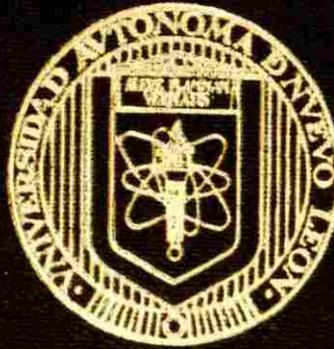


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**BIORREMEDIACION DE AGUAS CONTAMINADAS
CON HIDROCARBUROS**

**POR
RAMIRO GARZA MOLINA**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERIA AMBIENTAL**

ENERO 1998

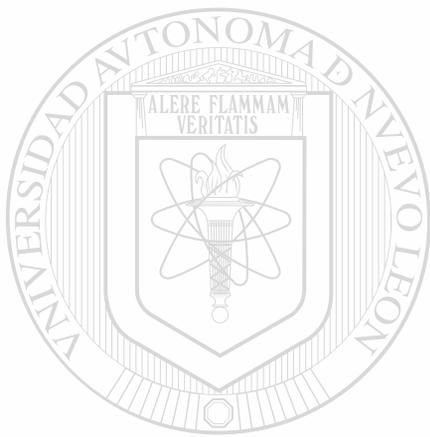
TM

TD427

.H93

G3

c.1



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

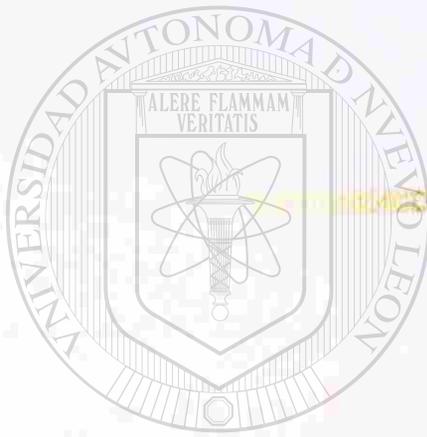
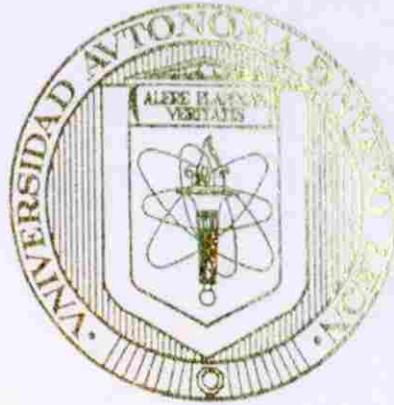


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

11137

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS

CON HIDROCARBUROS

UANL

Por

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

RAMIRO GARZA MOLINA

®

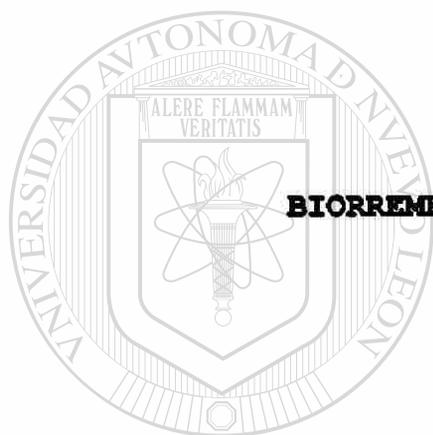
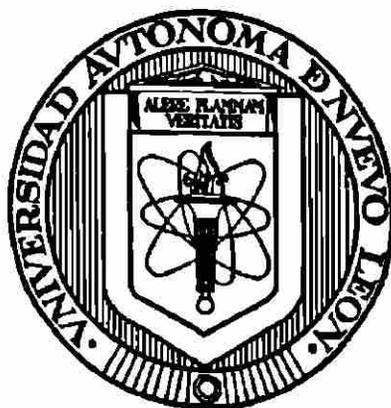
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental

Enero, 1998

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS

CON HIDROCARBUROS

Por

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

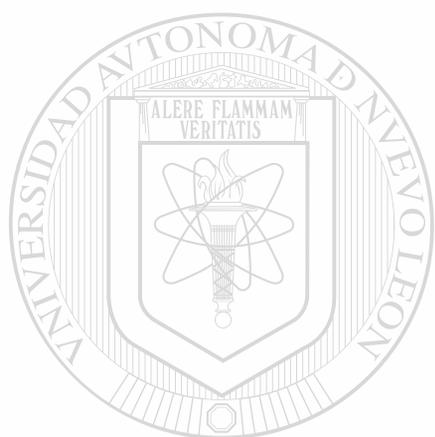
RAMIRO GARZA MOLINA

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental**

Enero, 1998



UANL

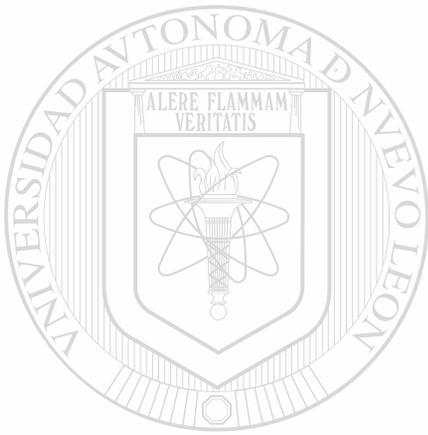
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



TM
TD 427
• H93
G3

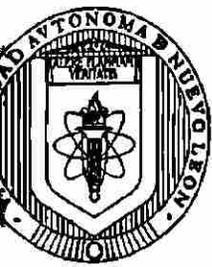


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

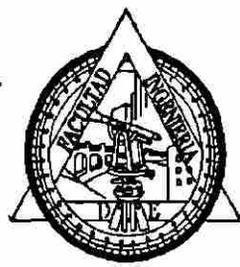
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL U.A.N.L.
SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**Biorremediación de Aguas Contaminadas
con Hidrocarburos**

Aprobación de la Tesis:

Asesor Interno de la Tesis

M.C. Martha L. Herrejón Figueroa

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Asesor Externo de la Tesis

M.C. Maribel Leal Castillo

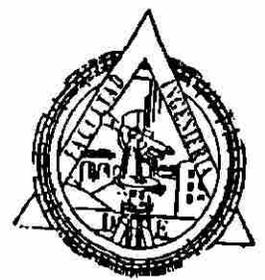
Secretario de Estudios de Postgrado

Ing. Oscar M. Robles Sanchez





FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, U.A.N.L.
SECRETARIA DE POSTGRADO



COMPROBANTE DE CORRECCION.

Tesista : GARZA MOLINA RAMIRO

Tema de la tesis : BIORREMEDIACION DE AGUAS CONTAMINADAS
CON HIDROCARBUROS

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA
del trabajo de tesis arriba indentificado, en los aspectos : ortográfico,
metodológico y estilístico

Recomendaciones adicionales:

NINGUNA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Nombre y firma de quien corrigió :

ARQ. RAMON LONGORIA RAMIREZ



El Secretario de Postgrado :

Ing. Oscar M. Hobles Sanchez
SECRETARIA DE ESTUDIOS
DE POSTGRADO



Ciudad Universitaria, a 21 de ENERO de 1998.

Monterrey, N.L. a 15 de Dic. de 1997

ING. OSCAR MANUEL ROBLES SÁNCHEZ
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Estimado Ing. Robles:

Por medio de la presente, solicito la tramitación correspondiente, para sustentar mi examen de grado, ya que he concluido con la elaboración de mi tesis, la cual lleva por nombre: "Biorremediación de Aguas contaminadas con Hidrocarburos".

La aprobación de la tesis en cuanto a la parte teórica, fué de mi asesor interno, la M.C. Martha L. Herrejón Figueroa y de mi asesor externo, la M.C. Maribel Leal Castillo y en cuanto a la parte de estilo y ortografía, fué el Arq. Ramón Longoria Ramírez.

Atentamente



Q.I. Ramiro Garza Molina



Monterrey, N.L. a 15 de Dic. de 1997

ING. OSCAR MANUEL ROBLES SÁNCHEZ
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

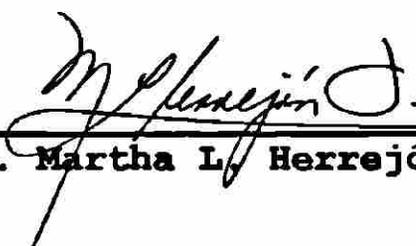
Estimado Ing. Robles:

Por este conducto me permito comunicar a usted, que el Sr. Q.I. Ramiro Garza Molina, pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su tesis titulada "Biorremediación de Aguas Contaminadas con Hidrocarburos", por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Examen de Grado, con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución. He de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de el trámite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo de Usted, agradeciendo de antemano la atención.

Atentamente




M.C. Martha L. Herrejón Figueroa

Monterrey, N.L. a 21 de Ene. de 1998

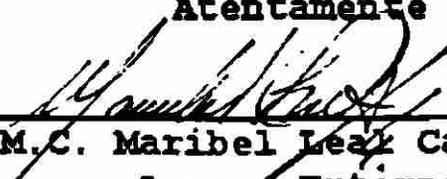
ING. OSCAR MANUEL ROBLES SÁNCHEZ
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Estimado Ing. Robles:

Por este conducto me permito comunicar a usted, que el Sr. Q.I. Ramiro Garza Molina, pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su tesis titulada "Biorremediación de Aguas Contaminadas con Hidrocarburos", por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Examen de Grado, con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución. He de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de el trámite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo de Usted, agradeciendo de antemano la atención.

Atentamente


M.C. Maribel Leal Castillo
Asesor Externo



PRÓLOGO

Uno de los riesgos ambientales asociados al crecimiento, es el uso intensivo de productos químicos que son precursores de residuos peligrosos; de los cuales, algunos tienen características de peligrosidad para la salud humana y para los ecosistemas. La preocupación por las sustancias químicas potencialmente tóxicas, se centra en aquellas que poseen propiedades de alta toxicidad, de persistencia ambiental, o de bioacumulación. La mayoría de ellas son generadas por las actividades productivas.

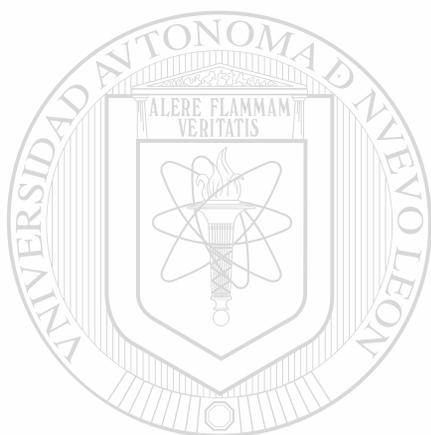
Una vez en el ambiente, los contaminantes tóxicos pueden ser ingeridos y retenidos en altas concentraciones por los organismos vivos, ocasionándoles serios trastornos, incluso la muerte. Si esa toxicidad se encuentra en bajas concentraciones, puede causar efectos subletales, como la reducción del tiempo de vida de ciertas especies o el incremento de la susceptibilidad a enfermedades.

Sin lugar a dudas, una de las consecuencias más graves y de mayor preocupación que pueden generar las malas prácticas por la disposición de los residuos peligrosos, es la afectación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En el primer caso, la contaminación se produce al infiltrarse el agua de lluvia a través de los residuos depositados en barrancas, cauces de ríos, o tiraderos al aire libre; posteriormente, con su carga contaminante, hacia los cuerpos de agua ubicados en las vertientes. En el caso de los recursos hídricos subterráneos, la contaminación se da por un proceso similar, el agua de lluvia se percola por los desechos que contienen la carga contaminante y migra al acuífero.

Podemos decir que la mejor forma de evitar todos estos problemas, sería evitar los malos manejos desde su origen; pero como todos los días suceden accidentes o derrames, por la actividad del hombre, la biorremediación es una alternativa que se tiene que considerar como viable para esta situación, empleando los microorganismos nativos, dándoles las condiciones necesarias para su reproducción y el aprovechamiento del hidrocarburo como su fuente de carbono, y a la vez, evitar el impacto posible por

materiales y organismos extraños, en los lugares donde suceden los accidentes o derrames.

Por lo anterior, se colige que la presente investigación es importante y útil.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, que sin su apoyo, hubiera sido imposible cursar la maestría.

A la M.C. Martha L. Herrejón Figueroa por haber aceptado asesorarme y por todas las recomendaciones que me hizo en el trabajo de tesis.

Al Secretario de Postgrado del Instituto de Ingeniería Civil, Ing. Oscar M. Robles.

Al Ing. Benjamín Limón R. Jefe del Depto. de Ing. Ambiental.

Al M.C. Ing. Humberto Filizola H. Rector de la U.A.T. por las facilidades que me dio para cursar la maestría.

Al M.C. Ing. José A. Suárez F. Director de la Unidad Académica Reynosa-Rodhe, por todo el apoyo y la paciencia que me tubo.

Al Dr. Antonio Hinojosa del Corporativo CYDSA, por todo el apoyo y la ayuda incondicional. Pocos como él.

A la I.Q. Josefa Sepúlveda de la Universidad Regiomontana, por su accesibilidad y atención, siempre amable.

A todos mis maestros de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ing. Civil.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Dedicada a mi Esposa Maribel y mis Hijos Samuel y David

Qué profundo, tan extenso, ¿Quién dirá las maravillas
Es, Señor, Tu amor sin par! que logró Tu amor en mí?
Mas allá de lo insondable, La más grande maravilla
Más profundo que la mar! Es tenerte siempre en mí.
Te causó sufrir la muerte, Yo tu ser he recibido
E impartir en mí Tu ser; Por completa provisión;
Tal amor! Que en ti me Como vida te disfruto,
injerta, Tus riquezas mías son.
Parte Tuya me hace ser.

Tu amor, Señor, expresa,

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Tu Persona divinal,

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A mi vida da sentido,

La armoniza con Tu plan.

Gracia toda-suficiente,

Cada día es mi porción;

Gusto siempre Tu dulzura,

Y de todo Tu favor.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN.....	1
	1.1 Justificación.....	6
	1.2 Hipótesis.....	11
	1.3 Objetivo General.....	12
	1.4 Objetivos Específicos.....	13
	1.5 Meta.....	14
2	LA BIORREMEDIACIÓN.....	15
	2.1 Antecedentes.....	15
	2.2 Metabolismo Aeróbico.....	22
	2.3 Necesidades Nutricionales de los Microorganismos.....	31
	2.3.1 Fuentes de Energía y Sustrato.....	31
	2.3.2 Procesos Enzimáticos.....	32
	2.3.3 Biodegradabilidad del Sustrato.....	35
	2.3.4 Inhibición y Toxicidad.....	37
	2.3.5 Población Microbiana.....	38
	2.4 Necesidades Ambientales de los Microorganismos.....	39
	2.4.1 Parámetros Técnicos y Ambientales.....	39
	2.4.1.1 Aceptor Electrónico.....	40
	2.4.1.2 Humedad.....	42
	2.4.1.3 Temperatura.....	43
	2.4.1.4 pH.....	44
	2.4.1.5 Sólidos Disueltos Totales..	45
	2.4.1.6 Disponibilidad de los Nutrientes.....	45
	2.4.1.7 Diseño del Reactor.....	47
	2.5 Biorrecuperación In Situ.....	49
	2.6 Propiedades del Aceite Usado.....	53
	2.6.1 Propiedades Químicas.....	55
	2.7 El Impacto en el ambiente y en la la Salud.....	59

2.7.1	El Impacto Ambiental.....	60
2.7.2	Impacto Socio-económico.....	62
2.8	Evaluación del Riesgo.....	67
2.8.1	Migración o transporte de los Residuos Peligrosos.....	68
2.8.2	Los Residuos Peligrosos En la Geósfera.....	71
2.8.3	Los Residuos Peligrosos En la Hidrósfera.....	72
2.8.4	Los Residuos Peligrosos En la Atmósfera.....	73
2.8.5	Los Residuos Peligrosos En la Biosfera.....	75
2.9	Marco Legal.....	77
2.9.1	Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos.....	88
3	MÉTODO.....	97
4	RESULTADOS.....	111
5	DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	134
6	RECOMENDACIONES.....	138
7	MEMORIA DE CÁLCULO.....	140 [®]
	ANEXOS.....	162
	GLOSARIO.....	185
	BIBLIOGRAFÍA.....	188



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

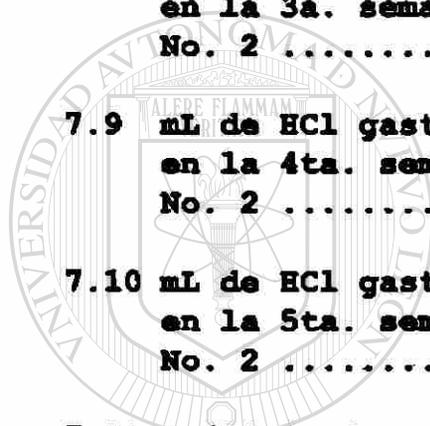
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
2.1 Clasificación nutricional de los Microorganismos.....	32
2.2 Propiedades del aceite automotriz usado y nuevo.....	54
2.3 Concentración de los constituyentes potencialmente peligrosos en aceite nuevo y usado.....	56
2.4 Ejemplo de posibles impactos ambientales.....	61
2.5 Ejemplo de posibles impactos económicos.....	62
3.1 Medio mineral No. 2	105
<hr/>	
3.2 Medio mineral nutritivo No. 2	109
4.1 Características coloniales y microscópicas de microorganismos desarrollados a partir de una muestra de aceite industrial	112
4.2 Características coloniales y microscópicas de microorganismos desarrollados a partir de una muestra de aceite automotriz.....	112
4.3 Características coloniales y microscópicas de organismos desarrollados a partir de una muestra de asuelo impactado.....	113
4.4 Producción de CO ₂ en tres tipos de muestras promedio en el medio mineral No. 1 durante cinco semanas.....	118
4.5 Actividad metabólica promedio, en el	

medio mineral No. 1, de las diferentes muestras de aceite, expresada en mg/L de CO ₂ , tomada durante cinco semanas.....	119
4.6 Porcentaje de degradación de aceites lubricantes mediante la estimulación de flora microbiana nativa con el medio mineral No. 1.....	120
4.7 Producción de CO ₂ promedio en el medio mineral No. 2 durante cinco semanas.....	124
4.8 Actividad metabólica promedio, en el medio mineral No. 2, de las diferentes muestras de aceite, expresada en mg/L de CO ₂ , tomada durante cinco semanas.....	125
4.9 Porcentaje de degradación de aceites lubricantes mediante la estimulación de flora microbiana nativa con el medio mineral No. 2.....	126
4.10 Análisis realizados a los diferentes tipos de aceite antes de iniciar el tratamiento de biorremediación.....	130
4.11 Análisis realizados a los diferentes tipos de aceite después del tratamiento de biorremediación.....	131
4.12 Unidades Formadoras de Colonias por tipo de aceite.....	133
7.1 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 1a. semana en el medio mineral No. 1	147
7.2 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 2da. semana en el medio mineral No. 1	148
7.3 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 3er. semana en el medio mineral No. 1	149
7.4 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH	

en la 4ta. semana en el medio mineral No. 1	150
7.5 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 5ta. semana en el medio mineral No. 1	151
7.6 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 1er. semana en el medio mineral No. 2	152
7.7 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 2da. semana en el medio mineral No. 2	153
7.8 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 3a. semana en el medio mineral No. 2	154
7.9 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 4ta. semana en el medio mineral No. 2	155
7.10 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 5ta. semana en el medio mineral No. 2	156
7.11 Análisis de varianza de la producción de CO ₂ promedio en el medio mineral No. 1 de las tres muestras de aceite.....	157
7.12 Análisis de varianza de la producción de CO ₂ promedio en el medio mineral No.2 de las tres muestras de aceite....	158
7.13 Análisis bifactorial entre la producción de CO ₂ en el medio mineral No. 1 y el medio mineral No. 2	160



UNANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

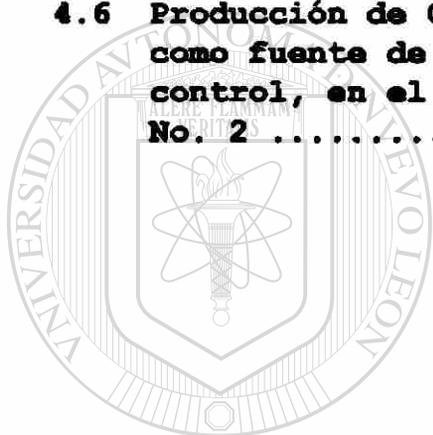
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1 Requerimientos para la Biorremediación	21
2.2 Ilustración de las reacciones de la Fase I	24
2.3 Ilustración de las reacciones de la Fase II	25
2.4 Oxidación de n-alcenos por el ataque en el grupo metilo terminal	28
2.5 Oxidación de un hidrocarburo alifático por un ataque subterminal ...	29
2.6 Formas potenciales de degradación para un 1-alceno	30
2.7 Generación estimada de Residuos Peligrosos por ramo industrial	65
2.8 Efectos de los Residuos Peligrosos en el ambiente y la salud	66
3.1 Respirómetro tipo Bartha.....	104
4.1 Producción de CO ₂ en Aceite industrial como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1	121
4.2 Producción de CO ₂ en Aceite automotriz como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1	122

4.3 Producción de CO2 en Suelo impactado como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1	124
4.4 Producción de CO2 en Aceite industrial como fuente de carbono comparado con un control, en el medio mineral No. 2	127
4.5 Producción de CO2 en Aceite automotriz como fuente de carbono comparado con un control, en el medio mineral No. 2	128
4.6 Producción de CO2 en Suelo impactado como fuente de carbono comparado con un control, en el medio mineral No. 2	129



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

RESUMEN

Ramiro Garza Molina

Fecha de Graduación: Enero, 1998

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título de Estudio: **BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS
CONTAMINADAS CON
HIDROCARBUROS**

Número de páginas: 192

Candidato para el grado
de Maestría en Ciencias
con especialidad en
Ingeniería Ambiental

Área de Estudio: Biológica-Ambiental

Propósito y Método del Estudio: La escasez de agua en el área metropolitana de Monterrey, hace indispensable el uso de las aguas residuales. El desarrollo industrial, y urbano basado en la utilización de hidrocarburos, ha propiciado la contaminación de estas aguas de desecho. En el presente trabajo se aprovechó la capacidad microbiana para la degradación de hidrocarburos (aceites lubricantes) procedentes de tres áreas de muestreo: Un depósito de aceite automotriz usado, aceite industrial gastado y un suelo impactado con aceite. Se evaluó la capacidad hidrocarburofítica de la flora nativa de cada muestra mediante métodos indirectos: captación de CO_2 en álcali y cuantificación de grasas totales mediante el método de Soxhlet. Se probaron 2 concentraciones diferentes de minerales y nutrientes, una en condiciones microaerofílicas y otra con adición de peróxido. El medio mineral No. 2 generó mayores cantidades de CO_2 , y porcentajes más altos de degradación. El análisis realizado confirmó la eficiencia del medio mineral nutritivo No. 2.

