 37 Ajuste de pH de la solución de medio mínimo.....	62
Figura 38 Solución del medio mínimo después de esterilizar en la autoclave.....	63
Figura 39 Microbioma soportado en cascara de trigo.....	63
Figura 40 Solución de medio mínimo contaminado por diésel (izquierda) y petróleo (derecha) .	64
Figura 41 Separación de la fase acuosa del agua contaminada por petróleo ligero crudo.....	65
Figura 42 PB: Sistema de agua contaminada con petróleo e inculo de un microbioma (izquierda) PAH: Sistema de agua contaminada con petróleo e inculo de un microbioma, más la adición de sustancias húmicas.....	66
Figura 43 DB: Sistema de agua contaminada con diésel e inculo de un microbioma (izquierda)	



PAH: Sistema de agua contaminada con petróleo e inculo de un microbioma, más la adición de sustancias húmicas.....	66
Figura 44 Metodología para el conteo de colonias.....	67
Figura 45 Metodología para la determinación de peso seco.	68
Figura 46 Metodología para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno.	69
Figura 47 Determinación de Carbono Orgánico.....	70
Figura 48 Degradación de diésel presente en agua contaminada (DB: sistema de agua con diésel y microbioma, DBSH: sistema de agua con diésel, microbioma y sustancias húmicas.)	71
Figura 49 Degradación de petróleo presente en agua contaminada	72
Figura 50 Porcentaje de remoción de DQO en el sistema con diésel como contaminante.	73
Figura 51 Porcentaje de remoción de DQO en el sistema de petróleo como contaminante.....	73
Figura 52 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con diésel y el microbioma.	74
Figura 53 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con diésel, microbioma y sustancias húmicas.	75
Figura 54 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con petróleo y el microbioma	76
Figura 55 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con petróleo, microbioma y sustancias húmicas.	76
Figura 56 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de diesel con microbioma.....	82
Figura 57 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en relación al tiempo; del sistema de diésel con bacterias.....	83
Figura 58 Variación del crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de diésel con un microbioma.....	83
Figura 59 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de diésel con microbioma y sustancias húmicas	84
Figura 60 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en función al tiempo; del sistema de diésel con un microbioma y sustancias húmicas	85
Figura 61 Variación del crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de diésel con microbioma y sustancias húmicas	85
Figura 62 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de petróleo con microbioma.....	86
Figura 63 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en función al tiempo; del sistema de petróleo con un microbioma	87
Figura 64 Variación de la velocidad de crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de petróleo con un microbioma	87
Figura 65 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de petróleo con el microbioma y sustancias húmicas.	88
Figura 66 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en función al tiempo; del sistema de	



petróleo con un microbioma y sustancias húmicas	88
Figura 67 Variación de la velocidad de crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de petróleo con un microbioma y sustancias húmicas.....	89
Figura 68 Analizador de Carbono Orgánico Total por Oxidación Térmica; Marca: General Electric.....	97
Figura 69 Mufla (Utilizada para la determinación de la biomasa en relación al peso seco).....	97
Figura 70 Balanza analítica (Marca: Sartorius; Modelo: TE124S).....	98
Figura 71 Equipo utilizado para la medición de la Demanda Química de Oxígeno Termo-reactor (marca: Hach);.....	98
Figura 72 Autoclave (Modelo: 25X-1).....	99
Figura 73 Potenciómetro (marca: Corning).....	99
Figura 74 Canales de lombricomposta formada por lombriz roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	107
Figura 75 Lombricomposta	107
Figura 76 Lombriz roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	108
Figura 77 Lixiviados de la lombricomposta (Sustancias Húmicas)	108
Figura 78 Tanque de almacenamiento de las Sustancias Húmicas	109
Figura 79 Sustancias Húmicas.....	109
Figura 80 Cultivo de Bacterias del genero Pseudomona Sp.....	110



Resumen

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos ha generado a escala mundial, un problema de contaminación de suelo, aire y agua. Entre las más severas contaminaciones se destacan las que se producen a causa de la extracción y el manejo del petróleo.

Sin embargo, lo que complica la problemática actual de los sitios contaminados con hidrocarburos, es que hasta hace pocos años, prácticamente no existía una conciencia del grado de dificultad y del enorme costo de la remediación de suelos, cuerpos de agua y atmósfera contaminados, lo que representa hoy para la sociedad un gran costo económico. Dicha contaminación está ocasionando el deterioro progresivo de la calidad del medio ambiente y genera una amenaza real a la salud pública, así como la extinción de gran cantidad de especies vegetales y animales.

El tratamiento biológico, ha tenido un importante auge en los últimos años, principalmente porque es significativamente más económico, de aplicación sencilla y los productos finales son inocuos

El principio básico del proceso de biorremediación consiste en la destrucción de la estructura de los hidrocarburos para convertirlos en los componentes no tóxicos de bióxido de carbono, agua y biomasa.

El uso de microorganismos como hongos, bacterias y algas reportado en la literatura para la biodegradación de los hidrocarburos hace posible el tratamiento de remediación en sitios contaminados por dichos compuestos. La utilización de mezclas de estos microorganismos produce mejores resultados. Sin embargo para poder aplicar este tipo de tecnología es necesario considerar factores medioambientales, propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos contaminantes y la presencia de microorganismos nativos.

Las sustancias húmicas facilitan la degradación de hidrocarburos contaminantes en agua, haciéndolos biodisponibles y estimulando la actividad metabólica microbiana. En esta investigación se muestra el efecto de la adición de sustancias húmicas a muestras de agua contaminada con diésel y petróleo, usando un microbioma con bacterias del género *Pseudomona sp.* El cual fue estudiado. La variación fue analizada mediante la concentración de contaminantes por la determinación de carbono orgánico, carbono inorgánico, carbono total, demanda química de oxígeno y producción de biomasa cada 12 horas. Se obtuvieron remociones de hidrocarburos solubles en el agua del 80 al 95% con la adición de una concentración 1000 mg/L de sustancias húmicas y de 35 a 70% cuando no se agregó dicha concentración.



Abstract

Improper handling of hazardous materials and waste generated worldwide, a problem of contamination of soil, air and water. Among the most severe are highlighted contaminations that occur due to the extraction of oil and handling.

However, complicating the current problem of hydrocarbon contaminated sites is that until recently, there was virtually no awareness of the degree of difficulty and the huge cost of the remediation of soils contaminated bodies of water and atmosphere, which today represents for society a great economic cost. Such pollution is causing the progressive deterioration of the quality of the environment and creates a real threat to public health and the extinction of many plant and animal species.

Biological treatment has been a major boom in recent years, mainly because it is significantly more economical, simple application and the final products are safe

The basic principle of bioremediation process involves destruction of the structure of the hydrocarbons to convert them into non-toxic components carbon dioxide, water and biomass.

Use of microorganisms such as fungi, bacteria and algae reported in the literature for the biodegradation of hydrocarbons enables remedial treatment such compounds in contaminated sites. The use of mixtures of these microorganisms produces better results. But to apply this type of technology is necessary to consider environmental factors, physical and chemical properties of hydrocarbon contaminants and the presence of native microorganisms.

Humic substances facilitate the degradation of hydrocarbon pollutants in water, making bioavailable and stimulating microbial metabolic activity. In this study the effect of adding humic substances to samples of water contaminated with diesel oil and, using a microbioma with bacteria of the genus *Pseudomonas* which was studied shown. The variation was analyzed by the concentration of contaminants by the determination of organic carbon, inorganic carbon, total carbon, chemical oxygen demand and biomass production every 12 hours. Removal of water soluble hydrocarbons 80 to 95% were obtained with the addition of a concentration 1000 mg / L humic substances and 35 to 70% when the concentration was not added

Introducción

La contaminación hídrica o contaminación del agua es una modificación generalmente, provocada por el hombre, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural.

Si bien la contaminación de las aguas puede provenir de fuentes naturales, la mayor parte de la contaminación actual proviene de actividades humanas. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluviales que en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas.

El agua es cada vez más apreciado, tanto para uso doméstico industrial o agrícola; su escasez, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, la sitúan como prioridad vital para el desarrollo de las poblaciones: "si no hay agua, no hay vida". Muchos son los programas emprendidos para el uso racional del vital líquido; sin embargo; gran parte de ellos adolecen de objetividad, ya sea por su difícil aplicación o por el elevado costo que representan.

Todos los eventos en los que se encuentran involucradas sustancias que implican algún riesgo para el ambiente o la población y que puedan generar la contaminación de suelos y cuerpos de agua, son conocidos como emergencias ambientales. De acuerdo con estadísticas de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cada año se presentan en México un promedio de 550 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos. Dentro de los compuestos peligrosos más comúnmente involucrados en emergencias ambientales, se encuentran el petróleo y sus derivados (gasolinas, combustóleo, diésel), agroquímicos, gas LP y natural, entre otros tal y como se observa en la Figura no. 1 (Sepulveda & Trejo, 2002)

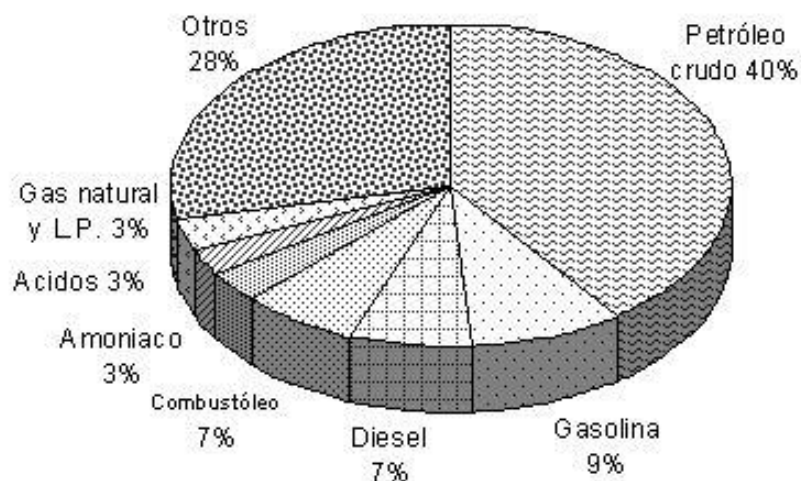


Figura 1 Principales sustancias involucradas en emergencias ambientales reportadas a la PROFEPA entre 1997 y 1999



La contaminación de las aguas por hidrocarburos en los sistemas de almacenamiento, en las fuentes de abastecimiento subterráneo y superficial, así como en otros cuerpos de agua es un hecho que ocurre con relativa frecuencia. Este tipo de contaminación produce un cambio en las características organolépticas del agua que induce al rechazo de los consumidores, y su ingesta representa un riesgo para la salud; asimismo, el ecosistema puede sufrir afectaciones debidas al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes. (Quadri, 1994)

Las contaminaciones pueden presentarse de 2 formas generales: puntuales y sistemáticas. Las primeras ocurren de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. Las segundas son habituales y caracterizan a aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica que en ellas se realiza. Por otro lado, las fuentes de la contaminación pueden ser simples o múltiples, y verter al medio uno o varios componentes del petróleo. (Saval, 1995)

El estudio de este tipo de contaminación puede alcanzar una gran complejidad, determinada ésta por la naturaleza de la contaminación, los métodos de análisis empleados y la manera en que se proceda en la ejecución del estudio; la integración de estos factores determina su alcance, la eficiencia en el uso de los recursos y la ejecución de una intervención adecuada

El desarrollo económico en México favoreció la concentración territorial de la industria. Hasta 1970 no se aplicó ningún criterio ambiental para su desarrollo, aunque había indicios de impactos crecientes sobre la contaminación atmosférica y la generación de residuos. El resultado de una política de bajos precios de petróleo propició su uso intensivo y, con ello, un crecimiento de la demanda energética más acelerada. En la segunda parte de la década de los 70's, la reestructuración productiva de la industria se modificó debido al crecimiento petrolero. La petroquímica básica se convirtió en la actividad con mayor contribución a la contaminación, también la producción de fibras sintéticas, resinas, fertilizantes, plásticos, pinturas, pigmentos, y gases industriales que pasaron a ser las actividades más relevantes por su impacto potencial al ambiente (Quadri, 1994)

En México, la industria petrolera en su conjunto ha tenido un gran impacto negativo en materia ambiental. Por la amplia gama de productos derivados del petróleo, no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los petroquímicos básicos

En la extracción del petróleo no se considera el bienestar del ambiente, lo que ha contribuido a la degradación del aire, agua y suelo.

Los sistemas de biorremediación consisten principalmente en el uso de los microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias de carácter menos tóxico o bien inocuas para el medio



ambiente y la salud humana.

En el presente trabajo efectuó un estudio de biodegradación de la fracción soluble de los hidrocarburos totales del petróleo en agua contaminada por petróleo ligero y diésel mexicano comercial, utilizando un microbioma que contiene microorganismos donde predomina el género *Pseudomona sp.*, así como sustancias húmicas para evaluar el efecto de la adición de estas últimas.

La experimentación se llevó a cabo en el laboratorio de Posgrado de Ingeniería Química ubicado en la Planta Baja de los Laboratorios Pesados de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional.

En el capítulo 1 se presenta la problemática de la contaminación por hidrocarburos en el agua, así como los efectos nocivos que tiene para el medio ambiente y para la salud; así como el origen de la formación del petróleo, su composición, clasificación, y propiedades físico-químicas del mismo; Al igual que del diésel.

Se aborda el tema de los hidrocarburos, su definición, así la clasificación de los diferentes tipos de hidrocarburos.

Se hace una referencia de los derrames y fugas ocurridos en el territorio Nacional Mexicano desde el año 2000 a 2013.

De esta manera, el lector tendrá un panorama general de la problemática que causan los derrames de diésel y petróleo en cuerpos de agua, Así como analizar las ventajas y desventajas que con lleva utilizar un método de biorremediación a partir de hongos y bacterias, de la fracción soluble de agua contaminada por hidrocarburos totales del petróleo y los principales parámetros a considerar para llevar a cabo este proceso.

En el segundo capítulo se aborda la metodología que se siguió para la preparación de las muestras, así como las técnicas analíticas utilizadas para la determinación, cuantificación y evaluación de la capacidad degradativa de las bacterias y hongos, así como el porcentaje de remoción de los hidrocarburos totales del petróleo solubles en las muestras sintéticas de agua en relación al tiempo.

Para con ellos poder evaluar cada uno de los sistemas propuestos.

En el tercer capítulo de este trabajo se analizan, interpretan y discuten los resultados obtenidos de forma experimental, así como también se proponen los modelos biocinético para poder predecir el comportamiento y con ello poder modelar el proceso de biorremediación a través de la cinética de Monod.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos y del análisis de los mismos se llega a las conclusiones presentadas.

Así como también las recomendaciones para enriquecer dicho trabajo.

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1 El agua

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor.

El agua cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5 % del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74 %, los depósitos subterráneos (acuíferos), y los glaciares continentales son el 1,72 % y el restante 0,04 % se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos

1.2 El ciclo natural del agua

El ciclo natural del agua (Fig. 2) tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que se arrojan los residuos. (Metcalf, 2004)



Figura 2 Ciclo del Agua



1.3 Contaminación hídrica

La contaminación hídrica o contaminación del agua es una modificación generalmente, provocada por el hombre, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural. (Brenner, Chozick, & Irvine, 1992)

Si bien la contaminación de las aguas puede provenir de fuentes naturales, la mayor parte de la contaminación actual proviene de actividades humanas. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos contaminantes.

Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al ser analizadas las aguas de los lugares más remotos del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida ver Tabla 1 y 2. (Echarri, 2008)

Tabla 1 Alteraciones físicas del agua (Metcalf, 2004)

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	El agua no contaminada es totalmente incolora. Y de forma contraria, el agua contaminada pueden tener muy diversos colores tales como los rojizos, pardos, amarillentos o verdosos, y con esto no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas
Materiales en suspensión	Partículas como arcillas, y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación.



Radiactividad	Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debido sobre todo a isotopos del potasio. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos y alterar el agua
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen el poder auto depurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de electrolitos que contenga. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20 °C

Tabla 2 Alteraciones biológicas del agua (Metcalf, 2004)

Alteraciones biológicas del agua	Contaminación que indican
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos Diversos	Eutrofización

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras.

1.-Microorganismos patógenos. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis, hepatitis, etc. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua.

2. Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas.

3. Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.



4. Nutrientes inorgánicos. Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua, pero si se encuentran en cantidad excesiva provocan la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

5. Compuestos orgánicos. Como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, debido a su estructura molecular compleja es difícil de degradar por los microorganismos.

6. Sedimentos y materiales suspendidos La turbidez que provocan partículas en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos (Echarri, 2008)

1.4 Petróleo

En nuestras sociedades el petróleo y sus derivados son imprescindibles como fuente de energía y para la fabricación de múltiples productos de la industria química, farmacéutica, alimenticia, etc.

En general existe una tendencia a una asimilación de los términos hidrocarburos y petróleo, aun cuando guardan una estrecha relación en su naturaleza difieren en su significado. El petróleo es una mezcla compleja de muchos hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos, con un número de carbonos en sus moléculas que varían aproximadamente entre 1 y 50 (Galán, 2012)

El termino petróleo proviene del latín *petra*, piedra y *óleum*, aceite. Es un líquido viscoso, de color pardo oscuro, de olor desagradable, tóxico, irritante e inflamable. Se encuentra en yacimientos a diferentes profundidades en el interior de la tierra. Su origen es la descomposición de animales de origen marino principalmente, pero también de plantas que habitaron en los periodos Jurásico y Cretácico de la era Mesozoica, hace 225 o 136 millones de años. De acuerdo con la estructura predominante en la mezcla de hidrocarburos, el petróleo se puede clasificar en base parafínica, nafténica o aromática (Pemex, 1999).

En el petróleo del tipo parafínicos las moléculas de carbono forman cadenas rectas, que pueden tener o no ramificaciones, y tienen poca afinidad química; los nafténicos o ciclo parafínicos forman una molécula circular en la cual todos los enlaces de carbono están saturados con hidrógeno. Mientras que en los aromáticos las moléculas contienen, básicamente, un anillo con seis átomos de carbono en el cual cada átomo intercambia dos enlaces químicos con otro carbono (anillos bencénicos); su forma más simple recibe el nombre de benceno, el que a su vez puede formar ramificaciones con hidrocarburos parafínicos o uniones de dos a más anillos que pueden también tener radicales insertados. Según sea el origen del petróleo crudo, es diferente su composición y sus propiedades; algunas de sus propiedades más importantes son su densidad, que generalmente se expresa en gravedad específica a grados API, y su contenido de azufre. Al crudo de mayor densidad se le denomina crudo pesado, que contiene moléculas de alto peso molecular como naftenos y compuestos aromáticos.

1.4.1 Origen del Petróleo

Se sabe que la formación del petróleo está asociada al desarrollo de rocas sedimentarias, depositadas en ambientes marinos o próximos al mar, y que es el resultado de procesos de descomposición de organismos de origen vegetal y animal que en tiempos remotos quedaron incorporados en esos depósitos.

El petróleo no se encuentra distribuido de manera uniforme en el subsuelo hay que tener presencia de al menos cuatro condiciones básicas para que éste se acumule:

- Debe existir una roca permeable de forma tal que bajo presión el petróleo pueda moverse a través de los poros microscópicos de la roca.
- La presencia de una roca impermeable, que evite la fuga del aceite y gas hacia la superficie.
- El yacimiento debe comportarse como una trampa, ya que las rocas impermeables deben encontrarse dispuestas de tal forma que no existan movimientos laterales de fuga de hidrocarburos.
- Debe existir material orgánico suficiente y necesario para convertirse en petróleo por el efecto de la presión y temperatura que predomine en el yacimiento

1.4.2 Teoría de Engler

Las teorías originales, en las que se atribuyó al petróleo un origen inorgánico (Berthelott y Mendelejev) han quedado descartadas, por lo que Engler propone las reacciones de formación del petróleo que se observan en la Fig. 3:

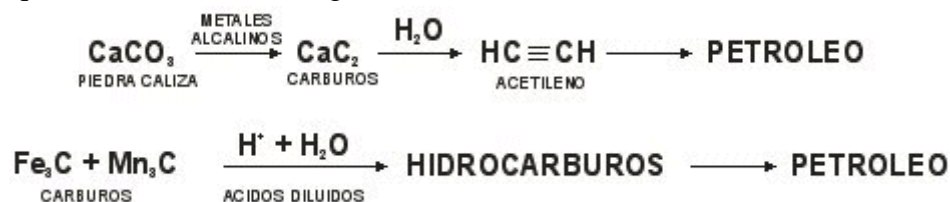


Figura 3 Reacciones de formación del petróleo.

Uno de los supuestos más aceptados acerca del origen del Petróleo lo constituye la Teoría de Engler (1911):

1ª Etapa

Depósitos de organismos de origen vegetal y animal se acumulan en el fondo del mar.

Las bacterias actúan, descomponiendo los carbohidratos en gases y materias solubles en agua, y de esta manera son desalojados del depósito.

Permanecen los constituyentes de tipo ceras, grasas y otras materias estables, solubles en aceite.

2^{da} Etapa

A condiciones de alta presión y temperatura, se desprende CO₂ de los compuestos con grupos carboxílicos, y H₂O de los ácidos hidroxílicos y de los alcoholes, dejando un residuo bituminoso.

Las exposiciones a calor y presión provocan un craqueo ligero con formación de olefinas (protopetróleo).

3^{er} Etapa

Los compuestos no saturados, en presencia de catalizadores naturales, se polimerizan y ciclizan para dar origen a hidrocarburos de tipo nafténico y parafínico. Los aromáticos se forman, presumiblemente, por reacciones de condensación acompañando al craqueo y ciclización, o durante la descomposición de las proteínas.

1.4.3 Composición

Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran el petróleo, se tienen diferentes propiedades que los caracterizan y determinan su comportamiento como combustibles, lubricantes, ceras o solventes.

Las cadenas lineales de carbono asociadas a hidrógeno constituyen las parafinas; tal como se observa en la figura 4.

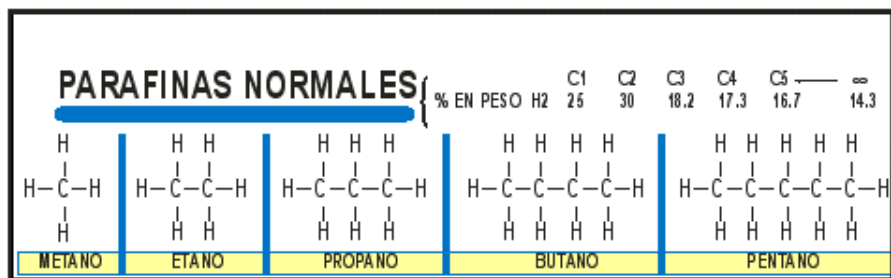


Figura 4 Estructuras moleculares de las parafinas formadas a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

Cuando las cadenas son ramificadas se tienen las isoparafinas, figura 5

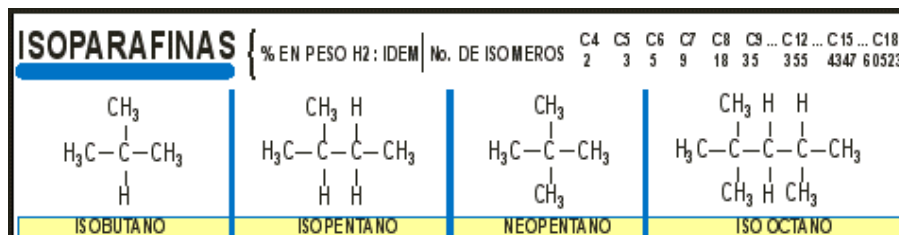


Figura 5 Estructuras moleculares de las parafinas formadas a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

Al presentarse dobles uniones entre los átomos de carbono se forman las olefinas; como se puede observar en la figura 6

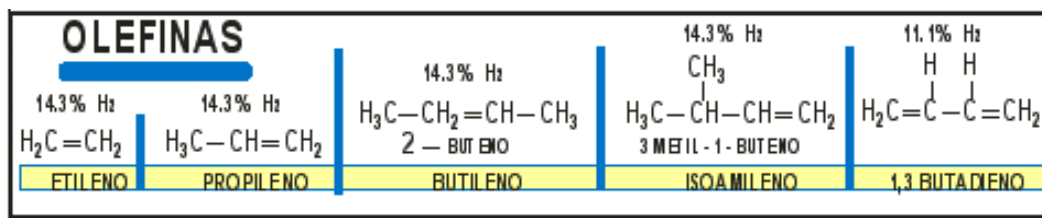


Figura 6 Estructuras moleculares de las olefinas formadas a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

Las moléculas en las que se forman ciclos de carbono son los naftenos, así como se observa en la Figura No. 7

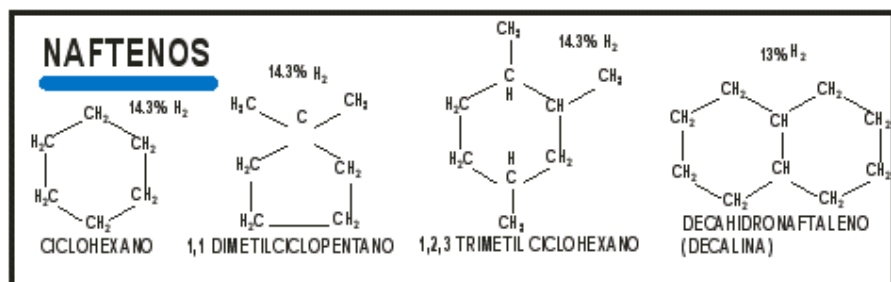


Figura 7 Estructuras moleculares de los naftenos formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

Y cuando estos ciclos presentan dobles uniones alternas se tiene la familia de los aromáticos. Tal como se observa en la Figura No. 8

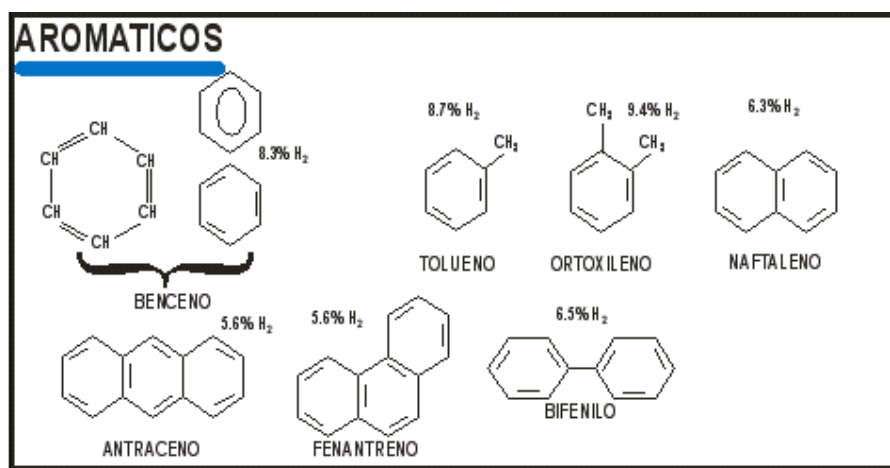


Figura 8 Estructuras moleculares de los compuestos aromáticos formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

Además hay hidrocarburos con presencia de azufre, nitrógeno y oxígeno formando familias bien caracterizadas como se observan en las figuras 9,10 y 11.