Contribuciones y Conclusiones: Los resultados del presente trabajo puedan tomarse como base para implantar técnicas adicionales en las plantas de tratamiento de aguas residuales con descargas industriales y urbanas ricas en aceites residuales. Representa también una alternativa para las industrias y talleres automotrices que generan grandes cantidades de aceite residual, antes de optar por el confinamiento, ya que esto solo guarda el problema para las generaciones futuras, mientras que la biorremediación acelera el proceso natural de integración al ambiente sin dañarlo.

FIRMA DEL ASESOR:



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El impacto del crecimiento poblacional, el económico y el de las continuas sequías en la región, han incrementado significativamente la concientización sobre las limitaciones de los recursos acuíferos. Un punto que se ha descuidado, no obstante las continuas campañas del uso racional del agua, es el evitar su contaminación, principalmente por aceites residuales.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Los aceites residuales se consideran también desechos peligrosos y pueden provenir de dos fuentes: las industrias que los llevan a confinamiento y los talleres que se dedican al cambio de aceite de los automóviles (40, 48).

Un grave problema de las grandes ciudades industrializadas es la escasez de agua; pues, por utilizar la que poseen para sus necesidades básicas, es común observar que los campos agrícolas sean regados con aguas

negras que, además de contener algunos residuos orgánicos de la población y algunos productos generados por la industria, acarrean grandes cantidades de aceites residuales procedentes de los talleres automotrices. (13)

Según un cálculo estimativo, un taller de servicio de lavado y engrasado, en promedio, recibe 15 autos en un día; de los cuales, a cada uno le corresponden 4 litros de aceite lo cual da un total de 60 litros diarios de desecho. Si esta cantidad se multiplica por el número de talleres del área urbana, resultarían cantidades enormes. La importancia de controlar los desechos de aceite radica en que tan sólo con un litro de éste se pueden contaminar 250 mil litros de agua, o formar una película sobre una extensión de cuatro mil metros cuadrados del vital líquido; además, los lubricantes y los aceites, en los cuerpos de agua o el drenaje sanitario, pueden alterar los procesos de potabilización y de tratamiento de las aguas domésticas. (13,40)

De acuerdo con informes proporcionados por la subsecretaría de Ecología del estado de Nuevo León, entre las descargas químicas procedentes de las aguas residuales, en 1994 se arrojaban 16,174 toneladas diarias de grasa y

aceite. En ese tiempo ya excedían los límites; así, por ejemplo, el río Pesquería se ha utilizado por mucho tiempo como vertedero clandestino de aguas negras de la Zona Metropolitana de Monterrey; afortunadamente, ahora las aguas residuales son conducidas a una planta de tratamiento, para que lleguen a la presa Marte R. Gómez, donde se utilizan para el riego agrícola del noreste de Nuevo León y Tamaulipas; sin embargo, no todas las ciudades tienen la capacidad económica para tratar sus aguas residuales antes de ser utilizadas para el riego, de modo que los hidrocarburos pueden acumularse y esto disminuye la cantidad de suelo agrícola productivo (48).

Una posible solución biológica es la aplicación de microorganismos del suelo, donde se encuentran miles de millones de bacterias, hongos, y protozoarios por gramo, los cuales, por adaptación, pueden desarrollar la capacidad para degradar ciertos compuestos recalcitrantes que se generan en las aguas residuales de las industrias, así como algunos desechos de las refinerías, combustibles, y derrames en tanques de almacenaje.

No hace mucho tiempo que algunos compuestos peligrosos se consideraban recalcitrantes por su resistencia inherente

a cualquier biodegradación. En la última década, ha habido un aumento de interés en el metabolismo de los microorganismos de compuestos xenobióticos (compuestos sintéticos o no naturales). Si los organismos pueden degradar esos compuestos, ¿por qué existe la contaminación a largo plazo? La respuesta a esta pregunta es la llave para la aplicación exitosa de la biorremediación.

Los compuestos peligrosos persisten debido a que las condiciones ambientales no son apropiadas para que la actividad microbiana se convierta en una suficiente degradación bioquímica. La optimización de las condiciones ambientales se logra entendiendo los principios biológicos bajo los cuales esos compuestos pueden ser degradados, y el efecto de las condiciones ambientales, son los responsables del metabolismo de los microorganismos y sus reacciones catalizadas.

La Biorremediación ha estado limitada por varias razones: primero, se creía que muchos compuestos eran resistentes a la biodegradación; segundo, las grandes deficiencias existentes en la investigación científica sobre las interacciones de bioquímica microbiana; tercero, la profesión de ingeniero contribuyó al problema, debido a

la falta de conocimiento de los procesos biológicos. Desafortunadamente, ésta falta de conocimiento de los procesos biológicos, sostuvo el mal concebido concepto de que los sistemas biológicos son incontrolables e impredecibles. Esta actitud no es nueva y siempre ha inferido en la profesión ambiental, guiando a aplicar tratamientos fisicoquímicos, que no han hecho sino transferir el problema de un esquema a otro. (8)

Consecuentemente, se tienen por lo menos dos retos:

- Primero: prevenir el deterioro del medio ambiente, causado por el mal manejo en el pasado y,
- Segundo: resolver precisamente esos problemas, usando técnicas simples y prácticas, como la biorremediación;

aplicables a esta situación; pero que cumplan con la legislación, tanto nacional como internacional. ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.1 JUSTIFICACIÓN

Durante décadas no se consideró que la industrialización, además de propiciar el bienestar para la población, producía también una degradación de los sistemas naturales, degradación que finalmente alteraría el anhelado bienestar. Al respecto, es impresionante el hecho de que el consumo mundial de energía ha provocado la acumulación de toneladas de gases en la atmósfera.

En la actualidad, no existe fuente energética alguna que no implique un costo ambiental. Los combustibles fósiles continúan siendo, con mucho, la principal fuente de energía utilizada en los procesos industriales.

En México se estima una generación de ocho millones de toneladas por año de residuos peligrosos. No se sabe cuántas toneladas acumuladas existen. La infraestructura existente para su manejo es muy limitada; se estima que sólo se controla adecuadamente el 12% de los residuos peligrosos generados en México.

Tradicionalmente, desde el inicio de industrialización en México, la industria minera, la química básica, y la petroquímica y de refinación del petróleo, han producido cantidades muy grandes, y muy difíciles de cuantificar, de residuos peligrosos. En muchos casos éstos han sido depositados abiertamente en el suelo sin ningún tipo de control. Esto ha planteado importantes riesgos para la población o bien generado riesgos de contaminación de acuíferos por la lixiviación de los contaminantes. (34)

En los últimos años ha comenzado a cobrar peso el punto de vista de acuerdo con el cual el desarrollo económico debe satisfacer necesidades actuales, sin comprometer por ello el futuro. Únicamente un desarrollo de este tipo puede ser llamado sostenido en un sentido amplio.

Se debe hacer énfasis en que no se debe abusar del procedimiento de incinerar cualquier material, como lo han hecho otros países. La preocupación de algunas emisiones a la atmósfera, inclusive las que se consideran prácticamente inertes como el CO₂, producen efectos dañinos, tales como el efecto invernadero y el calentamiento global. Además de eso, queda una ligera contaminación que ya no es responsabilidad del generador, sintiéndose libre del

problema; pero, en general, se están mandando contaminantes a un ambiente común a todos.

Dentro de las actividades desarrolladas en la actualidad para el control de los residuos peligrosos, se encuentran los siguientes:

- El confinamiento
- El reciclaje de solventes
- El reciclaje de aceites
- El reciclaje energético de residuos combustibles
- La exportación de aceites contaminados con BPC's
- El reciclaje de residuos con elementos metálicos.

El método más utilizado para controlar el impacto ambiental del uso de los energéticos, es la regulación administrativa, que generalmente impone costos desiguales de control entre los contaminadores, los usuarios y los afectados. A fin de cuentas, el que paga es el consumidor, que al utilizar un servicio o producto, lleva un valor agregado por el costo ambiental; aunque estos son sólo paliativos, no resuelven el problema de fondo, tanto en la

prevención como el los lugares donde ya se ha impactado un lugar, en caso de un derrame o un accidente.

Por otro lado, la presencia prolongada de los contaminantes en los suelos ha ocasionado que muchas bacterias ahí presentes hayan desarrollado la capacidad bioquímica para degradarlos. Esta capacidad es precisamente la base de las tecnologías de biorremediación. Esta se presenta como una alternativa muy atractiva para la limpieza de los suelos y los acuíferos.

En general, la justificación de utilizar la biorremediación como la mejor alternativa para México, es patente porque:

- Los contaminantes son realmente transformados y algunos completamente biodegradados
- Se utilizan bacterias cuyo hábitat natural es el suelo, sin introducir otros elementos potencialmente peligrosos
- Es una tecnología segura y económica
- El suelo puede ser reutilizado
- Las bacterias mueren cuando los nutrientes y los contaminantes orgánicos se agotan. (8)

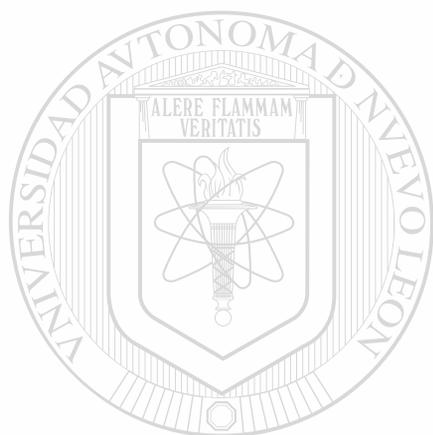
Con todo, lo que se pretende es garantizar la protección del equilibrio ecológico necesario para mejorar las condiciones de calidad de vida de la población presente y futura del país, previniendo los efectos y los riesgos al ambiente, provocados por la generación de contaminantes, así como por el manejo, almacenamiento y transporte de materiales considerados como peligrosos.

Se debe tomar en cuenta el costo ambiental que la explotación de cada una de las fuentes de energía implica, al momento de diseñar un sistema de desarrollo sostenido. Es necesario recordar, además, que el costo ambiental lleva implícito un costo sobre el bienestar humano. Está visto que el control de la contaminación tiene un alto costo social y una baja ganancia ambiental; por lo tanto, es preferible prevenir que remediar la contaminación.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.2 HIPÓTESIS

La capacidad microbiana para la degradación de hidrocarburos puede ser empleada en la biorremediación de aguas contaminadas con estos compuestos.



UANL

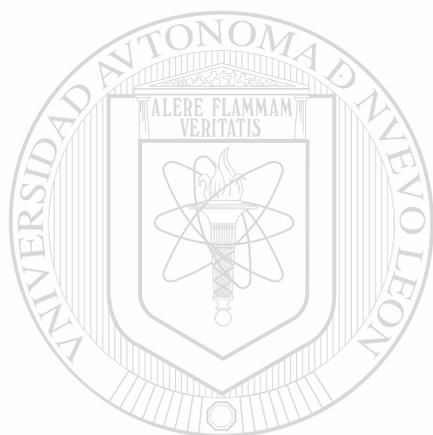
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.3 OBJETIVO GENERAL

Cuantificar el efecto que en la biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos corresponde a ciertos microorganismos de alta eficiencia en esa tarea



UANL

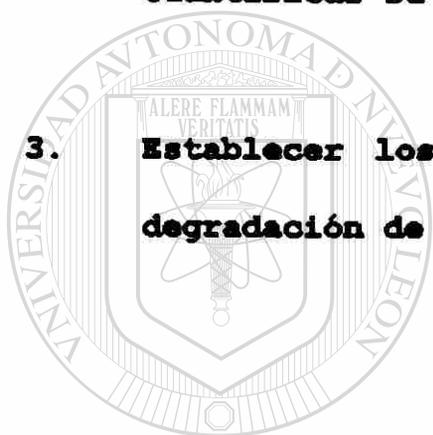
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. **Identificar los microorganismos morfológicamente.**
2. **Seleccionar y aislar esos microorganismos para cuantificar su actividad biorremediadora.**
3. **Establecer los factores óptimos para que se dé la degradación de hidrocarburos por microorganismos.**



UANL

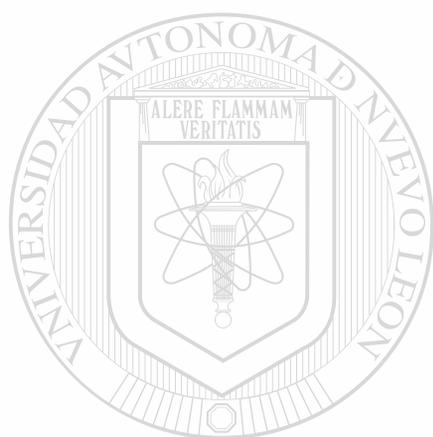
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.5 META

Establecer los parámetros necesarios para que se lleve a cabo la biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPÍTULO 2

LA BIORREMEDIACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

Es indudable que la calidad de vida en general, mejoró notablemente después de la Revolución Industrial y, hasta el momento, se sigue considerando que los beneficios por el uso masivo de energéticos sobrepasa los riesgos asociados. Esta visión está cambiando, dadas las dimensiones y las características de los riesgos a los cuales se puede enfrentar la humanidad en un futuro cercano, por el uso indiscriminado de los energéticos; por lo tanto, el punto a discusión, tanto en el nivel nacional como en el internacional, es cuantificar la relación costo/beneficio asociada con el uso de las diferentes fuentes de energía, y detectar la forma más apropiada para incrementar la producción de energía, en el caso de que ello fuese necesario.

Es de esperarse que no se encuentren compañías dispuestas a invertir en investigación y tecnología, que compita en precio con las prácticas inconscientes y sin restricción, tales como: la del tiradero a cielo abierto o la de arrojar los desechos a las aguas; prácticas cuyo costo es "aparentemente" bajo o nulo; pero que, a la larga implican que, el medio ambiente cobre su factura a un precio altísimo y, definitivamente, un precio que se habrá de pagar. (14)

El uso de combustibles derivados del petróleo, al oxidarse, libera al ambiente residuos tóxicos para casi todas las formas de vida. Antes esto no parecía complicado; pues se creía que el "progreso" era sinónimo de bienestar social general; sin embargo, cuando la velocidad de producción de residuos supera a la velocidad de integración de los mismos en el ambiente, surge el fenómeno llamado contaminación. Se puede observar la contaminación en todas sus modalidades: del aire, del agua y del suelo; pues el "progreso" se ha convertido en un sinónimo de daño ecológico. (6,21)

Un ejemplo de expansión de residuos peligrosos es el de los bifenilos policlorados, o BPC, que comprenden un

grupo de posiblemente 209 hidrocarburos clorados aromáticos. Su fabricación produce una mezcla de compuestos y las propiedades de cada uno dependen de su grado de cloración. En general, son térmica y químicamente estables e insolubles en el agua, pero pueden mezclarse con otros aceites y son altamente resistentes al fuego. (2,23). Debido a sus características, en los últimos 50 años se les han dado diversos usos a estos productos: en transformadores y condensadores como dieléctricos, como fluidos transmisores de calor, como fluidos hidráulicos y componentes en revestimientos interiores de frenos. También se han usado en la fabricación de adhesivos, selladores, barnices y tintas de imprenta, así como plastificadores y en la producción de pinturas marinas alguicidas y molusquicidas. Las propiedades que hacen tan útiles a los BPC (estables a la combustión normal, a las reacciones químicas y a la degradación biológica) son la causa de que estos compuestos permanezcan intactos, aun después de usarse. Por eso, desde los años sesenta comenzó la preocupación por dar seguimiento a su obsolescencia, dado que su persistencia provoca su acumulación en el ambiente (2,23).

Se ha observado que los cuerpos de agua y los suelos se pueden contaminar con hidrocarburos como el petróleo

crudo y sus derivados, en lugares adyacentes a los pozos de perforación y por fugas en los conductos, los derrames accidentales de los depósitos, los accidentes de los vehículos de transportación y hasta por actos intencionales, en algunos lodos de perforación y en sedimentos de depósitos de almacenaje. Esto contamina el subsuelo y el agua subterránea.. (1,7,12,21,45).

Muchos compuestos peligrosos que fueron considerados recalcitrantes son degradables. Esos compuestos se definen mejor con el término de persistentes. A los compuestos persistentes a la biodegradación bajo ciertas condiciones, se les ha dado, lógicamente ese nombre.

La persistencia de los compuestos orgánicos, está relacionada directamente con las condiciones ambientales que ayudan a la actividad microbiana. El oxígeno es un aceptor de electrones efectivo para la degradación de algunos compuestos. En la ausencia de oxígeno, otros compuestos sirven como aceptores de electrones, que conducen al rompimiento de los productos de metabolismo fermentativo. Esos compuestos son principalmente alcoholes y ácidos orgánicos. La acumulación de esos compuestos inhibe la actividad microbiana, reduciendo en gran manera

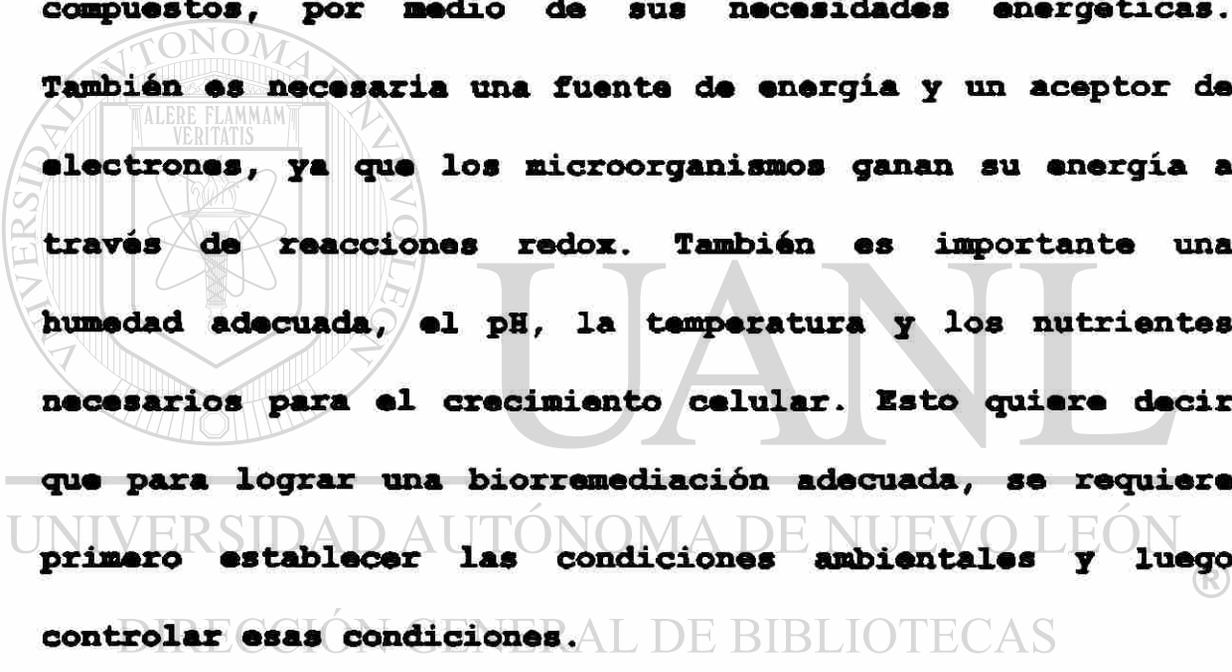
la diversidad de microorganismos presentes en ese medio. Esto introduce dos conceptos importantes para la biorremediación. Primero: las reacciones deseadas pueden requerir de un aceptor específico de electrones. Segundo: cualquier especie microbiana simple, está limitada en lo que ella puede transformar.

Se ha definido a la Biorremediación como la aplicación de un tratamiento biológico para la limpieza de productos químicos peligrosos. Ello requiere del control y de la manipulación de procesos microbiológicos en reactores o "in situ".

La biorremediación es intrincada, debido a que usa un catalizador (enzima), que es provista por los microorganismos para catalizar la destrucción de un compuesto peligroso específico. Los compuestos químicos peligrosos pueden ser o no el sustrato. Esas reacciones químicas catalizadas son llevadas a cabo en la célula o fuera de ella. Las principales reacciones son de oxidación-reducción, que son necesarias para la generación de energía para los microorganismos. De esta forma, para tener una Biorremediación exitosa, el proceso debe ser controlado con

la presencia de fuentes de energía disponible y un sistema donador-aceptor de electrones y nutrientes. (8,4)

Los requerimientos para la biodegradación se muestran en la figura 2.1, por orden descendente de importancia. Como de primordial importancia se consideran a los microorganismos capaces de producir enzimas que degradarán el compuesto deseado. Los microorganismos degradarán los compuestos, por medio de sus necesidades energéticas. También es necesaria una fuente de energía y un aceptor de electrones, ya que los microorganismos ganan su energía a través de reacciones redox. También es importante una humedad adecuada, el pH, la temperatura y los nutrientes necesarios para el crecimiento celular. Esto quiere decir ~~que para lograr una biorremediación adecuada, se requiere primero establecer las condiciones ambientales y luego controlar esas condiciones.~~

The image contains a large, semi-transparent watermark of the seal of the Universidad Autónoma de Nuevo León. The seal is circular and features a central emblem with a scale of justice and a book. The text 'UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN' is written around the perimeter of the seal. Below the seal, the text 'DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS' is visible. Additionally, the letters 'UANL' are printed in a large, light-colored font across the middle of the page.