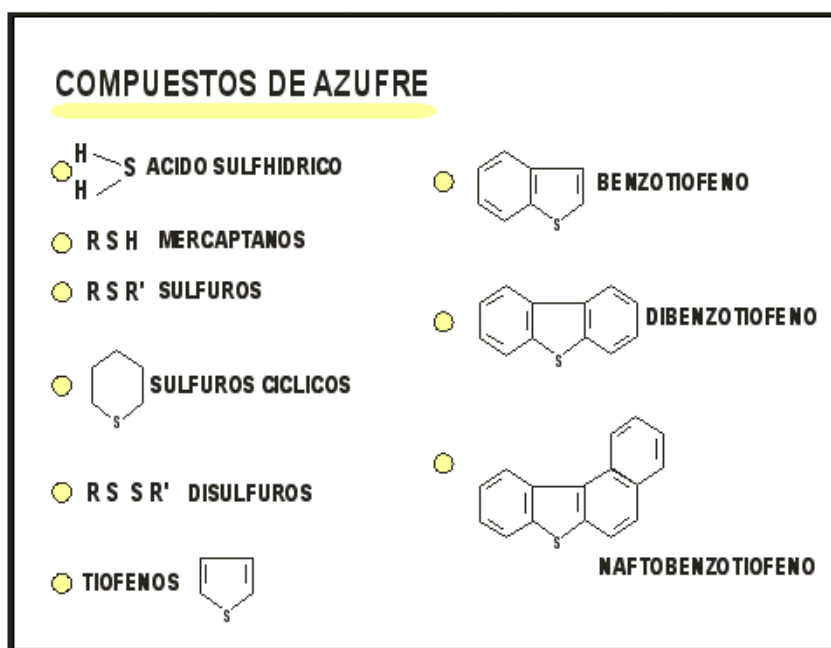


Figura 10 Estructuras moleculares de compuestos de azufre formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

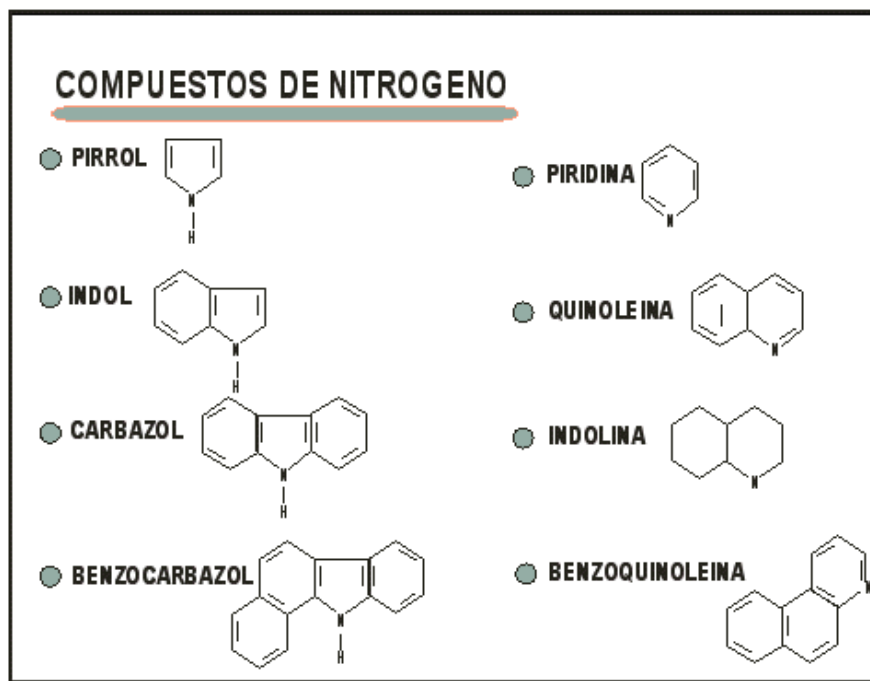


Figura 9 Estructuras moleculares de compuestos de nitrógeno formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

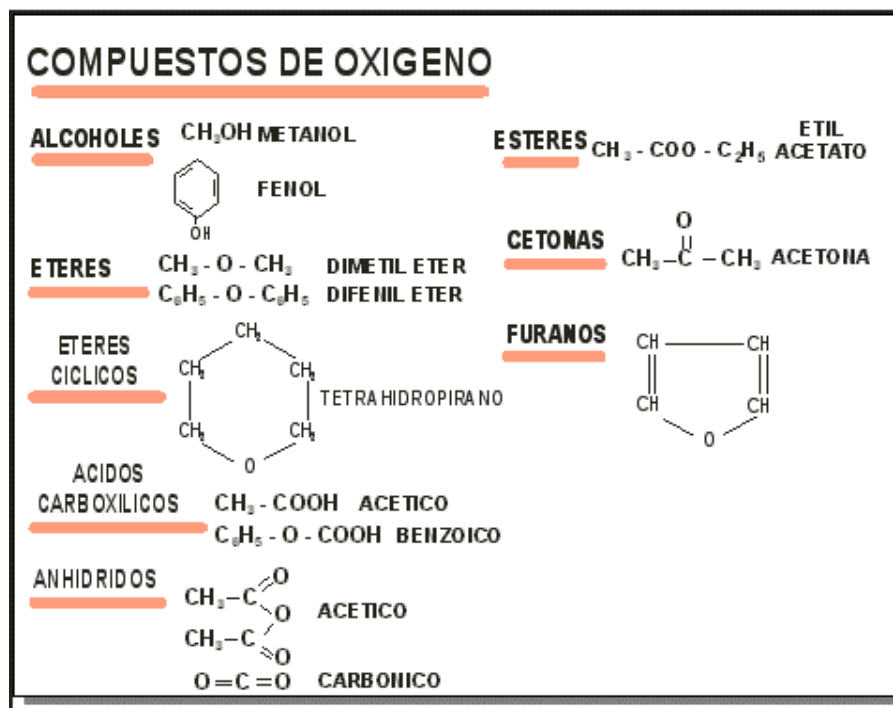


Figura 11 Estructuras moleculares de compuestos de oxígeno formados a partir del petróleo (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014)

Y un contenido menor de otros elementos. Al aumentar el peso molecular de los hidrocarburos las estructuras se hacen verdaderamente complejas y difíciles de identificar químicamente con precisión.

1.4.4 Clasificación del petróleo o crudo

El valor del petróleo crudo se determina por su rendimiento en productos refinados y dicho rendimiento depende de sus características físico-químicas, siendo sus principales su contenido de azufre y su densidad. De acuerdo con su contenido de azufre, se clasifica como “amargo”, “semi-amargo” o “dulce”.

Amargo: Mayor de 1.5 por ciento

Semi-amargo: Entre 0.5 a 1.5 por ciento

Dulce: Menor del 0.5 por ciento



Conforme a su densidad se clasifica con valores numéricos que se identifican como grados API (*American Petroleum Institute*)(Tabla 3 y 4).

Tabla 3 Clasificación de tipos de crudos (IMP, 2014)

Crudo	Densidad (g/cm ³)	API
Extra pesado	> 1	10.0
Pesado	1.0 - 0.92	10.00 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 - 31.1
Ligero	0.87 - 0.83	31.1 - 39.0
Súper ligero	< 0.83	39.0

Tabla 4 Crudos de la República Mexicana y sus características. (IMP, 2014)

Tipos de Petróleo en la República Mexicana	Características
Istmo	Ligero con densidad de 33.6 grados API 1.3% de azufre en peso
Maya	Pesado con densidad de 22 grados API 3.3% de azufre en peso
Olmeca	Súper ligero con densidad de 39.3 grados API 0.8% de azufre en peso

1.5 Hidrocarburos

Los Hidrocarburos son compuestos químicos constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno (SERMANAT, 2003). Los hidrocarburos pueden contener otros elementos en menor proporción como son oxígeno, nitrógeno, azufre, halógenos (cloro, bromo, iodo y flúor), fósforo, entre otros. Su estado físico, en condiciones ambientales, puede ser en forma de gas, líquido o sólido de acuerdo al número de átomos de carbono y otros elementos que posean. Se funden a temperaturas relativamente más bajas que los compuestos minerales o inorgánicos (PEMEX, 1999). Los hidrocarburos pueden clasificarse de acuerdo con la división de los compuestos orgánicos, en la siguiente forma: alifáticos y aromáticos.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que, según su naturaleza de origen, son clasificados en hidrocarburos biogénicos e hidrocarburos antropogénicos. Los hidrocarburos biogénicos son sintetizados por casi todas las plantas, animales terrestres y marinos, incluyendo la microbiota, bacterias, plancton marino, diatomeas, algas y plantas superiores (Bedair& Al-Saad, 1992). La síntesis de este tipo de hidrocarburos está controlada por rutas metabólicas, lo cual trae como



resultado mezclas de compuestos de limitada complejidad estructural relacionada directamente con la función biológica específica.

La formación de compuestos alifáticos y aromáticos de bajo peso molecular es dado conforme al tiempo de la descomposición de la materia orgánica, estos compuestos pueden ser condensados para dar lugar a sustancias de mayor peso molecular como lo explica Schnitzer&Khan (1978).

Por otra parte, los hidrocarburos antropogénicos son aquellos que son introducidos como resultado de cualquier tipo de actividad humana. El principal aporte está dado por los procesos de combustión industrial de carbón, combustibles fósiles y petróleo refinado, las descargas de aguas municipales, las actividades de transporte y los derrames son algunas de las principales fuentes de estos contaminantes (Bidleman et al., 1990).

1.6 Tipos de Hidrocarburos

Aun cuando existen una gran cantidad de hidrocarburos de estructura conocida, hay dos grandes grupos cuyas propiedades, reacciones y métodos de preparación son comunes, por lo que su estudio toma el aspecto de una sistematización rigurosamente ordenada. Estos dos grandes grupos son los hidrocarburos alifáticos y los aromáticos.

1.6.1 Los hidrocarburos alifáticos

Los hidrocarburos alifáticos son de cadena abierta y se subdividen a su vez en saturados o alcanos, etílicos o alquenos, y acetilénicos o alquinos. En los alcanos, las valencias de carbón están saturadas con hidrógeno y en ocasiones con otros elementos. En los etílicos o alquenos, las dos valencias (o electrones) de átomos vecinales de carbono dan lugar a la formación de un doble enlace o doble ligadura, y como tienen dos átomos menos de hidrógeno de los necesarios para saturar las valencias de los átomos de carbón, son hidrocarburos no saturados

1.6.2 Hidrocarburos Aromáticos

Los hidrocarburos aromáticos contienen en su molécula uno o varios núcleos de seis carbonos dispuestos hexagonalmente en forma de cadena cerrada.

Éstos poseen en su estructura tres dobles ligaduras (anillos bencénicos). De este importante grupo, un amplio número de compuestos derivan, principalmente, del petróleo y del alquitrán de hulla. Son, muy reactivos y químicamente versátiles. Son la materia prima básica para la elaboración de una extensa variedad de productos químicos. Su nombre procede del fuerte de algunos de estos compuestos, destacando por su importancia el benceno, tolueno y los xilenos a los que se denominan el grupo BTEX, así como el antraceno y el naftaleno. Se consideran tóxicos, esencialmente por su nula solubilidad en el agua, lo que prolonga su presencia en el ambiente y su difícil biodegradación (Hawley, 1984).

Benceno

El benceno, cuya fórmula condensada es C_6H_6 , es el más simple de los hidrocarburos aromáticos. Su molécula consta de seis átomos de carbono con enlace alternativamente simple y doble que forman una estructura cíclica hexagonal. El benceno es un líquido de color amarillo claro a incoloro, no polar, olor aromático y ligeramente soluble en agua. Es muy tóxico, inflamable y peligroso, con riesgo de incendio y cuyos límites explosivos en el aire son de 1.5 a 8 por ciento en volumen. En la industria es usado como solvente en la fabricación de pinturas, barnices, caucho, tintas, impermeabilizantes, insecticidas, detergentes sintéticos, medicinas y productos químicos. Por su alto número de octano se ha utilizado como componente de las gasolinas comerciales, uso que se ha reducido en sus reformulaciones debido a sus propiedades tóxicas (Fig. 12).

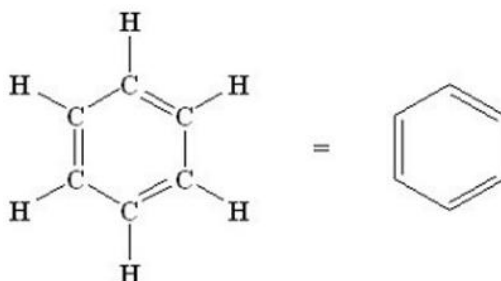


Figura 12 Estructura del Benceno

Tolueno

El Tolueno, denominado también como metilbenceno o fenilmetano, es un líquido incoloro y tóxico, de olor semejante al del benceno. Es insoluble en agua y soluble en alcohol, benceno y éter. Al igual que el benceno es altamente inflamable, con límites de explosión en el aire de 1.27 a 7.0 por ciento. Sus usos industriales son la fabricación de explosivos, colorantes, preservativos para alimentos, desinfectantes y también como disolvente de múltiples compuestos y diversas aplicaciones en los procesos químicos (Fig.13).

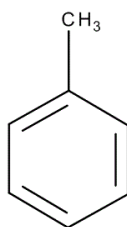


Figura 13 Estructura del Tolueno

Xileno

El xileno es un compuesto aromático derivado del benceno en el cual dos de los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por grupos metilo. Su fórmula condensada es C_8H_{10} . Se caracterizan por ser líquidos claros, insolubles en agua y solubles en alcohol y éter. Se usan como disolventes, en síntesis orgánicas como vitaminas y colorantes, en insecticidas y en algunos combustibles (Fig. 14).

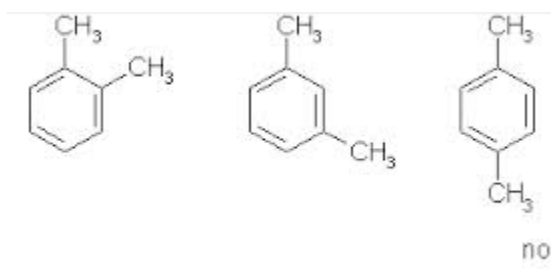


Figura 14 Estructura del Xileno

Los hidrocarburos aromáticos están compuestos por uno o varios anillos bencénicos en su estructura. Así los hidrocarburos monoaromáticos (un anillo bencénico), diaromáticos (2 anillos bencénicos) y poliaromáticos (HAP's, con más de dos anillos bencénicos). En los hidrocarburos monoaromáticos, se encuentran el benceno y sus alquilados (mono alquilados como el tolueno y dialquilados como los xilenos), formando la familia de los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) de gran importancia ambiental debido a su volatilidad y toxicidad. Entre los hidrocarburos poliaromáticos de dos anillos o diaromáticos, se encuentra el naftaleno y sus alquilados (mono, di, tri y tetrametilnaftalenos).

Son constituyentes mayoritarios de la familia de hidrocarburos aromáticos presentes en el petróleo crudo (Tabla 5 y Fig. 15)

Tabla 5 Características de los principales contaminantes Orgánico (Sax, 1976)

Compuesto	Toxicidad	Persistencia	Inflamabilidad	Reactividad
Benceno	3	1	3	0
Etilbenceno	2	1	3	0
Petroleo, Kerosene	3	1	2	0
Tolueno	2	1	3	0
Xileno	2	1	3	0

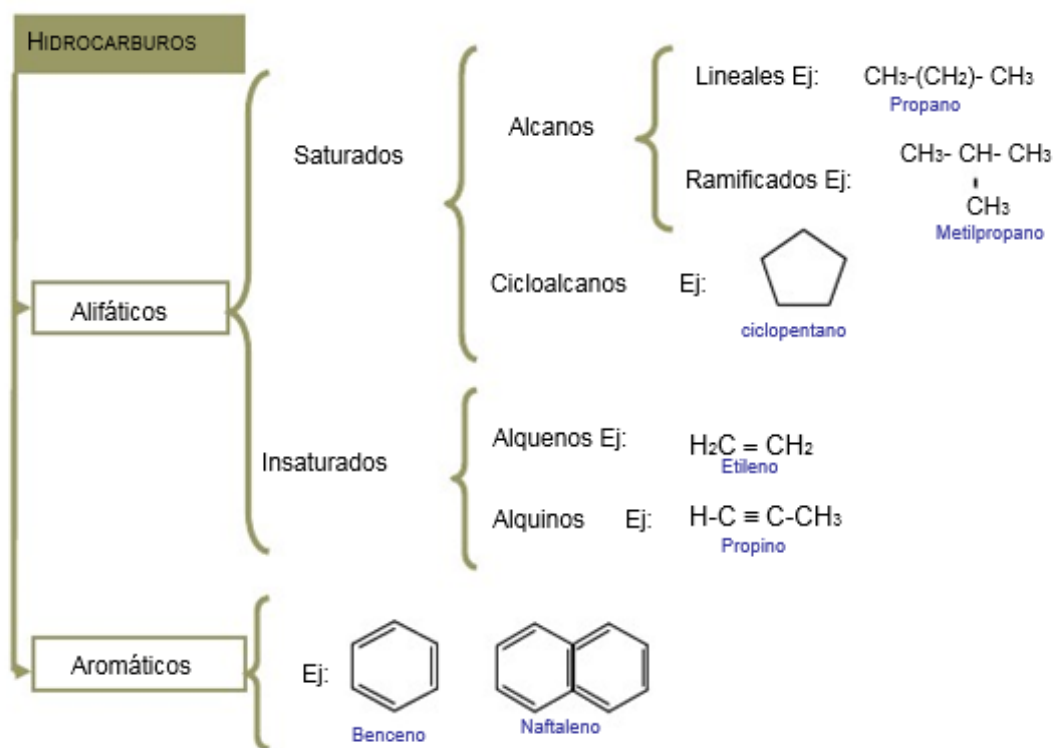


Figura 15 Esquema de la clasificación de los Hidrocarburos

1.7 Hidrocarburos Totales del Petróleo

Los hidrocarburos son una familia de compuestos orgánicos con una gran gama de representantes, el parámetro de medición analítico utilizado hidrocarburos totales de petróleo (TPH) por sus siglas en inglés, es representativo del conjunto de hidrocarburos y no específico a una sustancia en particular. El término TPH es usado para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos provenientes de petróleo crudo. El petróleo crudo es usado para manufacturar otros compuestos que pueden contaminar el ambiente. Debido a la gran cantidad de los productos químicos presentes en el petróleo crudo y otros productos, no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil su medición en cantidad total de TPH en un sitio (ASTDR, 1998).

Los TPH son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos



químicos individuales. Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH. Sin embargo, es probable que muestras de TPH contengan solamente algunas, o una mezcla de estas sustancias químicas.

Los TPH pueden entrar al ambiente a raíz de accidentes, fugas y derrames industriales, o como subproductos de uso comercial o privado. Una vez en el ambiente una fracción de los TPH flotará en el agua y formará una capa superficial. En tanto, la otra fracción de los TPH se depositará en los sedimentos del fondo.

La presencia de TPH en el ambiente puede ser de origen natural o antrópica, la problemática de contaminación por TPH surge cuando las cantidades de hidrocarburos en los suelos, aguas superficiales y/o subterráneas mayor a la capacidad de degradación de los microorganismos presentes en el medio, responsables de oxidar y mineralizar los TPH a sustancias inocuas. Las fracciones de TPH que no sean degradadas se adherirán a las partículas en el suelo o sedimentos donde pueden permanecer por largo tiempo dando origen a un suelo contaminado por hidrocarburos, en el cual se encuentran presentes hidrocarburos que por sus cantidades y características afecten la naturaleza del suelo (SEMARNAT, 2003)

1.8 Fracciones de Hidrocarburos Totales del Petróleo

Los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) están conformados por dos grandes fracciones, los Hidrocarburos Alifáticos (HAL) y los Hidrocarburos Aromáticos (HAR). De acuerdo a McBride (1994), los hidrocarburos alifáticos son compuestos no polares. Los hidrocarburos aromáticos son compuestos no polares o muy débilmente polares como los alifáticos. Se ha determinado que compuestos no polares o débilmente polares tienen afinidad por las fases orgánicas hidrofóbicas en ácido húmico, siendo las fuerzas de Van der Waals o la atracción hidrofóbica como unión de enlace. Esto se traduce en una baja afinidad de los compuestos orgánicos al agua, como es el caso de los hidrocarburos del petróleo. El comportamiento resultante es una baja solubilidad de las moléculas no polares y aquellas débilmente polares que tienen una mayor afinidad de reaccionar con la materia orgánica a través de las interacciones de Van der Waals

Existen dos clases de hidrocarburos aromáticos (HAR): los de bajo peso molecular que tienen de 2 a 3 anillos aromáticos como el naftaleno, fluoreno, fenantreno y antraceno y derivados y los de alto peso molecular que tienen de 4 a 7 anillos aromáticos como el criseno. Sus características físicas y químicas varían de acuerdo a su peso molecular y, en consecuencia, en su distribución y conducta del ambiente, lo mismo sucede con sus efectos sobre los sistemas biológicos. Estos compuestos se encuentran distribuidos en el suelo, mar, sistemas fluviales y sedimentos. Su presencia se ha atribuido principalmente a los derrames de petróleo y descargas de plantas petroquímicas, aun cuando también se puede deber al transporte atmosférico por aportes de la



combustión (Padilla, 1989).

Dentro de los hidrocarburos aromáticos se encuentran los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's), considerados como compuestos de mayor peligrosidad. Muchos de los HAP's son compuestos estables y altamente tóxicos, algunos son potentes cancerígenos y otros mutagénicos (Atlas & Cerniglia, 1995)

Los HAP's son un grupo de sustancias químicas que tienen altos puntos de fusión y son virtualmente insolubles en agua, siendo su presión de vapor baja. Generalmente son solubles en grasas, aceites y disolventes orgánicos. La mayor fuente de emisión de estos contaminantes químicos son las incineradoras, las calefacciones domésticas y los vehículos de gasolina o gasoil.

Las emisiones de estos productos procedentes de las calefacciones alimentadas con carbón o con madera, son varios órdenes de magnitud mayores que aquellas alimentadas con gas.

Los HAP's pasan al aire principalmente por emisiones volcánicas, incendios forestales, combustión de carbón y del escape de automóviles. Se pueden encontrar en el aire, adheridos a partículas de polvo, además de ciertas partículas de HAP's que pueden evaporarse al aire fácilmente del suelo o de aguas superficiales. Los HAP's pueden degradarse en un período de días a semanas al reaccionar con luz solar o con otras sustancias químicas en el aire. Los HAP's pasan al agua a través de desechos de plantas industriales y de plantas de tratamiento de aguas residuales. La mayoría de los HAP's no se disuelven fácilmente en agua. Los microorganismos pueden degradar HAP's en el suelo o en el agua después de un periodo que puede ir de semanas a meses. (Prince, Varadaraj, Fiocco, & Lessard, 1999)

En el suelo, es probable que los HAP's se adhieran firmemente a partículas; y otros, se movilizan a través del suelo, pudiendo contaminar el agua subterránea. La cantidad de HAP's en plantas y en animales puede ser mucho mayor que la cantidad en el suelo o en el agua donde viven estos organismos. (Carlos Mastandrea, 2005)

Es de interés en el presente estudio abordar los hidrocarburos y sus efectos sobre las matrices ambientales desde una visión global. Considerando los hidrocarburos totales de petróleo para ahondar en su proceso de transporte en suelos y aguas, detallar los efectos sobre la salud humana y los ecosistemas, así como conocer el proceso de atenuación natural en el ambiente.

En particular, los hidrocarburos líquidos en fase no acuosa (NAPL) presentan una baja solubilidad en agua, se infiltran en el subsuelo y pueden alcanzar el agua subterránea. Gran parte de la contaminación ocurre por fugas, derrames y disposición de NAPL en las aguas subterráneas. Estos compuestos orgánicos representan el mayor riesgo por sus efectos en el ambiente y en la salud humana (Huaiquilaf, 2008)

Los NAPL's pueden clasificarse en aquellos cuya densidad es mayor a la del agua (DNAPL's) y aquellos más ligeros que el agua (LNAPL's). En la figura 16 se puede apreciar cómo se ubican de

acuerdo a su densidad. Entre los LNAPLs están los hidrocarburos derivados del petróleo como la gasolina, el diésel, compuestos como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. (Huaiquilaf, 2008)

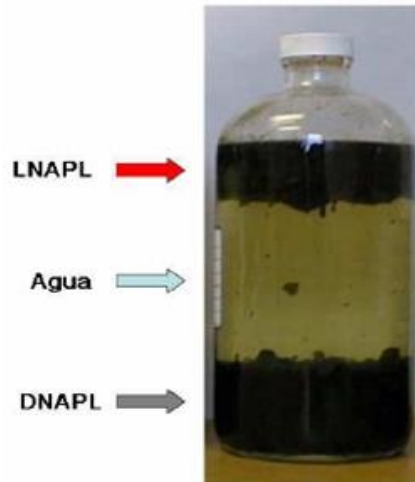


Figura 16 Hidrocarburos que existen como una fase inmisible y separada cuando entran en contacto con el agua o el aire. (Huaiquilaf, 2008)

1.9 Derrames de petróleo

Por otro lado, alrededor del 0,1 al 0,2% de la producción mundial de petróleo acaba vertido al mar. El porcentaje puede parecer no muy grande pero son casi 3 millones de toneladas las que acaban contaminando las aguas cada año, provocando daños en el ecosistema marino (Echarri, 2008) (Fig. 17).

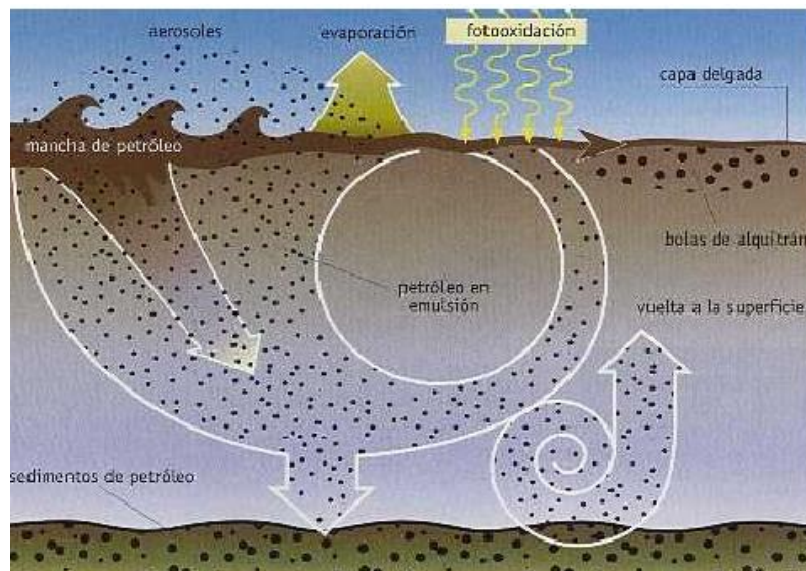


Figura 17 Evolución de una mancha de petróleo (Echarri, 2008)



El petróleo vertido se va extendiendo en una superficie cada vez mayor hasta llegar a formar una capa muy extensa, con espesores de sólo décimas de micrómetro. (Echarri, 2008)

La degradación natural de los hidrocarburos en el mar incluye los siguientes procesos:

a) **Dispersión**; este proceso que es el primero en producirse atenúa la película aceitosa hasta unos milímetros y depende de la viscosidad, la tensión superficial del petróleo y del agua, y del factor tiempo. (Galán, 2012)

b) **Evaporación**: los compuestos de petróleo de bajo peso molecular y de bajo punto de ebullición se volatilizan, dependiendo también de la viscosidad del petróleo, de sus características y de las condiciones climáticas imperantes. (Knight, Kadlec, & Ohlendorf, 1999)

c) **Disolución**: gran parte de los componentes de bajo peso molecular se separan de la masa de hidrocarburos y se disuelven en el medio marino. Aquí también los parámetros arriba indicados tienen su influencia. Generalmente este mecanismo es largo, ya que los procesos de oxidación y degradación microbiana producen compuestos polares que también se disuelven en el agua. (Galán, 2012)

d) **Emulsificación**: el petróleo se mezcla con el agua de mar, o viceversa, el agua se mezcla con el petróleo. (Galán, 2012)

e) **Auto-oxidación**: reacción catalizada por la luz y el oxígeno del aire para formar cetonas, aldehídos, alcoholes y ácidos carboxílicos (todos compuestos polares) que se disuelven en el agua o actúan como detergentes u agentes emulsificantes. (Knight, Kadlec, & Ohlendorf, 1999).

f) **Degradación microbiana**: puede ser de dos tipos, aeróbica o anaeróbica. El petróleo es una fuente alimenticia de ciertas bacterias, enzimas, actinomicetos, hongos y levaduras.

1.10 Sistemas de limpieza de los vertidos de petróleo

1. **Contención**; Se rodea el petróleo vertido con barreras y se recupera con espumaderas que son sistemas que succionan y separan el petróleo del agua por: centrifugación, aprovechando que el agua es más densa que el crudo, se logra que sea expulsada por el fondo del dispositivo que gira, mientras el petróleo es bombeado por la parte superior; bombeo por aspiración adherencia a tambor o discos giratorios, que se introducen en la mancha para que el crudo quede adherido a ellos, luego se desprende rascando y el petróleo que va quedando junto al eje de giro es bombeado a la embarcación fibras absorbentes, en el que se usan plásticos oleofílicos, que absorbe petróleo, luego se exprime en la embarcación y vuelve a ser empleada para absorber más. Estas técnicas no causan daños y son muy usadas, pero su eficiencia, aun en las mejores condiciones, sólo llega a un 10 - 15%. (Echarri, 2008)

2. **Dispersantes**; Son sustancias químicas similares a los detergentes, que rompen el petróleo en pequeñas gotitas (emulsión) con lo que se diluyen los efectos dañinos del vertido y se facilita la actuación de las bacterias que digieren los hidrocarburos. Es muy importante elegir bien la sustancia química que se usa como dispersante. En la actualidad existen dispersantes de baja toxicidad autorizados. (Echarri, 2008)



3. Incineración: Quemar el petróleo derramado suele ser una forma eficaz de hacerlo desaparecer. En circunstancias óptimas se puede eliminar el 95% del vertido. El principal problema de este método es que produce grandes cantidades de humo. (Echarri, 2008)

4. Biodegradación: En la naturaleza existen microorganismos (bacterias y hongos, principalmente) que se alimentan de los hidrocarburos y los transforman en otras sustancias químicas no contaminantes. Este proceso natural se puede acelerar aportando nutrientes y oxígeno que facilitan la multiplicación de las bacterias. (Echarri, 2008).

5. Limpieza de las costas: En ocasiones se usan chorros de agua caliente a presión para arrastrar el petróleo desde la línea de costa al agua. Este método suele hacer más mal que bien porque entierra el hidrocarburo más profundamente en la arena y mata todo ser vivo de la playa. (Echarri, 2008).

1.11 Diésel

El diésel es una fracción intermedia del petróleo, obtenido de destilados intermedios del petróleo crudo. (Romero, 2009)

En general, la fracción de petróleo crudo utilizada como diésel es la que ebulle en el rango de 250-400°C, más alto que la gasolina (0 a 200°C) y el queroseno (175-275°C), pero más bajo que el combustóleo (aceite residual que ebulle arriba de los 400°C). (Teodoro, 2007).

El diésel es un hidrocarburo del petróleo, que contiene una variedad de químicos orgánicos, está compuesto aproximadamente de 40% n-alcanos, 40% iso- y cicloalcanos, 20% de hidrocarburos aromáticos y un porcentaje muy bajo de compuestos oxigenados, azufrados y de nitrógeno. La composición específica varía según la fuente de petróleo crudo, del grado de transformación química tal como la fragmentación, reformación y de los métodos de separación. (Lee, 1992).