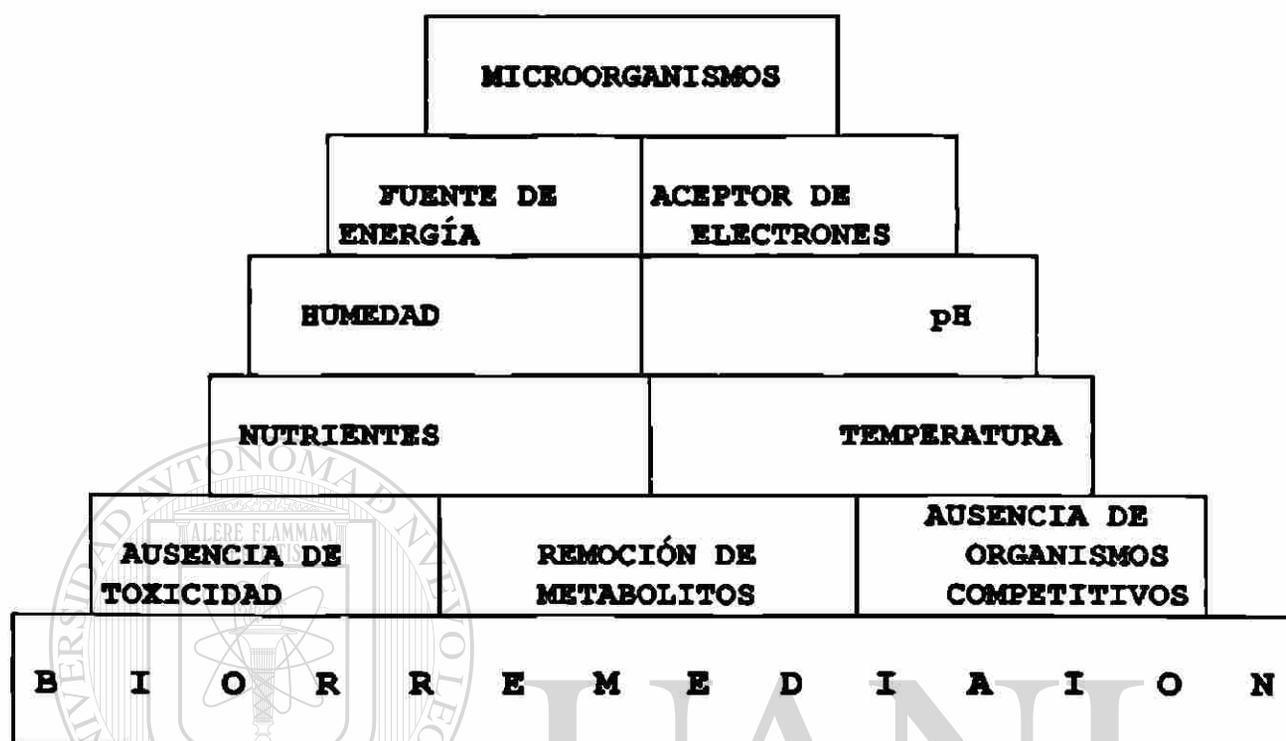


Figura 2.1 Requerimientos para la Biorremediación. (8)

2.2 METABOLISMO AERÓBICO

Las bacterias han desarrollado una amplia variedad de sistemas de respiración. Esos pueden ser caracterizados por la naturaleza de los reductantes y de los oxidantes. En todos los casos en la respiración aeróbica, el aceptor de electrones es el oxígeno molecular. La respiración anaeróbica de sustratos orgánicos por las bacterias es, en la mayoría de los casos, muy similar. Los sustratos son oxidados a CO_2 , con la remoción sucesiva de pares de H^+ y electrones.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

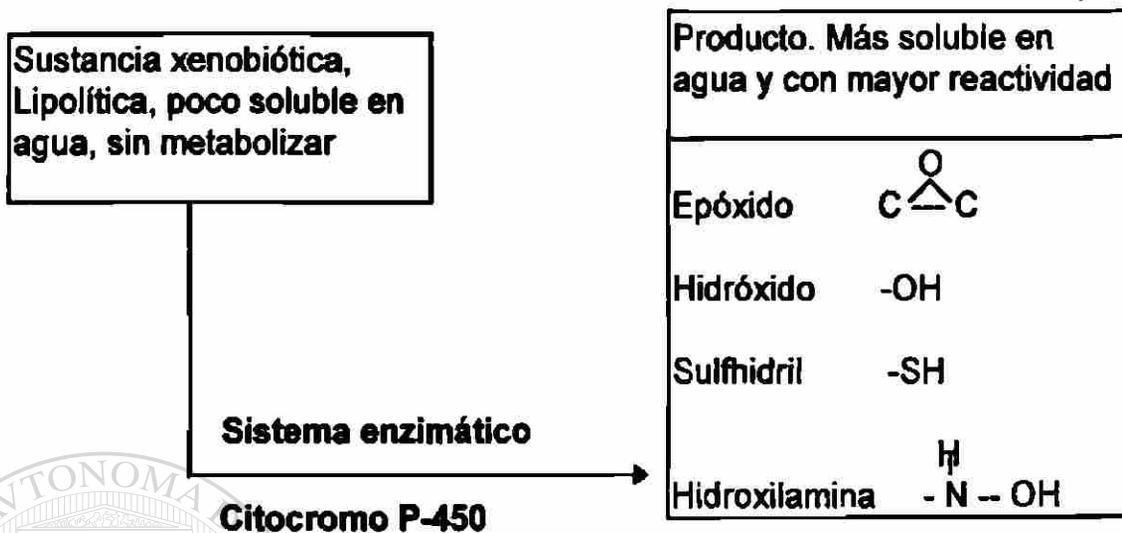
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Los procesos por los cuales los organismos metabolizan especies xenobióticas, son reacciones enzimáticas catalizadas de dos fases:

Fase 1. Las especies xenobióticas en el cuerpo tienden a llevar a cabo reacciones que hacen al compuesto más soluble al agua y reactivo, por el

ataque de grupos funcionales, tales como el -OH. La mayoría de las reacciones de la fase 1, son función de las oxidasas microsómicas, catalizadas por el sistema enzimático citocromo P-450, asociado con el retículo endoplásmico de la célula lo cual ocurre con mayor frecuencia en los vertebrados vivientes.

Fase 2. Los grupos funcionales polares colocados en los compuestos xenobióticos en las reacciones de fase 1, proveen sitios de reacción para la fase 2. Estas son reacciones de conjugación, en las cuales, las enzimas colocan agentes conjugantes a los xenobióticos, a los productos de la reacción de la fase 1, y a los compuestos no xenobióticos. Los productos de conjugación de tales reacciones son a menudo menos tóxicos que los compuestos originales. Los principales agentes conjugantes y las enzimas que catalizan las reacciones de la fase 2, son el ácido glucorónico (UDP enzima glucoroniltransferasa) y el glutati6n (enzima glutatióntransferasa). Los productos de conjugaci6n m1s abundantes, son los glucor6nicos.



**Figura No. 2.2 Ilustración de las reacciones de la
fase I (4)**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

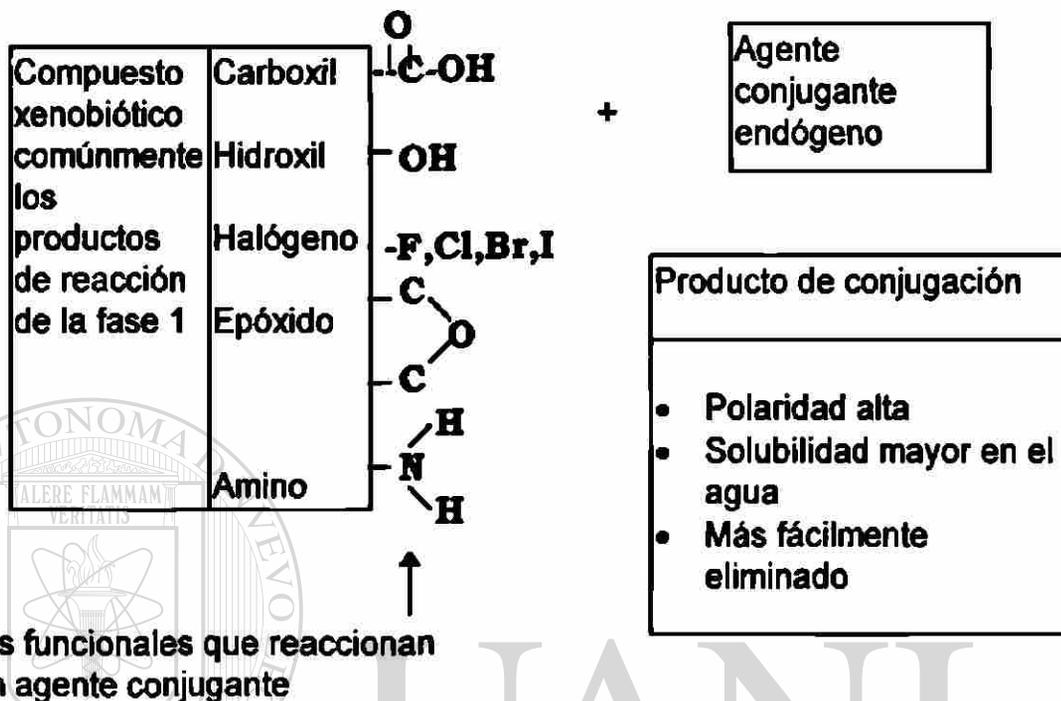


Figura No. 2.3 Ilustración de las reacciones de la Fase II (4)

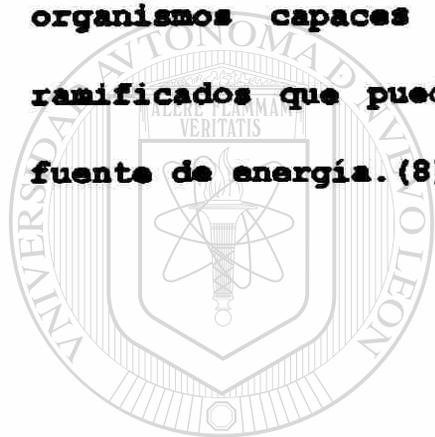
La biorremediación de hidrocarburos alifáticos debe hacerse por un proceso aeróbico. El oxígeno es usualmente el factor limitante en la mayoría de los casos de suelos contaminados y aguas subterráneas. La primera etapa en la degradación de los hidrocarburos es la incorporación del oxígeno molecular en ellos. Esto se logra por las enzimas oxigenasas. Hay dos grupos de oxigenasas: monooxigenasas y dioxigenasas (Wackerr, 1989). (4)

La manera más común de la degradación de alcanos, es la oxidación en el grupo metilo terminal. El alcano es oxidado a alcohol y luego a su correspondiente ácido graso. Una vez que el compuesto orgánico ha sido oxidado, a forma de ácido, resulta la formación de un grupo carboxil, así procede la oxidación sucesiva, removiendo dos unidades de carbón. La remoción de dos unidades de carbón es universal para la mayor parte de los sistemas vivientes y es terminada la secuencia con la beta oxidación. Bajo la β -oxidación, el grupo metileno β , es oxidado a un grupo cetónico seguido por la remoción de un fragmento de doble carbón, del compuesto. Adicionalmente a la oxidación terminal, la degradación subterminal ocurre ocasionalmente.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

La degradación de alquenos, es más variada, ya que el ataque microbiano puede ocurrir ya sea en el grupo metilo o en el doble enlace. Los hidrocarburos insaturados de cadena lineal, son generalmente menos fáciles de degradar que los saturados. El metabolismo resulta en la formación de compuestos intermediarios, tales como alcoholes insaturados, ácidos grasos, alcoholes primarios o secundarios, metil cetonas, 1,2-epóxidos, y 1,2-dioles.

Los hidrocarburos con cadena ramificada, son mucho menos susceptibles a la degradación. Este hecho puede ser recalcado por la resistencia al rompimiento biológico de los ABS (alquil-bencen-sulfonatos). Los compuestos de cadena ramificados tales como en un carbón cuaternario y los compuestos β -alquil-ramificados, son recalcitrantes y se acumulan en la biosfera. Hay, no obstante pocos organismos capaces de utilizar esos compuestos alquil-ramificados que pueden utilizarlos como un solo carbón y fuente de energía. (8)



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

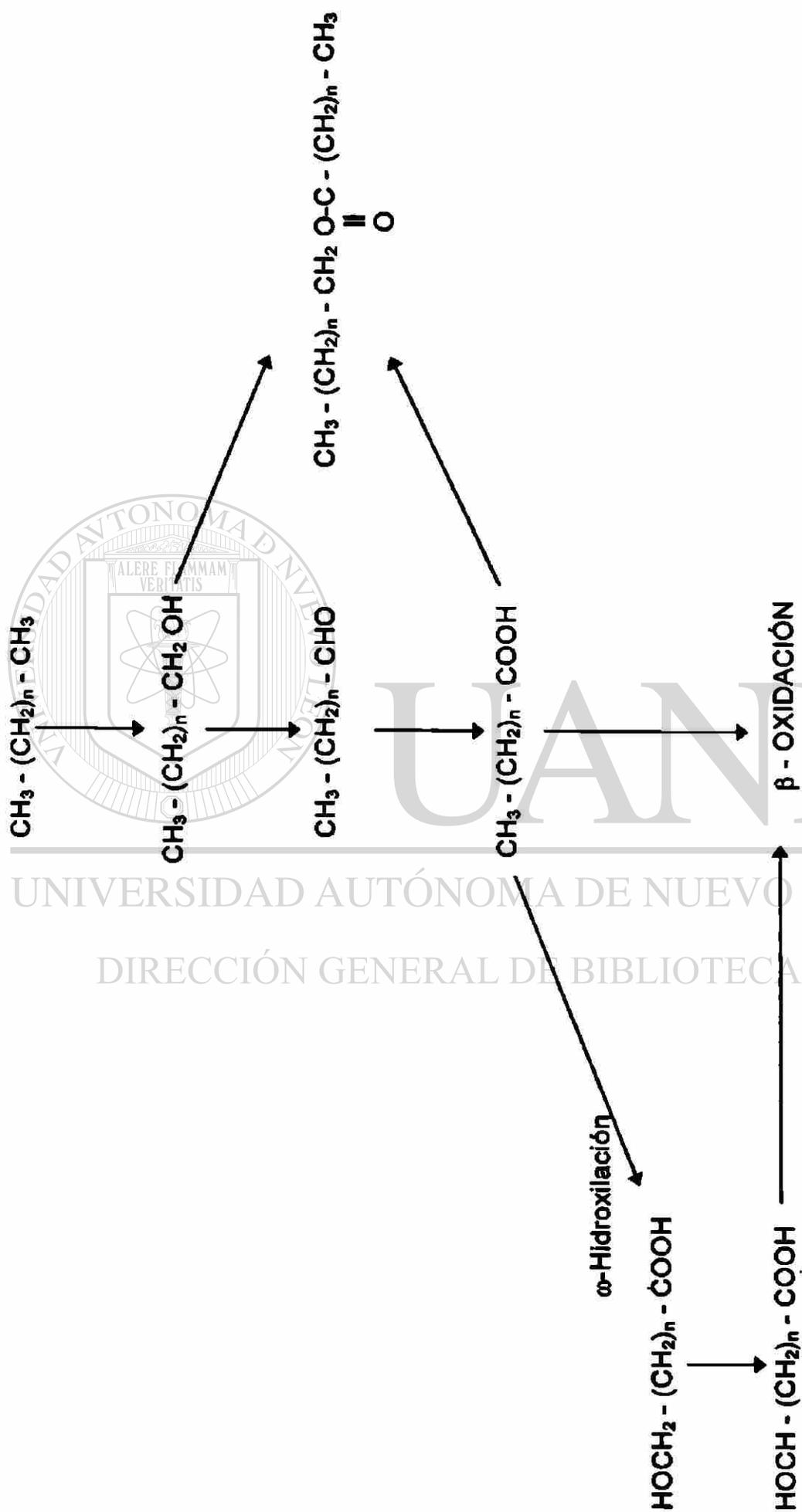


Figura No. 2.4 Oxidación de n-alcenos por el ataque en el grupo metilo terminal (Britton, 1984) (8) .[®]

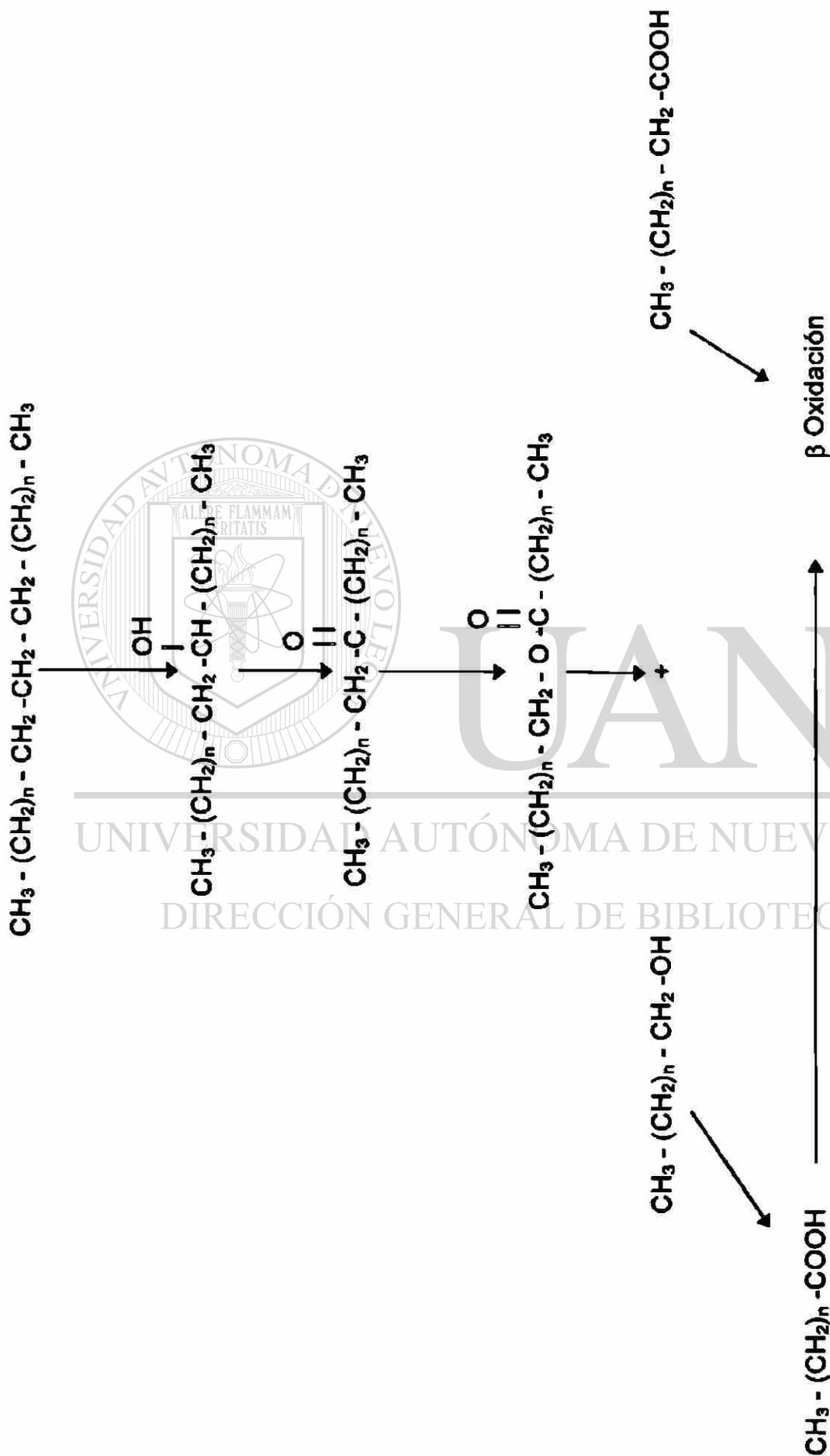


Figura No. 2.5 Oxidación de un hidrocarburo alifático por un ataque subterminal
 (Britton, 1984). (8)

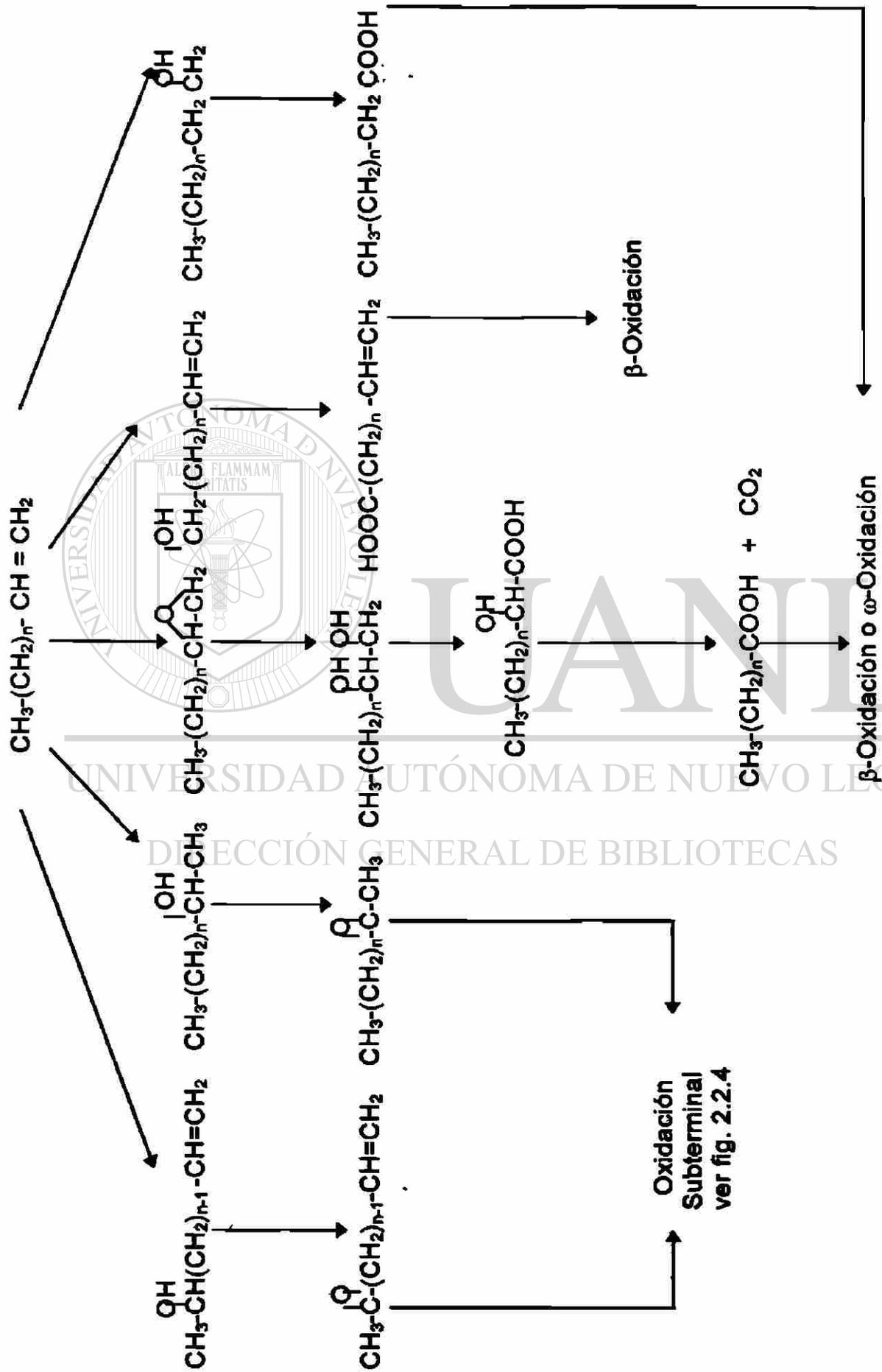
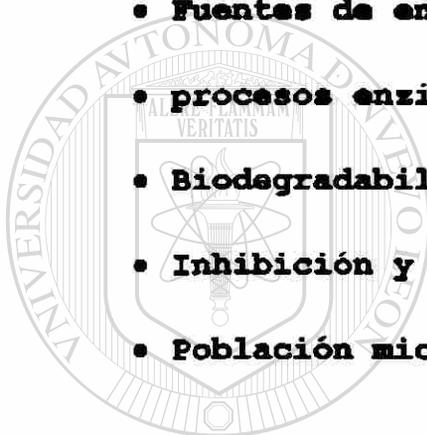


Figura No. 2.6 Formas potenciales de degradación para un 1-alkeno (Britton, 1984). (8)

2.3 NECESIDADES NUTRICIONALES DE LOS MICROORGANISMOS

Existe una serie de parámetros microbiológicos que afectan al tratamiento biológico. Estos parámetros se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Fuentes de energía y sustrato.
- procesos enzimáticos.
- Biodegradabilidad del sustrato.
- Inhibición y toxicidad.
- Población microbiana.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

2.3.1 Fuentes de Energía y Sustrato

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

Todo ser vivo necesita energía y carbono para desarrollarse. La fuente de donde los microorganismos obtienen su energía y carbono celular proporciona una base para su clasificación, como se muestra en la tabla. (2.1)

El tratamiento biológico es el resultado directo del metabolismo heterótrofo en el que el residuo orgánico es el sustrato (es decir, el residuo sirve como fuente de carbono y energía para los organismos vivos). Los organismos más utilizados en el tratamiento de biorremediación, son las bacterias heterótrofas, no obstante los hongos y otras formas de vida, son efectivos en otros tratamientos. (4)

Tabla No. 2.1 Clasificación Nutricional de los Microorganismos (4)

Clasificación de los microorganismos	Fuente de Energía	Fuentes de carbono
Autótrofos		
Fotoautótrofos	Luz	CO ₂
Quimioautótrofos	Reacciones Redox de compuestos inorgánicos	CO ₂
Heterótrofos	Reacciones Redox de compuestos orgánicos	Carbono orgánico

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.3.2 Procesos Enzimáticos

Para que se produzca la degradación, el residuo, como sustrato, tiene que entrar primero en contacto con la parte más externa de la célula bacteriana. Esta acción

desencadena una serie de procesos metabólicos involucrados en la degradación de los residuos orgánicos.

El primer paso consiste en el transporte del sustrato al interior de la célula que se puede producir por tres métodos:

- Por la formación de un complejo enzima-sustrato extracelular
- Por la degradación parcial
- Por transporte directo.

Tras el contacto de la bacteria con el sustrato, las enzimas extracelulares producidas por las bacterias formarán complejos con las moléculas del sustrato. Estos

complejos permiten al sustrato atravesar la pared celular. Una vez en el interior de la célula, son las enzimas intracelulares las que formarán complejos con el sustrato para catalizar otras reacciones necesarias, encaminadas a la obtención de energía y a la producción de un nuevo material celular.

En forma general, la actuación secuencial de una gran variedad de enzimas, que no proceden necesariamente de la

misma especie bacteriana, degrada los residuos orgánicos a compuestos cada vez más simples (por ejemplo de hidrocarburos a alcoholes, de alcoholes a ácidos orgánicos y de ácidos orgánicos a dióxido de carbono. La especificidad de las enzimas para un sustrato particular varía ampliamente. Hay algunos compuestos orgánicos que forman complejos con una única enzima conocida, producida por dos o tres especies bacterianas diferentes. De la misma forma, hay algunas bacterias que utilizan como sustrato una única sustancia orgánica.

En una célula bacteriana se dan dos procesos metabólicos fundamentales conocidos como procesos anabólicos, que constituyen la síntesis de compuestos celulares y catabólicos, donde se libera energía. Las reacciones oxidación-reducción que liberan energía implican una transferencia de electrones desde el carbono orgánico mientras éste se oxida a un estado superior. Para completar la reacción se necesitan aceptores de electrones. Estos pueden ser, entre otros, el oxígeno, los nitratos y los sulfatos. La energía que se libera en los procesos catabólicos se recoge y transforma por el adenosín trifosfato y el adenosín difosfato (ATP - ADP) en energía que se utiliza en los procesos de anabolismo y catabolismo

celular y en las actividades de síntesis de los compuestos celulares.

En resumen, los microorganismos pueden metabolizar los residuos orgánicos a través de una serie de reacciones catalizadas por enzimas a temperatura ambiente. El metabolismo libera energía de los residuos orgánicos y utiliza el carbono para sintetizar nuevo material celular. Como resultado; se obtiene, por un lado, la degradación del residuo orgánico. Además, la degradación transforma el residuo en compuestos más simples o, si es completa, los mineraliza a dióxido de carbono, agua y masa celular.

2.3.3 Biodegradabilidad del Sustrato

Existen diversas versiones con respecto a la capacidad de los microorganismos para degradar clases específicas de compuestos químicos orgánicos. Estas se pueden resumir de la siguiente forma:

- En una forma general, los compuestos alifáticos de cadena lineal se degradan fácilmente; sin embargo, cuando se introducen sustituyentes, como por ejemplo alcanos de cadena larga, se obtienen configuraciones

estéricamente inaccesibles que frecuentemente son resistentes a la degradación. De la misma manera, los compuestos alifáticos insaturados se degradan con más dificultad que los compuestos análogos saturados.

- **Los compuestos aromáticos simples son generalmente degradados por diferentes mecanismos de apertura del anillo. La introducción de halógenos conduce a un descenso en la Biodegradabilidad, debido a que éstos estabilizan la molécula. El grado de disminución de biodegradabilidad está en función del número de halógenos incorporados, ya que la biodegradación requiere deshalogenaciones en alguna etapa. Sin embargo, se han encontrado en el medio ambiente**

natural microorganismos capaces de utilizar como única fuente de carbono y energía, compuestos tanto haloaromáticos como haloalifáticos.

- **Los compuestos aromáticos policlorados como los BPC's se pueden degradar, aunque lentamente. Los isómeros de los BPC's polisustituídos se degradan mucho más lentamente que los derivados menos halogenados, y las enzimas catabólicas atacan y abren preferentemente los anillos con menor número de moléculas de cloro.**

- La biodegradación de los compuestos que contienen nitrógeno y azufre está ligada generalmente a su utilización como nutrientes. Las cadenas ramificadas de los alquil o aril sulfonatos son, con frecuencia, degradadas lentamente.
- Las fibras sintéticas están entre las más resistentes al ataque microbiano; sin embargo, se han aislado microorganismos que utilizan el nylon o para ser más exactos, poliestireno, como única fuente de carbono y energía.

2.3.4 Inhibición y Toxicidad

Una sustancia orgánica que es biodegradable a una determinada concentración se puede volver más persistente a concentraciones más elevadas porque inhibe el crecimiento del cultivo microbiano. A concentraciones incluso más altas, la sustancia puede ser tóxica para el cultivo. Estos efectos derivan, presumiblemente, del grado de saturación del sistema enzimático que normalmente la degrada.

2.3.5 Población Microbiana

EL tratamiento biológico implica una compleja interacción entre la mezcla de poblaciones microbianas. La velocidad de crecimiento y la utilización de sustratos es, con frecuencia, superior en cultivos mixtos enriquecidos que en un cultivo puro aislado de la mezcla. En una mezcla de poblaciones microbianas no sólo son importantes aquellos organismos que puedan iniciar procesos catabólicos, sino también los consumidores secundarios, es decir, los organismos que utilizan los compuestos intermedios procedentes de la transformación del sustrato original. También los consumidores secundarios pueden contribuir al crecimiento de los primarios; por ejemplo, suministrando un factor de crecimiento específico, eliminando los productos tóxicos, mediante procesos metabólicos concertados (cometabolismo), así como la transferencia de material genético entre cepas. (18,20)

Cuando de forma natural se exponen los organismos a contaminantes orgánicos, tienden a desarrollar, por adaptación, una gran capacidad para degradarlos como sustrato. La velocidad a la cual los microorganismos se adaptan viene determinada, en gran parte, por la rapidez

con que la concentración de los contaminantes disminuye en el agua y en el suelo. La adaptación tiene como resultado la selección natural de los consumidores primarios. Estas cepas adaptadas pueden surgir de entre las cepas ya presentes, o por mutación y transferencia genética. De esta forma aparecen en una población nuevas actividades enzimáticas. Como la adaptación necesita una gran período de tiempo para incrementar la degradación microbiana de los residuos químicos, se introducen por inoculación especies previamente adaptadas. (44)

2.4 NECESIDADES AMBIENTALES DE LOS MICROORGANISMOS

2.4.1 Parámetros Técnicos y Ambientales

Existe una serie de parámetros que influyen en la velocidad a la que tiene lugar el metabolismo y, por lo tanto, en la biodegradación. Se pueden identificar, establecer y, controlar las condiciones favorables que aseguren el crecimiento y desarrollo de la biomasa a través de investigaciones y aplicaciones de esos parámetros. Los parámetros que afectan al crecimiento son:

- El aceptor electrónico.
- La humedad.
- La temperatura.
- El pH.
- La cantidad de sólidos disueltos totales.
- La disponibilidad de los nutrientes.
- El diseño del reactor.
- Las fuentes alternas de carbono.

2.4.1.1 El aceptor electrónico

Se llama respiración a las reacciones catabólicas que implican una transferencia de electrones desde el residuo a un aceptor electrónico y a los procesos biológicos por los que esto se produce. En una respiración aerobia, las bacterias utilizan el oxígeno como aceptor final de electrones de los compuestos orgánicos oxidados. De forma general, en el caso de la biotransformación, el oxígeno se incorpora a la molécula orgánica y el hidrógeno se elimina. Por ejemplo, la oxidación de un alcohol a un ácido. Tras la completa mineralización, el oxígeno se reduce a agua y el carbono orgánico se oxida a dióxido de carbono. En la

mineralización teórica de un alqueno ramificado, omiten las reacciones catabólicas intermedias de oxidación a un alcohol y luego a un ácido:



El oxígeno necesario para mineralizar completamente un miligramo de alqueno se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{10(2 \times 16)}{(7 \times 12) + (12 \times 1)} = 3.33 \text{ mg de } O_2/\text{mg de alqueno}$$

Donde:

El peso atómico del Oxígeno = 16

El peso atómico del Carbono = 12

El peso atómico del Hidrógeno = 1

Debido a que el rango de solubilidad del oxígeno en el agua superficial es de 8 mg/L, se presenta la necesidad de suministrar oxígeno, incluso para pequeñas concentraciones de residuos orgánicos. En el tratamiento aerobio, la práctica aceptada generalmente para proporcionar un factor de seguridad es mantener una concentración mínima continua de 2 mg/L de oxígeno disuelto en el medio.

En los procesos anaerobios se efectúan reacciones múltiples que tienen como resultado la conversión de compuestos orgánicos hidrolizados a ácidos orgánicos superiores. Estos son posteriormente degradados a ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono y las bacterias metanogénicas los metabolizan produciendo metano. A diferencia de los procesos aerobios, el oxígeno no es el aceptor final de electrones, pues puede serlo cualquiera de las sustancias inorgánicas oxigenadas por orden de preferencia:

- Los nitratos, que se reducen a nitrógeno; algunas veces se refiere más a condiciones anóxicas que a condiciones anaerobias.
- Los sulfatos, que se reducen a sulfuro de hidrógeno
- El dióxido de carbono, que se reduce a metano.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.4.1.2 La humedad

La biodegradación necesita humedad por dos razones:

- Para el desarrollo celular, ya que el 75-80% de su masa es agua.

- En las especies inmóviles, como medio de locomoción de los microorganismos hacia el sustrato, o viceversa.

En los suelos, se acepta por lo general, que el mínimo contenido de humedad sea del 40% de saturación para tratar los suelos contaminados con residuos químicos,

2.4.1.3 La temperatura

La temperatura tiene una mayor influencia sobre la velocidad de crecimiento. La actividad celular, especialmente de los sistemas enzimáticos, responde al calor. Al aumentar la temperatura se produce coordinadamente un brusco aumento de la velocidad de crecimiento de los microorganismos, hasta que se alcanza el óptimo. Un aumento de unos pocos grados por encima de lo normal hace disminuir drásticamente el crecimiento, por inactivación de los sistemas enzimáticos, y reduce la capacidad reproductora. Las bajas temperaturas, a diferencia de las altas, no son por lo general letales, sino que con el tiempo las células pasan a un estado latente. Cuando se desciende por abajo del grado normal, la

actividad decrece, porque se reduce la actividad enzimática y se produce una pérdida de fluidez de la membrana celular, lo cual restringe el transporte del sustrato.

2.4.1.4 El pH

La actividad enzimática depende de su pH. La cantidad de una determinada enzima en estado catalíticamente activo varía en función de éste. Coincide la máxima cantidad con el óptimo de pH. El crecimiento bacteriano, en consecuencia, también depende del pH. La mayoría de las bacterias crecen mejor en un estrecho intervalo próximo a la neutralidad (es decir en un intervalo de 6-7).

Generalmente, la ausencia de crecimiento se produce por debajo de un pH de 4-5 y por encima de un pH de 9 a 9.5; no obstante, existen cepas que se desarrollan fuera de estos límites.

La actividad microbiana puede alterar el pH externo. Así por ejemplo, la fermentación anaerobia, que transforma los residuos orgánicos en ácidos orgánicos, disminuye el pH; la nitrificación (conversión de NH_4^+ a NO_3^-) provoca también el descenso del pH, así como el dióxido de carbono

producido en la degradación aerobia; la descomposición de los compuestos organo-nitrogenados, por el contrario, eleva el pH al liberar NH_4^+ . Si ninguno de estos efectos son tamponados, el pH alterado puede inhibir, o incluso matar, la población microbiana.

2.4.1.5 Los sólidos disueltos totales

La concentración de los sólidos disueltos totales puede afectar al tratamiento biológico en medio líquido. Si la concentración es muy alta, los microorganismos mueren por ruptura osmótica de su membrana celular. Si la concentración tiene grandes variaciones, la actividad de la población microbiana disminuye. Se han desarrollado unas reglas empíricas útiles: los sólidos disueltos totales (SDT), no deben exceder los 40,000 mg/L.

2.4.1.6 Disponibilidad de los Nutrientes

La masa celular contiene carbono y otros numerosos elementos. El metabolismo requiere de estos elementos como nutrientes además del carbono orgánico como sustrato. El el

nitrógeno y el fósforo, los macronutrientes, se necesitan en mayor cantidad para la síntesis de estructuras celulares, mucho más que del resto. Con frecuencia el nitrógeno y el fósforo no están presentes en los residuos peligrosos en cantidades suficientes para llevarse a cabo la degradación de éstos, por lo que, generalmente, son añadidos en forma de amonio y ortofosfato.

De la fórmula empírica para la porción orgánica del protoplasma bacteriano dada como $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$, se calcula la cantidad teórica necesaria de nitrógeno y fósforo para la síntesis de masa celular.

La proporción de COT:N:P en las reacciones anabólicas es, por tanto, 100:23:4.3. Por lo general se utiliza la regla empírica siguiente basada en la experiencia: 20:5:1. Aproximadamente la mitad del carbono metabolizado puede ser oxidado a CO_2 mediante reacciones catabólicas sin necesidad de nutrientes.

2.4.1.7 El diseño del reactor

El diseño del reactor, donde se produce la biodegradación, tiene un importante efecto sobre la eficacia y la economía del tratamiento. Los parámetros más importantes para su diseño son la homogenización, el régimen de la mezcla, el tiempo de retención de la biomasa y el tiempo de retención hidráulica. Mediante el control de estos parámetros, la biodegradación se puede incrementar y, por lo tanto, reducir la concentración de contaminantes a los niveles requeridos.

1. Homogenización del flujo. La población microbiana se ajusta a los cambios y variaciones de concentración o velocidad del flujo; pero necesita tiempo, este es el proceso de aclimatación. Las variaciones de concentración y flujo producen cargas de choque que afectan a la biomasa. Aunque los sistemas de tratamiento biológico tiene una considerable capacidad tampón, es necesario la homogenización en aquellos residuos con variaciones temporales que, incluso amortiguadas, afectarían o destruirían la biomasa.

2. Régimen de la mezcla. La mezcla completa proporciona una homogenización interna que compensa las variaciones de

concentración de los constituyentes del residuo. Al régimen opuesto se le denomina flujo pistón y proporciona una eliminación más eficaz de los constituyentes del residuo si el caudal y la concentración del influente tienen una variación nominal. Otro factor es que el reactor proporcione la mezcla adecuada para poner en contacto la biomasa con el residuo que entra.

3. El tiempo de retención de sólidos. La población de microorganismos, medida como concentración de biomasa, es importante en un reactor biológico porque la velocidad de degradación muestra una dependencia lineal con respecto a ella. Si se puede incrementar esta concentración mediante recirculación del lodo activo al reactor, el tiempo de retención de la biomasa o sólidos, TRS, puede ser mayor que el tiempo de retención hidráulica. Como relación obvia se tiene que a mayor TRS, mayor concentración de biomasa y, por lo tanto, un incremento en la eficacia del tratamiento. Una ventaja importante de la recirculación, además del aumento de la concentración de la biomasa, es que sirve para retener al degradador específico ya aclimatado a la sustancia orgánica concreta que se está tratando.

4. El tiempo de retención hidráulica. El tiempo de retención hidráulica de un reactor es igual a su volumen dividido entre la velocidad del flujo. Si se disminuye el tiempo de retención hidráulica, los costos disminuyen, pero se debe aumentar la concentración de biomasa, aunque esto no es ventajoso, porque no permite manejar las cargas de choque, además de que las concentraciones altas de biomasa no son recomendables porque se sobrecarga el proceso posterior de clarificación y por la incapacidad de transmitir el oxígeno necesario en el propio reactor. (8)

2.5 BIORRECUPERACIÓN In Situ

La biorrecuperación "in situ" se realiza en forma aerobia. En forma natural, el agua subterránea contiene usualmente bajas concentraciones de oxígeno, debido a la mínima reaeración resultante de su flujo laminar por debajo de la superficie, y por esto la actividad biológica agota el oxígeno en el agua subterránea. Generalmente, el subsuelo es pobre en nutrientes; por lo tanto, dado que la biorrecuperación aerobia depende del oxígeno y de los nutrientes liberados al subsuelo contaminado, generalmente

se hace ésta con la extracción del agua subterránea, la adición de oxígeno y de los nutrientes necesarios, volviendo a inyectar el agua así enriquecida. Esta agua se mueve a través del acuífero y estimula el desarrollo de los microorganismos autóctonos, causando la degradación de los contaminantes.

En este proceso se siguen los mismos principios que los métodos de tratamiento biológicos conocidos, excepto que el subsuelo contaminado, más que como laguna o depósito, funciona como reactor biológico. El subsuelo no se puede controlar tan fácilmente; la inyección de agua cambia el modelo de flujo del agua subterránea, que podría extender la contaminación, a menos que la inyección esté acoplada con las extracciones de agua subterránea y con las barreras de contaminantes. La combinación de inyectar agua, gradiente arriba del punto de extracción, incrementa la carga hidráulica entre los dos puntos, por lo que acelera la velocidad de flujo del agua enriquecida a través del acuífero.

El oxígeno suministrado es, casi siempre, el factor limitante de la velocidad de funcionamiento de la biorremediación in situ. La presencia de grandes cantidades

de contaminantes orgánicos, agotan el oxígeno del subsuelo, creando por lo tanto condiciones de anaerobiosis. Por lo tanto se requiere suministrar oxígeno artificialmente. Aplicando aire al agua subterránea o aierando el agua inyectada, raramente se puede conseguir que la demanda de oxígeno esté biológicamente activa. Aplicando oxígeno puro u ozono se puede incrementar la concentración de oxígeno, disuelto hasta 40 mg/L. Esto es más elevado que la concentración encontrada comunmente de 8-12 mg/L por la aireación, no sigue el mismo ritmo que un sistema biologicamente activo, por lo cual se ha llegado a la conclusión de que la aplicación del peróxido de hidrógeno es lo más indicado. En el agua, el peróxido se disocia de la siguiente manera:



Las bacterias aerobias producen una enzima llamada catalaza que cataliza esta reacción, por lo que se libera oxígeno de su enlace químico para sostener la biodegradación aerobia.

Debido a que el agua puede retener concentraciones mayores que el 1% de peróxido de hidrógeno, éste sirve como un gran reservorio para liberar continuamente el oxígeno

del enlace químico; sin embargo, las soluciones saturadas son inapropiadas porque el peróxido de hidrógeno puede tener a concentraciones tan bajas como 1000 mg/L, un efecto tóxico sobre los microorganismos. Además, las elevadas concentraciones son un derroche; porque se produce una desgasificación excesiva de oxígeno. En el agua subterránea se utiliza a menudo el rango de 100 - 500 mg/L. Para aclimatar a los microorganismos, se sugiere empezar con concentraciones de 50 mg/L e ir las incrementando poco, hasta poco a concentraciones más altas. (8)



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.5 PROPIEDADES DEL ACEITE USADO

Como se muestra en la tabla No. 2.2, la composición del aceite varía mucho, desde el momento en que es nuevo hasta el de haber sido usado. Las diferencias principales se observan principalmente en la ceniza, en el sedimento y agua, en el contenido de carbón, en los niveles de viscosidad, así como también, en los niveles de plomo y de otros metales. Las diferencias radican principalmente de el origen. Por ejemplo, el aceite automotriz usado contiene más cantidad de plomo que el aceite residual industrial.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En general, el petróleo o sus derivados se contaminan[®] durante su manejo o servicio. La principal fuente de contaminación durante el uso es el rompimiento químico por aditivos y la subsecuente interacción entre los componentes resultantes para producir ácidos corrosivos y otras sustancias indeseables.