El número y complejidad de componentes en el diésel imposibilita un análisis exhaustivo para identificar y cuantificar la concentración de los constituyentes químicos en él, sin embargo, la caracterización química del diésel proporciona un perfil cuantitativo del producto. Presenta un perfil típico de una muestra de diésel mexicano analizada por cromatografía de gases/espectrometría de masa. El eje de las X esta calibrado en minutos y está relacionado al punto de ebullición del componente. El eje de las ordenadas está relacionado a la concentración del componente.

Los compuestos de mayor abundancia encontrados en el diésel son los alcanos normales, ramificados y cíclicos (aproximadamente del 65 al 85%). Los picos que predominan en la figura 25 representan a los alcanos normales y ramificados

Los compuestos aromáticos representan un estimado del 10 al 30% en el diésel. El punto de inflamación o flash point es bastante alto que sólo trazas de compuestos de BTEX están presentes. Alquil bencenos, particularmente C_3 y C_4 , los alquilbencenos son compuestos ligeros comunes del diésel, Naftaleno, Fenantreno, Acenafteno, Acenaptileno, Fluoreno, Fluoranteno y Pireno, son identificados en este producto, tal y como lo muestra la figura 18. (PEMEX, 2004).

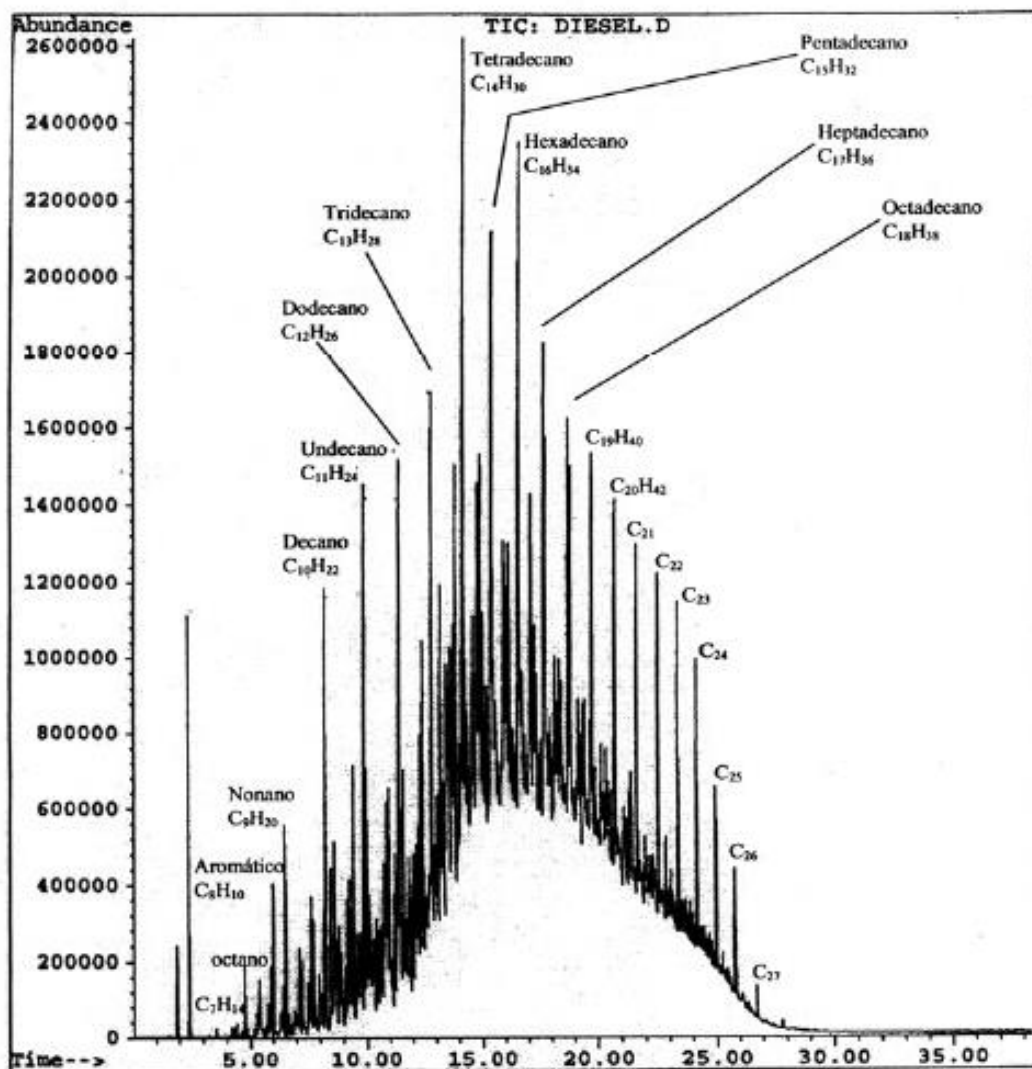


Figura 18 Cromatograma de diésel. Fuente: Laboratorio de espectrometría de masa del Instituto Mexicano del Petróleo, 1998

Los compuestos aromáticos son frecuentemente objeto de evaluaciones ambientales, debido a la toxicidad que poseen y a su asociación con contaminación del petróleo. El diésel está considerado como una sustancia que posee algunos compuestos cancerígenos (por ejemplo, el benceno, formaldehído, el acetaldehído, el 1,3-butadieno y el material articulado) (Sustancias Tóxicas en el



Aire Provenientes de Fuentes Móviles), debido al pequeño contenido de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's), aunque también debe ser considerado el potencial del nivel de trazas de BTEX, debido a que los productos asociados a los derrames de hidrocarburos para los que se establecen límites máximos permisibles de contaminación en suelo consideran analizar esta suma de isómeros (BTEX) .

1.12 Alteración del ambiente.

Con el fin de contrarrestar los efectos nocivos causados por la presencia del petróleo en los ecosistemas marinos se han desarrollado técnicas físicas, químicas y biológicas que buscan remover el mayor porcentaje del contaminante y disminuir el impacto generado tras un derrame o acumulación progresiva. Entre las diversas técnicas, la biodegradación es considerada actualmente la alternativa menos costosa para transformar contaminantes presentes en diversos ecosistemas, teniendo en cuenta que gran variedad de bacterias cuentan con la maquinaria enzimática para transformar los xenobióticos persistentes y éstas pueden ser aisladas de lugares donde haya existido una previa exposición al contaminante (Silvia Narvaez Flores, 2008)

Los diversos ecosistemas reciben petróleo e hidrocarburos, en cantidades diversas, de forma natural, desde hace millones de años. Por esto es lógico que se encuentren muchos microorganismos capaces de metabolizar el petróleo (Echarri, 2008)

La adición de nutrientes promueve la biodegradación al aumentar las poblaciones microbianas y la formación de micro emulsiones agua-aceite, que reducen la viscosidad y tensión superficial, lo cual a su vez aumenta la disponibilidad del sustrato (Silvia Narvaez Flores, 2008) Esta técnica se denomina bioaumentación.

Las tasas de biotransformación están afectadas por:

- 1) poblaciones microbianas capaces de degradar a los contaminantes;
- 2) biodisponibilidad del contaminante; (Silvia Narvaez Flores, 2008).

El metabolismo microbiano está orientado a la reproducción de los organismos y éstos requieren que los constituyentes químicos se encuentren disponibles para su asimilación y sintonización (Maroto Arroyo & Rogel Quesada, 2011)

- 3) factores ambientales (pH, temperatura, disponibilidad de nutriente/receptor de electrones);

pH del suelo: afecta significativamente en la actividad microbiana. El crecimiento de la mayor parte de los microorganismos es máximo dentro de un intervalo de pH situado entre 6 y 8. (Silvia Narvaez Flores, 2008) (Maroto Arroyo & Rogel Quesada, 2011)

Temperatura: generalmente las especies bacterianas crecen a intervalos de temperatura bastante reducidos, entre 15 y 45 °C (condiciones mesófilas), decreciendo la biodegradación por desnaturalización de las enzimas a temperaturas superiores a 40 °C e inhibiéndose a inferiores a 0



°C. (Silvia Narvaez Flores, 2008) (Maroto Arroyo & Rogel Quesada, 2011)

4) la microbiota nativa del crudo o del hidrocarburo derramado. (Silvia Narvaez Flores, 2008)

La biodisponibilidad limita el uso de la biorremediación in situ. La biodegradación puede afectarse por NAPL de componentes múltiples y toxicidad variable. La toxicidad suele asociarse a los componentes menos biodisponibles, menos solubles y más fácilmente sorbidos, y más resistentes a la remediación. (Suarez, 2013)

Algunos de estos compuestos son cancerígenos y/o mutagénicos y posibles disruptores endocrinos. (Carlos Mastandrea, 2005)

1.12.1 Contaminantes Industriales.

Los contaminantes de origen industrial, ya sea en materias primas, productos, subproductos o residuos, suelen estudiarse separando, fundamentalmente por razones de estado, movilidad y estabilidad, en el grupo de los compuestos inorgánicos y orgánicos, exponiéndose a continuación las formas más frecuentes de ambos. Los contaminantes químicos inorgánicos de mayor importancia en el ámbito de los estudios de suelos contaminados son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb). Y con carácter exhaustivo para la investigación realizada (1) Fenoles; (2) Plaguicidas; (3) BTX's (Benceno, Tolueno y Xileno); (4) PCB's (BifenilosPoliclorados); (5) HAPs(Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) y TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) (Knight, Kadlec, & Ohlendorf, 1999)

1.12.2 Característica de los Contaminantes Orgánicos.

Los hidrocarburos totales de petróleo están clasificados como contaminantes orgánicos, los que pueden ser de origen natural o antropogénico. Los compuestos orgánicos de origen natural resultan de la descomposición de tejidos de plantas y animales, y se denominan materias húmicas, ya que constituyen los componentes habituales de los suelos y aguas subterráneas.

Las materias húmicas tienen una estructura compleja y son resistentes a transformaciones biológicas adicionales. Los suelos generalmente contienen menos del 3% de materias húmicas en peso y las aguas subterráneas normalmente contienen 5mg/L de materias húmicas totales. Los compuestos orgánicos de origen antropogénico varían ampliamente según sus características. De especial importancia son su capacidad para ser biodegradados, polaridad, solubilidad, volatilidad y toxicidad (Eweis, 1999).



1.13 Capacidad de Biodegradación.

Normalmente los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables y que no son tóxicos (para los microorganismos), son oxidados muy rápidamente por los microorganismos.

1.14 Biorremediación.

La biorremediación es una biotecnología que estimula la actividad microbiana y en consecuencia acelera el proceso natural de degradación del compuesto contaminante. Puede ser definida como el uso de organismos vivos, componentes celulares y enzimas libres, con el fin de realizar una mineralización, es decir, que el compuesto se transforme en CO₂, H₂O y otras formas inorgánicas, una biotransformación o transformación parcial, una humidificación de residuos o agentes contaminantes, o una alteración del estado redox de los metales. Por tanto, se refiere a la transformación química de los contaminantes mediante el uso de microorganismos que satisfacen sus requerimientos nutricionales y energéticos contribuyendo a la desintoxicación del ambiente por mineralización o co-metabolismo [EPA 2003]

La vía aeróbica es la estrategia más efectiva para la biorremediación. Los pasos iniciales en el catabolismo de los hidrocarburos alifáticos, cíclicos y aromáticos por bacterias y hongos supone la oxidación del sustrato por oxigenasas para lo que se requiere oxígeno molecular. Por lo tanto, son necesarias condiciones aeróbicas para esta ruta de degradación de los hidrocarburos por los microorganismos.

La vía anaeróbica es un proceso metabólico generador de energía en el cual se origina la oxidación del sustrato por la transferencia de los electrones a un aceptor exógeno de electrones distinto del oxígeno. Los aceptores finales de electrones son: nitratos, nitritos, sulfatos, carbonatos y compuestos orgánicos. En la Fig. 19 se muestran las posibles reacciones y su factor de utilización que relaciona la cantidad de sustrato necesaria para producir un gramo.

DEGRADACIÓN AEROBIA	
Reacción	Factor de utilización
Sustrato + O ₂ → CO ₂ + H ₂ O + biomasa	3,14 g BTEX /g O ₂
DEGRADACIÓN ANAEROBIA	
Sustrato + NO ₃ ⁻ + H ⁺ → C̄O ₂ + 2N ₂ + H ₂ O + biomasa	4,9 g BTEX /g NO ₃ ⁻
Sustrato + Fe(OH) ₃ + H ⁺ → C̄O ₂ + Fe + H ₂ O ²⁺ + biomasa	21,8 g BTEX /g Fe ²⁺
Sustrato + SO ₄ ²⁻ + H ⁺ → C̄O ₂ + HS + H ₂ O ⁻ + biomasa	4,7 g BTEX /g SO ₄ ²⁻
Sustrato → CH ₃ COOH → CH ₄ + CO ₂ + biomasa	0,78 g BTEX /g CH ₄

Figura 19 Reacciones de degradación aerobia y anaerobia



Los procesos de biorremediación se desarrollan mediante técnicas de bioestimulación y bioaumentación

La técnica de bioestimulación se basa en el uso de nutrientes, sustratos o aditivos con actividad superficial para estimular el crecimiento y desarrollo de organismos capaces de biodegradar compuestos contaminantes del medio ambiente.

Las técnicas de bioaumentación describe la adición de organismos o enzimas a un material con el propósito de eliminar sustancias indeseables La bioaumentación asegura que estén presentes los microorganismos específicos capaces de degradar al compuesto contaminante no deseado Las bacterias son los microorganismos más comúnmente utilizados para la bioaumentación.

En condiciones controladas éste es un método práctico y económicamente efectivo para eliminar la contaminación por hidrocarburos.

Los microorganismos deben estar presentes en suficiente cantidad y diversidad. También deben tener asegurados sus requerimientos esenciales para lo cual se controlan rigurosamente parámetros como: nivel de oxígeno, nutrientes inorgánicos, acceso al sustrato, agua y otras condiciones como pH, temperatura, salinidad, propiedades del contaminante, etc. (OppenheimerBiotechnology, Inc. 2001) (Bartha, 1986) (Teodoro, 2007)

1.15 Biodegradación de Hidrocarburos

El proceso de biodegradación natural de los hidrocarburos del petróleo es muy lento por lo que las investigaciones relacionadas con el desarrollo y aplicación de técnicas eficientes para el saneamiento y recuperación de zonas impactadas cobran cada vez mayor importancia. En las labores para mitigar los efectos de un derrame de hidrocarburos la primera acción a desarrollar es la separación mecánica y la técnica empleada depende de las características del lugar en cuestión. Estos tratamientos sólo logran un 60% de recuperación del petróleo originalmente derramado. (Núñez & Oramas, 2010)

Los tratamientos secundarios están dirigidos a favorecer los mecanismos naturales como evaporación, fotooxidación, disolución y biodegradación, con el objetivo de eliminar los hidrocarburos residuales. (Atlas & Cerniglia, 1995)



1.16 Sustancias húmicas.

El humus, término ampliamente usado como sinónimo de materia orgánica del suelo, hace parte de los constituyentes muertos del suelo y alcanza valores entre el 60% y 90% del carbono total. Convencionalmente se ha dividido en sustancias no húmicas y sustancias húmicas (SH). (Miller Camargo Valero, 1999)

Los ácidos húmicos son macromoléculas orgánicas presentes en suelos, generadas por la descomposición de plantas y animales con una amplia gama de pesos moleculares. Su estructura molecular es heterogénea, sin embargo los grupos funcionales que se encuentran en mayoría son los COOH y OH unidos a estructuras aromáticas y estas a su vez a largas ramificaciones alifáticas (Víctor Ángel Ramírez Coutiño, 2011).

En lo referente al área ambiental y específicamente en el estudio de aguas para consumo, las sustancias húmicas son de gran importancia porque aportan color a las aguas naturales y son el componente mayoritario del carbono orgánico disuelto. (Miller Camargo Valero, 1999)

Debido a la complejidad y diferencias tan marcadas entre las SH de los suelos, no es fácil establecer una fórmula estructural única para éstas; además, como se anotó anteriormente, dentro de las mismas SH existen subgrupos que poseen características diferentes acordes con el estado de avance en la vía de policondensación; es por eso que las SH se han clasificado en Ácidos Fúlvicos, Ácidos Húmicos y Huminas (Miller Camargo Valero, 1999)

Las fracciones que componen las SH se han establecido de acuerdo con el método de extracción, siendo los Ácidos Húmicos y Fúlvicos extraídos conjuntamente mediante una solución de pirofosfato de sodio o sosa diluida a pH 10; el medio ácido (HCl o H₂SO₄, a pH=1) precipita los ácidos húmicos mientras que los ácidos Fúlvicos quedan siempre en solución cualquiera que sea el pH. Por otra parte las Huminas representan la fracción no extraída por las soluciones alcalinas ya anotadas. (Miller Camargo Valero, 1999)

Estructuralmente se ha determinado que los ácidos fúlvicos difieren de los ácidos húmicos en que son menos condensados, son de tamaños moleculares menores, más ricos en grupos funcionales oxigenados y poseen cadenas alifáticas con dobles enlaces conjugados que los hacen más reactivos (Bendeck, 1996). De otra parte se consideran más jóvenes que los ácidos húmicos los cuales presentan a su vez más carbono e hidrógeno (Fig.20 y 21), pero menos oxígeno y por supuesto menor movilidad como consecuencia de su mayor tamaño molecular. (Miller Camargo Valero, 1999)

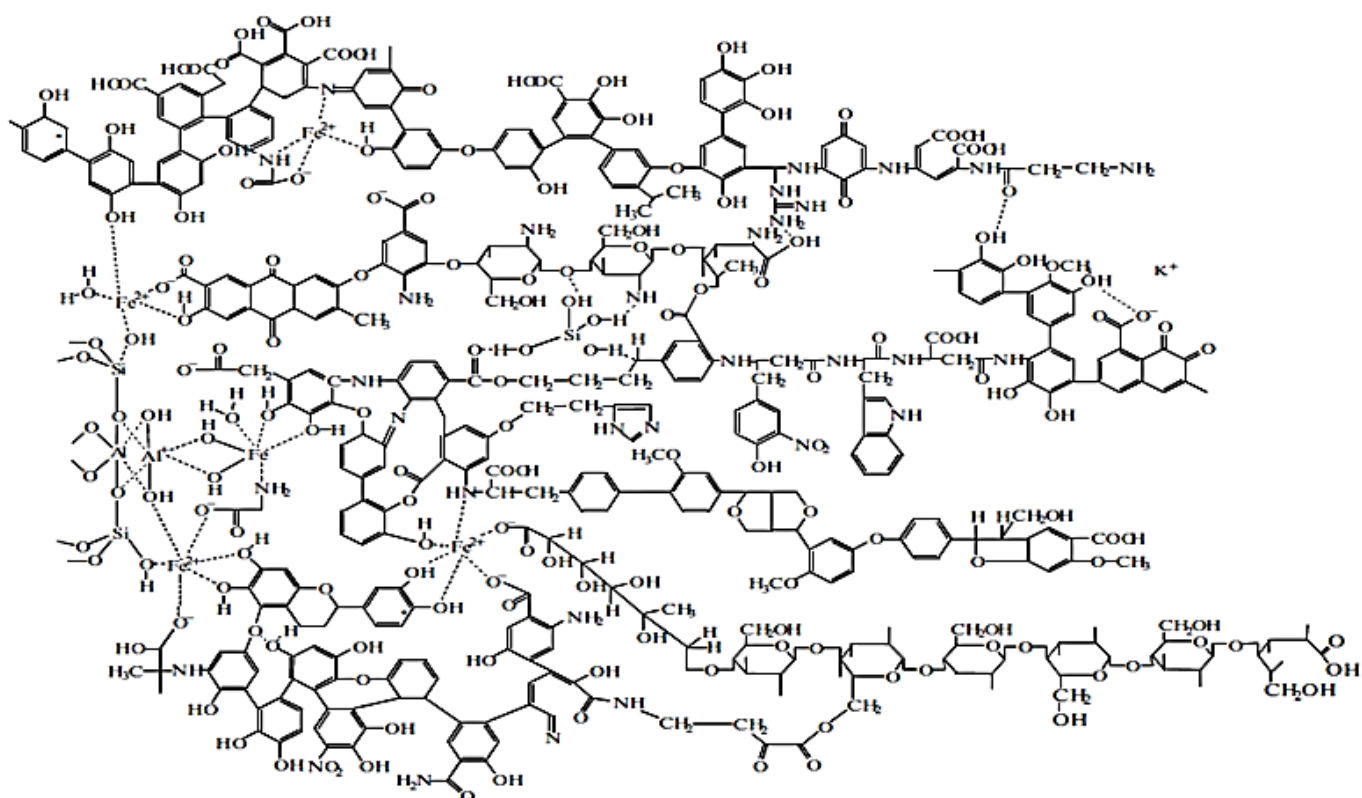


Figura 20 Estructura molecular de las Sustancias Húmicas (Kleinhempel, 1970)



Figura 21 Proceso de generación de las Sustancias Húmicas

1.16.1 Ácidos Fúlvicos

- Color predominante: amarillo- amarillo pardusco.
- Composición elemental ,C(43,6%), H (4,9%), N (1,7%), O (49,8%).
- Pesos moleculares variables: entre 500 - 2,000 g/mol.
- Acidez total: entre 640-1.420 meq/100g.
- Predominio de compuestos alifáticos sobre núcleos aromáticos.
- Mayor movilidad y agresividad, abundan ácidos orgánicos y compuestos fenólicos.
- Composición dominada por compuestos tánicos, urónidos y aminoácidos.
- Gran capacidad de intercambio catiónico: 700 meq/100 g ácidos fúlvicos
- Soluble en agua, alcohol, álcali y ácidos minerales (Miller Camargo Valero, 1999)
Como se observa en la figura No. 22

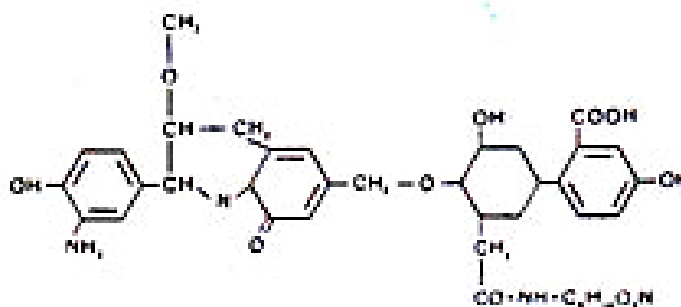


Figura 22 Estructura Molecular del Ácido Fúlvico (Miller Camargo Valero, 1999)

1.16.2 Ácidos Húmicos.

- Composición elemental: C (51,7%), H (5,1%), N (2,9%), O (40,3%)
- Pesos moleculares variables: entre 50.000-100.000 g/mol
- Acidez total: entre 560-890 meq/100 g
- Predominio de núcleos aromáticos que derivan de fenoles, quinonas, ácidos benzocarboxílicos, ácidos benzoicos y ácidos furánicos. Los espectros IR confirman la presencia de estos ciclos poniendo en evidencia grupos atómicos como C=O, C=C y C=N
- Capacidad de intercambio catiónico: entre 350-500 meq/100 g AH
- La proporción entre grupos hidrófobos (ciclos aromáticos) y grupos hidrófilos (cadenas alifáticas o radicales laterales) caracterizan su comportamiento en cuanto a solubilidad (Miller Camargo Valero, 1999) (Fig.23).

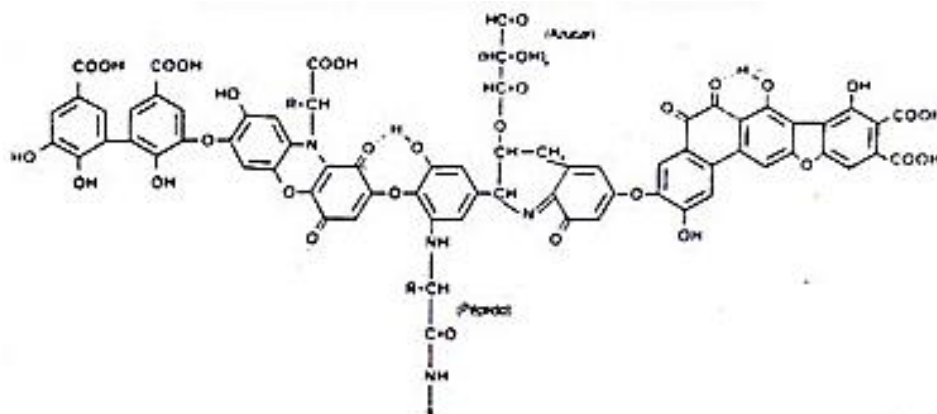


Figura 23 Estructura Molecular de Acido Húmico (Miller Camargo Valero, 1999)

1.16.3 Huminas

- Es la fracción más estable.
- No extraíble con disolventes clásicos.
- Peso molecular alto (mayor de 100.000 g/mol).
- Composición química: C (55,9%), H (5,9%), N (0,9%), O (37,3%). (Miller Camargo Valero, 1999). (Kleinhempel, 1970)

1.17 Microorganismos utilizados en la biorremediación

La población microbiana es el factor determinante para que ocurra el proceso de biodegradación. Se necesita una población microbiana adaptada, que posea las enzimas necesarias que catalicen las reacciones de degradación. Los microorganismos pueden degradar los contaminantes en forma de cultivos puros, mixtos o consorcios que siempre es más eficiente que el cultivo puro. En los consorcios se establece una completa interacción de las especies microbianas. (Narvaez, 2013)

El grado de eficiencia de los procesos de degradación se encuentra íntimamente relacionado con factores ambientales que rodean al sistema microorganismo-contaminante. (Angel, 2013)

Se encuentran microorganismos con diferentes metabolismos como quimico organotrófico, fotolitótrofo, quimiolitotrofo, organótrofo y heterótrofo (Atlas y Bartha 1998). En la degradación de los hidrocarburos del petróleo, se involucran consorcios de microorganismos, incluyendo procariontes y eucariontes. Las bacterias y levaduras son los organismos dominantes en la degradación de compuestos del petróleo en ecosistemas acuáticos, mientras que bacterias y hongos son los que dominan en muestras de suelo. Los microorganismos más comunes que son



responsables de la degradación del petróleo comprenden principalmente géneros bacterianos como: *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Arthobacter*, *Corynebacterium*, *Achromobacter*, *Rhodococcus*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium* y *Bacillus*. (Angel, 2013)

Los géneros más comunes de hongos son: *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhodotorula*, *Candida* y *Sporobolomyces*. Durante la biodegradación, los microorganismos están equipados con la maquinaria metabólica para utilizar al contaminante como fuente de carbono y energía para su crecimiento, produciendo biomasa, subproductos, dióxido de carbono y agua. (Eweis, 1999)

Los mecanismos de degradación del petróleo y sus fracciones dependen de la fracción química dominante y de los microorganismos involucrados. En la biodegradación microbiana de hidrocarburos se conocen genes involucrados en la metabolización de las diferentes fracciones del petróleo en donde múltiples vías metabólicas interactúan para oxidarlos, dichos genes codifican para la síntesis de enzimas como monoxigenasas, dioxigenasas, deshidrogenasas, etc.

1.17.1 *Pseudomonas sp.*

El género de *pseudomonas* es bien conocido por su capacidad degradadora de hidrocarburos alifáticos y aromáticos.

Las bacterias del género *Pseudomonas* poseen la habilidad para utilizar diversos sustratos, incluyendo aquellos creados por el petróleo. Las *Pseudomonas* son bacterias Gram negativas, ubicuas, que pertenecen a la subclase gamma de las Proteobacterias. (Angel, 2013)

En el proceso de biorremediación la degradación efectuada por la *Pseudomonas sp.*, se debe tener en cuenta que al ser parte de una población nativa, está interactuando con otros microorganismos formando los llamados consorcios microbianos. En este se establecen procesos simbióticos

Las bacterias del género *Pseudomonas* poseen la habilidad para utilizar diversos sustratos, incluyendo aquellos creados por el petróleo. Las *Pseudomonas* son bacterias Gram negativas, que pertenecen a la subclase gamma de las Proteobacterias. Las bacterias del género *Pseudomonas* poseen la habilidad de utilizar diversos sustratos, incluyendo aquellos creados por el petróleo. (Mesa & Quintero, 2006)

Las *Pseudomonas* son bacterias productoras de biosurfactantes como los ramnolipidos involucrados en procesos de remoción de aceites. (Angel, 2013)

Algunos microorganismos productores de biosurfactantes extracelulares que solubilizan y facilitan la penetración de los hidrocarburos a través de la pared celular hidrofílica; contienen además enzimas degradadoras de hidrocarburos en la membrana citoplasmática.