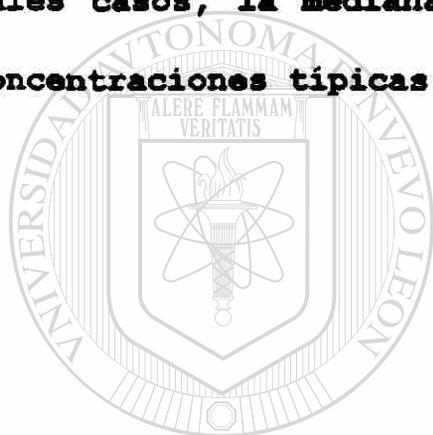
Tabla No. 2.2 Propiedades del aceite automotriz usado y nuevo. (34)

Propiedad	Aceite usado	Aceite nuevo
Propiedades Físicas		
Gravedad específica	0.910	0.882
Viscosidad a 25° C	324	
Sedimento y % agua en vol.	12.3	0
Residuo de carbón % en peso	3.0	0.82
Cenizas % en peso	1.3	0.94
Punto de flama , ° F	348	--
Propiedades Químicas		
Saponificación	12.7	3.94
Acidez total	4.4	2.2
Basicidad total	1.7	4.7
Nitrógeno, % en peso	0.08	0.05
Azufre, % en peso	0.42	0.32
Plomo, ppm	7535	0
Calcio, ppm	1468	1210
Zinc, ppm	1097	1664
Fósforo, ppm	931	1397
Magnesio, ppm	309	675
Bario, ppm	297	37
Fierro, ppm	205	3
potasio, ppm	31	<1
Sodio, ppm	118	4
Cobre, ppm	29	0
Sílice, ppm	24	4
Cromo	15	0
Estaño, ppm	13	0
Manganeso, ppm	4	0

Los valores reportados son valores promedio, ya que los aceites comerciales son de muchas variedades y los tipos de motores y gasolinas, también son muy diferentes.

2.5.1 Las propiedades Químicas

La tabla 2.3, nos da una composición de los materiales peligrosos contenidos en el aceite usado, con los siguientes datos: media, mediana (al 50%), el 75 y 90% de concentración y el intervalo. Los datos proporcionados pueden ser distorsionados un poco por las altas concentraciones. En tales casos, la mediana puede ser un mejor indicador de las concentraciones típicas. (30)



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla No. 2.3 Tabla estadística de concentraciones de constituyentes potencialmente peligrosos en aceite usado. (Fuente: Franklin Associates LTD) (34)

Contaminante	Tot al muest. analiz.	Muestras detectadas con contaminantes		Conc. media (a) ppm	Conc. mediana (b) ppm	Conc. al (b,c) 75 % ppm	Conc. al(b,c) 90 % ppm	Rango de concentración ppm	
		Núm.	%					bajo	alto
Metales									
Arsénico	537	135	25	17.26	5	5	18	<0.01	100
Bario	752	675	89	131.92	48	120	251	0	3908
Cadmio	744	271	36	3.11	3	8	10	0	57
Cromo	756	592	78	27.97	6.5	12	35	0	690
Plomo	835	760	91	664.50	240	740	1200	0	21700
Zinc	810	799	98	580.28	480	872	1130	<0.5	8610
Solventes clorados									
Diclorodifluorometano	87	51	58	373.27	20	160	640	<1	2200
Triclorotrifluoroetano	28	17	60	62935.88	160	1300	100000	<20	550000
1,1,1-Tricloroetano	616	388	62	2800.41	200	1300	3500	<1	110000
Tricloroetileno	608	259	42	1387.63	100	200	800	<1	40000
Tetracloroetileno	599	352	58	1420.89	106	600	1600	<1	32000
Cloruros total	590	568	96	4995.00	1600	4000	9500	40	86700
Otros Orgánicos									
Benceno	236	118	50	961.20	20	110	300	<1	55000
Tolueno	242	198	81	2200.48	380	1400	4500	<1	55000
Xileno	235	194	82	3585.54	550	1400	3200	<1	139000
Benzoantraceno	27	20	74	71.30	12	30	40	<5	660
Benzopireno	65	38	58	24.55	10	12	16	<1	405
Naftaleno	25	25	100	475.20	330	560	800	110	1400
BPC's	753	142	18	108.51	5	15	50	0	3800

a Resultados determinados del análisis de 1071 muestras de aceite usado

b Calculado solo para concentraciones detectadas

c Para propósitos de concentraciones medias y porcentuales, niveles no detectados se asumieron que eran igual al límite de detección

Entre los metales encontrados en las muestras, el plomo es el que presenta grados de concentración más altos. Esto se atribuye a la concentración de plomo en la gasolina. En el futuro se espera que las concentraciones disminuyan en gran parte hasta llegar a cantidades bajas como 60 ppm.

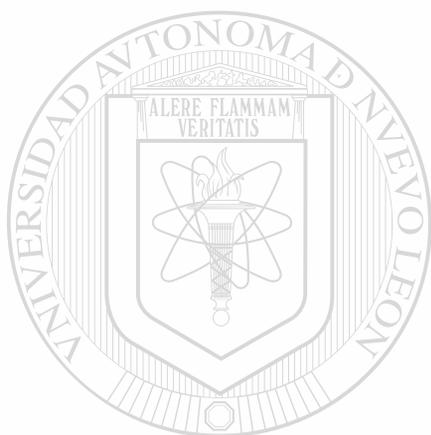
Los solventes clorados, que se encuentran en el aceite son principalmente de dos fuentes: La descomposición y adición de cloro y bromo a aditivos para la estabilización de plomo en la gasolina, y también por el uso de envases de solventes en la recolección del aceite usado. Una práctica común, es la de juntar el aceite que se quitó de las máquinas lavadas con solventes y el aceite automotriz.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La concentración de solventes aromáticos en el aceite, los compuestos aromáticos polinucleares (PNA) y los bifenilospoliclorados (BPC's), llamados contaminantes prioritarios peligrosos, varía desde cantidades bajas hasta muy altas.

La presencia de BPC's en el aceite, se debe a que los equipos hidráulicos y eléctricos lo usaban y al sustituirlo no lo podían eliminar completamente, contaminando el aceite

nuevo. El aceite de transmisión de automóvil lo usaba para controlar el aflojamiento de los sellos de hule.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.7 EL IMPACTO EN EL AMBIENTE Y EN LA SALUD

La evaluación del impacto en el ambiente y en la salud sirve como un instrumento multidisciplinario para identificar los intereses ambientales, desde el deterioro de los recursos físicos e impactos en las especies, hasta los efectos ambientales en la salud humana.

El rápido crecimiento de la tecnología en el área química ha traído una gran dependencia tecnológica de las naciones industrializadas, por los grandes beneficios que ha acarreado a la mayoría de las economías; pero la experiencia nos ha mostrado que hay muchos peligros asociados con el uso de muchos de esos productos químicos.

Se han adoptado varias técnicas de valoración del riesgo por las agencias reguladoras del gobierno, para evaluar los peligros asociados con el manejo y la disposición, y, con el propósito de ofrecer opciones para minimizar la peligrosidad de esos compuestos. Las técnicas son difíciles de aplicar, debido a la enorme cantidad de

datos necesarios para ser implementados apropiadamente.
(46,10))

2.7.1 El Impacto Ambiental

EL impacto ambiental incluye los efectos potenciales en el proceso ecológico, en la salud humana y sobre la estética natural y cultural del paisaje. Para cualquier adelanto dado, esos impactos dependerán de los volúmenes y tipos de residuos peligrosos que vayan a ser manejados. El diseño y operación, de ese manejo incluye salvaguardas y medidas de mitigación.

En todos los casos, se requiere un estudio de impacto ambiental como parte de la solicitud, al iniciar operaciones de cualquier planta, describiendo en detalle las necesidades anticipadas para el proceso, las alternativas consideradas e, igualmente, los impactos de cada una. Aunque no se requiera, es muy útil tener esa información, como una práctica prudente.

En la tabla siguiente aparece una lista de los ejemplos potenciales de impactos ambientales que tienen que

considerarse o esperarse y los posibles efectos en caso de accidentes.

Tabla No. 2.4 Ejemplos de posibles impactos ambientales

Contaminación del agua subterránea
Contaminación del agua superficial
Contaminación del aire
Fugas, derrames, accidentes
Destrucción del hábitat de la vida silvestre, áreas naturales y selvas
Pérdida de las características de un sitio único (arqueológico)
Contaminación permanente del sitio
Contaminación de cultivos de cosechas y peces
Congestión de tráfico
Olores
Ruido
Vista desagradable
Efectos en el carácter de la comunidad, imán para otras industrias contaminantes, e imagen de tiradero del sitio.

En la práctica, esta lista puede ser usada como un punto de partida, siendo afinada con la base específica del sitio impactado.

2.7.2 Impacto Socioeconómico.

También puede ocurrir un impacto socioeconómico en la comunidad. El cuadro siguiente es una lista de algunos impactos económicos posibles:

Tabla No. 2.5 Ejemplos de posibles impactos económicos.

Costos de elaboración de propuesta (técnica y legal)
Empleos y seguros
Compra de materiales y servicios
Demandas de servicios públicos (agua, energía, etc.)
Pagos a los gobiernos locales (propiedad, impuestos, etc.)
Costos de transporte (costos de capital, mantenimiento, accidentes)
Valores y efectos a las propiedades
Monitoreo e inspección
Respuestas de emergencia
Cuidado de clausura y postclausura

Muchos impactos adversos pueden ser prevenidos, mitigados, o compensados.

- Medidas preventivas, tales como monitoreo, seguimiento y ayuda para un impacto adverso que ocurra en primer lugar.
- Medidas de mitigación, como fondos para mantenimiento de caminos, servicios para la recuperación de impactos y situaciones adversas.
- Medidas compensatorias, tales como garantías de valores o donación de bienes, cuando se provee un tipo de beneficio, a cambio de cierta pérdida.

En general, las empresas pequeñas y medianas así como algunas grandes, no realizan la separación de los residuos peligrosos de los no peligrosos, teniendo un inadecuado manejo y disposición final de éstos. Muchos de estos residuos, son dispuestos finalmente en basureros municipales (rellenos sanitarios o tiraderos al aire libre), no cuentan con almacenes temporales (pisos impermeables, trincheras y fosas de captación de derrames, techo, paredes con ventilación, pararrayos, etc.), y bitácoras (generación, entradas, salidas, disposición final, etc.), de residuos peligrosos de acuerdo con la normatividad vigente establecida en el reglamento y la

normatividad en materia de residuos peligrosos y no realizan análisis CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico infeccioso), de todos sus residuos, especialmente de los que se desconoce si son potencialmente peligrosos. (4)

Muchas veces en el transporte de los residuos peligrosos no se cuenta con vehículos adecuados (con sistemas de control y limpieza de derrames, compartimientos impermeables de alta resistencia, etc.), autorizados por las autoridades correspondientes, según la normatividad existente actúa; al respecto, tampoco cuentan con procedimientos de carga, descarga, transporte, medidas de seguridad y planes de contingencia en caso de alguna emergencia. Algunas veces ni siquiera cuentan con el registro y los manifiestos de la empresa generadora® de residuos peligrosos, el manifiesto de entrega, transporte y recepción de los residuos, el reporte semestral y de derrames, etc.

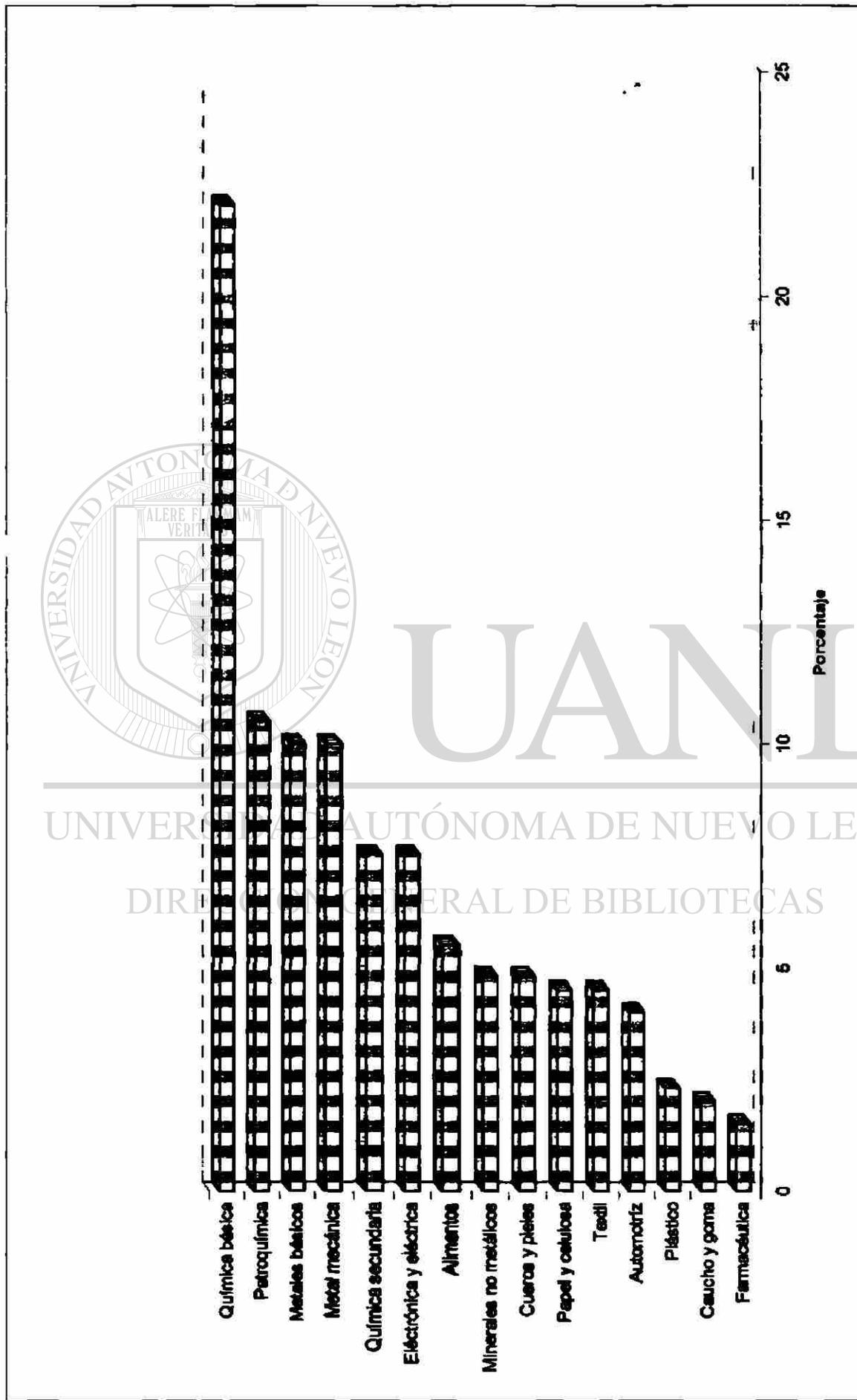


Figura No. 2.7 Generación estimada de residuos peligrosos por rama industrial (8×10^6 ton/año)
 Fuente: Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas, INE

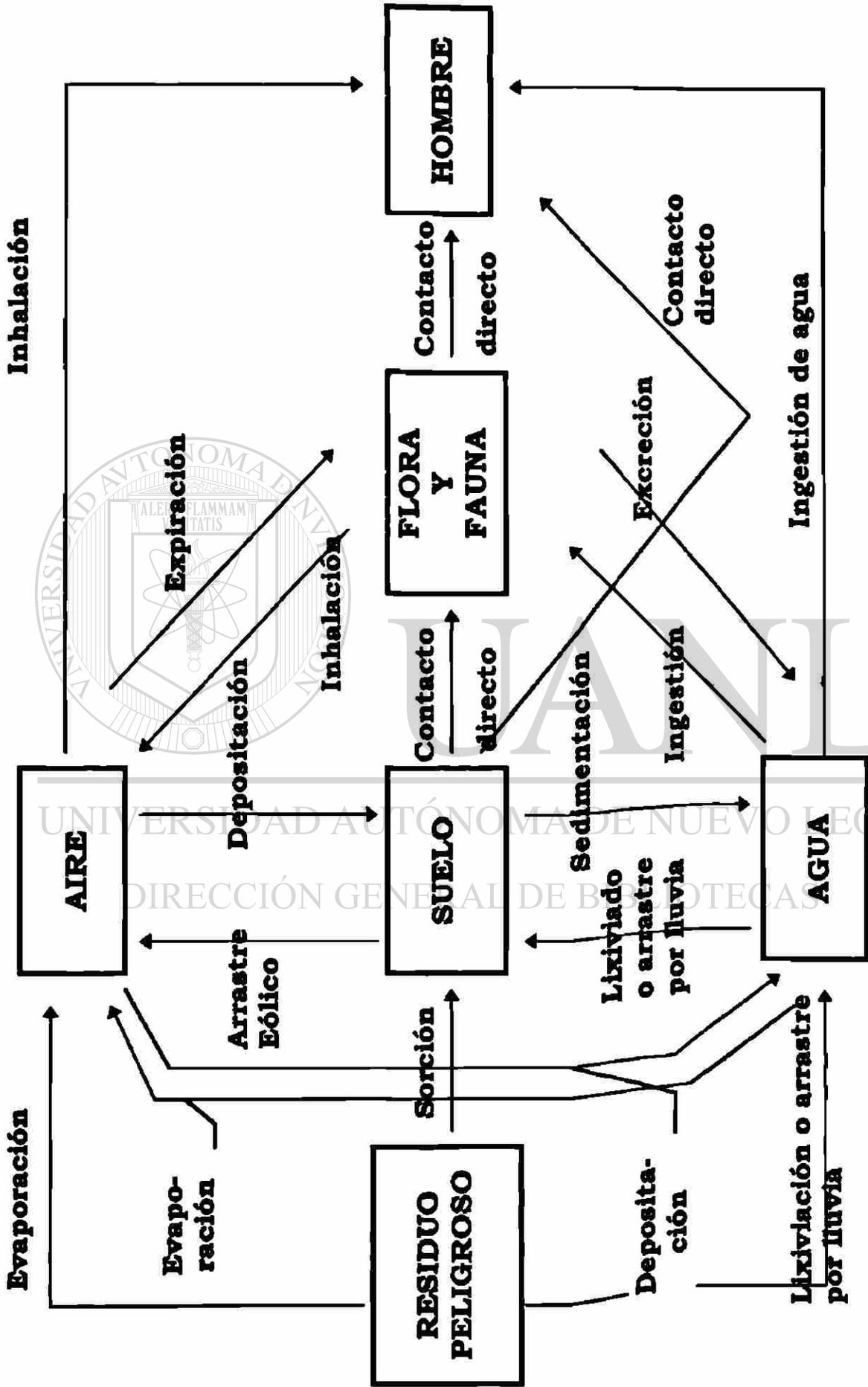


Fig. No 2.8 Efectos de los Residuos Peligrosos en el Ambiente y la Salud. (38)

2.8 EVALUACIÓN DEL RIESGO

Una parte importante para estimar los riesgos adversos a la salud, por la exposición a los productos tóxicos, envuelve la extrapolación de los datos obtenidos experimentalmente. Usualmente el resultado final es la estimación de un suceso poco usual, de una enfermedad en humanos después de un largo período de latencia, que resulta de una exposición a un tóxico, en niveles bajos, durante un largo período de tiempo. Los datos disponibles son siempre de ensayos con animales que fueron expuestos a las sustancias en niveles altos, durante un período corto de tiempo. La extrapolación es entonces hecha usando proyecciones lineales o curvilíneas, para estimar el riesgo en la población humana; por lo tanto, hay una incertidumbre sustancial en esta clase de investigación.

Las consideraciones toxicológicas son muy importantes al estimar los peligros potenciales de los residuos peligrosos. Una de las principales formas como la toxicología interviene en el área de residuos peligrosos,

es en la evaluación de los riesgos para la salud, proveyendo una guía para el manejo del riesgo, la limpieza, o la regulación necesaria para un sitio de disposición, con base en el conocimiento del sitio y las propiedades químicas y toxicológicas de las sustancias presentes, incluyendo especies indicadoras; receptores potenciales; formas potenciales de exposición; y un análisis de incertidumbre. Los principales componentes son: la identificación del residuo peligroso, la evaluación de la dosis-respuesta, la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo.

2.8.1 Migración o Transporte de los Residuos Peligrosos

La migración de los residuos peligrosos, está en función de sus propiedades físicas, las propiedades físicas del medio circundante, las condiciones físicas a que se sujeta, el residuo y los factores químicos. Los residuos altamente volátiles son mucho más susceptibles de ser transportados a la atmósfera y son los más solubles en el agua. Los residuos se moverán más lejos y rápido en formaciones porosas de arena que en suelos densos. Los residuos volátiles son más móviles a temperaturas elevadas

y al soplar vientos fuertes y más solubles durante períodos de abundantes lluvias.

Las principales propiedades físicas de los residuos, las que determinan su receptividad para el transporte, son: la volatilidad, la solubilidad, y el grado al cual son absorbidos por los sólidos, incluyendo el suelo y los sedimentos.

La distribución de los residuos peligrosos entre la atmósfera y la geósfera o la hidrosfera, está en función de la volatilidad del compuesto. La volatilidad se mide por las presiones de vapor, las cuales varían en un amplio intervalo. El parámetro llamado coeficiente de evaporación, se usa para expresar el grado con que un compuesto pasa al estado de vapor.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En la hidrosfera y en el suelo, los compuestos peligrosos son a menudo disueltos en el agua; por lo tanto, la tendencia del agua a retener el compuesto, es un factor en su movilidad. Por ejemplo, el alcohol etílico, aunque tiene un coeficiente más alto de evaporación y más bajo punto de ebullición (4.3 y 77.8 °C respectivamente) que el tolueno (2.2 y 110.6 °C), éste último, es más fácilmente

removido del suelo, debido a su limitada solubilidad en el agua comparado con el etanol, el cual es totalmente miscible. (23)

Entre los factores químicos que intervienen en el transporte de los residuos, están las especies catiónicas inorgánicas. Las especies inorgánicas pueden clasificarse en tres grandes grupos, con base en su capacidad de retención en el suelo mineral. Los elementos que tienden a ser retenidos por el polvo, incluyen: cadmio, mercurio, plomo, y zinc. El potasio, magnesio, fierro, sílice y NH_4^+ son moderadamente retenidos en el suelo, mientras que el sodio, cloro, calcio, manganeso y boro, son poco retenidos por el suelo. La retención de los tres últimos elementos, se debe tal vez a que ellos son lixiviados del suelo. Debe observarse que la retención del fierro y el manganeso, están en función de su estado de oxidación, dado que las formas reducidas de Mn y Fe, son relativamente poco retenidas, mientras que las formas oxidadas como $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ y MnO_2 , son muy insolubles y permanecen en el suelo como sólidos.

Los efectos de los residuos en el medio ambiente pueden atribuirse a los efectos sobre los organismos, sobre los materiales; y los efectos para el medio ambiente.¹¹³

La preocupación última con los residuos, tiene que ver con sus efectos tóxicos sobre los animales, las plantas, y los microbios. Virtualmente todos los residuos peligrosos son venenosos en cierto grado solamente; mientras que otros lo son en sumo grado.

2.8.2 Los Residuos Peligrosos en la Geósfera.

Los orígenes, transporte, interacciones y destino de los contaminantes en la geósfera, envuelven un esquema complejo. La preocupación primaria acerca de los Residuos Peligrosos, en la geósfera, es la posible contaminación de los acuíferos subterráneos por los lixiviados. Hay un gran número de posibles contaminantes, el más obvio, es el lixiviado de los tiraderos de materiales peligrosos. En algunos casos, los líquidos peligrosos, son colocados en lagunas, los cuales pueden filtrarse a los acuíferos. Las alcantarillas y las descargas a las fosas sépticas, pueden infiltrarse también. Los residuos peligrosos, son a veces

deliberadamente dispuestos en pozos. Este medio de disposición puede resultar en intercambio de agua contaminada entre la superficial y el agua subterránea en los puntos de descarga y recarga. El transporte de contaminantes en la geósfera, depende grandemente de los factores hidrológicos que gobiernan el movimiento del agua subterránea y las interacciones de los constituyentes de los residuos con el estrato geológico, particularmente los materiales no consolidados. El flujo del agua subterránea depende de la velocidad de flujo, que es generalmente lento; si es de 1 m/d, ya debe ser considerado como rápido.

2.8.3 Los Residuos Peligrosos en la Hidrosfera

La manera típica en que los contaminantes entran en la hidrosfera es casi siempre igual. Los lixiviados de derrames o tiraderos fluyen aguas abajo hasta alcanzar el nivel del agua subterránea y luego, en la descarga de esas aguas, llegan a los manantiales o a los lagos. Otra manera se da cuando las precipitaciones arrastran de la atmósfera a los contaminantes, los derrames deliberados a las fuentes de agua o cuerpos de agua, hay arrastre del suelo por erosión y también movilización de sedimentos. Una vez en el

sistema acuático, los contaminantes se sujetan a una serie de procesos químicos y bioquímicos, que incluyen reducciones ácido-base, precipitación-disolución y reacciones de hidrólisis y la biodegradación.

2.8.4 Los Residuos Peligrosos en la Atmósfera

Los Contaminantes pueden entrar a la atmósfera por la evaporación o también como partículas suspendidas en el viento. Los contaminantes típicos son: acrilonitrilo, dicloruro de etileno, percloroetileno, cloruro de vinildieno y benzopireno. Las tres principales áreas de interés de la contaminación de la atmósfera son: su contaminación potencial, el destino atmosférico, y el tiempo de residencia.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El potencial del contaminante peligroso en la atmósfera, depende de que sea éste un contaminante primario, que tiene un efecto directo; o contaminante secundario, que se convierte en sustancia peligrosas por algún proceso atmosférico químico. Los más peligrosos suelen ser los contaminantes primarios, principalmente para el sitio adyacente, o para los trabajadores que limpian o

disponen, y la gente que permanece en ese sitio. Las dos clases de contaminantes secundarios de los residuos peligrosos, son aquellas que son oxidadas en la atmósfera convirtiéndose en sustancias corrosivas y los materiales orgánicos que siguen a la oxidación fotoquímica.

Ejemplos clásicos son: el dióxido de azufre que se libera a la atmósfera y produce ácido sulfúrico, el dióxido de nitrógeno que por sí mismo es contaminante, producido por la reacción del ácido nítrico con agentes reductores, como metales, el cual se oxida a ácido nítrico o se convierte en sales corrosivas de nitrato. Las especies orgánicas que producen contaminantes secundarios en el aire, son aquellas que forman el smog fotoquímico. Los más reactivos de esos compuestos son los insaturados, que reaccionan con el oxígeno atómico o el radical hidroxil en el aire, para producir radicales reactivos que participan en una reacción en cadena para eventualmente producir el ozono, oxidantes orgánicos, aldehidos, y otros productos característicos del smog fotoquímico.

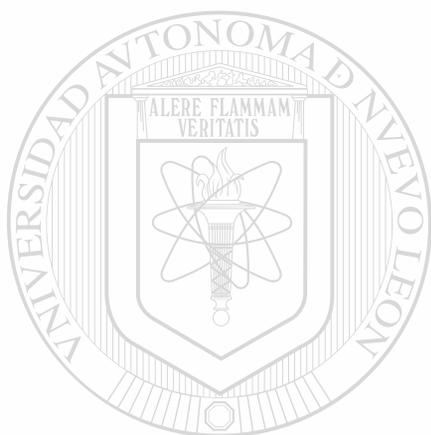
2.8.4 Residuos peligrosos en la Biosfera

Uno de los aspectos más cruciales del destino y los efectos de los residuos, es su acumulación por los organismos que viven en los alrededores. Estos pueden ser bioacumulados y biomagnificados. (16)

Las biotransformaciones de productos químicos ambientales, incluyen a los pesticidas y a los productos químicos industriales, que enferman a los animales vertebrados (pájaros, mamíferos, anfibios, peces y reptiles).

La Biodegradación de los residuos es su conversión por medio de los procesos biológicos a moléculas inorgánicas simples y, hasta cierto punto, a materiales biológicos. La bioconversión de los materiales a sustancias inorgánicas como el CO_2 , NH_3 y fosfatos, se le llama mineralización. La detoxificación se refiere a la conversión biológica de una sustancia tóxica a especies menos tóxicas, la cual puede ser todavía relativamente compleja. (5)

La Biotransformación le sucede a cualquier sustancia que es metabolizada y, por lo tanto, alterada por el proceso bioquímico en un organismo. El metabolismo se divide en dos categorías generales que son el catabolismo, que es el rompimiento de moléculas complejas, y el anabolismo que es la formación de moléculas vivas a partir de materiales simples. (22)



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

de

2.9 MARCO LEGAL

La restauración de sitios contaminados tiene sus bases legales dentro de LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE. Entre los artículos que hacen mención al tema, están los siguientes:

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

I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;

II.- Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación;

III.- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;

Artículo 3o.- Para los efectos de esta Ley se entiende por:

XXII.- Material peligroso: Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas;

XXI.- Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó;

XXII.- Residuos peligrosos: Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente;

XXXIII.- Restauración: Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales;

ARTICULO 5o.- Son facultades de la Federación:

I.- La formulación y conducción de la política ambiental nacional;

II.- La aplicación de los instrumentos de la política ambiental previstos en esta Ley, en los términos en ella establecidos, así como la regulación de las acciones para

la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente que se realicen en bienes y zonas de jurisdicción federal;

VI.- La regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas, y de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, así como para la preservación de los recursos naturales, de

conformidad con esta Ley, otros ordenamientos aplicables y sus disposiciones reglamentarias;

ARTICULO 98.- Para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo se considerarán los siguientes criterios:

III.- Los usos productivos del suelo deben evitar prácticas que favorezcan la erosión, degradación o modificación de las características topográficas, con efectos ecológicos adversos;

IV.- En las acciones de preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, deberán considerarse las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de

las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo y la pérdida duradera de la vegetación natural;

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

VI.- La realización de las obras públicas o privadas que por sí mismas puedan provocar deterioro severo de los suelos, deben incluir acciones equivalentes de regeneración, recuperación y restablecimiento de su vocación natural.

ARTICULO 134.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:

I.- Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo;

II.- Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos;

III.- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes;

IV.- La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar, y

V.- En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en

cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano e de ordenamiento ecológico que resulte aplicable.

ARTICULO 135.- Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se considerarán, en los siguientes casos:

III.- La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen; y

IV.- El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

ARTICULO 136.- Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

I.- La contaminación del suelo;

II.- Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos;

III.- Las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación, y

IV.- Riesgos y problemas de salud.

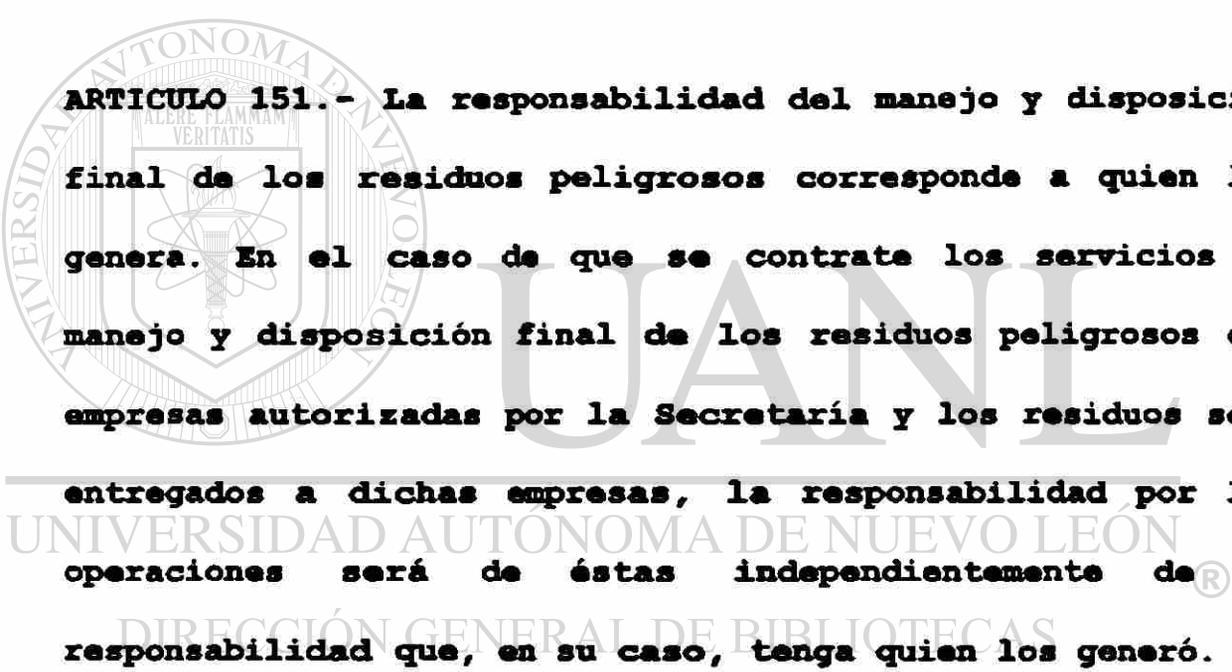
ARTICULO 150.- Los materiales y residuos peligrosos deberán ser manejados con arreglo a la presente Ley, su Reglamento y las normas oficiales mexicanas que expida la Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, de Comunicaciones y Transportes, de Marina y de Gobernación. La regulación del manejo de esos materiales y residuos incluirá según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición final.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

El Reglamento y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el párrafo anterior, contendrán los criterios y listados que clasifiquen los materiales y residuos peligrosos identificándolos por su grado de peligrosidad y considerando sus características y volúmenes. Corresponde a la Secretaría la regulación y el control de los materiales y residuos peligrosos.

Asimismo, la Secretaría en coordinación con las dependencias a que se refiere el presente artículo, expedirá las normas oficiales mexicanas en las que se establecerán los requisitos para el etiquetado y envasado de materiales y residuos peligrosos, así como para la evaluación de riesgo e información sobre contingencias y accidentes que pudieran generarse por su manejo, particularmente tratándose de sustancias químicas.



ARTICULO 151.- La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría y los residuos sean entregados a dichas empresas, la responsabilidad por las operaciones será de éstas independientemente de[®] la responsabilidad que, en su caso, tenga quien los generó.

Quiénes generen, reusen o reciclen residuos peligrosos, deberán hacerlo del conocimiento de la Secretaría en los términos previstos en el Reglamento de la presente Ley.

En las autorizaciones para el establecimiento de confinamientos de residuos peligrosos, sólo se incluirán

los residuos que no puedan ser técnica y económicamente sujetos de reuso, reciclamiento o destrucción térmica o físico química, y no se permitirá el confinamiento de residuos peligrosos en estado líquido.

ARTICULO 151 BIS.- Requiere autorización previa de la Secretaría:

I.- La prestación de servicios a terceros que tenga por objeto la operación de sistemas para la recolección, almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos;

II.- La instalación y operación de sistemas para el tratamiento o disposición final de residuos peligrosos, o para su reciclaje cuando éste tenga por objeto la recuperación de energía, mediante su incineración, y

III.- La instalación y operación, por parte del generador de residuos peligrosos, de sistemas para su reuso, reciclaje y disposición final, fuera de la instalación en donde se generaron dichos residuos.

ARTICULO 152.- La Secretaría promoverá programas tendientes a prevenir y reducir la generación de residuos peligrosos, así como a estimular su reuso y reciclaje.

En aquellos casos en que los residuos peligrosos puedan ser utilizados en un proceso distinto al que los generó, el Reglamento de la presente Ley y las normas oficiales mexicanas que se expidan, deberán establecer los mecanismos y procedimientos que hagan posible su manejo eficiente desde el punto de vista ambiental y económico.

Los residuos peligrosos que sean usados, tratados o reciclados en un proceso distinto al que los generó, dentro del mismo predio, serán sujetos a un control interno por parte de la empresa responsable, de acuerdo con las formalidades que establezca el Reglamento de la presente Ley.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En el caso de que los residuos señalados en el párrafo anterior, sean transportados a un predio distinto a aquél en el que se generaron, se estará a lo dispuesto en la normatividad aplicable al transporte terrestre de residuos peligrosos.

ARTICULO 117.- Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios:

I.- La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país;

II.- Corresponde al Estado y la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos y corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo;

III.- El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas;

IV.- Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo; y

V.- Las participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.

2.9.1 REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO
Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE
RESIDUOS PELIGROSOS

Artículo 42.- Cuando por cualquier causa se produzcan derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de residuos peligrosos, durante cualquier operación que comprende su manejo, el generador y, en su caso, la empresa, que preste el servicio, deberá dar aviso inmediatamente de los hechos a la Secretaría, aviso que deberá ser ratificado por escrito dentro de los tres días siguientes al día en que ocurren los hechos, para que dicha dependencia esté en posibilidad de dictar o en su caso promover ante las autoridades competentes, la aplicación de las medidas de seguridad que procedan sin perjuicio de las medidas que las mismas autoridades apliquen en el ámbito de sus competencias.

VI.- Medidas adoptadas para la limpieza y restauración de la zona afectada.

Artículo 10.- Se requiere la autorización de la Secretaría para instalar y operar sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos, así como para prestar servicios en dicha operaciones sin perjuicio de las disposiciones aplicables en materia de salud y de seguridad e higiene en el trabajo.

La LGEEPA señala en su artículo 150 la obligatoriedad de atender a las Normas Oficiales Mexicanas y procedimientos que establezca la Secretaría tratándose del manejo de materiales y residuos peligrosos.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Entendemos por Normas Oficiales Mexicanas (NOM's), según el artículo 36 de la LGEEPA, el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por emitidas por la Secretaría, que establezcan los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes que causen o puedan causar desequilibrio

ecológico ó daño al ambiente y; además, que uniformen principios; criterios, políticas y estrategias en la materia. (24,41)

Por disposición de la Ley Federal de Metrología y Normalización se establecieron las siguientes Normas Oficiales Mexicanas, publicadas en el Diario Oficial de la Federación con fecha 22 de Octubre de 1993:

NOM-052-ECOL/1993 Norma Oficial Mexicana, que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un Residuo Peligroso por su Toxicidad al ambiente. (27)

NOM-053-ECOL/1993 Norma Oficial Mexicana que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un Residuo Peligroso por su Toxicidad al ambiente. (28)

NOM-054-ECOL/1993 Norma Oficial Mexicana, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o mas Residuos considerados como Peligrosos por la Norma Oficial Mexicana. (29)

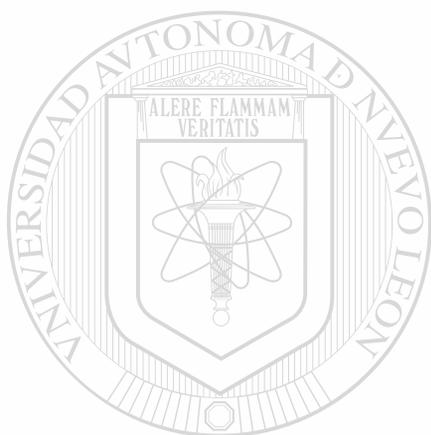
NOM-055-ECOL/1993 Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de Residuos Peligrosos, excepto de los Radiactivos. (30)

NOM-056-ECOL/1993 Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de Residuos Peligrosos. (31)

NOM-057-ECOL/1993 Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para Residuos Peligrosos. (32)

NOM-058-ECOL/1993 Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de Residuos Peligrosos. (33)

A continuación se anexan copias de formatos y requisitos para las empresas que se dedican a prestar servicios de biorremediación. (38)



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
SEMARNAP

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA
DIRECCION GENERAL DE MATERIALES, RESIDUOS Y ACTIVIDADES RIESGOSAS
DIRECCION DE RESIDUOS PELIGROSOS Y RIESGO

**PROMOVENTES DE SERVICIOS PARA LA RESTAURACION DE SITIOS
CONTAMINADOS POR MATERIALES Y/O RESIDUOS PELIGROSOS.**

Se les comunica que no se entregarán documentos e información oficial, relacionados con el proceso de atención de asuntos referentes con la restauración de sitios contaminados por materiales y/o residuos peligrosos, a personas que no se encuentran debida y legalmente acreditadas a través del poder notarial correspondiente.

ATENTAMENTE
SUFRAGIO EFECTIVO. NO REELECCION.
EL DIRECTOR DE RESIDUOS PELIGROSOS Y RIESGO


ING. SERGIO RIVA PALACIO CHIANG.

Febrero 11, 1997

- c.c.p. Ing. Gabriel Cuadri de la Torre.- Presidente del Instituto Nacional de Ecología.- Presente.
- c.c.p. Ing. Jorge Sánchez Gómez.- Director General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.- Presente.
- c.c.p. M. en C. Juan Manuel Flores.- Subdirector de Residuos Peligrosos.- Presente.
- c.c.p. Ing. Carlos Pérez Torres.- Subdirector de Riesgo.- Presente.
- c.c.p. Ing. Luis Alberto Pineda Barreiro.- Subdirector de Promoción y Desarrollo.- Presente.
- c.c.p. Archivo de la Dirección.

**PROCEDIMIENTO TECNICO-ADMINISTRATIVO CORRESPONDIENTE A LOS
TRAMITES DE LA ACREDITACION DE TECNOLOGIAS PARA EMPRESAS DE
SERVICIO EN LA RESTAURACION DE SITIOS CONTAMINADOS POR
MATERIALES Y/O RESIDUOS PELIGROSOS**

Procedimiento No. 1

1. Las empresas que requieran contratar la ejecución de trabajos de restauración de suelo, podrán hacerlo con empresas prestadoras de servicio que cuenten o no con la correspondiente acreditación de su tecnología.
2. El Instituto Nacional de Ecología ha establecido convenios con Universidades y Centros de Investigación Superior (CIS), para la realización de estudios sobre tecnologías y sistemas de Manejo de Residuos Peligrosos, de acuerdo con las atribuciones que le son conferidas en el Artículo 50 fracción VIII del Reglamento Interior de la SEMARNAP.

Con base en lo anterior, las empresas que requieran de la acreditación de su tecnología, podrán hacerlo a través de los CIS que el Instituto les indique.

La empresa deberá presentar al Instituto, la información preliminar de su tecnología, entre la cual es deseable que incluya los siguientes puntos:

- Descripción de la tecnología.
- Acreditación de la tecnología (Nacional o Extranjera).
- Autorización de la tecnología en el extranjero.
- Experiencias técnicas de proyectos realizados.
- Perfil técnico del personal de la empresa que efectuará la Restauración de sitios.

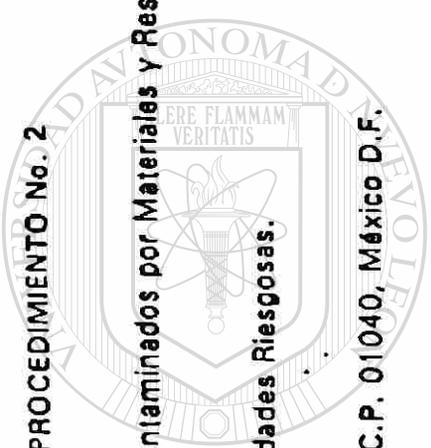
3. La Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas analizará la documentación presentada para evaluar la viabilidad de la tecnología. Si la iniciativa es viable y satisface los requerimientos de información, se seleccionará el CIS que llevará a cabo el proceso de análisis y acreditación de la tecnología.

Con base en lo anterior se notificará al prestador de servicios a que CIS debe acudir para la evaluación de su tecnología.

4. El prestador de servicios deberá presentar los requerimientos que le señale el CIS, dado que éste evaluará las bases científicas de la tecnología, así como el diseño y desarrollo del protocolo de pruebas que al efecto se requiera.

Esta información se presentará de acuerdo a los lineamientos y especificaciones que le señale el CIS.

REQUISITOS ADMINISTRATIVOS QUE DEBEN PRESENTAR LOS
 PROMOVENTES DE SERVICIOS PARA LA RESTAURACION DE SITIOS
 CONTAMINADOS POR MATERIALES Y/O RESIDUOS PELIGROSOS.



PROCEDIMIENTO No. 2

NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO:
 Presentación del Plan de Restauración de Sitios Contaminados por Materiales y Residuos Peligrosos.

UNIDAD ADMINISTRATIVA:
 Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.

UBICACION:
 Av. Revolución # 1425, Nivel 14, Col. Campestre C.P. 01040, México D.F.

RESPONSABLE DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA:
 Ing. Jorge Sánchez Gómez.

DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO:

CONCEPTO	INFORMACION REQUERIDA	PRODUCTO
Plan de Restauración.	<ul style="list-style-type: none"> - Origen de la fuente de contaminación. - Caracterización del sitio. - Estudios geológicos y geohidrológicos. - Descripción de las acciones a realizar para la restauración del sitio. - Estudio de riesgo. - Programa de trabajo (calendarizado). - Protocolo de Fruebas. - Propuesta de niveles de limpieza a alcanzar. 	Visto Bueno para llevar a cabo el Plan de Restauración y determinación de los niveles de limpieza a alcanzar.

ACCIONES COMPLEMENTARIAS:
 El Plan de Restauración debe ser avalado por un órgano colegiado (Institución o Centro de Investigación) reconocido en la materia.



INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA
DIRECCION GENERAL DE MATERIALES, RESIDUOS Y ACTIVIDADES RIESGOSAS
FORMATO DE SOLICITUD DE ACREDITACION PARA EMPRESAS PRESTADORAS
DE SERVICIO PARA LA RESTAURACION DE SITIOS

PARA SER LLENADO POR LA DGMRyAR.				
SOLICITUD No.		RAZON SOCIAL		
ESTADO:		MUNICIPIO		
ACTIVIDAD SOLICITADA		F.I.O.		
REGULARIZACION:	SI	NO	EMPRESA NUEVA:	SI NO

1.- DATOS DEL REPRESENTANTE DE LA EMPRESA

1.1.- **EL SUSCRITO** _____

EN MI CARACTER DE (REPRESENTANTE LEGAL, PROPIETARIO, GERENTE, ETC.)