1.17.2 *Pseudomonas aeruginosa*

La *Pseudomonas aeruginosa*, es otro de los microorganismos más usado y estudiado en biorremediación y presenta una serie de actividades naturales sobre cenobíticos. Lamentablemente, también es conocida por ser un patógeno oportunista en humanos y causante de complicaciones graves en personas inmunosuprimidas, con quemaduras severas o con fibrosis quística. (Mesa & Quintero, 2006)

Estudios con relación al desempeño metabólico de la *Pseudomonas aeruginosa* ha permitido identificarla como degradadora de gran cantidad de sustratos como el n-hexadecano, mineralización de compuestos alifáticos en condiciones anaerobias, y degradadora de hidrocarburos aromáticos y poli aromáticos, así como del pireno (Angel, 2013)

En la Figura No.24 se observa una micrografía de la bacteria de *Pseudomona aeruginosa*



Figura 24 Micrografía de *Pseudomona aeruginosa* obtenida con microscopio de barrido (Narvaez, 2013)

La *P. aeruginosa* tiene la capacidad de sintetizar ramnolipidos cuando se encuentra en la fase estacionaria de su crecimiento, por tal razón esto solo se puede realizar en la primera fase del proceso de biorremediación y contribuyendo así con la movilización y solubilización de los contaminantes durante la fase siguiente de mineralización (Mesa & Quintero, 2006)

1.17.3 *Pseudomona putida*

La *Pseudomona putida* es un saprofito del suelo, oportunista, cosmopolita, metabólicamente versátil, por poseer una dioxigenasa inicial, aunque no presenta la dioxigenasa específica para los PAH por lo cual es una buena candidata para las aplicaciones biotecnológicas, tales como agricultura, biocatálisis, biorremediación, biocontrol en protección de las plantas y producción de bioplásticos.

La *Pseudomona putida* posee la capacidad de colonizar la rizosfera de plantas de cosecha y una gran capacidad metabólica que facilita el desarrollo de biopesticidas y promotores de crecimiento de la planta. (Mesa & Quintero, 2006)

La degradación de los alcanos por *Pseudomona putida* se ha estudiado por secuenciación en el plásmido OCT que codifica una enzima dioxigenasa que convierte alcanos a aldehídos a través del hidroperoxidasa del n-alkyl sin un intermediario del alcohol, conocido como la vía de Finnerty; un proceso similar lo presentan los géneros *Acinetobacter sp.* y *Nocardiodes sp.* Aunque ellos no poseen este plásmido.

Tal y como se observa en la figura No. 25



Figura 25 Micrografía de *Pseudomona putida* obtenida con microscopio de barrido (Narvaez, 2013)

1.17.4 *Pseudomona fluorescens*

Es un bacilo Gram-negativo, recto o ligeramente curvado pero no vibrioide, es saprófito (todo lo que ingiere pasa a través de la pared de su citoplasma). Se puede encontrar en suelo y agua. Es incapaz de formar esporas y crece aeróbicamente. La temperatura óptima para su funcionamiento es de 25-30 °C, aunque puede crecer desde los 5 hasta los 42 °C aproximadamente. No crece bajo condiciones ácidas (pH 4.5) y necesita preferentemente pH neutro. Tiene movimiento activo en líquido por sus flagelos polares (más de 1). Su pigmento fluorescente (fluoresceína) la hace reaccionar frente a la luz ultravioleta, aunque recién cultivada o después de varios cultivos de laboratorio, puede ser que no reaccione. (Narvaez, 2013)

La *Pseudomona fluorescens* es degradadora de naftaleno y fenantreno, ventaja que tiene frente a las otras *Pseudomonas*, que solo metabolizan naftaleno y asfaltenos.

En la figura No. 26 se aprecia una micrografía de la bacteria de este género



Figura 26 Micrografía de *Pseudomonas fluorescens* obtenida con microscopio de barrido (Narvaez, 2013)

1.18 Efectos generales del petróleo sobre el medio ambiente

1.18.1 Efectos de la luz.

- La falta o disminución de la entrada de luz en el mar a causa de manchas de petróleo imposibilita o reduce el área donde es posible la fotosíntesis y, por tanto el desarrollo de plantas verdes.
- El 80% de la actividad fotosintética y de absorción de energía solar se produce en los 10 primeros metros de la superficie marina. Ello indica la importancia de la entrada de la luz (ese 20% restante) para mantener las comunidades fotosintéticas de los fondos marinos.
- La falta o disminución de plantas fotosintéticas reduce el aporte de oxígeno y alimento al ecosistema.
- La pérdida de extensión en la distribución de algas y fanerógamas limita las zonas que proporcionan cobijo a miles de especies marinas
- El fitoplancton es a su vez el alimento del zooplanctón (que además de microorganismos está formado por larvas de peces, moluscos, crustáceos, etc.). Por tanto al faltar fitoplanctón, el zooplancton muere y con él se interrumpe el crecimiento de un importante número de especies, al tiempo que se deja sin alimento a un gran número de animales marinos.



1.18.2 Efectos tóxicos

- Las aves que quedan impregnadas de petróleo pierden o ven reducida su capacidad de aislarse del agua pudiendo morir por hipotermia. Al intentar limpiarse el plumaje con el pico ingieren grandes cantidades de hidrocarburos por lo que se envenenan.
- Tras desaparecer el petróleo de la superficie, el agua presenta una falsa apariencia "limpia" dado que queda cristalina por la muerte del fitoplancton y fauna marina que "enturbia" el agua.
- Los mamíferos marinos pueden sufrir el taponamiento de vías respiratorias o daños en el tracto respiratorio y su mucosa por efecto de los contaminantes químicos. También ingieren grandes cantidades de hidrocarburos por alimentarse de animales contaminados.
- Los quimiorreceptores de muchas especies marinas detectan el petróleo en el agua y les hacen variar sus migraciones y movimientos con lo que determinadas especies desaparecen o no se acercan al lugar.
- El petróleo se deposita sobre los fondos marinos matando o provocando efectos letales sobre miles de animales y plantas vitales para el ecosistema.
- Las algas de los fondos y las orillas quedan cubiertas por una fina película aceitosa que dificulta la fotosíntesis y la reproducción.
- Los efectos letales sobre los animales marinos pueden abarcar deformaciones, pérdida de fertilidad, reducción del nivel de eclosión de huevos, alteraciones en su comportamiento y gran cantidad de efectos derivados de la toxicidad del vertido.
- Las especies "oportunistas" más resistentes al vertido ocupan los nichos ecológicos de las que han desaparecido provocando la pérdida de biodiversidad y dificultando la recuperación del ecosistema.
- Las especies más sensibles mueren o quedan muy reducidas en las zonas contaminadas.
- Los mejillones y otros moluscos que se adhieren a rocas u objetos pierden su capacidad de adhesión y caen al fondo, perdiendo su capacidad de alimentarse.
- Las especies filtradoras ingieren gran cantidad de tóxicos y mueren o se convierten en no aptas para el consumo humano.

1.18.3 Otros efectos generales del petróleo en el medio ambiente

- El ruido provocado por las operaciones de exploración y explotación de crudo en los mares provoca la desaparición de las especies más sensibles a las perturbaciones sonoras. En numerosas zonas se ha podido comprobar la desaparición de cetáceos, como la marsopa o el delfín mular.



- Parte del petróleo que termina en los mares se evapora y pasa a convertirse en partículas que pueden introducirse en el cuerpo de los organismos a través de las vías respiratorias o la piel.

- Algunos Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH) son fototóxicos por lo que ciertos compuestos derivados del petróleo pueden convertirse en compuestos mucho más tóxicos tras la foto-oxidación (Brenner, Chozick, & Irvine, 1992)

1.19 Efectos de los hidrocarburos en la salud humana.

1.19.1 Ingesta.

La ingestión de hidrocarburos puede afectar 3 sistemas orgánicos fundamentales: pulmón, aparato gastrointestinal y sistema nervioso.

a) síntomas respiratorios son: tos, ahogo, y ronqueras. Síntomas como tos persistente, cianosis, retracción intercostal, taquipnea. Generalmente se inician inmediatamente después de la ingesta de hidrocarburos.

b) Generalmente son irritantes de boca, faringe e intestino. Muchos presentan nauseas, malestar intestinal, distensión abdominal, eructos y flatulencia.

c) sistema nervioso central, es inusual la aparición de síntomas como letargia, aturdimiento y coma

1.19.2 Aspiración.

El pulmón es el principal órgano dañado por la toxicidad de hidrocarburos. La toxicidad pulmonar del hidrocarburo aspirado es el resultado de la inhibición de la actividad surfactante y de la lesión directa de los capilares y el tejido pulmonar.

El riesgo de aspiración depende de las propiedades de viscosidad, volatilidad, y tensión superficial del hidrocarburo. El mayor riesgo de aspiración corresponde a un producto de baja viscosidad, baja tensión superficial y gran volatilidad.

1.19.3 Contacto.

Produce irritación de la piel y picores, la piel facilita la absorción de los componentes del crudo. Se ha asociado un aumento del riesgo de cáncer de piel con la presencia de hidrocarburos poliaromáticos (PAH).

Irritación de los ojos por contacto con gotas de crudo. Algunos componentes pueden ser absorbidos a través de la córnea.



1.20 Descripción toxicológica de algunos componentes de los hidrocarburos.

Benceno: Puede entrar en el cuerpo vía el tracto respiratorio, el tracto gastrointestinal o a través de la piel. En trabajadores expuestos al benceno, se ha comprobado que el 20%-40% lo absorben por la piel. Mayores exposiciones pueden producir depresión, dolores de cabeza, vértigo y náuseas. Es considerado cancerígeno para el ser humano. En trabajadores expuestos al benceno se ha comprobado un incremento en la frecuencia de leucemias, mientras que en mujeres embarazadas, el benceno se acumula en el suministro sanguíneo del feto.

Tolueno: Es rápidamente absorbido a través del tracto respiratorio y, se cree que su absorción por la piel es mínima. Sus principales efectos son sobre el sistema nervioso. Se han observado efectos a niveles de tan sólo 375mg/m³ (100 ppm). Estos pueden ir desde fatiga, dolores de cabeza, irritación de garganta y ojos, confusión mental, debilitamiento muscular o, incluso, insomnio.

Xileno: Produce irritación de garganta, nariz, ojos y tracto respiratorio a exposiciones de 110-460 ppm. Causa efectos en el sistema nervioso similares a los del tolueno. En altas dosis puede provocar pneumonitis y deterioro renal y hepático.

PAH: Los hidrocarburos aromáticos policíclicos también están presentes en el crudo. Existen cientos de PAH, si bien entre los más conocidos se encuentra el benzo-(a)-pireno (BaP). Los PAH pueden provocar cáncer de piel y pulmón y, dada su gran potencial cancerígeno, no existen límites de seguridad recomendados.

Algunos de los compuestos de los TPH pueden afectar también al sistema nervioso.

1.21 Medidas de seguridad durante las labores de recuperación.

La seguridad de los grupos de trabajo que participan en las labores de recuperación tanto del vertido como de animales es primordial. Las vías respiratorias han de protegerse con una mascarilla para evitar tanto los vapores orgánicos como la posible existencia de polvo. Para los ojos se usan gafas que eviten un contacto accidental con el hidrocarburo.

1.22 Convenios y Protocolos internacionales.

Los océanos cubren las dos terceras partes de la superficie de la Tierra y su protección se ha convertido en una de las principales cuestiones de las que se ocupa las Naciones Unidas. La atención de la comunidad mundial se ha centrado en los océanos y los mares, sobre todo sus diversas iniciativas encaminadas a proteger el medio marino. La Organización Marítima Internacional (OMI) es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de tomar medidas para prevenir la contaminación marina proveniente de los buques y mejorar la seguridad del transporte marítimo internacional.



La contaminación del mar por petróleo procedente de buques disminuyó un 60% en el decenio de 1980 y los derrames de petróleo se han reducido notablemente en los últimos 20 años. Esto se debe en parte a la utilización de mejores métodos para controlar la eliminación de desechos a pesar de que se han impuesto controles más estrictos. (CINU, 2015)

El Convenio internacional para prevenir la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos, el primero sobre este tema, se aprobó en 1954, y en 1959 la OMI asumió la responsabilidad de administrarlo. A finales de los años sesenta se tomaron nuevas medidas a raíz de una serie de graves accidente de buques petroleros. Desde entonces la OMI ha adoptado numerosas medidas para prevenir los accidentes y derrames de petróleo en el mar, minimizar sus consecuencias y luchar contra la contaminación marina, incluida la causada por el vertido de desechos generados por actividades en tierra. (CINU, 2015)

Los principales tratados internacionales son:

- Convenio para prevenir la contaminación por los buques MARPOL 73/78;
- Convenio Internacional sobre responsabilidad civil nacida por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos. Enmienda en 1969. Protocolos de 1976, 1984, 1992 que enmiendan el Convenio Internacional 1969;
- Convenio Internacional sobre la constitución de un fondo internacional de indemnización de daños debidos a contaminación por hidrocarburos, 1971;
- Convenio Internacional sobre búsqueda y salvamento marítimos, 1979;
- Convenio Internacional sobre salvamento marítimo, 1989;
- Convenio Internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos, 1990
- Convenio Internacional sobre responsabilidad e indemnización de daños en relación con el transporte marítimo de sustancias nocivas y potencialmente peligrosas, 1996
- Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias, 1972. (CINU, 2015)



1.23 Antecedentes

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos ha provocado en el mundo un grave problema de contaminación de los suelos y los cuerpos de agua. (Saval, 1995)

La contaminación por hidrocarburos del petróleo es una problemática de carácter mundial y amplia distribución geográfica, teniendo en cuenta que independiente de la zona afectada (lagos, suelos, zonas freáticas, ríos y playas) se ven alterados los procesos químicos, físicos y biológicos de los ecosistemas. (Shanidul I, M Tanaka, 2004)

En México, la industria del petróleo en su conjunto ha tenido un impacto negativo en materia ambiental. Debido a la amplia gama de productos derivados del petróleo, no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los productos petroquímicos básicos (Saval, 1995)

Aunado a lo anterior, la intensa actividad de otras industrias, junto con accidentes durante el almacenamiento, transporte o trasvase de sustancias (fugas, derrames, incendios) y la disposición clandestina e incontrolada de residuos, contribuyen en gran medida a la contaminación de los cuerpos de agua.

Entre las causas que han generado este deterioro ambiental por la contaminación de cuerpos de agua y suelos a lo largo de todo el país, se encuentran las siguientes:

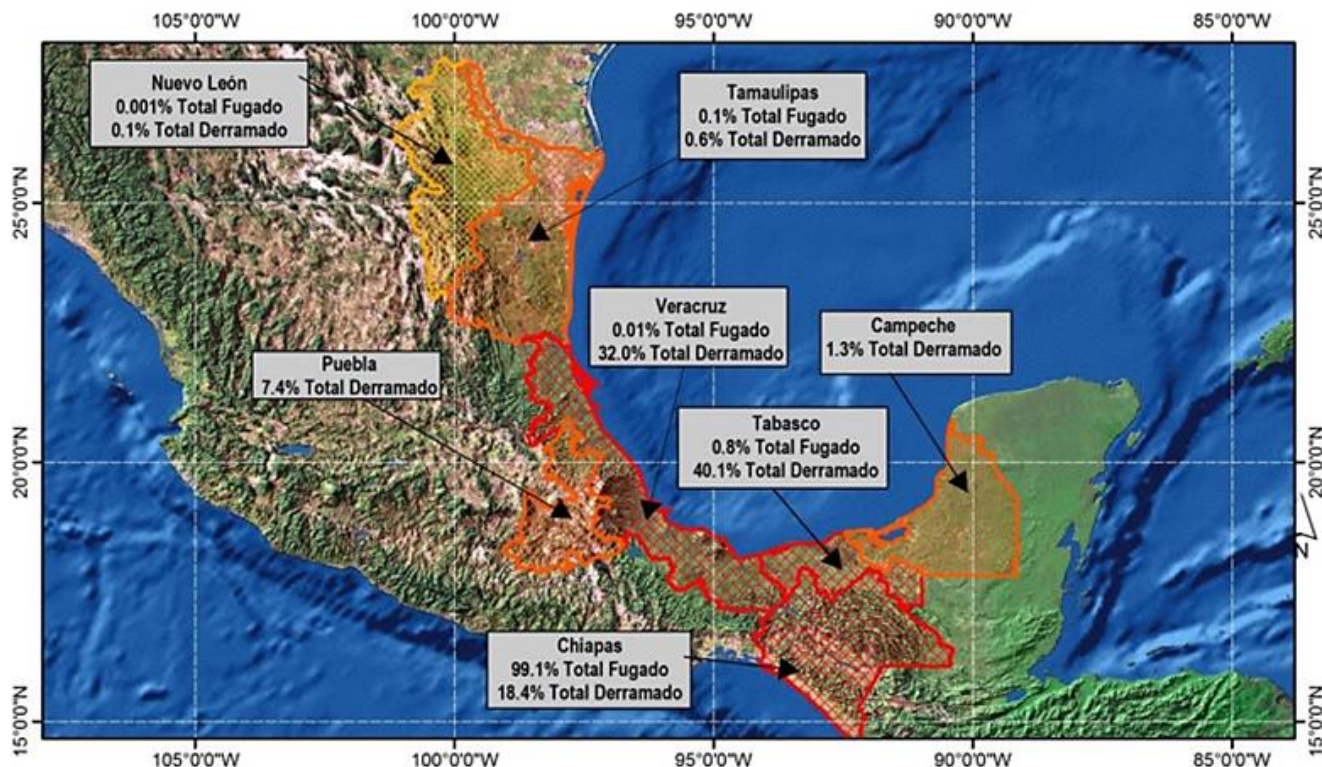
- i. manejo inadecuado y abandono de materiales y residuos peligrosos;
- ii. mantenimiento inadecuado o falta de éste en instalaciones petroleras;
- iii. explosiones en instalaciones de alto riesgo;
- iv. fugas en líneas de conducción;
- v. derrames de hidrocarburos;

En un intento, el gobierno mexicano, ha elaborado tablas de los derrames ocurridos en los últimos años, datos que solo representan una parte de la gran problemática que existe en el país, ya que son cifras que aún falta información por cuantificar como lo muestran las siguientes (figuras 27, 28, 29, 30, 31, 32,33,34) y tabla 6.

DERRAMES Y FUGAS 2000-2013

Severidad de Volumen
Fugado y/o Derramado

Volumen de Petróleo Crudo Derramado: 14,765,243 litros
Volumen de Gas Natural Fugado: 6,289,384 metros cúbicos (equivalente a 232,940 cilindros de gas)



NOTAS

- Cifras Redondeadas.
 - Corresponde a las fugas y derrames derivados de la operación de PEMEX Exploración y Producción, subsidiaria regulada por la CNH.
 - El consumo mensual de gas natural de una familia promedio (4 a 5 personas) es de 27 metros cúbicos, lo cual equivale a un cilindro de gas.
- Fuente: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)

Figura 27 Derrames y fugas de petróleo en el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013)

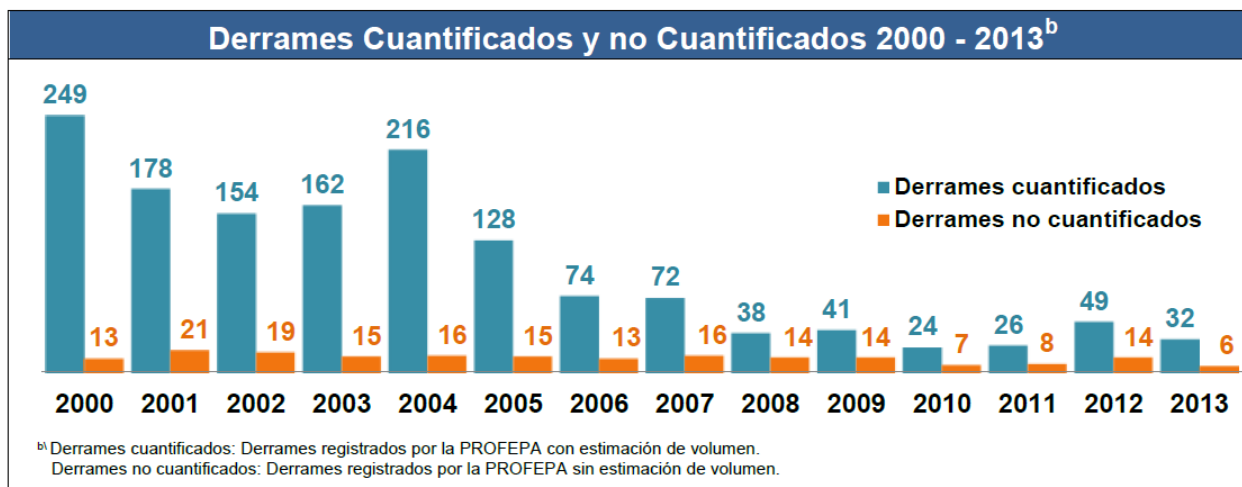


Figura 28 Cuantificación de petróleo crudo derramado en el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013)

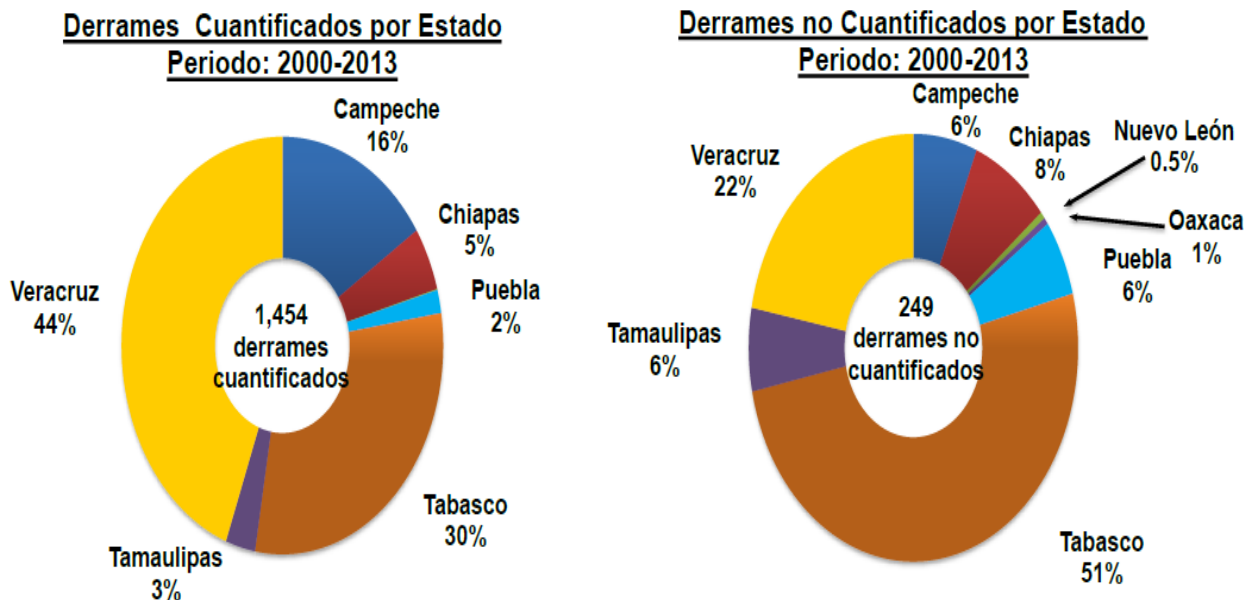


Figura 29 Derrames de crudo cuantificados y no cuantificados por estado en el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013)

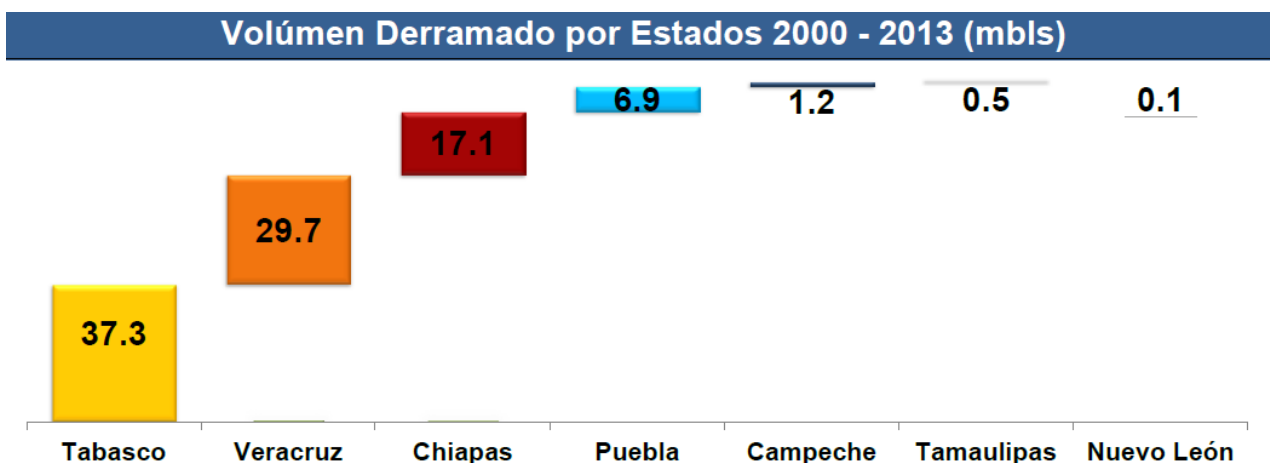


Figura 30 Volumen de petróleo derramado por estados de la República Mexicana (PROFEPA, 2013)

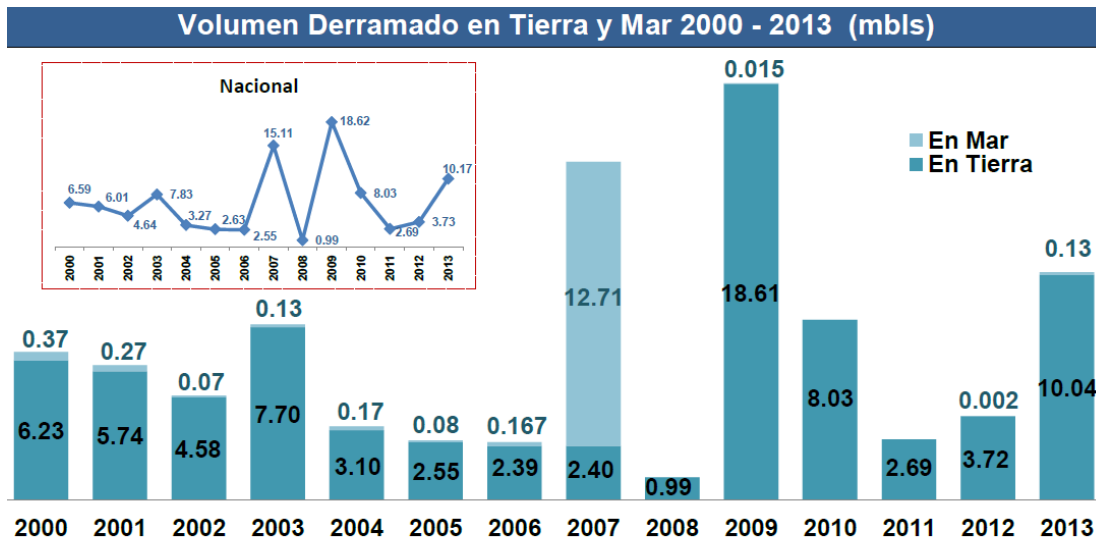


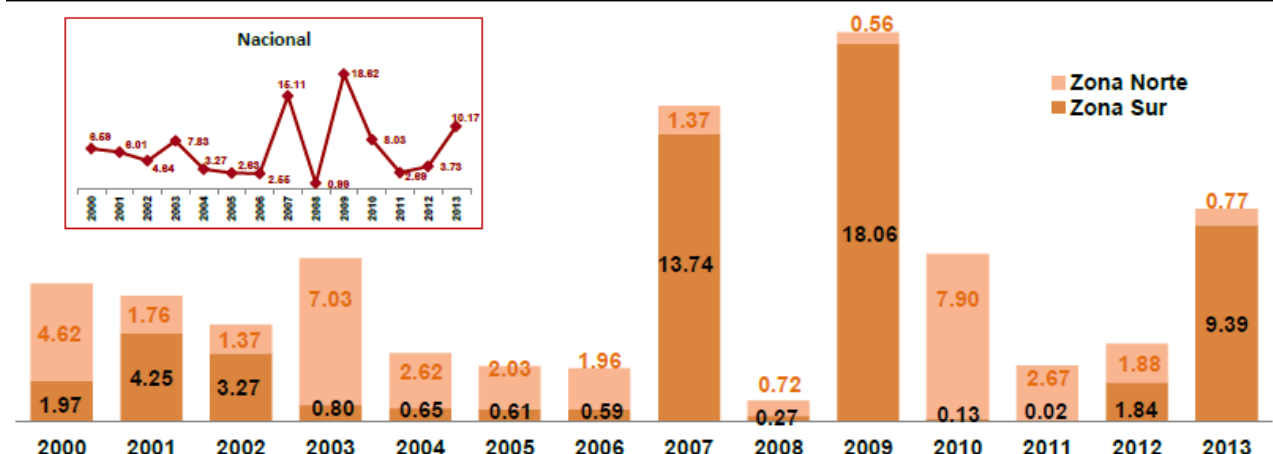
Figura 31 Volumen derramado de petróleo crudo en mar y tierra en la República Mexicana 2000-2013 (PROFEPA, 2013)

Tabla 6 Indicadores anuales de crudo derramado en el territorio nacional (PROFEPA, 2013)

Indicadores Anuales									
Petróleo Crudo Derramado*	2000-2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total (mbls)
Zona Norte	21.39	1.37	0.72	0.56	7.90	2.67	1.88	0.77	37.26
Nuevo León	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0.06
En tierra	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0.06
En mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puebla	0.1	0	0.002	0.02	6.33	0.44	0.02	0.007	6.91
En tierra	0.1	0	0.002	0.02	6.33	0.44	0.02	0.007	6.91
En mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tamaulipas	0.5	0.02	0.0001	0	0	0	0	0	0.54
En tierra	0.48	0.02	0.0001	0	0	0	0	0	0.51
En mar	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0.04
Veracruz	20.71	1.34	0.72	0.54	1.57	2.24	1.87	0.76	29.75
En tierra	20.70	1.34	0.72	0.54	1.57	2.24	1.87	0.64	29.62
En mar	0.002	0	0	0	0	0	0	0.13	0.13
Zona Sur	12.14	13.74	0.27	18.06	0.13	0.02	1.84	9.394	55.61
Campeche	1.22	0.002	0	0.003	0	0	0.002	0	1.22
En tierra	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0.02
En mar	1.20	0.002	0	0.003	0	0	0.002	0	1.20
Chiapas	1.77	0.20	0.13	15.01	0.01	0	0	0	17.12
En tierra	1.77	0.20	0.13	15.01	0.01	0	0	0	17.12
En mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabasco	9.15	13.55	0.14	3.05	0.12	0.02	1.84	9.394	37.27
En tierra	9.14	0.84	0.14	3.03	0.12	0.02	1.84	9.394	24.53
En mar	0.01	12.71	0	0.01	0	0	0	0	12.74
Total Nacional (mbls)	33.53	15.11	0.99	18.62	8.03	2.69	3.73	10.17	92.87

*¹ Incluye aguas aceitosas, se hace uso del término petróleo crudo de acuerdo a las agrupaciones de sustancias identificadas por la COATEA (Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales) adscrito a la PROFEPA. Los datos en la tabla fueron redondeados. (mbls): miles de barriles

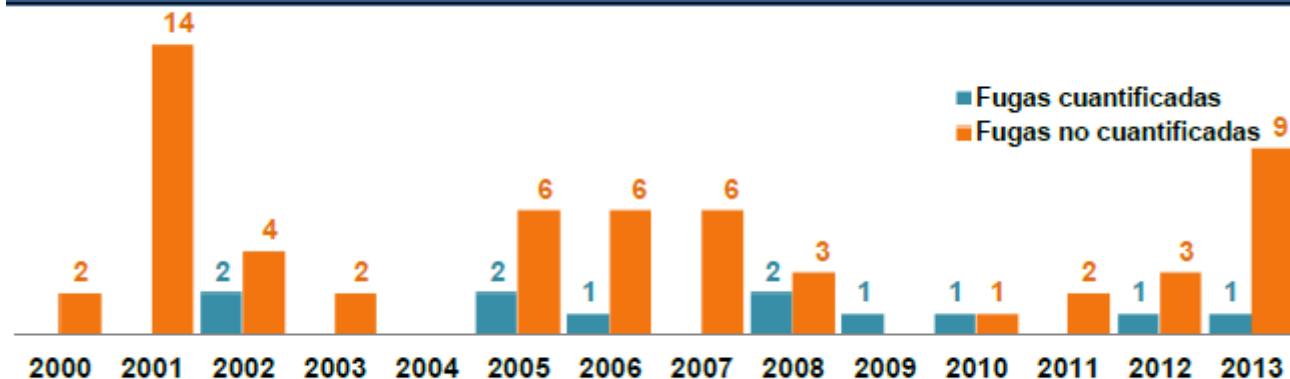
Volumen Derramado por Zona 2000 - 2013^b (mbls)



^b La clasificación de zonas se hace para facilitar la observación del detalle. Cada zona está comprendida por los estados en listados a continuación:
 Zona Norte: Nuevo León, Tamaulipas, Puebla y Veracruz.
 Zona Sur: Campeche, Chiapas, Oaxaca y Tabasco.