_____ DE LA EMPRESA (RAZON SOCIAL) _____

1.2.- **CON DOMICILIO PARA RECIBIR Y OIR NOTIFICACIONES:**

CALLE _____ COL _____

MUNICIPIO O DELEGACION _____

ENTIDAD FEDERATIVA _____ TEL. _____

NOTA: ESTA SOLICITUD DEBERA PRESENTARSE EN ORIGINAL Y DOS COPIAS.

2.1.- **NOMBRE Y RAZON SOCIAL** _____

2.2.- **UBICACION (CALLE Y No.)** _____

COLONIA _____

MUNICIPIO O DELEGACION _____

ENTIDAD FEDERATIVA _____ **TEL.:** _____

2.3.- **REGISTRO FEDERAL DE CONTRIBUYENTES** _____

2.4.- **LICENCIAS CON QUE CUENTA (DEPENDENCIA, No. Y FECHA):** _____

2.5.- **ACTIVIDAD QUE REALIZA(RA) LA EMPRESA.**

2.6.- **PERSONAL QUE LABORA(IRA) PARA LA EMPRESA.**

No. DE EMPLEADOS: _____

TECNICOS Y OBREROS: _____

TURNOS DE TRABAJO: _____

3. **DESCRIPCION DETALLADA DEL SISTEMA MEDIANTE EL CUAL SE TRATARAN LOS SITIOS CONTAMINADOS CON MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS**

3.1.- **DESCRIPCION DE LA TECNOLOGIA.**

EN EL ANEXO DEBERA DESCRIBIR CLARAMENTE LA TECNOLOGIA A EMPLEAR PARA LA RESTAURACION DE SITIOS, INDICANDO EL TIPO DE CONTAMINANTES QUE PUEDE TRATAR, ASI COMO LAS CARACTERISTICAS TECNICAS, DE COMO SE REALIZA SU TRATAMIENTO.

3.2.- **CERTIFICACION DE LA TECNOLOGIA NACIONAL O EXTRANJERA.**

EN EL ANEXO DEBERA PROPORCIONAR LA INFORMACION SOBRE LA O LAS CERTIFICACIONES NACIONALES O EXTRANJERAS QUE CUENTE DICHA TECNOLOGIA. PRECISANDO LAS ENTIDADES O AUTORIDADES QUE LA OTORGAN (ANEXAR COPIA).

3.3.- **PATENTES CON QUE CUENTA LA TECNOLOGIA PROPUESTA.**

DEBERA ANEXAR COPIA DE LOS REGISTROS CORRESPONDIENTES.

CAPÍTULO 3

MÉTODO

1. Se seleccionaron zonas contaminadas como fuente de aislamiento de microorganismos degradadores de hidrocarburos:

1.1 Aceite Industrial

1.2 Aceite Automotriz

1.3 Suelo Impactado.

Nota: El Aceite Industrial, es agua del proceso contaminada con aceite de uso industrial. El Aceite Automotriz, es aceite gastado o usado. El Suelo está Impactado por un derrame de aceite, en los patios de una industria.

Las muestras se colocaron en frascos estériles de boca ancha y de color ámbar. (25)

2. Se aislaron microorganismos procedentes de las diferentes muestras:

2.1 Las muestras se sembraron en tres tipos de agar selectivo: Agar Nutritivo, Agar EMB y Agar Papa Glucosa.

2.2 Las muestras de aceite industrial, aceite automotriz y suelo impactado, se sembraron directamente en un medio líquido de sales (Medio mineral No. 1), de la siguiente manera: en 50 mL de solución mineral No. 1 se colocaron por separado, 2.5 mL de aceite industrial, aceite automotriz y 4 g de suelo impactado. Se indujo agitación, para activar a los microorganismos presentes en cada muestra.

2.3 Los medios anteriores (2.2), se incubaron a 30 °C durante un lapso de veintiún días

2.4 Del medio líquido (2.2), se hicieron aislamientos en agar aceite, que contiene lo siguiente: Se preparó agar-agar 15 g/L con 50 mL/L del medio mineral No. 1 y la adición de 10 g/L de aceite industrial, como única fuente de carbono.

2.5 Las cepas aisladas se mantuvieron en Agar aceite, con el fin de mantener un cepario de microorganismos que pudiesen crecer en aceite.

3. Se determinó la capacidad hidrocarburofítica de la flora microbiana nativa con el medio mineral No. 1.

3.1 Determinación de actividad metabólica, mediante captación de CO₂ en álcali, de la siguiente manera:

En Respirómetros tipo Bartha (fig. 3.1) de 250 mL se colocaron:

- **2.96 g de aceite industrial.**
- **3.03 g de aceite automotriz.**
- **5.00 g de suelo impactado conteniendo 0.68 g de aceite.**
- **Cada una de las fuentes (aceite industrial,**

automotriz y suelo impactado), se emplearon como inóculo.

- **En el reservorio adherido, se colocaron 5 mL de NaOH, estandarizado al 0.1 N aproximadamente, en diferentes matraces, con 3 repeticiones.**
- **Por cada tratamiento se corrió un control relativo que contenía 2.96 g de aceite industrial, 3.03 g de aceite automotriz y 5 g de suelo impactado, por separado y sin esterilizar.**

El Hidróxido de Sodio 0.1 N de la siguiente manera:

En un matraz de aforación de 1000 mL, se colocaron 4 g de NaOH y se aforó a la marca.

↓

Por otro lado, en un matraz de aforación de 1000 mL se colocaron 9.3 mL de HCl concentrado y se aforó a 1 Litro, para preparar el HCl 0.1 N.

Para poder valorar el ácido clorhídrico se preparó una solución de Na_2CO_3 , Carbonato de sodio anhidro 0.1 N, de la siguiente manera:

En un matraz de aforación de 1000 mL se colocaron 5.299 g de Na_2CO_3 , previamente secado durante 1 hora a 250 °C, se enfrió en un desecador y se pesa cuidadosamente en una balanza analítica y se aforó a un litro. Como indicador se utilizó el colorante anaranjado de metilo.

Se colocó un volumen de 10 mL de la solución de Na_2CO_3 , en un matraz Erlen-Meyer de 250 mL, se le agregaron 50 mL agua destilada y unas gotas del indicador anaranjado de metilo. Por otro lado, se colocó en una bureta de 50 mL la

solución de HCl y se procedió a valorarlo o titularlo con el Na_2CO_3 , hasta el cambio de color amarillo a naranja rosado, indicando el punto final de la titulación. Esto se hizo con cinco repeticiones y un blanco para revisar que el agua destilada estuviera neutra. El gasto promedio de HCl fue de 9.64 mL. La Normalidad del HCl se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

Despejando:

$$N_1 = (V_2 \times N_2) / V_1$$

Sustituyendo:

$$N_1 = 10 \text{ mL} \times 0.1 / 9.64$$

$$N_1 = 0.1037$$

Donde:

V_1 = Volumen de HCl empleado en la titulación

~~V_2 = Volumen de Na_2CO_3 para titular el HCl, 10 mL~~

N_1 = Normalidad del HCl

N_2 = Normalidad patrón del Na_2CO_3 , 0.1

Para titular el NaOH, Hidróxido de sodio, se colocaron 10 mL en un matraz Erlen-Meyer de 250 mL y se le agregaron 50 mL de agua destilada y unas gotas de anaranjado de metilo como colorante. Se corrieron cinco repeticiones y un blanco y se procedió de la misma manera anterior. Se

gastaron en promedio 8.29 mL de HCl, con los siguientes resultados:

$$N_2 = (V_1 \times N_1) / V_2$$

Sustituyendo: $N_2 = 8.29 \text{ mL} \times 0.1037 / 10.0 \text{ mL}$

$$N_2 = 0.086$$

Donde:

V_1 = Volumen de HCl empleado en la titulación 8.29 mL

V_2 = Volumen de NaOH para titular el HCl, 10 mL

N_1 = Normalidad del HCl, 0.1037

N_2 = Normalidad del NaOH, 0.086

Con estas soluciones preparadas y tituladas, se prosiguió el experimento para determinar la Producción de CO_2 , de la siguiente manera:

$$\text{mg/L de } \text{CO}_2 = [(\text{mL NaOH}) (N \text{ NaOH}) - (\text{mL HCl}) (N \text{ HCl})] 0.022 \times 1000$$

Esta fórmula se deriva de la siguiente relación:

$$\text{g de } \text{CO}_2 \text{ producidos} = (\# \text{ meq } \text{CO}_2) (P \text{ meq } \text{CO}_2) (1000)$$

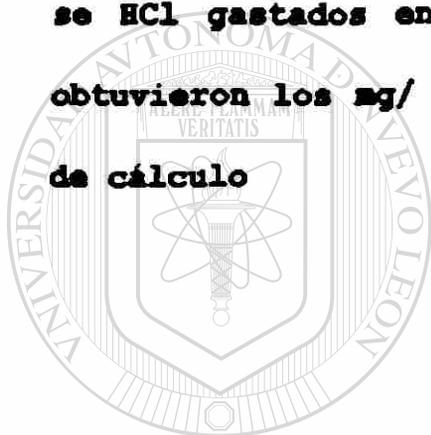
$$\text{mg de } \text{CO}_2 \text{ producidos} = (\# \text{ meq } \text{CO}_2) (P \text{ meq } \text{CO}_2)$$

El número de miliequivalentes (# meq), se obtuvo de la diferencia entre los miliequivalentes (meq) del ácido y la base. El Peso miliequivalente (P meq) del CO₂ es de 0.022

$$P \text{ meq de CO}_2 = \text{Peso Molecular} / \text{valencia} \times 1000$$

$$P \text{ meq de CO}_2 = 44 / 2 \times 1000 = 0.022$$

Con la fórmula anterior y tomando los datos de los mL de HCl gastados en la neutralización de 5 mL de NaOH se obtuvieron los mg/ L de CO₂, como se muestra en la memoria de cálculo



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

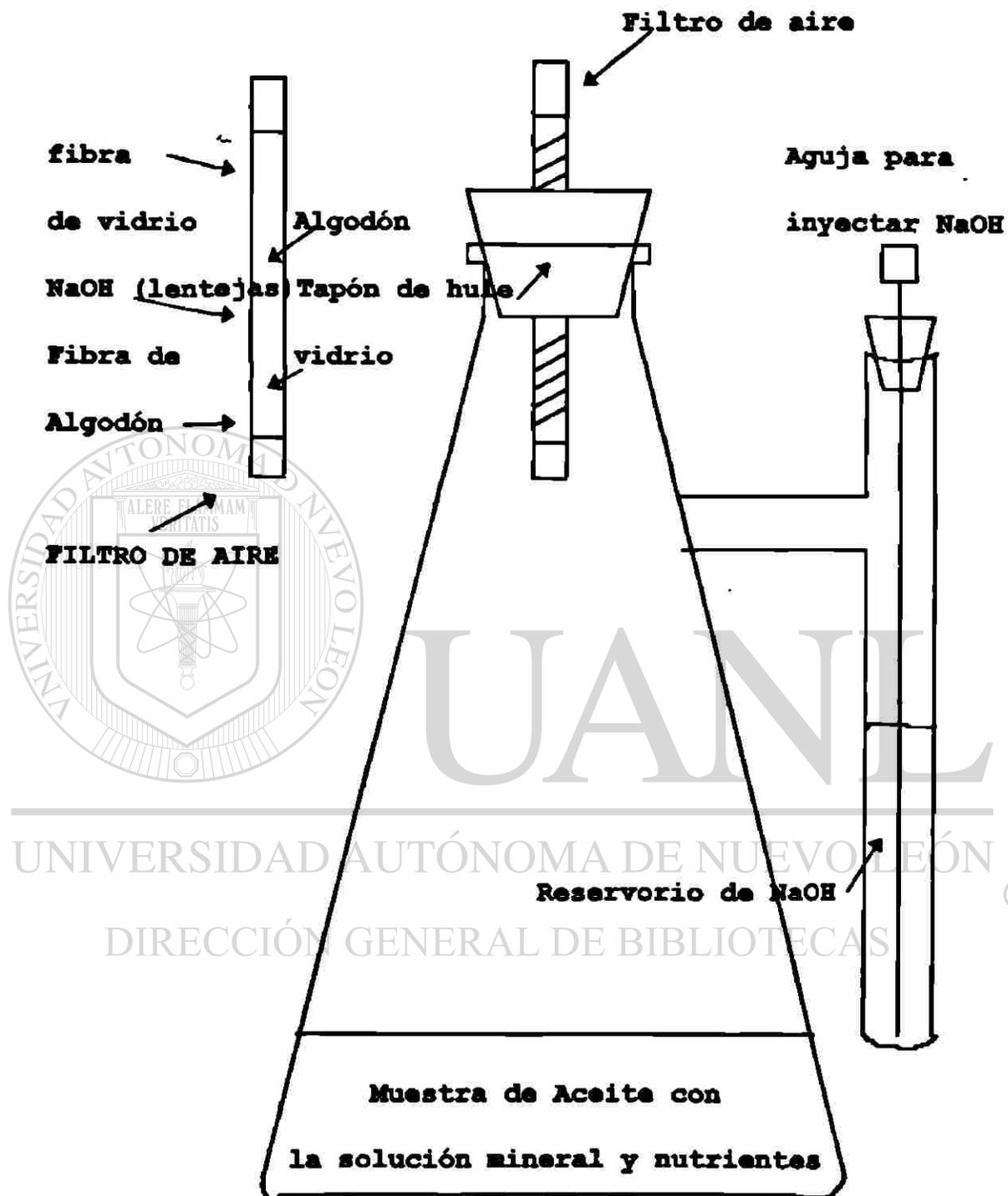


Fig. No. 3.1 Respirómetro tipo Bartha

Tabla No. 3.1 Medio mineral número 1

Reactivo	Cantidad g/L	Reactivo	Cantidad g/L
K_2HPO_4	....10.0	KCl	.....2.0
KH_2PO_4	.....8.0	$ZnSO_4$	.....0.5
$MgSO_4$	.....6.0	$CuSO_4$	.....0.5
$NH_4(NO_3)_2$	....15.0	$FeSO_4$	.....0.2
$CaCO_3$	.....1.0		

3.2 A los matraces se les agregó 200 mL de la solución mineral No. 1 y se incubaron a 30 °C durante cinco semanas.

3.3 Se midió la actividad metabólica diariamente, de la siguiente manera:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Con una jeringa se extrajo el NaOH 0.1 N, del reservorio adherido al matraz de cada uno de los tratamientos por separado. Se colocaron en un matraz Erlen-Meyer de 250 mL, y se le agregaron 2.5 mL de $BaCl_2$ al 0.1%, unas gotas de fenolftaleína y se tituló con HCl 0.1 N. Los cálculos se determinaron de la siguiente fórmula empírica: (8,21,22,37)

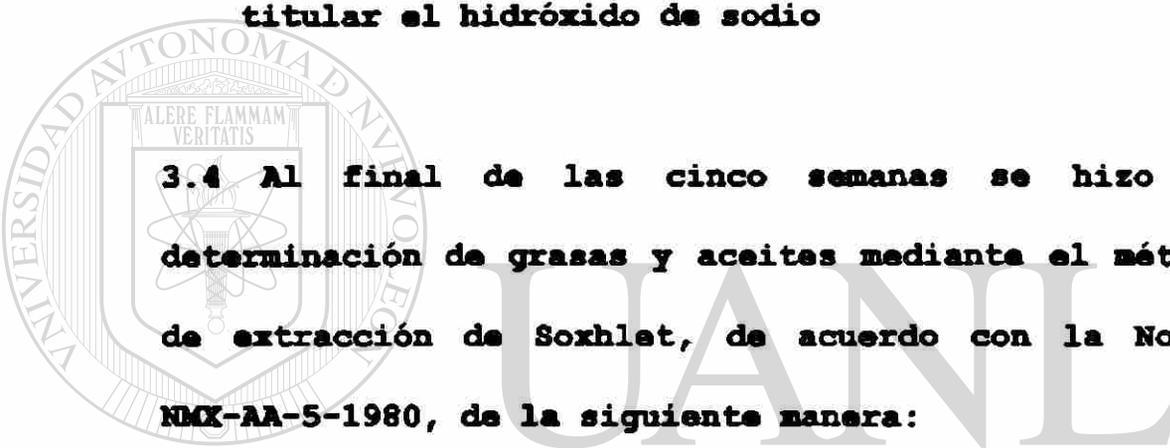
$$\text{mg/L de CO}_2 = [(\text{mL NaOH}) (N \text{ NaOH}) - (\text{mL HCl}) (N \text{ HCl})] 0.022 \times 1000$$

Donde:

N = Normalidad del Hidróxido de sodio y del Ácido Clorhídrico, respectivamente

mL NaOH = Cantidad de hidróxido de sodio colocado en el reservorio (5 mL)

mL HCl = Cantidad de ácido clorhídrico gastada para titular el hidróxido de sodio



3.4 Al final de las cinco semanas se hizo la determinación de grasas y aceites mediante el método de extracción de Soxhlet, de acuerdo con la Norma NMX-AA-5-1980, de la siguiente manera:

Se tomó cada muestra por separado, midiéndoles el volumen y se acidificó con ácido clorhídrico para obtener un pH menor a 2.

Se preparó el material filtrante. Se colocó en un embudo buchner un filtro de tela muselina, arriba de esta se colocó un papel filtro Whatman No. 40, se humedeció y se aplicó vacío. Se le agregó una suspensión de diatomeas, luego se lavó el material filtrante con 1 litro de agua destilada, y se aplicó

vacío hasta que no hubiera escurrimiento de agua del filtro.

Se filtró la muestra acidulada a través del filtro preparado, hasta que no escurrió más agua.

Con unas pinzas se pasó el filtro de tela y papel a un vidrio reloj. Se limpiaron los lados y el fondo del embudo con trozos de filtro humedecido con hexano, incorporando éstos al resto del material. Se enrolló el filtro y se colocó en un dedal de extracción. Se secó el papel filtro con el dedal en la estufa a 103 °C por 30 min. Se secó y pesó el matraz de extracción y se emplearon 170 mL de hexano

como disolvente, se extrajo la grasa en un aparato Soxhlet, por espacio de 4 horas.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Se destiló el solvente del matraz extractor, por calentamiento. Se secó el matraz a 60 °C durante 30 min. Se enfrió en un desecador por 30 min. y se pesó. Se hicieron los cálculos de la siguiente manera:

$$\text{Grasa total mg/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

B = Peso del matraz antes de la extracción en mg

A = Peso del matraz después de la extracción en mg

4. Determinación de la capacidad hidrocarburoalítica utilizando el medio mineral No. 2. (8)

Se procedió de la siguiente manera: Se colocaron las tres muestras diferentes, el aceite automotriz en el matraz No. 1 se colocaron 1.63 g, en el matraz No. 2 1.52 g, en el matraz No. 3 1.74 g y el control absoluto de esta muestra fue de 1.76 g, en los

respirómetros con 200 mL de la solución mineral No. 2.

Para el aceite industrial se colocaron 2.58 g en el matraz No. 1, 2.67 g en el matraz No. 2, 2.63 g en matraz No. 3, al control absoluto se le agregaron 2.49 g. Se colocaron en los respirómetros y se les añadió 200 mL del medio mineral No. 2. Para el suelo impactado se colocaron 0.6908 g de aceite en el matraz No. 1, 0.7480 g de aceite en el matraz No. 2, 0.7099 g de aceite en el matraz No. 3 y 0.7099 g en el control

absoluto, todos en 200 mL del medio mineral No. 2. El control absoluto, se llevó a esterilización, quedando por lo tanto, sin inóculo. El medio mineral No. 2 consta de lo siguiente:

Tabla No. 3.2 Medio mineral No. 2

Reactivos	Cantidad en g/L
NH_4Cl	1.9
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.023
H_2O_2	0.025
CaCl_2	0.028
$\text{NaMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.025
KH_2PO_4	1.179
Na_2HPO_4	4.303

Se incubó a 30 °C y se procedió igual que con las

muestras anteriores para la determinación de Actividad metabólica y la determinación de grasas y aceites mediante el método de Soxhlet. (26)

5. A las tres muestras se les hizo un análisis antes y después del tratamiento biológico de:

Análisis	Método
a) Metales pesados	Absorción Atómica
b) Solventes clorados	Cromatografía de Gases
c) Bifenilos Policlorados	Cromatografía de Gases
d) Benceno	Cromatografía de Gases
e) Nitrógeno Amoniacal	Método de Kjeldahl
f) pH	Método Potenciométrico

6. Se realizó un análisis bacteriológico, para determinar el número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC), mediante un conteo en placa. (36)

Los resultados de la producción de CO₂, examinaron

mediante un análisis completamente aleatorio:

1. Análisis de varianza.

2. Análisis bifactorial.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En la tabla 4.1 se resumen las características coloniales y microscópicas de los organismos aislados a partir de la muestra tomada del Aceite Industrial, observadas a las 24 y a las 48 horas.

Las muestras de Aceite Automotriz gastado, se mantuvieron seis días más en incubación debido a que a las 48 horas no se presentó crecimiento visible de colonias. Luego presentó colonias puntiformes. Al microscopio se observaron bacilos muy delgados ramificados gram (-) y actinomicetos, como se describe en la tabla No. 4.2

Las muestras de suelo impactado generaron colonias polvosas, a las 24 y a las 48 horas. Al microscopio se observaron estructuras ramificadas: levaduras, actinomicetos y hongos, como se describe en la tabla No. 4.3

De los muestreos en agar, se aislaron 24 cultivos diferentes, entre ellos: bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos. Su desarrollo en agar aceite fué muy lento pero se presentaron organismos morfológicamente similares: bacilos cortos, levaduras y actinomicetos

Tabla No. 4.1 Características coloniales y microscópicas de microorganismos desarrollados a partir de una muestra de Aceite Industrial.

MEDIO DE CULTIVO	MORFOLOGÍA COLONIAL	MORFOLOGÍA MICROSCÓPICA
agar nutritivo	colonias húmedas cremosas	cocobacilos Gram(-)
agar EMB	colonias cremosas moradas	
agar papa glucosa	colonias cremosas mezcladas con micelio blanco	levaduras, hifas, cocobacilos Gram(-) partículas polvosas

Tabla No. 4.2 Características coloniales y microscópicas de microorganismos desarrollados a partir de una muestra de Aceite Automotriz.