Figura 32 Volumen de petróleo crudo derramado por Zona en territorio nacional durante el periodo del año 2000 a 2013 (PROFEPA, 2013)

Fugas Cuantificadas y no Cuantificadas 2000 - 2013



^b Fugas cuantificadas: fugas registradas por la PROFEPA con estimación de volumen.
 Fugas no cuantificadas: fugas registradas por la PROFEPA sin estimación de volumen.

Figura 33 Fugas cuantificadas y no cuantificadas de petróleo crudo en territorio nacional (PROFEPA, 2013)



Figura 34 Refinerías, Poliductos y Oleoductos dentro del Territorio Nacional Mexicano

1.24 Planteamiento del problema

En México, gran cantidad de hidrocarburos se ha derramado en los últimos años, lo cual hace necesario el empleo de tecnologías que resuelvan la problemática y disminuyan el efecto ambiental negativo.

En el agua, los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos (denominado en conjunto intemperización), como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, pH, condiciones ambientales y geográficas se llevan a cabo en corto tiempo comparado con otras técnicas utilizadas aumentando la eficiencia de la degradación .

Además de tener una moderada, alta o extrema salinidad de las aguas de formación, lo que dificulta su tratamiento, debido a que altos gradientes de salinidad pueden destruir la estructura terciaria de las proteínas, desnaturalizar enzimas y deshidratar células, lo cual es letal para muchos microorganismos usados para el tratamiento de aguas contaminadas con petróleo crudo

1.25 Justificación

El desarrollo económico en México favoreció la concentración territorial de la industria. Hasta 1970 no se aplicó ningún criterio ambiental para su desarrollo, aunque había indicios de impactos crecientes sobre la contaminación atmosférica y la generación de residuos. El resultado de una política de bajos precios de petróleo propició su uso intensivo y, con ello, un crecimiento de la demanda energética más acelerada. En la segunda parte de la década de los 70's, la reestructuración productiva de la industria se modificó debido al crecimiento petrolero. La petroquímica básica se convirtió en la actividad con mayor contribución a la contaminación. (Quadri, 1994)

En México, la industria petrolera en su conjunto ha tenido un gran impacto negativo en materia ambiental. Por la amplia gama de productos derivados del petróleo, no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los petroquímicos básicos (Saval, 1995) como se observa en las figuras 35 y 36



Figura 35 Derrame de petróleo crudo en el mar



Figura 36 Fuga de tubería de diésel causando contaminación de un río.



1.26 Objetivos

1.26.1 Objetivo general.

Degradación de la fracción soluble de los hidrocarburos totales del petróleo en agua contaminada por diésel y petróleo empleando un microbioma y sustancias húmicas.

1.26.2 Objetivos específicos.

- Identificar la problemática ambiental que causan los derrames de petróleo y diésel en el agua.
- Cuantificar la concentración de contaminantes de hidrocarburos presentes en el agua.
- Evaluar la capacidad degradadora de un microbioma donde predomina el género *Pseudomona sp.*
- Evaluar la contribución de las sustancias húmicas en el proceso de biodegradación de hidrocarburos

CAPITULO II.PARTE EXPERIMENTAL.

2.1 Solución de medio mínimo

Se realizó una solución con una concentración establecida de diversas sales minerales a la que se le denomina “solución de medio mínimo”.

Se preparó una solución de elementos trazas con las siguientes sales minerales

ZnSO₄ 10 mg/L, MnCl₂ 3.0 mg/L, H₃BO₄ 30 mg/L, CoCl₂ 20 mg/L, CuCl₂ 1.0 mg/L, NiCl₂ 2.0 mg/L, Na₂MoO₄ 3.0 mg/L; todos los reactivos grado analítico Fermont.

Se realizó la solución de medio mínimo con la siguiente composición para 1 L de agua destilada:

1.2 mL/L FeCl₂ 0.1%, KH₂PO₄ 0.5 g/L, MgCl₂ 0.4g/L, NaCl 0.4 g/L, NH₄Cl 0.4 g/L, CaCl₂ 0.05 g/L, 1mL/L solución elementos traza.

Se ajustó el pH con una solución de NaOH 0.1M hasta obtener un pH de 7.0 y se aforo a 1 L, con agua destilada como se observa en la figura 37



Figura 37 Ajuste de pH de la solución de medio mínimo

Posteriormente se colocó en un matraces para introducir a la autoclave y mantener una presión interna aproximadamente de 1.5 kg/cm^2 (20 psi) durante 20 minutos. Al terminar se retiró la solución y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Como se observa en la Figura No. 38



Figura 38 Solución del medio mínimo después de esterilizar en la autoclave

2.2 Adaptación del microbioma

1.- Presentación del microbioma, soportado en cáscara de trigo. Como se observa en la figura 39



Figura 39 Microbioma soportado en cascara de trigo

2. se pesaron 10 gr de cascara de trigo con el microbioma por un 1 L de solución de medio mínimo, el cual por medio de un papel filtro se separó la cascara de trigo quedando retenida en el papel.



3.- la solución de medio mínimo junto con el microbioma se dejó en agitación constante a 20 rpm, durante 72 horas, a temperatura constante de 30°C. Al final de este período, las soluciones se consideran inóculo adaptado.

2.3 Contaminación de agua (medio mínimo) por hidrocarburos.

En un matraz Erlenmeyer el medio mínimo fue contaminado de manera sintética con diésel mexicano y petróleo ligero empleando una relación de 9:1 (900 ml de medio mínimo y 100 ml de diésel). Cada uno de ellos se dejó agitando durante 3 días a 20 rpm a 30°C. Este procedimiento se siguió para la contaminación sintética de 10 L de muestra de cada sistema (diésel y petróleo), tal y como se observa en la figura No. 40



Figura 40 Solución de medio mínimo contaminado por diésel (izquierda) y petróleo (derecha)

2.4 Preparación de los sistemas de diésel y petróleo

1.-Fueron separadas las fases acuosas, las cuales fueron consideradas como muestras sintéticas contaminadas. Tal y como se observa en la figura No.41 Por medio de un embudo de separación, ya que la parte a analizar es la parte soluble en agua de los hidrocarburos totales del petróleo



Figura 41 Separación de la fase acuosa del agua contaminada por petróleo ligero crudo.

2.-Se colocaron en los frascos de vidrio con tapa metálica 50 ml de solución de la fase acuosa de medio mínimo contaminado con petróleo y se le adicionaron 5 ml del Inoculo esto para formar el sistema de petróleo con un microbioma, este mismo procedimiento se realizó para el sistema de contaminación con diésel.

3.- de igual manera de la separación de la fase acuosa contaminada para ambos sistemas se colocaron 50 ml de esta solución, 5 ml del inoculo, y se adiciono una concentración de 1000 mg/L de Sustancias Húmicas. Para así formar los sistemas de Agua contaminada con Diésel o petróleo más un microbioma, más la adición de las sustancias húmicas.

4.- se colocó en un tubo de ensaye una solución de NaOH con una concentración al 1M

Estos sistemas fueron analizados cada 12 horas, por las técnicas analíticas de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (TOC), y producción de biomasa por el método de peso seco. Figuras No. 42 y 43



Figura 42 PB: Sistema de agua contaminada con petróleo e inculo de un microbioma (izquierda) PAH: Sistema de agua contaminada con petróleo e inculo de un microbioma, más la adición de sustancias húmicas.



Figura 43 DB: Sistema de agua contaminada con diésel e inculo de un microbioma (izquierda) PAH: Sistema de agua contaminada con petróleo e inculo de un microbioma, más la adición de sustancias húmicas.

2.5 Conteo de unidades formadoras de colonia en el inculo de petróleo.

Se procedió como se muestra en la Figura 44.

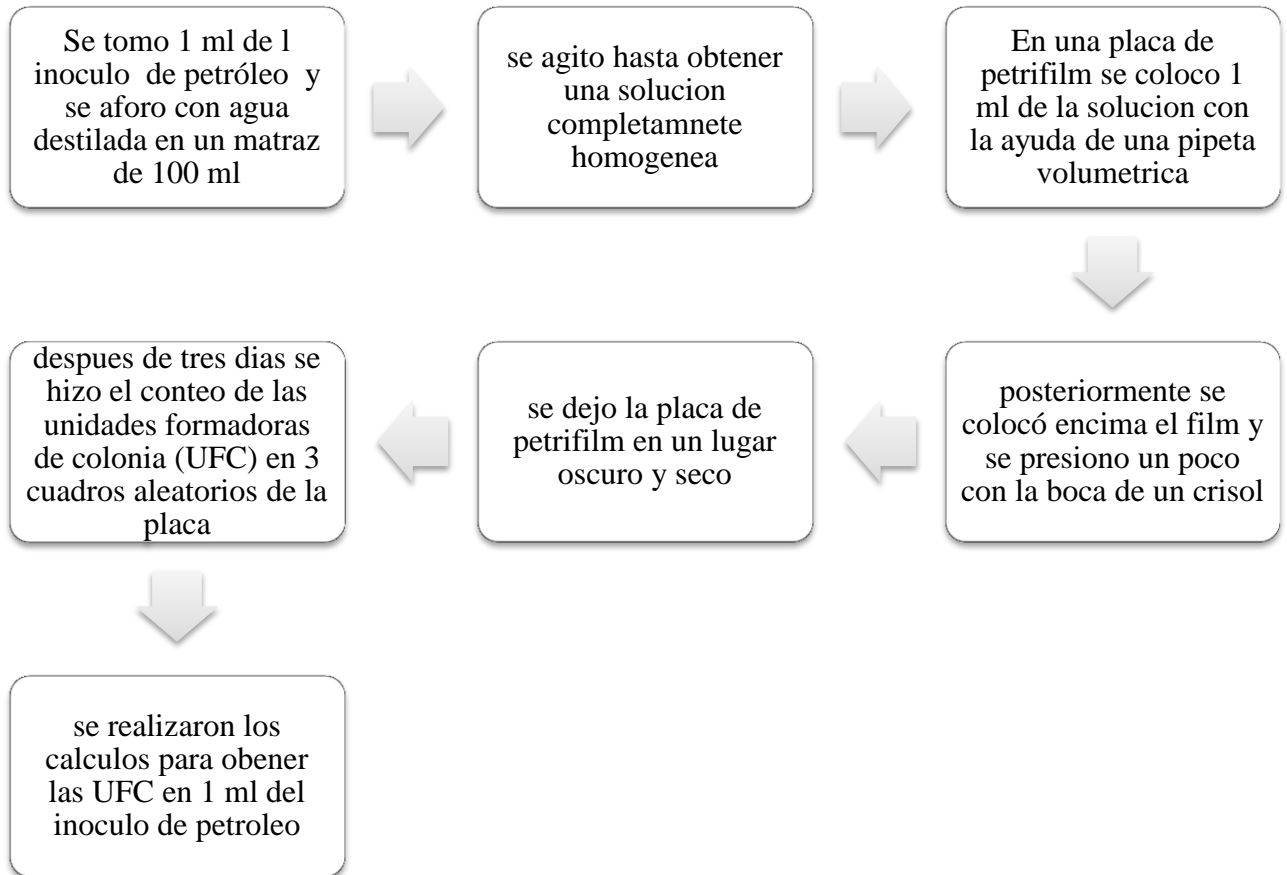


Figura 44 Metodología para el conteo de colonias.

En el caso de diésel se prosiguió de la misma manera.

2.6 Peso seco

La determinación de peso seco es para cuantificar el peso de biomasa que se forma en relación con el tiempo. El procedimiento de laboratorio se muestra en la Figura 45

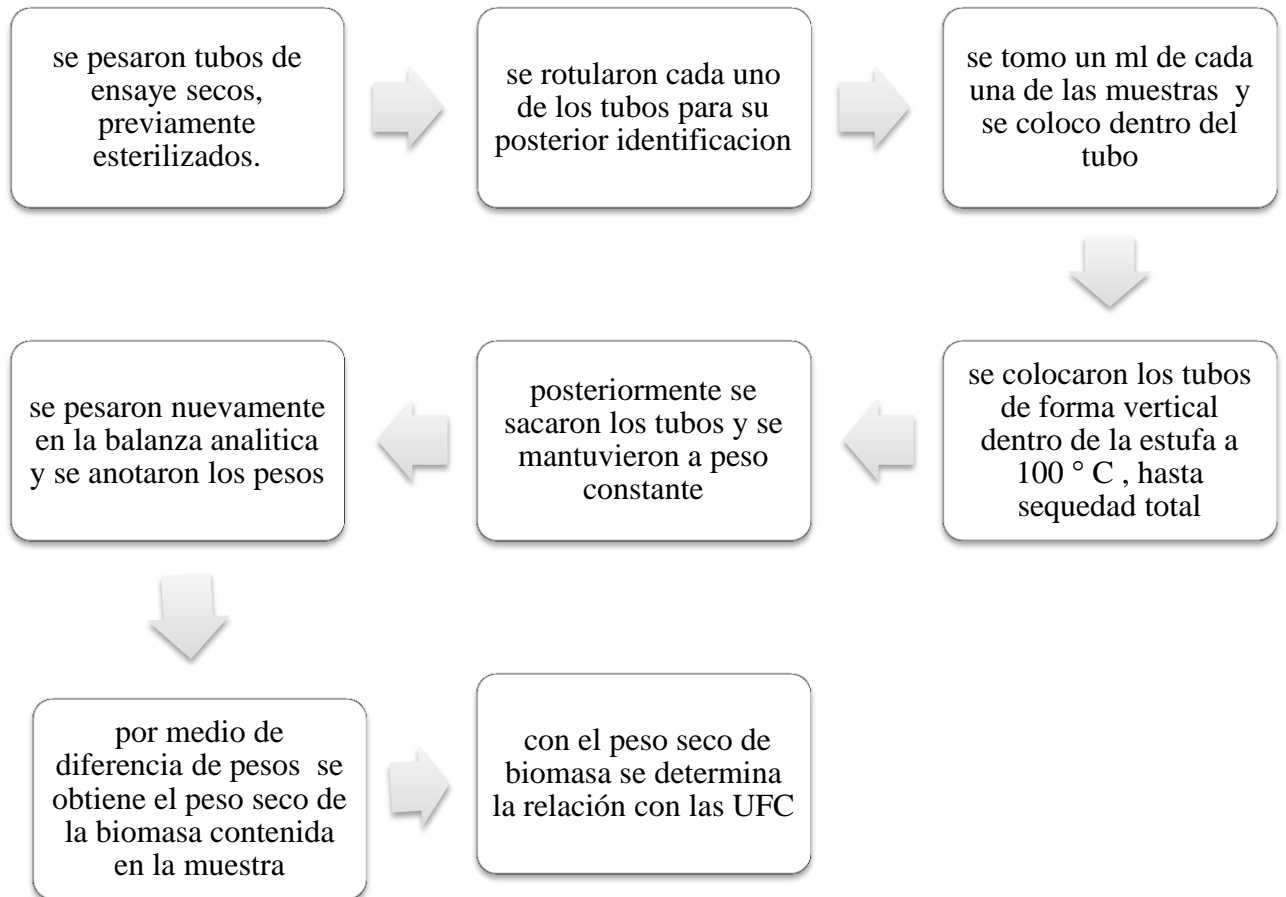


Figura 45 Metodología para la determinación de peso seco.

2.7 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

La Fig. 46 muestra el procedimiento mediante el cual se puede obtener la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

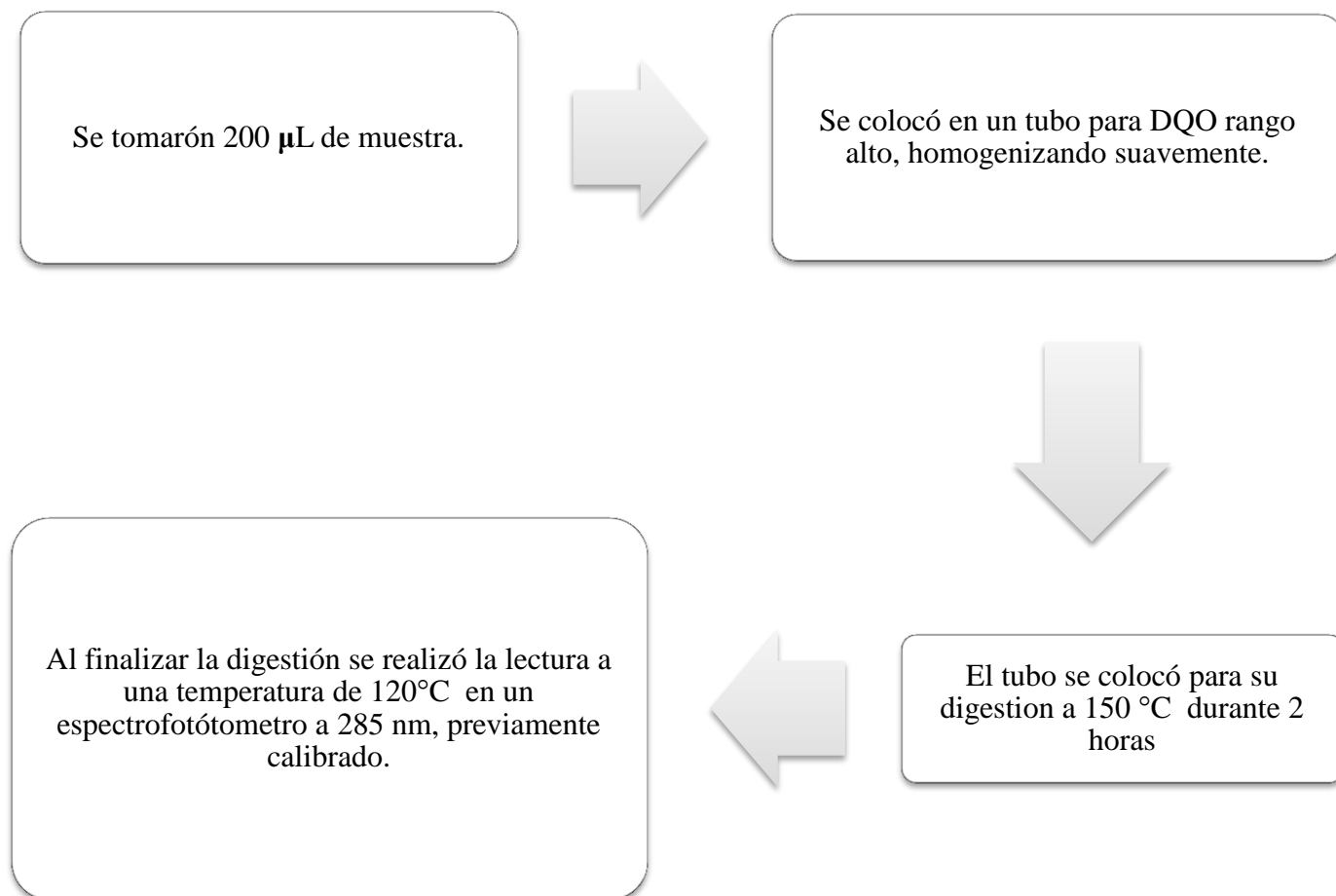


Figura 46 Metodología para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno.

2.8 Determinación de Carbón Orgánico Total.

Para la determinación de este parámetro se procedió como se indica en el diagrama representado en la Figura 47

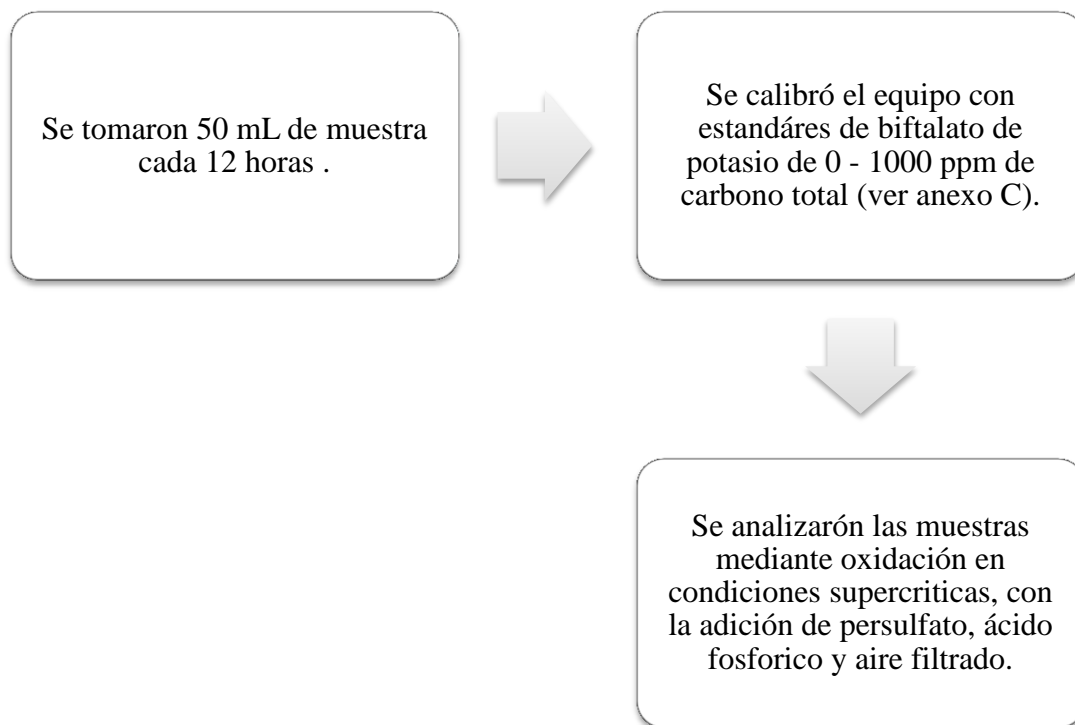


Figura 47 Determinación de Carbono Orgánico.

CAPITULO III. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

3.1 Remoción de la materia orgánica.

La remoción de la materia orgánica susceptible a la oxidación como Demanda Química de Oxígeno (DQO), se muestra en la Fig. 48 y 49. En la degradación del diésel se prepararon dos muestras con la misma concentración inicial del contaminante (1200 ppm). Al agregar 1000 ppm de Sustancias Húmicas (SH), se traducen en un incremento de la concentración de la materia orgánica hasta un valor de 5500 ppm, medidas como DQO.

Durante las primeras 12 horas se observa una disminución en la concentración de diésel del 28% en presencia de un microbioma (grupo de hongos y bacterias). Después de 96 Horas la conversión alcanzó 98.5%. Cuando a la muestra además se le agregan sustancias húmicas, la conversión fue del 72%.

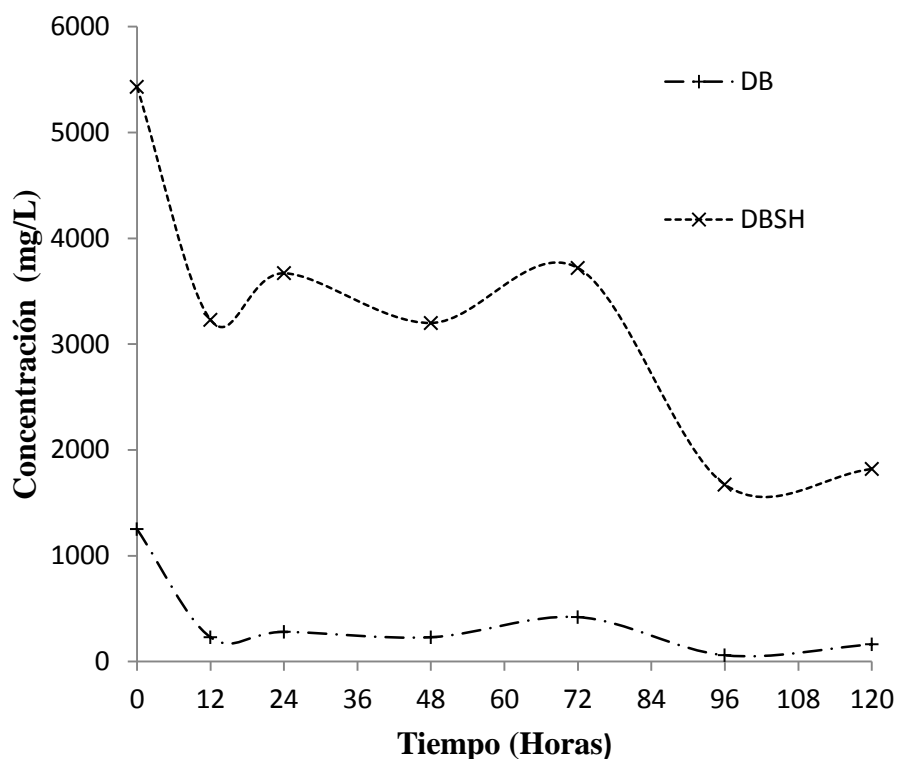


Figura 48 Degradación de diésel presente en agua contaminada (DB: sistema de agua con diésel y microbioma, DBSH: sistema de agua con diésel, microbioma y sustancias húmicas.)

Cuando el contaminante es el petróleo crudo la biodegradación se consigue en las primeras 12 horas, como se observa en la figura 49.

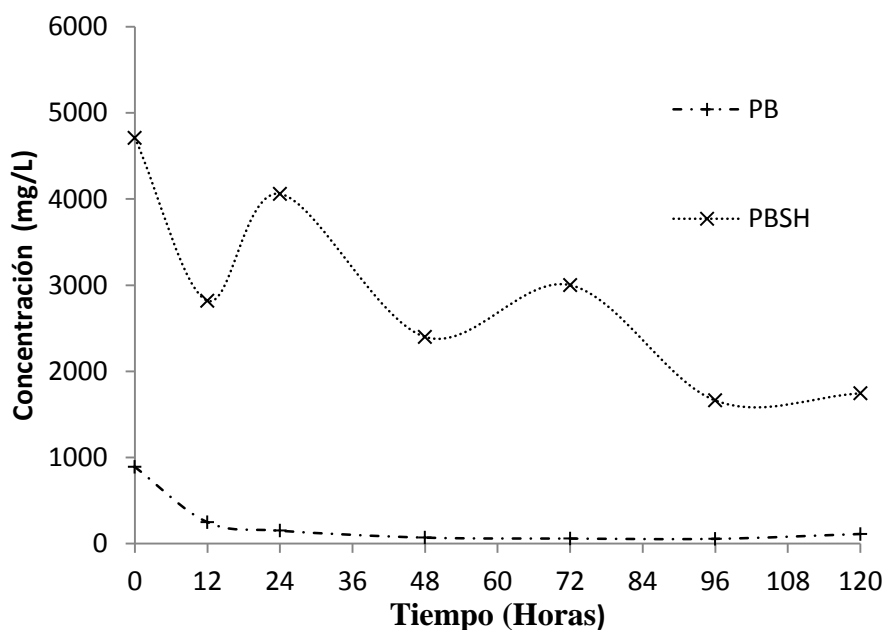


Figura 49 Degradación de petróleo presente en agua contaminada

(PB: sistema de agua con petróleo y microbioma, PBSH: sistema de agua con petróleo, microbioma y sustancias húmicas)

La biodegradación presenta máximos y mínimos, probablemente debido a la interacción de bacterias y hongos, de las sustancias húmicas, de acuerdo a cada compuesto, preferirán vías metabólicas distintas.

Obsérvese que dos mínimos y dos máximos se presentan prácticamente en el mismo período de tiempo, suficiente para que los microbiomas, formen compuestos intermedios, que posteriormente se biodegradan.

Durante las primeras 24 horas, en ambos sistemas, ocurre una primera disminución significativa de DQO; en el sistema con diésel y petróleo es del 80%, mientras que en los sistemas con sustancias húmicas, la disminución es del 20 al 40 %, esto se muestra en las figuras 50 y 51. Al analizar la influencia de las sustancias húmicas, no presentan un efecto significativo en el proceso de degradación. La adición de las sustancias húmicas incrementa el valor de DQO hasta en un 400%. Debido a que este análisis no es selectivo para los hidrocarburos presentes, ni para las sustancias húmicas adicionadas, solo se puede deducir que esta reducción fue de más de 2000 mg/L, lo que supera el valor de la contaminación de las muestras que solo contenían los hidrocarburos (Figuras 50 y 51).

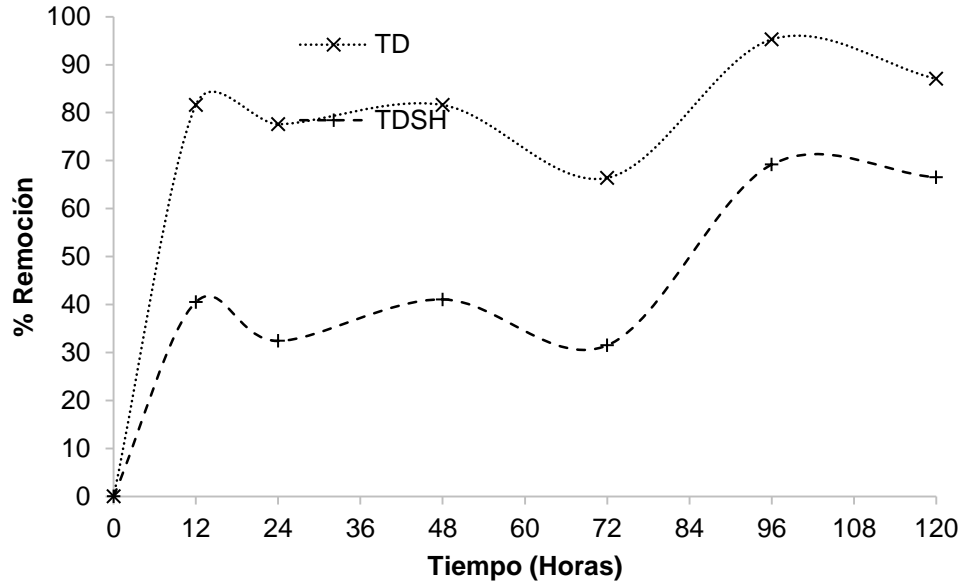


Figura 50 Porcentaje de remoción de DQO en el sistema con diésel como contaminante.

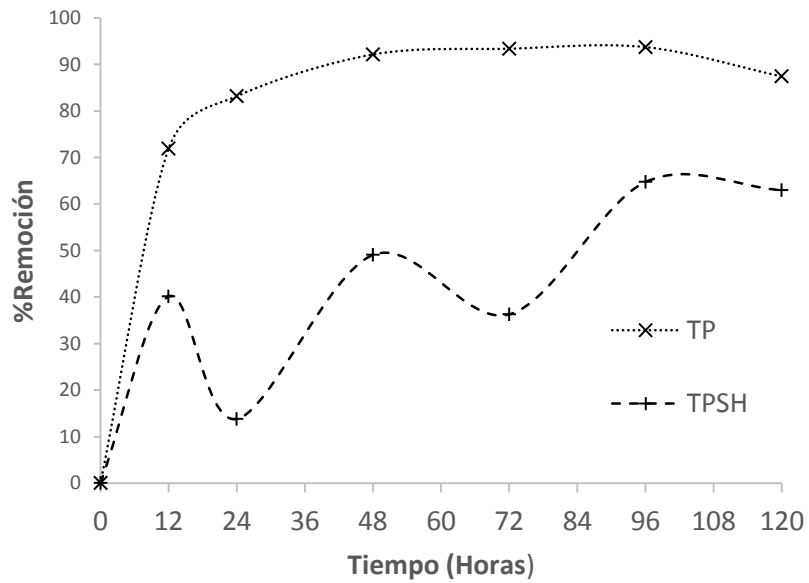


Figura 51 Porcentaje de remoción de DQO en el sistema de petróleo como contaminante.

En la hora 96 de tratamiento, el porcentaje de remoción es máximo, llegando a 96 % en las muestras con diésel y a 94% en la muestra conteniendo el petróleo.

3.2 Variación del carbono orgánico, inorgánico y total.

La técnica analítica empleada para analizar el grado de degradación por medio del carbono arroja tres variables, Carbono Total (CT), Carbono Inorgánico (CI) y Carbono Orgánico Total (COT). Para analizar la mineralización de los contaminantes y el grado de biotransformación, se muestra en las variaciones en el carbono total, carbono orgánico y carbono inorgánico de los sistemas tratados.

Como se puede analizar en la figura 52, el comportamiento del Carbono Orgánico indica el grado de biotransformación de las bacterias; el carbono Inorgánico, la mineralización, que es la degradación completa de un compuesto a sus constituyentes minerales, en donde el carbono orgánico es oxidado hasta CO_2 . Dado que la descomposición de un sustrato orgánico que en este caso es el contaminante (diésel o petróleo) por medio del proceso de metabólico de las bacterias es degradado a productos principales CO_2 , H_2O y desechos minerales. Es por ello que en la hora 72 se observa el mayor pico de Carbono Inorgánico que demuestra que en este tiempo se lleva a cabo la mayor degradación.

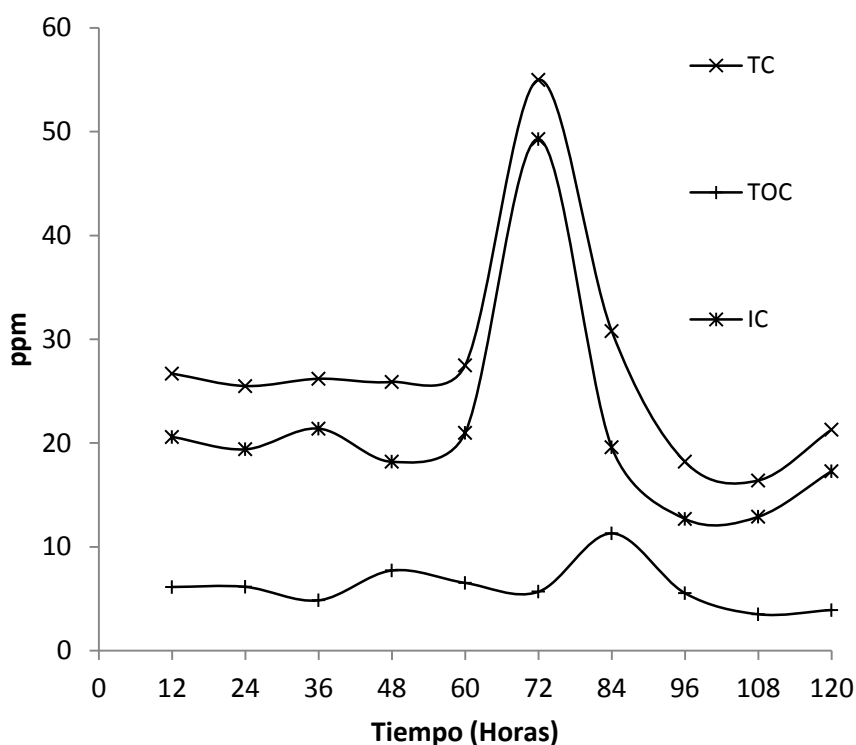


Figura 52 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con diésel y el microbioma.

Cuando al proceso descrito anteriormente se agregan sustancias húmicas el comportamiento del carbono total y del carbono inorgánico la representación gráfica es semejante, debido a que las sustancias húmicas y la presencia de los microorganismos presentes en estos líquidos juega un papel muy importante durante la eliminación del contaminante en el medio acuoso. Obsérvese que la figura 53 la curva del carbono orgánico total presenta ligeras variaciones probablemente debido a los microorganismos presentes en las sustancias húmicas. Cuando el contaminante del medio es petróleo crudo el comportamiento en todos los casos es semejantes para CT, TOC, IC figuras 54 Y 55.

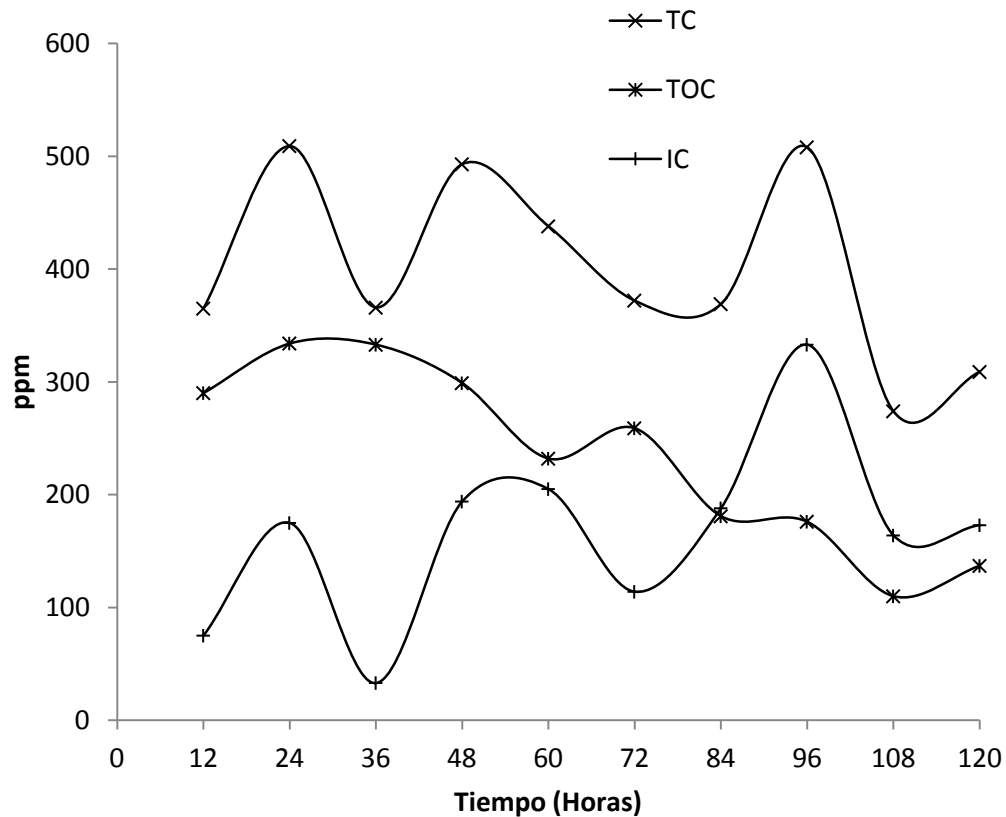


Figura 53 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con diésel, microbioma y sustancias húmicas.

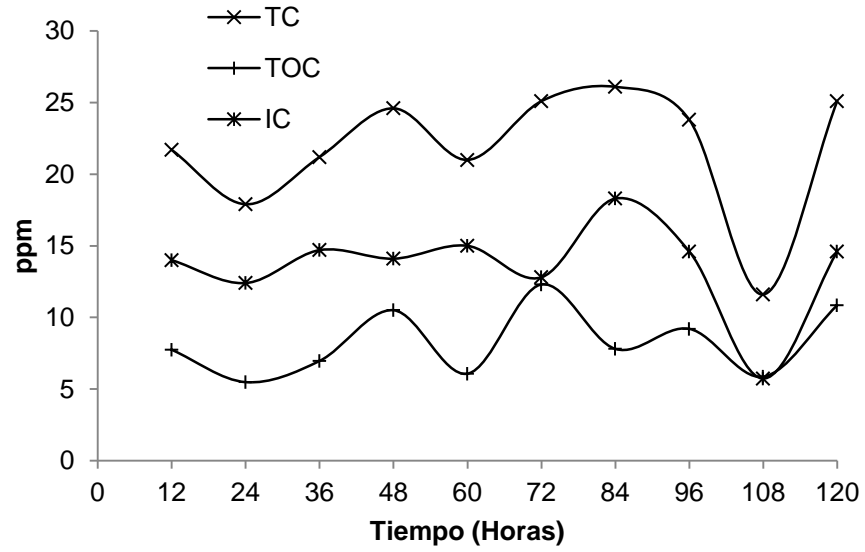


Figura 54 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con petróleo y el microbioma

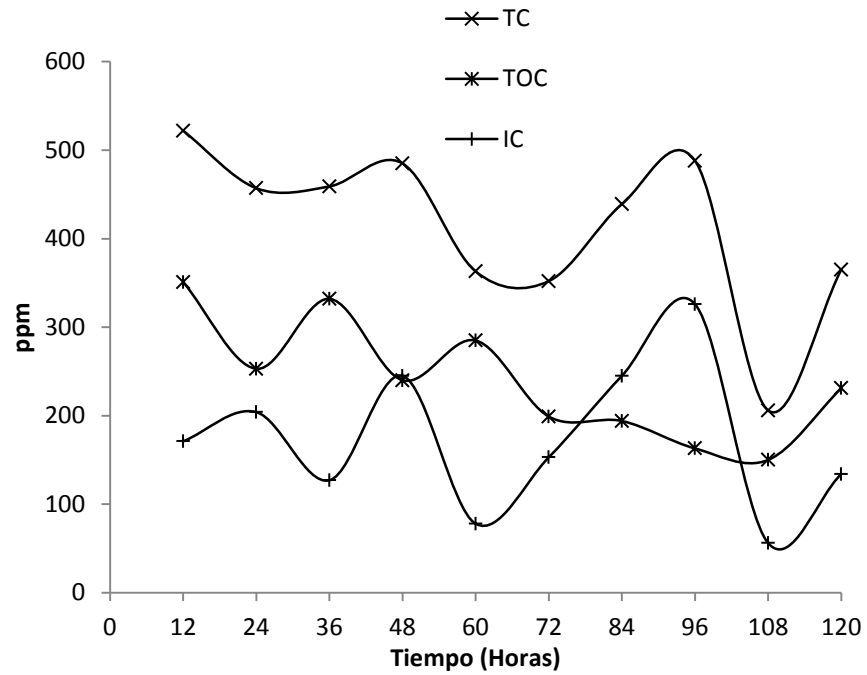


Figura 55 Variación de carbono total (TC), carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico (IC) en el sistema de agua contaminada con petróleo, microbioma y sustancias húmicas.



Los sistemas contaminados con diésel muestran un aumento significativo en el valor del carbono total después de la hora 84 y una reducción en el carbono inorgánico. Es probable que a partir de este momento la cantidad de biomasa es máxima y se considera que la cantidad de nutrientes no es la suficiente para mantener las actividades metabólicas de los microorganismos que conforman la microbioma.

Para el sistema con petróleo como contaminante las variaciones en la concentración del carbono Inorgánico a lo largo del proceso muestran la selectividad del microbioma por los compuestos del petróleo para conseguir su metabolización. En estos sistemas la concentración máxima de carbono orgánico total se alcanza entre la hora 84 y 96.

En todos los sistemas se verificó el balance de masa producto de la degradación de los contaminantes estudiados, así como la generación de biomasa.

3.3 Tratamiento biocinético de los datos.

Para el tratamiento de los datos obtenidos se empleó el modelo de Monod el cual representa una gran utilidad para este tipo de procesos de crecimiento celular, el cual indica, que se trata de un crecimiento exponencial de microorganismos y se representa por la siguiente ecuación 3.1. (Fogler, 2008)

$$r_g = \mu C_C \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

r_g =velocidad de crecimiento de la célula, mg/L día;

C_C =concentración de células, mg/L

μ =velocidad de crecimiento específico, día⁻¹

La velocidad de crecimiento específico de la célula se puede expresar como:

$$\mu = \mu_{m\acute{a}x} \frac{C_S}{K_S + C_S} \quad [\text{día}^{-1}] \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

$\mu_{m\acute{a}x}$ =velocidad de reacción específica de crecimiento máximo, día⁻¹

K_S =constante de Monod, mg/L

C_S =concentración de sustrato, mg/L

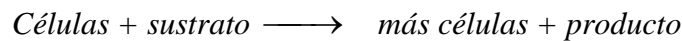
Los valores representativos de $\mu_{m\acute{a}x}$ y K_s son 1.3 h^{-1} y $2.2 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$, respectivamente, que son los valores de parámetros para crecimiento de *E. coli* (Narvaez, 2013)

Al combinar las dos ecuaciones anteriores se llega a la ecuación de Monod para la velocidad de crecimiento de células bacterianas (3.3).

$$r_g = \frac{\mu_{m\acute{a}x} C_s C_c}{K_s + C_s} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

3.4 Estequiometria

La estequiometria del crecimiento celular es muy compleja y varía con el sistema de microorganismos, los nutrientes y las condiciones ambientales, como pH, temperatura y potencial redox. Tal complejidad es particularmente cierta cuando más de un nutriente contribuye al crecimiento de células, como en este caso. Por lo anterior, para efectuar los cálculos estequiométricos se requiere la siguiente simplificación (Narvaez, 2013):



Con el propósito de relacionar el sustrato consumido, las nuevas células formadas y el producto generado, se definen los coeficientes de rendimiento. El coeficiente de rendimiento para células y sustrato es:

$$Y_{C/S} = \frac{\text{masa de nuevas células formadas}}{\text{masa de sustrato consumido}} = - \frac{\Delta C_c}{\Delta C_s} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$Y_{C/S} = \frac{1}{Y_{C/S}} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

La formación de producto puede tener lugar durante diversas fases del ciclo del crecimiento de la célula. Cuando la formación de producto sólo ocurre durante la fase de crecimiento exponencial, la velocidad de formación de producto es:

$$r_p = Y_{p/c} r_g = Y_{p/c} \mu C_c = Y_{p/c} \frac{\mu_{m\acute{a}x} C_c C_s}{K_s + C_s} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Dónde:

$$Y_{p/c} = \frac{\text{masa de producto formado}}{\text{masa de nuevas células formadas}} = \frac{\Delta C_p}{\Delta C_c} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

El coeficiente de rendimiento estequiométrico que relaciona la cantidad de producto formado por masa de sustrato consumido es:

$$Y_{p/s} = \frac{\text{masa de producto formado}}{\text{masa de sustrato consumido}} = - \frac{\Delta C_p}{\Delta C_s} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Además del consumo de sustrato para producir nuevas células, parte de éste se emplea simplemente para mantener las actividades cotidianas de las células. El término correspondiente de utilización para mantenimiento es:

$$m = \frac{\text{masa de sustrato consumida para mantenimiento}}{\text{masa de células} \times \text{tiempo}} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

La ecuación para relacionar la tasa de consumo de nutrientes, $-r_s$, con las velocidades de crecimiento celular, generación de producto y mantenimiento celular es:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Tasa neta de} \\ \text{consumo} \\ \text{de sustrato} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{a la que es} \\ \text{consumido} \\ \text{por las células} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{a la que es} \\ \text{consumido para} \\ \text{formar producto} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad} \\ \text{a la que es} \\ \text{consumido para} \\ \text{mantenimiento} \end{array} \right] \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$-r_s = (Y_{s/c}) + (r_g) + mC_c \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Como el producto se sintetiza durante la fase de crecimiento, no es posible separar la cantidad de sustrato consumido para crecimiento celular de la que se consume para sintetizar producto (ya que el producto sintetizado es utilizado para el desarrollo celular), todo el sustrato consumido se agrupa en el coeficiente estequiométrico $Y_{s/c}$.

3.5 Balance de masa

Hay dos formas en las que es posible explicar el crecimiento de los microorganismos. Una es tomar en cuenta el número de células vivas y la otra la masa de las células vivas. Para este caso se usará la segunda técnica. Un balance de masa para el microorganismo en reactor continuo de mezcla perfecta de volumen constante es:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{acumulación} \\ \text{de células,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{entrada} \\ \text{de células,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{salida} \\ \text{de células,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{generación} \\ \text{de células vivas,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] \quad \text{Ecuación 3.12}$$

$$V \frac{dC_c}{dt} = v_0 C_{c0} - v C_c + (r_g - r_d) V \quad \text{Ecuación 3.13}$$

El balance de sustrato correspondiente es:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{acumulación} \\ \text{de sustrato,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{entrada} \\ \text{de sustrato,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{salida} \\ \text{de sustrato,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{generación} \\ \text{de sustrato,} \\ \text{g/s} \end{array} \right] \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$V \frac{dC_s}{dt} = v_0 C_{s0} - v C_s + r_s V \quad \text{Ecuación 3.15}$$

3.6 Operación intermitente.

El sistema de tratamiento empleado fue intermitente, donde $v = v_0 = 0$ y los balances de masa son los siguientes:

Células

$$V \frac{dC_c}{dt} = r_g V - r_d V \quad \text{Ecuación 3.16}$$

Dividiendo entre el volumen del reactor V se tiene:

$$\frac{dC_c}{dt} = r_g - r_d \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Sustrato

La velocidad de desaparición del sustrato, $-r_s$, se deriva del sustrato empleado para crecimiento celular y el sustrato empleado para mantenimiento celular:

$$V \frac{dC_s}{dt} = r_s V = Y_{s/c} (-r_g) V - m C_c V \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Dividiendo entre V se obtiene el balance de sustrato para la fase de crecimiento:

$$\frac{dC_s}{dt} = Y_{s/c}(-r_g) - mC_c \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Producto

La velocidad de formación de producto, r_p , puede relacionarse con la velocidad de consumo de sustrato a través del siguiente balance:

$$V \frac{dC_p}{dt} = r_p V = Y_{p/s}(-r_s) V \quad \text{Ecuación 3.20}$$

Estos tres balances generan un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden.

3.7 Tratamiento de datos

La obtención de la cinética de biodegradación de los sustratos hidrocarbonados se obtuvo bajo el siguiente procedimiento.

3.8 Cálculo de peso seco, masa de CO_2 y de sustrato.

La ecuación que relaciona el número de células microbianas con la masa de peso seco es (Narvaez, 2013)

$$W_{seco} = 7.0 \times 10^{-6} UFC + 3382.6 \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Donde:

W_{seco} [=] mg/L

UFC [=] número de microorganismos por mL

3.9 Modelamiento de sistemas con el metodo de Monod

Cuando los hidrocarburos son introducidos en el medio ambiente, están sujetos a distintos fenómenos físicos, químicos y biológicos que dan lugar a su transformación, eliminación o transporte u otros comportamientos ambientales.

En este caso se estudio la biodegradación de hidrocarburos del petróleo empleando un microbioma, compuesto por bacterias y hongos, obteniendose la biodegradación de hidrocarburos

aromáticos y alifáticos de bajo peso molecular en condiciones aeróbicas. El proceso alcanza una gran velocidad de degradación y el carbono liberado es la fuente de alimentación del microbioma, compuesto por bacterias heterótrofas con metabolismo respiratorio aerobio. Las nuevas moléculas formadas de hidrocarburos, por su tamaño son capaces de ingresar al metabolismo de los microorganismos presentes. Por lo que para la descripción del proceso se empleó el método más simple de Monod. Se observa de la figura 56 a 67 el modelamiento biocinético de los datos.

En la figura 56 se aprecia el perfil de concentración celular en relación al tiempo, predicho por el modelo, el cual describe la primera fase de crecimiento (fase logarítmica).

Al emplear el modelo de Monod a los datos experimentales describe únicamente la primera etapa del proceso, en las subsecuentes etapas mostradas por los datos experimentales probablemente podrían ser descritas por modelos que consideren otros parámetros.

En una matriz sólida (tal como el suelo) la evolución de la cinética es similar

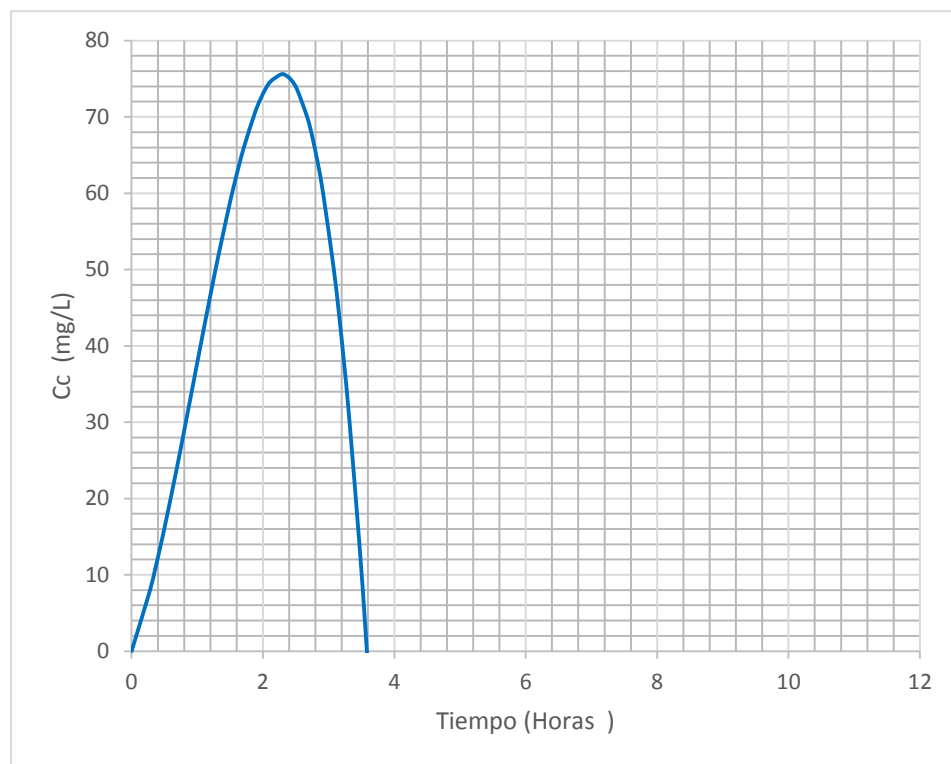


Figura 56 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de diesel con microbioma

Lo anterior descrito se puede observar en la gráfica 56 donde la transformación de la concentración del contaminante es coincidente en el pico máximo de crecimiento celular donde la concentración celular y el modelo adelanta los resultados obtenidos de manera experimental.

El balance se verifica debido a que la velocidad de crecimiento se acelera a expensas del consumo del sustrato. (Figura 57)

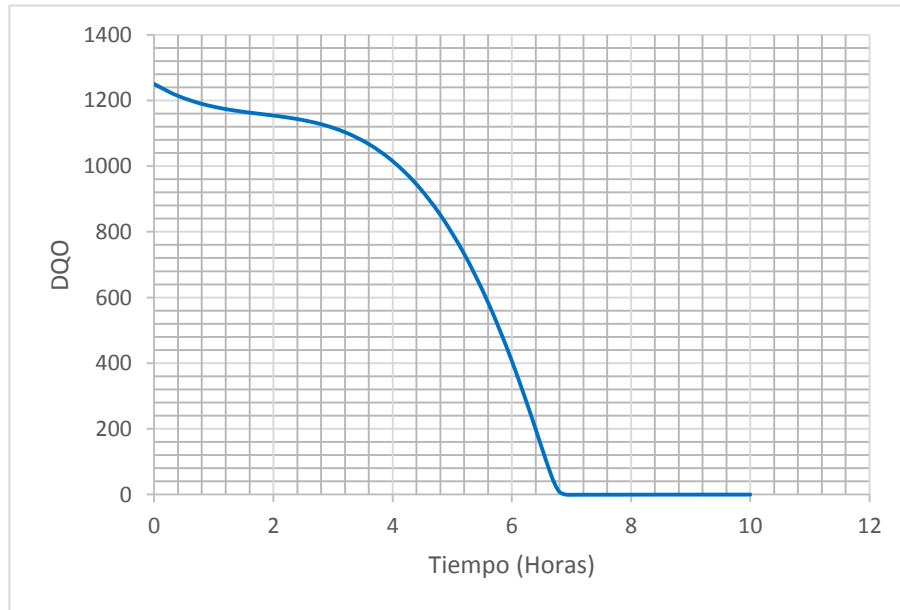


Figura 57 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en relación al tiempo; del sistema de diésel con bacterias

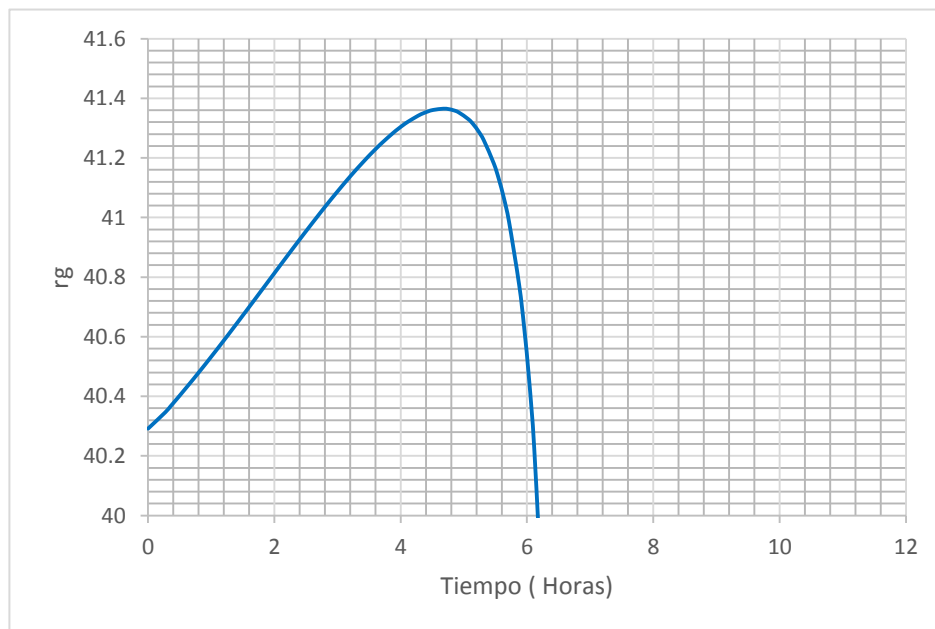


Figura 58 Variación del crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de diésel con un microbioma

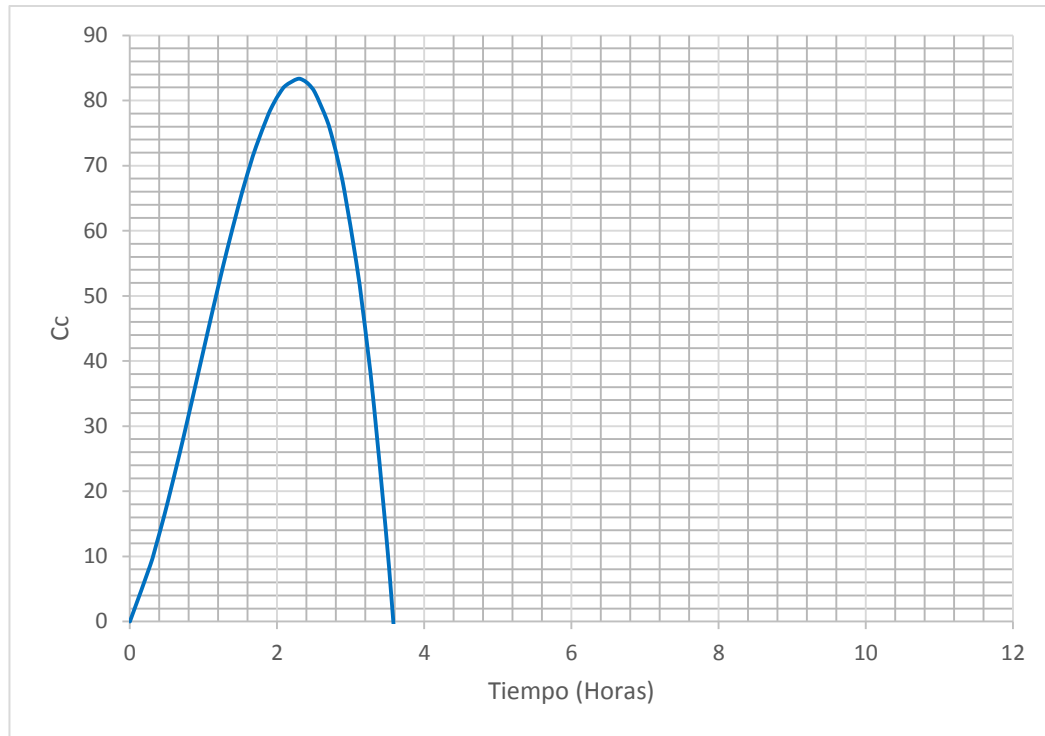


Figura 59 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de diésel con microbioma y sustancias húmicas

Al agregar 1000ppm de sustancias húmicas el comportamiento biocinético del proceso es semejante al descrito para el sistema diésel con bacterias.

Sin embargo la técnica de análisis de DQO no es la técnica adecuada debido a que no es selectiva para los hidrocarburos presentes, debido a que hay oxidación completa de la materia orgánica. Esto también se muestra cuando el medio contaminante es petróleo y esto se observan de las gráficas de la 60 a 67

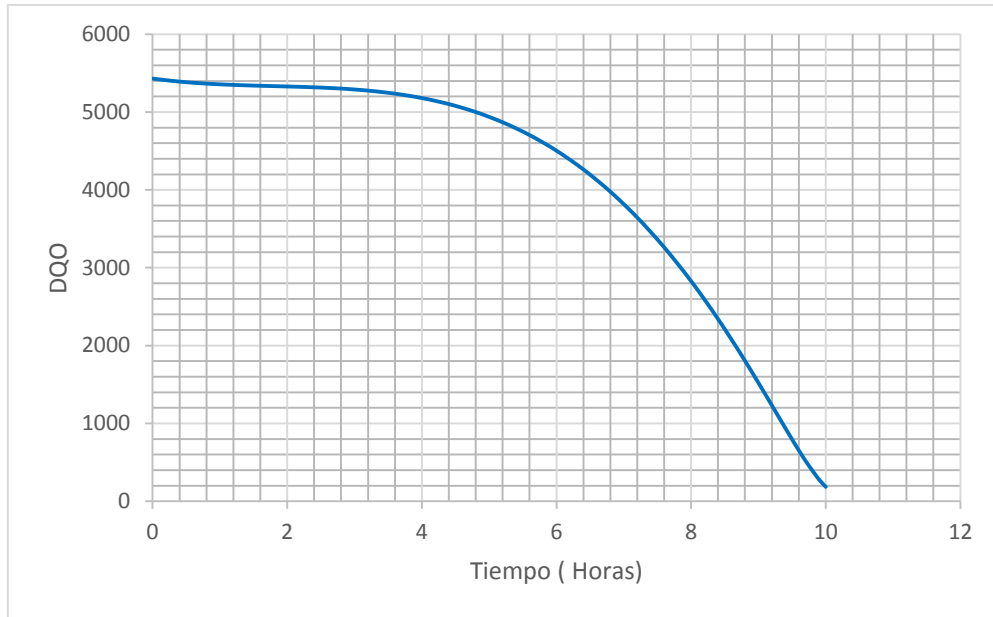


Figura 60 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en función al tiempo; del sistema de diésel con un microbioma y sustancias húmicas

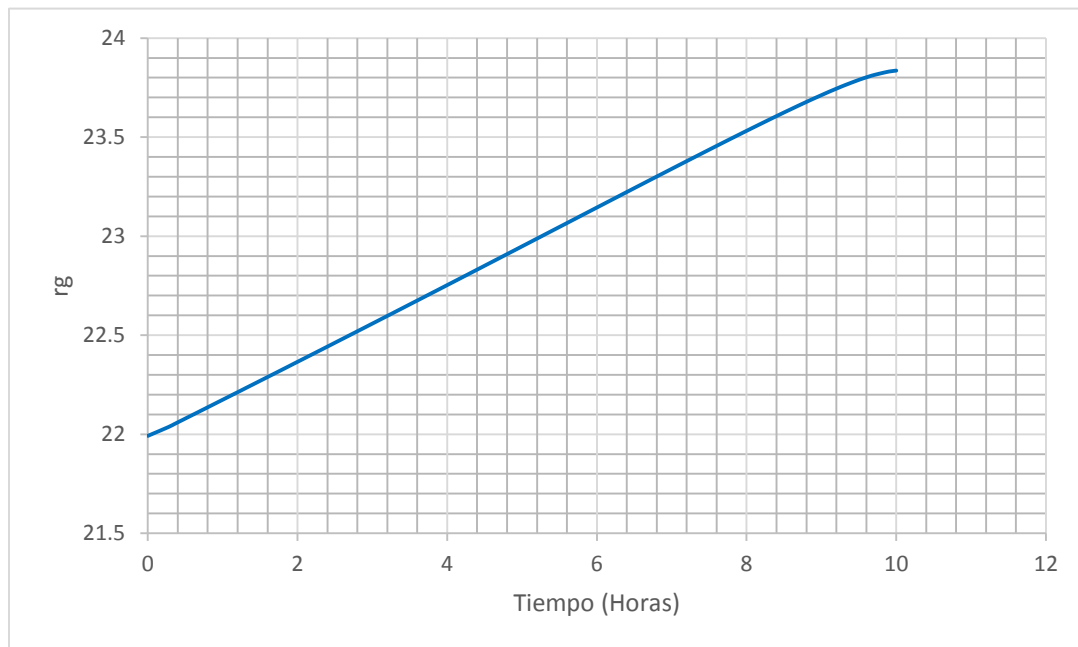


Figura 61 Variación del crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de diésel con microbioma y sustancias húmicas

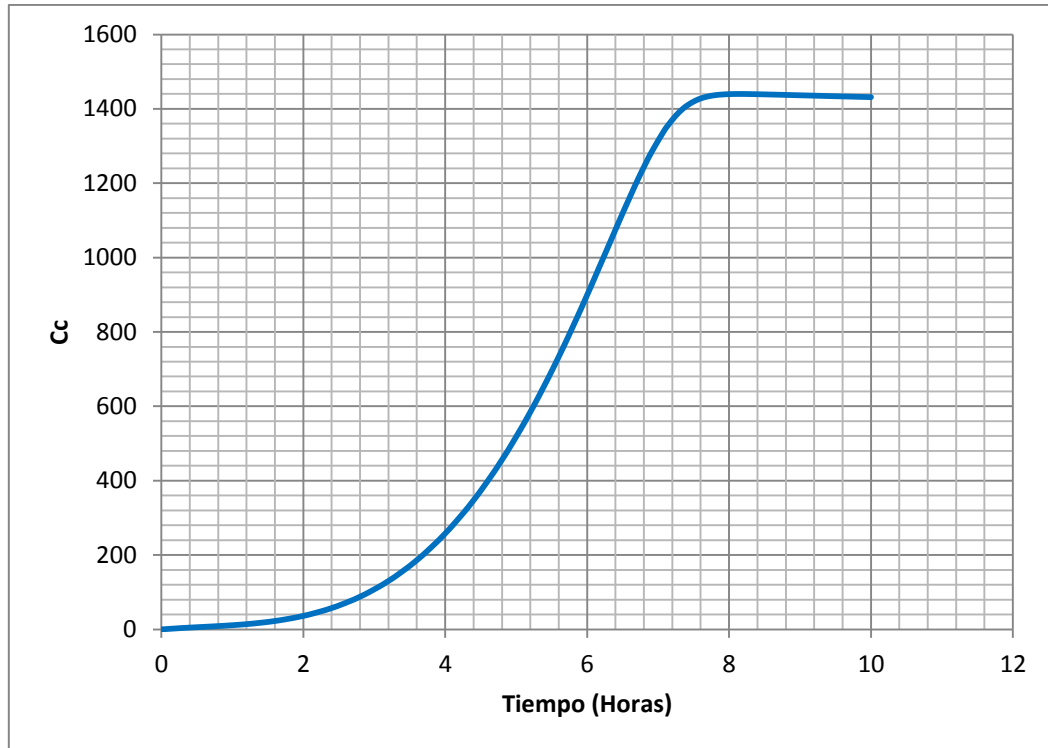


Figura 62 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de petróleo con microbioma

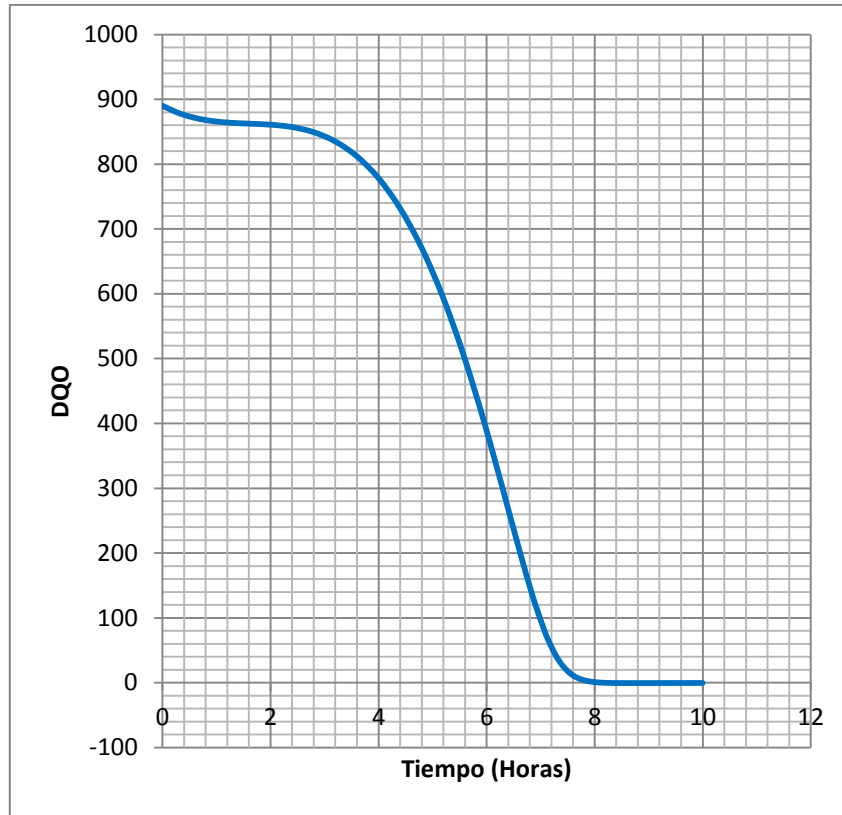


Figura 63 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en función al tiempo; del sistema de petróleo con un microbioma

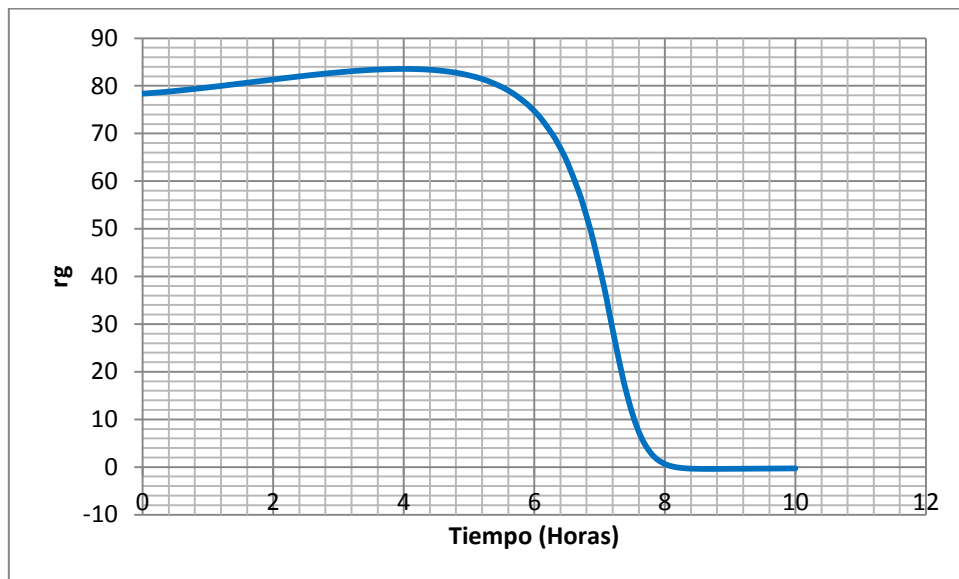


Figura 64 Variación de la velocidad de crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de petróleo con un microbioma

Petróleo con Sustancias Húmicas

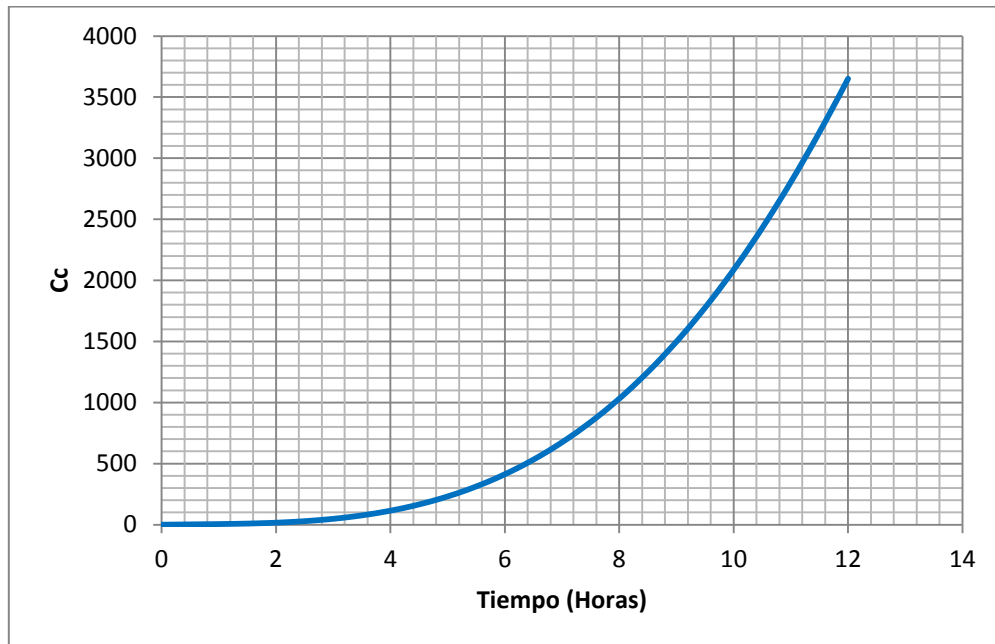


Figura 65 Variación de la concentración celular en función al tiempo; del sistema de petróleo con el microbioma y sustancias húmicas.

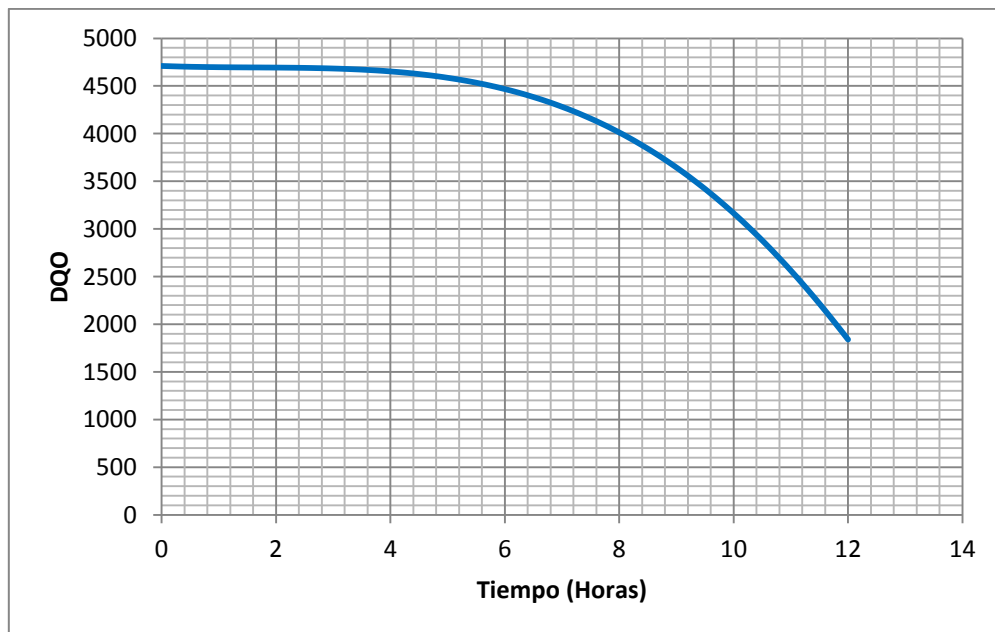


Figura 66 Variación de la Demanda Química de Oxígeno en función al tiempo; del sistema de petróleo con un microbioma y sustancias húmicas

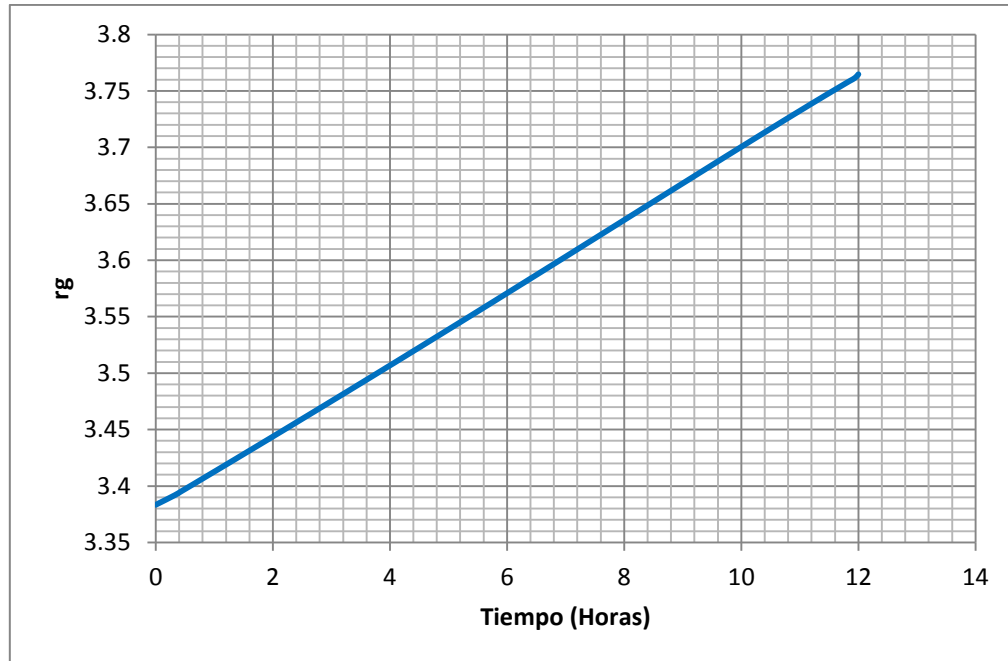


Figura 67 Variación de la velocidad de crecimiento de células bacterianas en relación al tiempo; del sistema de petróleo con un microbioma y sustancias húmicas



CONCLUSIONES

Durante la biodegradación de los hidrocarburos del petróleo y diésel los microorganismos utilizados oxidan los hidrocarburos totales del petróleo a dióxido de carbono y agua.

La degradación de los contaminantes se vio fuertemente favorecida al agregar sustancias húmicas en el sistema de diésel, ya que esto hace mayormente biodisponible una biomasa para degradar una mayor cantidad de hidrocarburos.

Los porcentajes de remoción como DQO fueron de 80% en las primeras 24 horas de tratamiento y alcanzaron hasta 96% por arriba de las 90 horas de tratamiento.

Este sistema no fue aireado durante el proceso, y solo se mantuvo con el oxígeno disuelto presente en el agua, lo que indica que se puede estimular una remoción mayor con la adición de las sustancias húmicas.

El incremento de la concentración de DQO y la variación en las cantidades de carbono total, tanto orgánico como inorgánico del agua al agregar las sustancias húmicas es significativo, sin embargo, la remoción también lo es.

Por tanto con los resultados obtenidos de forma experimental y con el modelo de biocinética de Monod se concluye que la técnica de biorremediación es factible y con grandes ventajas ya que se consigue un porcentaje alto de remoción de la fase soluble en agua de los hidrocarburos totales del petróleo tanto de diésel como de petróleo crudo en un tiempo corto, a bajo costo y sin agentes tóxicos colaterales a la biorremediación.

Por lo que es una excelente técnica de biorremediación de agua contaminada por diesel o petróleo.

La evaluación de la concentración de las sustancias húmicas y de los contaminantes de manera específica podrían ayudar a evaluar el grado de contribución de las sustancias húmicas, pero las técnicas analíticas utilizadas en este estudio no son selectivas para uno u otro caso, sin embargo esto proporciona una referencia evidente del importante papel de la bioaumentación, por adición de sustancias húmicas a un sistema que se desea degradar por acción de un microbioma conformado por bacterias del genero *Pseudomona sp.*



RECOMENDACIONES:

La tecnología de producción a escala industrial se tiene que para disminuir los costos de acuerdo a los recursos y condiciones disponibles. Considerando todas las variables posibles físicas, químicas, biológicas y geográficas del lugar.

Se recomienda el uso de técnicas selectivas tales como cromatografía de gases para el seguimiento de los hidrocarburos totales del petróleo, cromatografía de líquidos por exclusión molecular para el seguimiento de las sustancias húmicas.

Se recomienda el uso de modelos que consideren otros parámetros para el tratamiento de los datos experimentales.



Bibliografía

(s.f.).

Ambiente, P. F. (s.f.). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Recuperado el 18 de Mayo de 2014, de Secretaría de Energía:

http://www.cnh.gob.mx/_docs/Mapa_reporte_de%20fugas_y_derrames_II_2013.pdf

Angel, D. I. (2013). *Tecnologías para la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos*. Veracruz: Universidad Veracruzana - Facultad de ciencias biologicas y agropecuarias.

Atlas, R. M., & Cerniglia, C. E. (1995). Bioremediation of Petroleum Pollutants. Diversity and environmental aspects of hydrocarbon biodegradation. *BioScience*, 45(5), 332 - 338.

Aycachi Inga, R., & Carreño Farfan, C. R. (2008). *Biodegradación de Petróleo Diesel*. Lambayeque, Perú: Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallos.

Barker J., F., Tessman J., S., Reinhard, M., & Plotz, P. E. (1986). The organic geochemistry of a sanitary landfill leachate plume. *J. Contam. Hydrol.*, 1((1/2)), 171 - 189.

Bartha, R. (1986). Bio/Technology of petroleum pollutant biodegradation. *Microb. Ecol.*, 12, 155 - 172.

Bendeck, L. (1996). Origen, Formación y Composición del Humus. *Seminario-Taller:Origen, Formación y Composición del Humus*. Colombia .

Bicca, F., Fleck, L., & Ayub, M. (1999). Production of biosurfactant by hydrocarbon degrading *Rhodococcus ruber* and *Rhodococcus erythopolis*. *Rev. Microbiol.*, 30, 231 - 236.

Brenner, A. R., Chozick, R., & Irvine, R. L. (1992). Treatment of high-strength mixed phenolic waste in an SBR. *Water Environmenta Research*(64), 128 - 133.

Cameotra, S., & Singh, P. (2008). Bioremediation of oil sludge using crude biosurfactants. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 62(3), 274 - 280.

Carlos Mastandrea, C. C. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos, Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Toxicología Clínica/Laboral e Higiene Industrial*, 27-36.

Carnero, G. B. (1995). Efectos de los hidrocarburos en la salud. *Econatural, CETMAR*, 34-38.

Cerniglia, C. E. (1997). Fungal metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: past, present and future applications in bioremediation. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 19, 324 - 333.

Chandran, N. D. (2010). Microbial Degradation of Petroleum: hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International vol 201*, 1-13.

CINU. (30 de Marzo de 2015). *Centro de Información de las Naciones Unidas* . Obtenido de Protección del medio ambiente marino: <http://www.cinu.mx/temas/medio-ambiente/proteccion-del-medio->



marino/

- de Bont, J. (1998). Solvent-tolerant bacteria in biocatalysis. *Trends Biotechnol.*, 16, 493 - 499.
- Echarri, L. (2008). *Población, Ecología y Ambiente*. Navarra: Universidad de Navarra.
- Eweis. (1999). *Principios de biorecuperación*. Mc. Graw Hill.
- Fan, C. Y., & Krishnamurthy, S. (1995). Enzymes for enhancing bioremediation of petroleum contaminated soils: a brief review. *Journal of Air Waste Management Association*, 45(1), 453 - 460.
- Fogler, S. H. (2008). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas* (Cuarta ed.). México: Pearson Educacion.
- Francois, A., Garnier, A., Mathis, H., Fayolle, F., & Monot, F. (2003). Roles of tert-butyl formate, tertbutyl alcohol and acetone in the regulation of methyl tert-butyl ether degradation by *Mycobacterium austroafricanum*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*
- Galán, P. C. (2012). Contaminacion Petrolera. *Ambiente Ecologico*, 30.
- Granados Pérez, R., & Villaverde Peris, M. d. (1997). *Microbiología volumen I*. Madrid: Paraninfo.
- Grbic-Galic, D., & Vogel, T. M. (1987). Transformation of toluene and benzene by mixed methanogenic cultures. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53(2), 254 - 260.
- Hofritcher, W. F. (2000 Germany). Aerobic degradation by microorganisms. *Environmental Processes- Soil decontamination J. Klein Ed.*, 146-155.
- Huaiquilaf, B. C. (2008). Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa. *Ciencia... Ahora*, 20-29.
- IMP. (14 de Diciembre de 2014). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Instituto Mexicano del Petróleo: <http://www.imp.mx/petroleo/?imp=tipos>
- Instituto Mexicano del Petróleo. (24 de Julio de 2014). *Secretaría de Energía*. Obtenido de <http://www.imp.mx/petroleo/?imp=comp#print>
- Kämpfer, P., Steiof, M., Becker, P. M., & Dott, W. (1993). Characterization of chemoheterotrophic bacteria associated with the in situ bioremediation of a waste-oil contaminated site. *Microb. Ecol.*, 26, 161 - 188.
- Kleinhempel, D. A. (1970). Humic Substances.
- Knight, R., Kadlec, R., & Ohlendorf, H. (1999). The use of treatment wetlands for petroleum industry effluents. *Environ. Sci. Technol.*, 33, 973 - 980.



-
- Lee. (1992). Partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons into water from diesel fuel . *Environmental Science Technology*.
- Maroto Arroyo, M. E., & Rogel Quesada, J. M. (2011). Aplicación de sistemas de bioremediación de suelos y agua contaminada por hidrocarburos. *GEOSISA, Div. de Protección Ambiental de Suelos*, 299.
- McDonald, I. R., Miguez, C. B., & Rogge, G. (2006). Diversity of soluble methane monooxygenase-containing methanotrophs isolated from polluted environments. *FEMS Microbiology letters*, 255(2), 225 - 232.
- Mesa, J. B., & Quintero, G. (2006). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo. *NOVA*.
- Metcalf, E. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: Mc Graw Hill.
- Miller Camargo Valero, L. E. (1999). Sustancias Húmicas en Aguas para Abastecimiento . *Ingeniería e Investigación (Colombia)*(44), 63-70.
- Narvaez, Y. C. (2013). *Saneamiento de aguas someras y subterráneas contaminadas con hidrocarburos del petróleo*. México .
- Núñez, R. L., & Oramas, J. (2010). Bioremediación de la contaminación de petróleo en el mar . *Medio Ambiente y Desarrollo , Cuba*.
- Office of Research and Standards. (2003). *Updated Petroleum Hydrocarbon Fraction Toxicity Values for the VPH/EPH/APH Methodology*. Boston, Massachusetts: Commonwealth of Massachusetts.
- Prince, R., Varadaraj, R., Fiocco, R. J., & Lessard, R. (1999). Bioremediation as an oil response tool. *Environ. Technol.*, 20, 891 - 896.
- PROFEPA, P. F. (2013). *Comisión Nacional de Hidrocarburos*. Recuperado el 17 de Mayo de 2014, de Secretaría de Energía:
http://www.cnh.gob.mx/_docs/reporte_de_fugas_y_derrames_II_2013.pdf
- Quadri. (18 de Junio de 1994). Industria y Política Ambiental . *El Nacional*.
- Romero, C. M. (2009). *Cinética de hidrosulfuración de los dimetilbenzotiofenos*. Iztapalapa, Distrito Federal: Universidad Autónoma de México.
- Saval, B. S. (1995). Acciones para la remediación de suelos en México . *UNAM*.
- Sepulveda, T. V., & Trejo, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados* . México: Instituto Nacional de Ecología.
- Shanidul I , M Tanaka. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal



marine fisheries approach for management . *pollut bull*, 624-649.

Silvia Narvaez Flores, M. L. (2008). Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del caribe Colombiano . *Invermar* , 61-75.

Suarez, J. L. (2013). Procesos y tecnologías emergentes de remediación de aguas y derrames contaminados con sustancias cloradas. *IGME, Sevilla*, 245-257.

Teodoro, N. J. (2007). En *Determinación del riesgo de afectación al acuífero de la ciudad de México , por la operación de una estación de autoabasto de combustible para unidades de transporte terrestre* (págs. 15-18). México , D.F.: Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

Vicente I. Prieto Díaz, A. M. (1993). La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio. *Revista Cubana de Higiene, Epidemiología y Microbiología.*, 13-20.

Víctor Ángel Ramírez Coutiño, F. J. (2011). Caracterización y evaluación de ácidos húmicos como biosurfactante , con uso potencial en tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos. . *Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima*, 571-575.

ANEXOS

Tabla 7 Acrónimos

<i>Acrónimo</i>	<i>Significado</i>
BTEX	Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.
CI	Carbono Inorgánico
CT	Carbono Total
DQO	Demanda Química de Oxígeno
HAL	Hidrocarburos Alifáticos
HAP's	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
HAR	Hidrocarburos Aromáticos
HTP	Hidrocarburos totales del petróleo
mbls	Miles de barriles
ppm	Partículas por millón.
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SH	Sustancias Húmicas
TOC	Carbono Orgánico Total
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
PB	Sistema de agua contaminada con petróleo con la adición de un microbioma
PAH	Sistema de agua contaminada con petróleo con la adición de un microbioma más 1000 gr/L de Sustancias Húmicas
DB	Sistema de agua contaminada con diésel con la adición de un microbioma
DAH	Sistema de agua contaminada con petróleo con la adición de un microbioma más 1000 gr/L de Sustancias Húmicas



Figura 68 Analizador de Carbono Orgánico Total por Oxidación Térmica; Marca: General Electric



Figura 69 Mufla (Utilizada para la determinación de la biomasa en relación al peso seco)



Figura 70 Balanza analítica (Marca: Sartorius; Modelo: TE124S)



Figura 71 Equipo utilizado para la medición de la Demanda Química de Oxígeno Termo-reactor (marca: Hach);



Figura 72 Autoclave (Modelo: 25X-1)



Figura 73 Potenciómetro (marca: Corning)

	SUBDIRECCIÓN DE AUDITORÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS
--	---

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-323	PEMEX-DIÉSEL UBA (1)		<table border="1"> <tr><th colspan="2">GRADO DE RIESGO NFPA 3</th></tr> <tr><td>4</td><td>SEVERO</td></tr> <tr><td>3</td><td>SERIO</td></tr> <tr><td>2</td><td>MODERADO</td></tr> <tr><td>1</td><td>LIGERO</td></tr> <tr><td>0</td><td>MÍNIMO</td></tr> </table>	GRADO DE RIESGO NFPA 3		4	SEVERO	3	SERIO	2	MODERADO	1	LIGERO	0	MÍNIMO
GRADO DE RIESGO NFPA 3															
4	SEVERO														
3	SERIO														
2	MODERADO														
1	LIGERO														
0	MÍNIMO														
No. ONU 1: 1202	No. CAS 2: 68476-34-6	<p>VER DESCRIPCIÓN DE RIESGOS EN SECCIÓN XIII (PÁGINA 7)</p>													
FECHA ELAB: 12/09/2008	REV: 1	FECHA REV: 12/09/2008													

ANTES DE MANEJAR, TRANSPORTAR O ALMACENAR ESTE PRODUCTO, DEBE LEERSE Y COMPRENDERSE LO DISPUESTO EN EL PRESENTE DOCUMENTO.

<p>FABRICANTE PEMEX REFINACIÓN. Subdirección de Producción. Av. Marina Nacional No. 329, Colonia Huasteca. Delegación Cuauhtémoc, México, D. F., C. P. 11311 Teléfonos: (55) 19449365 y (55) 19448895 (horario de oficina)</p> <p>ASISTENCIA TÉCNICA Gerencia de Control de Producción. Teléfonos: (55) 19448628 (horario de oficina)</p> <p>CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD Gerencia de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional. Teléfonos: (55) 19448628 y (55) 19448041 (horario de oficina)</p>	<p>EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A: SETIQ: (4) 01800 - 0021400 sin costo (las 24 horas). (55) 55-59-15-88 (Cd. de México, las 24 horas).</p> <p>CENACOM: (5) 01800 - 0041300 sin costo (las 24 horas). 5128-0000 exts. 11470, 11471, 11472, 11473, 11474, 11475, 11476 y 11477 (Cd. de México las 24 horas).</p> <p>COATEA: (6) 01800 - 7104943 sin costo (las 24 horas). (55) 54-49-63-91 (Cd. de México, las 24 horas).</p> <p>CCAE: (19) Teléfono Nacional - 066 (55) 19442500 extensión 49166 (Cd. de México). Correo - ccae@pemex.gob.mx</p>
---	---

SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Familia química: ND	Estado físico: Líquido
Nombre químico: ND	Clase de riesgo de transporte SCT 7: Clase 3, "líquidos inflamables"
Nombre común: Diésel ultra bajo azufre.	No. de Guía de Respuesta GRE 8: 128
Sinónimos: Diésel.	
<p>Descripción general del producto: Mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, derivados del procesamiento del petróleo crudo. Este producto se emplea como combustible automotriz. Su contenido máximo de Azufre total, es de 15.0 mg/kg.</p>	

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

COMPONENTE	% (vol.)	NÚMERO ONU ¹	NÚMERO CAS ²	PPT ⁹ (ppm)	CT ¹⁰ (ppm)	IPVS ¹¹ (mg/m ³)	P ¹² (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA 3			
								S ¹³	I ¹⁴	R ¹⁵	E ¹⁶
Diésel.	100 % vol.	1202	68476-34-6	100	ND	ND	ND	0	2	0	ND
Aromáticos.	35.0 % vol. (máx).	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Peso Molecular:	ND	Viscosidad cinemática @ 40 °C mm ² /s	1.9 – 4.1 ^(B)
Temperatura de ebullición (°C):	275 (temp. 10% destilación) ^(B)	Color (ASTM D1500):	2.5 (máximo) ^(B)
Temperatura de fusión (°C)	ND	Olor:	Característico a hidrocarburo.
Temperatura de inflamación (°C):	45 (mínimo) ^(B)	Velocidad de evaporación:	ND
Temperatura de auto ignición (°C):	254 - 285 ^(A)	Solubilidad en agua (g/100ml@20°C)	Insoluble
Presión de vapor @ 21°C (kPa):	ND	% de volatilidad:	ND
Densidad:	< 1.0	Límites de explosividad inferior – superior:	0.6 – 6.5 ^(A)

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Medio de extinción:

- Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Bióxido de Carbono o espuma química.
- Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Equipo de protección personal para el combate de incendios:

- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último, proporciona solamente protección limitada.

Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:

- Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.
- Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido.
- Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo; de no ser posible, en función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción.
- Utilizar agua como lavado para retirar los derrames de las fuentes de ignición. Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retírese del área y deje que arda.
- Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas.
- Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.
- Retírese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.
- Manténgase siempre alejado de los extremos de los contenedores.

Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:

- Sus vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Pueden viajar a una fuente de ignición y regresar con flama.
- Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento del líquido.
- Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos del mismo, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

Productos de la combustión nocivos para la salud:

- La combustión de esta sustancia genera Monóxido de Carbono, Bióxido de Carbono y otros gases asfixiantes, irritantes y corrosivos.

SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD

Estabilidad.-

En condiciones normales esta sustancia es estable.

Incompatibilidad (sustancias a evitar).-

Evitar el contacto con fuentes de ignición y con oxidantes fuertes como: peróxidos, ácido nítrico y percloratos.

Descomposición en componentes o productos peligrosos:

Esta sustancia no se descompone a temperatura ambiente.

Polimerización espontánea / condiciones a evitar:

Esta sustancia no presenta polimerización.

^A Organización Internacional del Trabajo. International Chemical Safety and Health Information Centre. ICSC: 1561 (Diesel Fuel No. 2).

^B Hoja Técnica de Especificaciones. Subdirección de Producción, Especificación No. 323/2008.

**SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD****EFFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA:****Ingestión:**

- Produce inflamación y ardor, irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago.
- En caso de presentarse vómito severo puede haber aspiración hacia los bronquios y pulmones, lo que puede causar inflamación y riesgo de infección.

Inhalación:

- La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta, bronquios y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central.

Piel (contacto y absorción):

- El contacto frecuente puede causar ardor con enrojecimiento e inflamación.

Contacto con los ojos:

- El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación y/o quemadura de la córnea y/o conjuntiva, así como inflamación de los párpados.

EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA:

- En la piel el contacto prolongado puede causar inflamación, resequedad, comezón, formación de grietas y riesgo de infección secundaria.

CONSIDERACIONES ESPECIALES:

Sustancia cancerígena: NO * Especifique:
Sustancia mutagénica: ND
Sustancia teratogénica: ND
Otras * : ND

NOTAS:

- La **NOM-010-STPS-1999**, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral", no incluye al diésel.
- La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) clasifica al diésel como una sustancia "cancerígena en animales" (clasificación A3), puntualizando que: "El agente es cancerígeno en animales de experimentación a dosis relativamente alta, por vías de administración en órganos, tejidos o por mecanismos que no son considerados relevantes para el trabajador expuesto. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un aumento en el riesgo de cáncer en humanos expuestos. La evidencia sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en humanos excepto bajo vías o niveles de exposición poco comunes e improbables. Para los A3 se debe controlar cuidadosamente la exposición de los trabajadores por todas las vías de ingreso para mantener esta exposición lo más abajo posible de dicho límite".

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:

CL₅₀¹⁶ = ND DL₅₀¹⁷ = ND

Otra información:

ND

**PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:**

- El personal médico que atienda las emergencias debe tener en cuenta las características de las sustancias involucradas y tomar sus precauciones para protegerse a sí mismo.

Inhalación:

- En situaciones de emergencia, utilice equipo de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva para retirar inmediatamente a la víctima afectada por la exposición.
- Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.
- Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.
- ¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos.
- Mantenga a la víctima abrigada y en reposo.
- Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de diésel, deben trasladarse a una área libre de contaminantes donde respire aire fresco.
- Solicitar atención médica.

Ingestión:

- Mantener a la víctima abrigada y en reposo.
- Mantener a la víctima acostada de lado; de esta manera, disminuirá la posibilidad de aspiración de diésel a los bronquios y pulmones en caso de vómito .
- No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones.
- Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.
- Solicitar atención médica inmediatamente.

Contacto con la piel:

- Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados.
- Lavar la parte afectada con abundante agua, hasta que se eliminen los residuos del producto.
- Lavar ropa y calzado contaminados con diésel antes de utilizarlos nuevamente.
- Mantener a la víctima en reposo y abrigada para proporcionar una temperatura corporal normal.
- En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal o si la irritación persiste después del lavado, obtener atención médica inmediatamente.
- Las quemaduras requieren atención médica especializada en forma inmediata.

Contacto con los ojos:

- En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.
- Sostener los párpados de manera que se garantice una adecuada limpieza con agua abundante en el globo ocular.
- Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.

OTROS RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD:

- Las emanaciones de diésel son irritantes leves para los ojos, nariz y garganta.
- La exposición crónica puede resultar en dermatitis crónica.

DATOS PARA EL MÉDICO:

- El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.
- Si la cantidad de diésel ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado del estómago.
- En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de diésel hacia los bronquios y pulmones.
- Cuando la aspiración de vapores de diésel causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

ANTÍDOTO (DOSIS, EN CASO DE EXISTIR):

- No se tiene información.



SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Procedimiento, precauciones y métodos de mitigación en caso de fuga o derrame:

- **Llamar primeramente al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.**
- Eliminar todo tipo de fuentes de ignición cercana a la emergencia.
- No tocar ni caminar sobre el producto derramado.
- Detener la salida de producto (fuga) en caso de poder hacerlo sin riesgo.
- De ser posible, los recipientes que lleguen a derramarse (fugar) deben ser trasladados a un área bien ventilada y alejada del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición; el producto debe trasegarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.
- Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control; aislar el área de riesgo y prohibir el acceso al área de la emergencia.
- Permanecer fuera de las zonas bajas donde pueda acumularse el producto y ubicarse en un sitio donde el viento sople a favor.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En caso de fugas o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente especializado.
- En caso de ocurrir una fuga o derrame, aislar inmediatamente un área de por lo menos 50 metros a la redonda.
- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto para su disposición posterior. En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, deben ser a prueba de explosión.
- Ventile los espacios cerrados antes de entrar.
- Todo el equipo que se use para el manejo del producto, debe estar conectado eléctricamente a tierra.
- Los materiales contaminados por fugas o derrames, se deben considerar como residuos peligrosos si por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico o al ambiente.

Recomendaciones para evacuación:

- Cuando se trate de un derrame grande, considere una evacuación inicial a favor del viento de por lo menos 300 metros.
- En caso de que un tanque, carro tanque o auto tanque esté involucrado en un incendio, considere un aislamiento y evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

SECCIÓN IX. PROTECCIÓN ESPECIAL EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

- La selección del equipo de protección personal a utilizar dependerá de las condiciones que presente la emergencia.
- Donde es probable el contacto en los ojos repetido o prolongado, utilice gafas de seguridad con protección lateral.
- Si es probable el contacto con brazos, antebrazos y manos, es necesario utilizar mangas largas y guantes resistentes a productos químicos.
- Donde la concentración en el aire puede exceder los Límites Máximos Permisibles indicados en la sección III, y donde la ingeniería, las prácticas de trabajo u otros medios para reducir la exposición no son adecuados, puede ser necesario el empleo de equipos de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva aprobados para prevenir la sobre exposición por inhalación.
- No utilizar lentes de contacto cuando se trabaje con esta sustancia.
- En las instalaciones donde se maneja esta sustancia, deben colocarse estaciones de regadera-lavaojos en sitios estratégicos, las cuales deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.

Ventilación.-

- Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.
- Debe proveerse ventilación mecánica a prueba de explosión cuando se trate de espacios confinados.

SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

Número ONU :	1202	
Clase de riesgo de transporte :	Clase 3 "líquidos inflamables"	
Guía de Respuesta en caso de Emergencia:	Guía número 128	
<p>Colocar el cartel que identifica el contenido y riesgo del producto transportado, cumpliendo con el color, dimensiones, colocación, etc., dispuestos en la NOM-004-SCT/2000 y empleando cualquiera de los dos modelos que se muestran en el recuadro de la derecha.</p>		
<ol style="list-style-type: none"> Las unidades de arrastre de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben cumplir lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Las unidades de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben usar carteles de identificación; y deben portar el número con el que las Naciones Unidas clasifica al producto que se transporta. Estas indicaciones deben apegarse a los modelos que se indican en la NOM-004-SCT-2000. Antes de iniciar las operaciones de llenado, debe verificarse que el contenedor esté vacío, limpio, seco y en condiciones apropiadas para la recepción del producto. Todos los envases y embalajes; así como las unidades destinadas al transporte terrestre de productos peligrosos, deben inspeccionarse periódicamente para garantizar sus condiciones óptimas. Para fines de esta inspección, deben emplearse como referencia las Normas Oficiales Mexicanas aplicables de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre las que se puede citar la NOM-006-SCT2-2000. Esta Hoja de Datos de Seguridad de Sustancias, debe portarse siempre en la unidad de arrastre. 		

SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior.
- El suelo contaminado por fugas o derrames debe ser caracterizado y restaurado de acuerdo a lo establecido en la norma de restauración de suelos NOM-138-SEMARNAT/SS-2003.
- Los materiales contaminados por los trabajos de limpieza, requerirán tratamiento y/o disposición de acuerdo a lo establecido en la "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos".

SECCIÓN XII. INFORMACIÓN SOBRE MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- El personal no debe ingerir alimentos, beber o fumar durante el manejo de esta sustancia.
- El personal que emplea lentes de contacto, debe utilizar gafas de seguridad con protección lateral cuando manipula este producto.
- Se deben evitar temperaturas extremas en su almacenamiento; almacenar en contenedores resistentes cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.
- Se debe almacenar en contenedores con etiqueta; los recipientes que contengan esta sustancia, se deben almacenar separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.
- El almacenamiento de pequeñas cantidades de este producto, se debe realizar en contenedores resistentes y apropiados.
- La ropa y trapos contaminados, deben estar libres de este producto antes de almacenarlos o utilizarlos nuevamente.
- Los equipos empleados para el manejo de esta sustancia, deben estar debidamente aterrizados.
- No se debe emplear presión para vaciar los contenedores.
- Los recipientes que hayan almacenado esta sustancia, pueden contener residuos de él, por lo que no se debe presurizar, calentar cortar, soldar o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

**SECCIÓN XIII. INFORMACIÓN ADICIONAL****FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- NOM-010-STPS-1999, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral".
- NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo".
- "Reglamento de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos".
- NOM-004-SCT-2000 "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos".
- NOM-006-SCT2-2000 "Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos".
- Especificación No. 323/2008 "PEMEX-DIÉSEL UBA (1)", publicado por la Subdirección de Producción.
- NIOSH: "Pocket Guide to Chemical Hazards", "International Chemical Safety Cards".
- NFPA 325 "Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids". 1994
- OSHA: "Permissible Exposure Limits", 1988.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- | | |
|---|---|
| ¹ ONU: Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas. | ¹¹ IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud. (IDLH, siglas en inglés). |
| ² CAS: Número asignado por la Chemical Abstracts Service. | ¹² P: Límite Máximo Permissible de Exposición Pico. |
| ³ NFPA: National Fire Protection Association. | ¹³ S: Grado de riesgo a la Salud. |
| ⁴ SETIQ: Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química. | ¹⁴ I: Grado de riesgo de Inflamabilidad. |
| ⁵ CENACOM: Centro Nacional de Comunicación.(Protección Civil). | ¹⁵ R: Grado de riesgo de Reactividad. |
| ⁶ COATEA: Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales. | ¹⁶ E: Grado de riesgo Especial. |
| ⁷ SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. | ¹⁷ CL ₅₀ : Concentración Letal Media. |
| ⁸ GRE: Guía de Respuesta a Emergencia. | ¹⁸ DL ₅₀ : Dosis Letal Media. |
| ⁹ LMPE-PPT: Límite Máximo Permissible de Exposición Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA, siglas en inglés). | ¹⁹ CCAE: Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias. |
| ¹⁰ LMPE-CT: Límite Máximo Permissible de Exposición de Corto Tiempo (STEL, en inglés). | NA: No Aplica. |
| | ND: No Disponible. |

NIVEL DE RIESGO

	(S) RIESGO A LA SALUD	(I) RIESGO DE INFLAMABILIDAD	(R) RIESGO DE REACTIVIDAD	(E) RIESGO ESPECIAL			
	4	Fatal.	4	Extremadamente inflamable.	4	Puede detonar.	OXY
3	Extremadamente Riesgoso.	3	Inflamable.	3	Puede detonar pero requiere fuente de inicio.	ACID	Ácido.
2	Ligeramente Riesgoso.	2	Combustible.	2	Cambio químico violento.	ALC	Alcalino.
1	Riesgoso.	1	Combustible si se calienta.	1	Inestable si se calienta.	CORR	Corrosivo.
0	Material Normal.	0	No se quema.	0	Estable.	—W—	No use agua.
							Material Radiactivo.

CONTROL DE REVISIONES

REVISIÓN	FECHA	MOTIVO
1	12/09/2008	Elaboración de revisión 1.

Declaración:

Es responsabilidad del comprador juzgar si la información aquí contenida es adecuada para sus propósitos. PEMEX Refinación no asume ninguna responsabilidad por cualquier daño resultante del uso incorrecto del producto o de cualquier peligro inherente a la naturaleza del mismo.

SUSTANCIAS HÚMICAS

Las Sustancias Húmicas fueron proporcionadas por la Universidad Autónoma de Chapingo, mima donde son producidas.



Figura 74 Canales de lombricomposta formada por lombriz roja Californiana (*Eisenia foetida*)



Figura 75 Lombricomposta



Figura 76 Lombriz roja Californiana (*Eisenia foetida*)



Figura 77 Lixiviados de la lombricomposta (Sustancias Húmicas)



Figura 78 Tanque de almacenamiento de las Sustancias Húmicas



Figura 79 Sustancias Húmicas

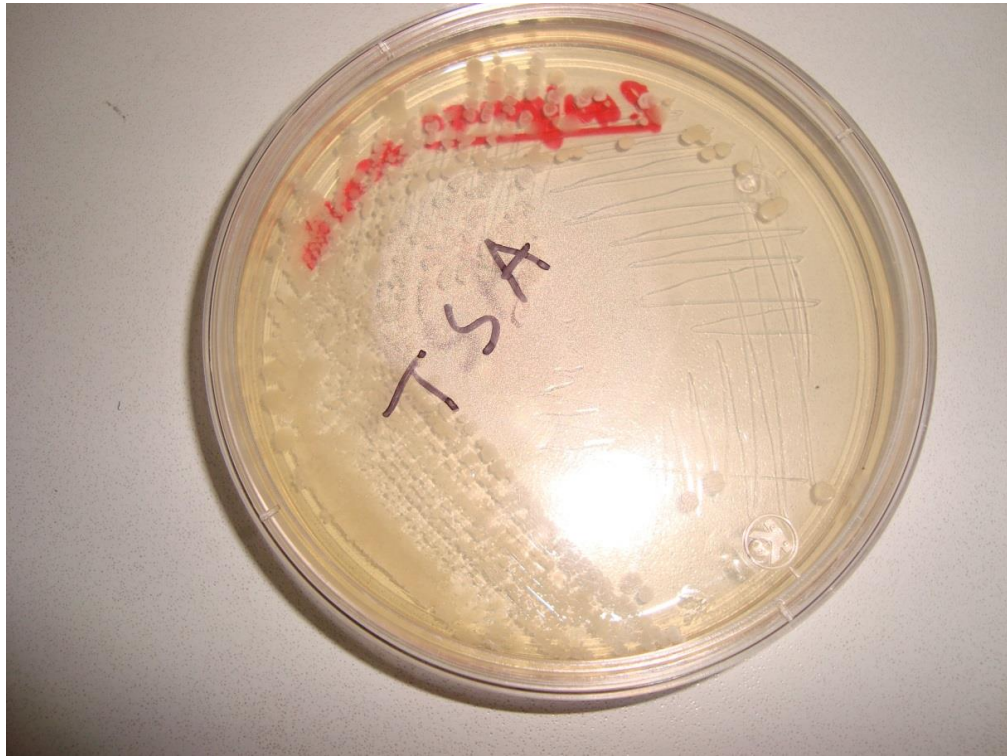


Figura 80 Cultivo de Bacterias del genero *Pseudomona* Sp.



Pemex realizará acciones inmediatas para restablecer las condiciones seguras en los pozos que se encontraban bloqueados en Tabasco

Boletines nacionales

20/08/2014 | 82

Villahermosa, Tab.- Tras la liberación de los accesos a las instalaciones petroleras en los municipios tabasqueños de Centro, Nacajuca y Jalpa de Méndez, derivado de las reuniones entre autoridades de Pemex, representantes de estas comunidades y del gobierno de Tabasco, Petróleos Mexicanos realizará una serie de acciones inmediatas encaminadas a restablecer las condiciones seguras para la operación de los pozos Sen, Terra y Navegante.

Entre las principales labores que se efectuarán en instalaciones y pozos del Activo de Producción Samaria Luna se incluyen las siguientes:

- El aseguramiento operativo del pozo Navegante 4
- La evaluación de caminos y accesos a instalaciones y pozos
- La reactivación de pozos intervenidos en etapa de perforación y reparación con equipo especializado
- La reactivación del programa de mantenimiento a medios árboles de producción en los pozos
- La revisión de la instalación de la Batería Sen
- La reactivación del programa de mantenimiento e inspección de la red de ductos

Cabe mencionar que dichas acciones se realizarán en estricto apego a la política de seguridad y principios del Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA) de Pemex.

Última modificación 20/08/2014 19:34 Pemex [#pemex](#)

http://www.pemex.com/prensa/boletines_nacionales/Paginas/2014-082_nacional.aspx#.VBDM15R5OYI



Glosario

Aerobio: Organismo que necesita respirar oxígeno para vivir o desarrollarse.

Anaerobio: Organismo Que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno

Biorremediación: a cualquier proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural.

Contingencia ambiental: Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas

Derrame: Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos u otras sustancias peligrosas, en estado líquido, que se presenten en tierra y/o cuerpos de agua

Diésel: gasóleo o diésel, también denominado gasoil, es un hidrocarburo líquido, compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en calefacción y en motores diésel.

Hidrocarburos: Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.

Lixiviado: Líquido proveniente de residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

mpc: millones de pies cúbicos

Petróleo: Líquido natural oleaginoso e inflamable, constituido por una mezcla de hidrocarburos, que se extrae de lechos geológicos continentales o marítimos. Mediante diversas operaciones de destilación y refinado se obtienen de él distintos productos utilizables con fines energéticos o industriales, como la gasolina, la nafta, el queroseno, el gasóleo, etc.

Sitio: Lugar, espacio, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos, relacionados con suelos contaminados por materiales y residuos peligrosos.

Efluentes: Descarga de contaminantes al ambiente, parcial o totalmente tratados o en su estado natural; este término es generalmente usado para la descarga de aguas residuales a ríos, lagos o cuerpos de agua en general.

Emergencia ambiental: Evento o circunstancia indeseado, que ocurre repentinamente y que resulta en la liberación no controlada, incendio o explosión de una o varias sustancias peligrosas para el ambiente y/o la salud humana, de manera inmediata o a largo plazo.



Riesgo ambiental: La probabilidad de que las personas físicas o morales, a través de sus actividades, procesos o accidentes durante los mismos, afecten adversamente a los ecosistemas, o el bienestar, integridad y salud de la población

Medio ambiente: Sistema global constituido por elementos naturales, artificiales, físicos, químicos o biológicos, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la naturaleza o la existencia y desarrollo de la vida en sus diversas manifestaciones.

Agua: Líquido inodoro, incoloro e insípido, ampliamente distribuido en la naturaleza. Representa alrededor del 70% de la superficie de la Tierra. Componente esencial de los seres vivos.

Ambiente: Es el conjunto de fenómenos o elementos naturales y sociales que rodean a un organismo, a los cuales este responde de una manera determinada. Estas condiciones naturales pueden ser otros organismos (ambiente biótico) o elementos no vivos (clima, suelo, agua). Todo en su conjunto condiciona la vida, el crecimiento y la actividad de los organismos vivos.

Degradación: Descomposición de una sustancia por rotura de los enlaces que unen los elementos químicos que la forman. Puede producirse por la acción del oxígeno, la luz, el calor y ciertos microorganismos.