MEDIO DE CULTIVO	MORFOLOGÍA COLONIAL	MORFOLOGÍA MICROSCÓPICA
agar nutritivo	-	-
agar EMB	Colonias puntiformes	Bacilos delgados ramificados Gram (-) y actinomicetos
agar papa glucosa	-	-

Tabla No. 4.3 Características coloniales y microscópicas de microorganismos desarrollados a partir de una muestra de Suelo Impactado.

MEDIO DE CULTIVO	MORFOLOGÍA COLONIAL	MORFOLOGÍA MICROSCÓPICA
agar nutritivo	Colonias polvosas micelio algodonoso grisáceo	Estructuras ramificadas, levaduras, actinomicetos y hongos
agar EMB		
agar papa glucosa		

En la determinación de la actividad metabólica con el medio mineral No. 1 se obtuvieron valores muy similares en la producción de CO₂ para los tres tipos de sustrato como se muestra en el tabla No. 4.4. Los valores menores se presentaron en la segunda semana y fueron de 4.63 y 4.64 mg/L para el suelo impactado y el aceite automotriz respectivamente; mientras que los mayores valores de CO₂ se alcanzaron en la semana No. 5 con 7.18 mg/L en el suelo impactado. Esto se observa con mayor claridad al comparar las figuras 4.1, 4.2 y 4.3. Aquí también destaca, la cantidad de CO₂ generada por los controles relativos, que difiere muy poco de los tratamientos.

En la determinación de la actividad metabólica con el medio mineral No. 2 que se muestra en el tabla No. 4.8 donde se encontraron valores mínimos de 9.34 y 9.69 en la semana 3 para el aceite automotriz y el aceite industrial respectivamente, Los mayores valores se observaron en la semana 5 con 13.43 y 13.45 para el aceite industrial y para el suelo impactado respectivamente. Con los tres sustratos se observan gráficas muy semejantes entre sí. Al comparar los controles absolutos se puede detectar una marcada diferencia con respecto a los tratamientos, esto se observa con detalle en las figuras 4.4, 4.5 y 4.6.

En la determinación de la actividad hidrocarburoolítica mediante aceites y grasas totales (método de Soxhlet), la tabla No. 4.6 registra los valores en por ciento de degradación de aceite, en las tres muestras probadas en el medio mineral No. 1 con dos repeticiones y un tratamiento en agitación (el de agitación con el fin de ver si había alguna diferencia con respecto a los no agitados) y un control relativo. Los porcentajes promedio de degradación en condiciones estáticas fueron ligeramente menores al compararlos con los tratamientos en agitación.

El aceite automotriz registró el menor valor de 22.55% y el suelo impactado mostró el mayor porcentaje de degradación, el 25.00%. Los controles relativos muestran valores altos de degradación superiores al 19% en los tres casos, como se muestra en la tabla antes mencionada.

La tabla No. 4.9, muestra los porcentajes de degradación de aceites lubricantes mediante la estimulación de la flora nativa con el medio mineral No. 2. Los porcentajes promedio revelan valores superiores hasta en 10 unidades, el valor mayor, se registra en el suelo impactado con 34.60% y el menor en el aceite automotriz con un 32.20%. Los valores son proporcionalmente semejantes pero numéricamente mayores. Los controles absolutos generaron menor porcentaje de degradación.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Es evidente que el medio mineral No. 2 estimuló tanto el porcentaje de degradación como la actividad metabólica, reflejada en los mg/L de CO₂ generados.

Los valores de las tablas 7.1 a la 7.5, son las lecturas de los mL de ácido clorhídrico gastados en la neutralización del Hidróxido de Sodio, en todos los casos 5

mL, con el medio mineral No. 1, los cuales se resumen en la tabla 4.4 y 4.5.

En la tabla 4.6 se dan los porcentajes de degradación, obtenidos por el método de Soxhlet ya antes mencionado. En la columna de pérdida por el método, se refiere a las pérdidas obtenidas a partir de una muestra de aceite de peso conocido y que se realizó por el mismo método, dando un margen de error del 4.70% , valor que se le restará a los obtenidos en cada una de las muestras.

En la tabla 4.10 se muestran los resultados de los diferentes tipos de análisis realizados a las tres muestras. Cabe resaltar que el parámetro más alto fué el de

Zinc, con 1157.5 ppm y el de Plomo con 153.7 ppm, en el aceite automotriz.

La muestra de Aceite industrial presentaba altas concentraciones de NH_4OH , causando interferencia para el análisis de orgánicos volátiles, pues no se pudo utilizar la cromatografía de gases.

El pH del aceite automotriz está casi neutro, mientras que en el suelo impactado y en el aceite industrial está alcalino

De los otros parámetros no hubo cantidades significativas, de Bifenilos policlorados, por lo cual no se les realizó un análisis posterior después del tratamiento de biorremediación.

La tabla 4.11 nos muestra los resultados de los análisis realizados a las tres muestras después del tratamiento biológico con el medio mineral No. 2 y con la adición de peróxido de hidrógeno, en la que se ve que no hubo cantidades significativas de volátiles orgánicos y de solventes clorados

También los parámetros de Plomo y Zinc se redujeron a un valor menor que 2.0 ppm para el Plomo y a 7.58 ppm para el zinc en el aceite automotriz, que era el que presentaba los valores altos antes del tratamiento. Esto puede ser debido a que se oxidó gran parte de esos metales. Se incluyen en el anexo las copias de los análisis del laboratorio certificado.

Tabla No. 4.4 Producción de CO₂ en tres tipos de muestras promedio en el medio mineral No. 1 durante cinco semanas

	1er Semana		2da. Semana		3er. Semana		4ta. Semana		5ta. Semana	
	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂
ACEITE AUTOMOTRIZ										
Matraz No. 1	1.59	5.83	2.08	4.71	2.01	5.22	1.59	6.18	1.24	6.98
Matraz No. 2	1.56	5.90	2.16	4.53	1.91	5.45	1.53	6.32	1.17	7.14
Agitado	1.51	6.02	2.09	4.69	1.89	5.50	1.41	6.59	1.13	7.23
Control	1.88	5.17	3.12	2.34	2.21	4.77	1.74	5.84	1.34	6.75
ACEITE INDUSTRIAL										
Matraz No. 1	1.73	5.51	1.98	4.94	2.36	4.43	1.61	6.14	1.24	6.98
Matraz No. 2	1.38	6.31	2.29	4.24	1.93	5.41	1.60	6.16	1.17	7.14
Agitado	1.49	6.06	1.89	5.15	1.88	5.52	1.48	6.43	1.13	7.23
Control	1.84	5.26	2.87	2.91	2.16	4.88	1.71	5.91	1.33	6.78
SUELO IMPACTADO										
Matraz No. 1	1.54	5.95	2.09	4.69	2.03	5.18	1.41	6.59	1.17	7.14
Matraz No. 2	1.59	5.83	2.18	4.49	1.95	5.36	1.38	6.66	1.19	7.09
Agitado	1.48	6.08	2.08	4.71	1.88	5.52	1.26	6.94	1.10	7.30
Control	1.82	5.31	2.81	3.05	2.18	4.84	1.60	6.16	1.31	6.82

Tabla No. 4.5 Actividad metabólica promedio, en el medio mineral No. 1, de las diferentes muestras de aceite, expresada en mg/L de CO₂, tomada durante cinco semanas

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Aceite automotriz	5.92	4.65	5.39	6.37	7.12
Control relativo	5.18	2.34	4.76	5.85	6.75
Aceite industrial	5.96	4.78	5.12	6.25	7.12
Control relativo	5.25	2.92	4.88	5.90	6.78
Suelo impactado	5.95	4.64	5.36	6.73	7.18
Control relativo	5.30	3.05	4.85	6.16	6.81



Tabla No. 4.6 Porcentaje de degradación de tres tipos de muestras mediante la estimulación de la flora microbiana nativa con el medio mineral No. 1

	Concentración inicial mg/L	Concentración final mg/L	Diferencia mg/L	Pérdida por método	Porcentaje degradado real	Porcentaje promedio
Aceite automotriz						
Matraz No.1	15125.00	11584.24	3540.76	3374.35	22.31	22.55
Matraz No.2	15125.00	11552.48	3572.53	3404.62	22.51	
Matraz Agit.	15125.00	11501.05	3623.95	3453.62	22.83	
Control	15125.00	12103.03	3021.98	2879.94	19.04	
Aceite Industrial						
Matraz No.1	14800.00	11162.16	3637.84	3466.86	23.42	23.88
Matraz No.2	14800.00	11082.24	3717.76	3543.03	23.94	
Matraz Agit.	14800.00	11031.92	3768.08	3590.98	24.26	
Control	14800.00	11803.00	2997.00	2856.14	19.30	
Suelo impactado						
Matraz No.1	3400.00	2511.24	888.76	846.99	24.91	25.00
Matraz No.2	3400.00	2526.54	873.46	832.41	24.48	
Matraz Agit.	3400.00	2486.76	913.24	870.32	25.60	
Control	3400.00	2706.74	693.26	660.68	19.43	

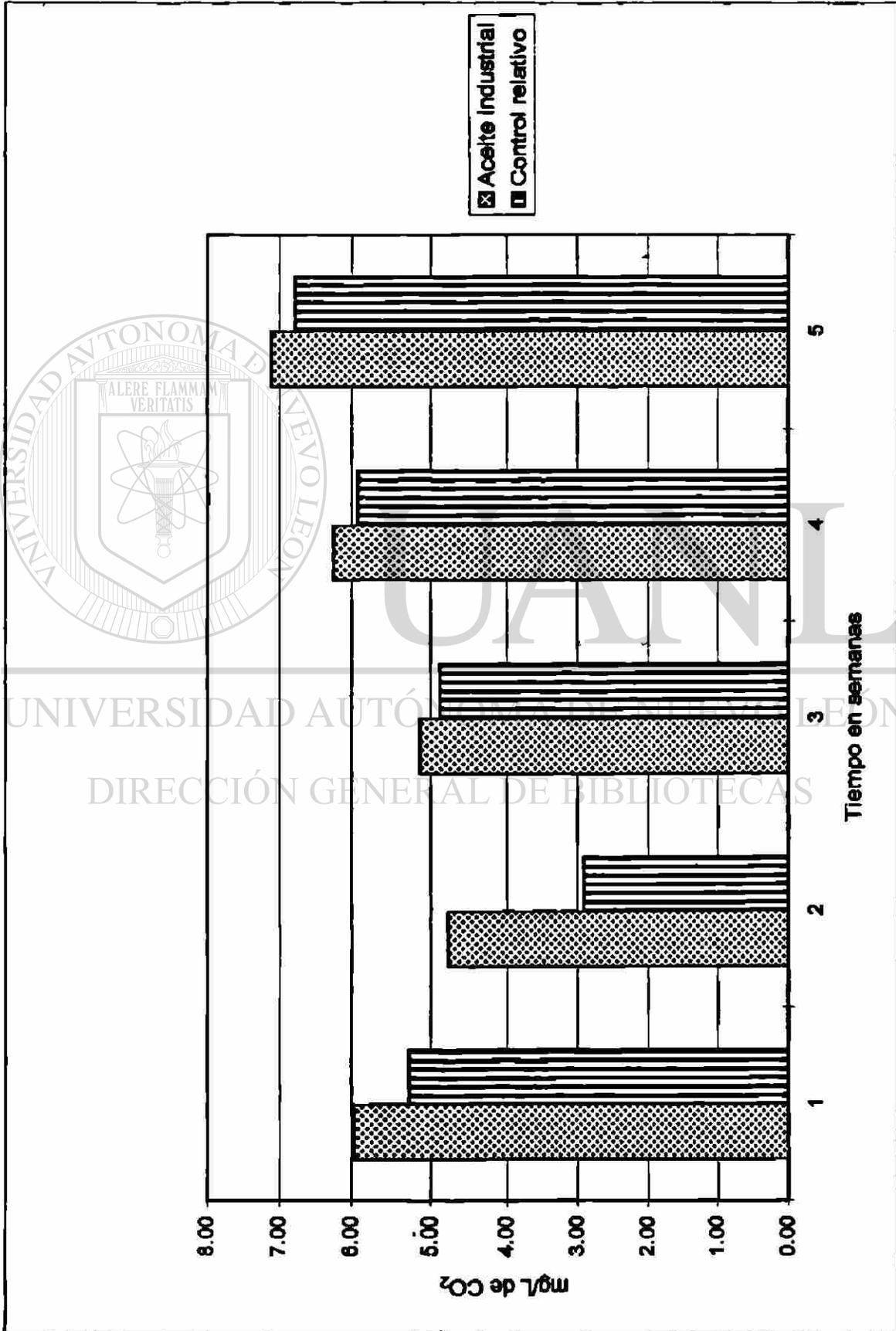


Figura No. 4.1 Producción de CO₂ en Aceite Industrial como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1

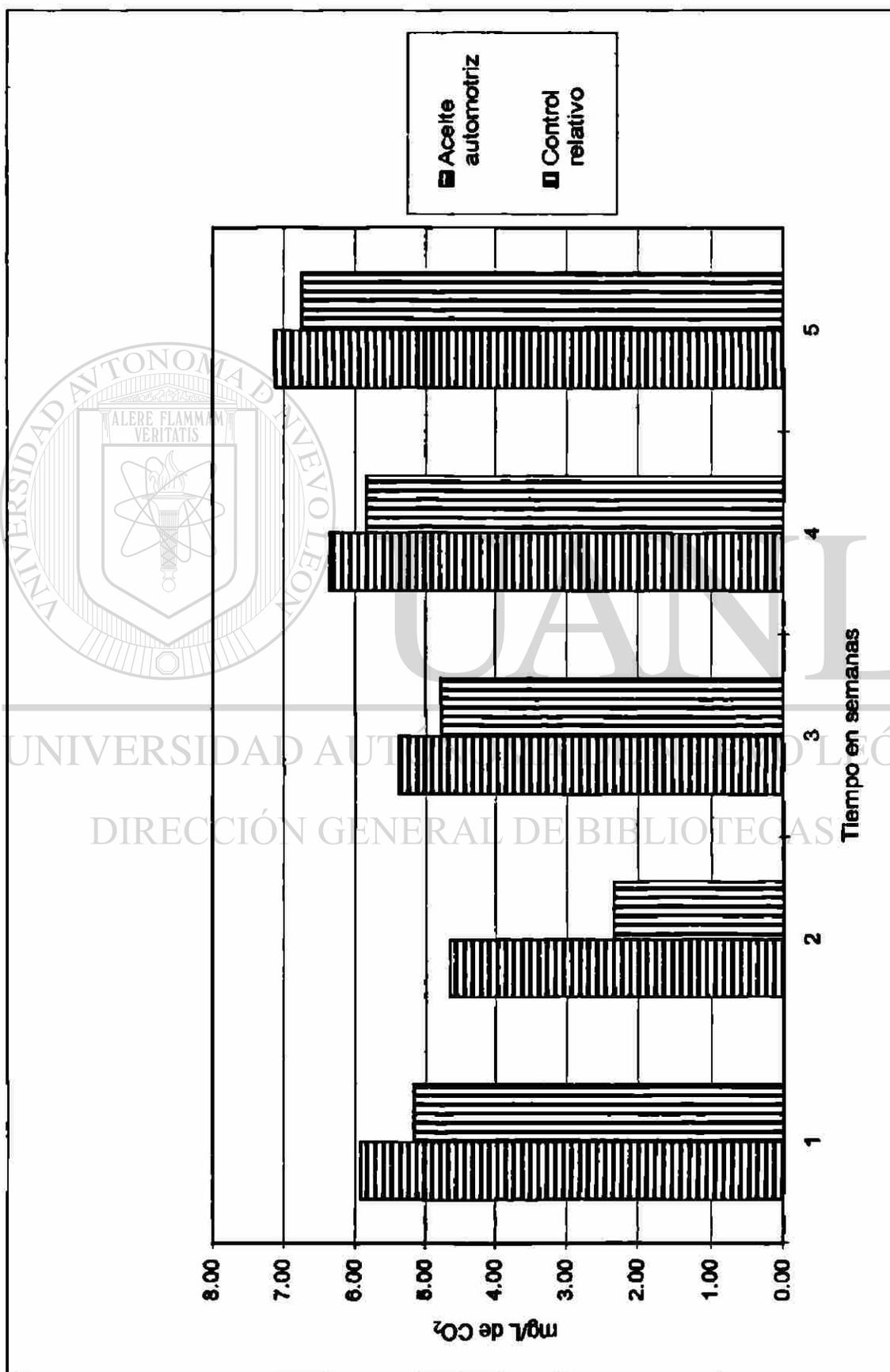


Figura No. 4.2 Producción de CO₂ en Aceite Automotriz como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1

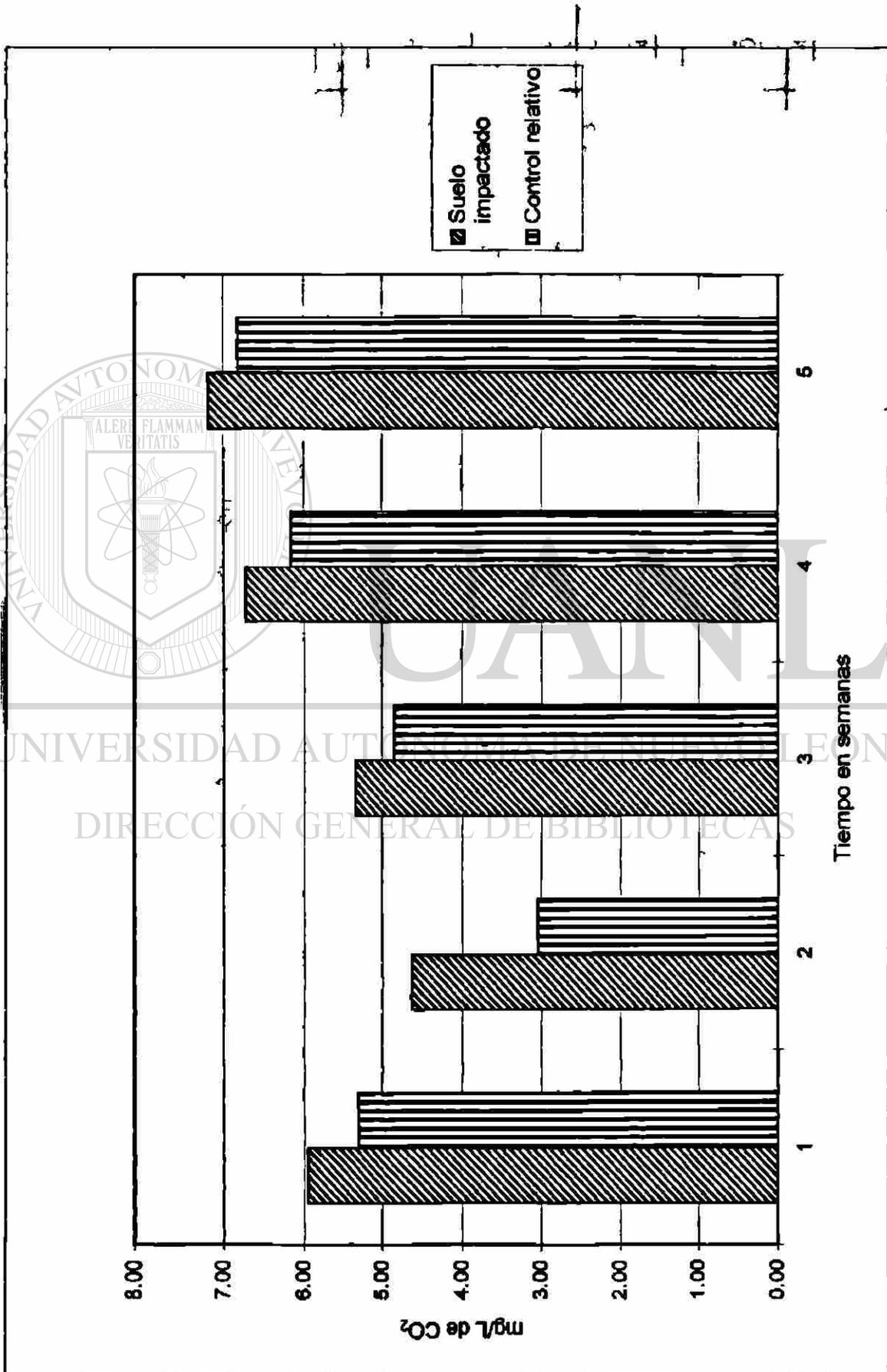


Figura No. 4.3 Producción de CO₂ en Aceite Automotriz como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1

Tabla No. 4.7 Producción de CO₂ promedio en tres muestras de aceite con el medio mineral No. 2 durante cinco semanas

	1er. Semana		2da. Semana		3er. Semana		4ta. Semana		5ta. Semana	
	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂	mL de HCl gastados	mg/L de CO ₂
ACEITE AUTOMOTRIZ										
Matraz No. 1	1.08	10.29	0.11	13.16	1.40	9.38	1.33	11.03	0.31	13.36
Matraz No. 2	1.11	10.23	0.13	13.10	1.44	9.26	1.34	11.01	0.31	13.36
Matraz No. 3	1.10	10.26	0.11	13.16	1.40	9.38	1.39	10.90	0.31	13.36
Control	3.78	2.40	3.67	2.72	3.60	2.93	4.86	2.98	4.86	2.98
ACEITE INDUSTRIAL										
Matraz No. 1	1.10	10.26	0.09	13.22	1.32	9.61	1.20	11.33	0.28	13.43
Matraz No. 2	1.08	10.32	0.08	13.25	1.29	9.70	1.20	11.33	0.28	13.43
Matraz No. 3	1.05	10.41	0.07	13.28	1.27	9.76	1.26	11.19	0.28	13.43
Control	3.79	2.37	3.68	2.69	3.65	2.78	4.88	2.94	4.87	2.96
SUELO IMPACTADO										
Matraz No. 1	1.03	10.47	0.12	13.13	1.28	9.73	1.21	11.31	0.30	13.38
Matraz No. 2	0.98	10.61	0.12	13.13	1.28	9.73	1.20	11.33	0.26	13.48
Matraz No. 3	1.01	10.52	0.11	13.16	1.30	9.67	1.24	11.24	0.26	13.48
Control	3.72	2.58	3.64	2.81	3.59	2.96	4.84	3.03	4.81	3.10

Tabla No. 4.8 Actividad metabólica promedio, en el medio mineral No. 2, de las diferentes muestras de aceite, expresada en mg/L de CO₂, tomada durante cinco semanas

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Aceite Automotriz	10.26	13.14	9.34	10.98	13.36
Control	2.40	2.72	2.93	2.98	2.98
Aceite Industrial	10.33	13.25	9.69	11.28	13.43
Control	2.37	2.69	2.78	2.94	2.96
Suelo Impactado	10.53	13.14	9.71	11.29	13.45
Control	2.58	2.81	2.96	3.03	3.10

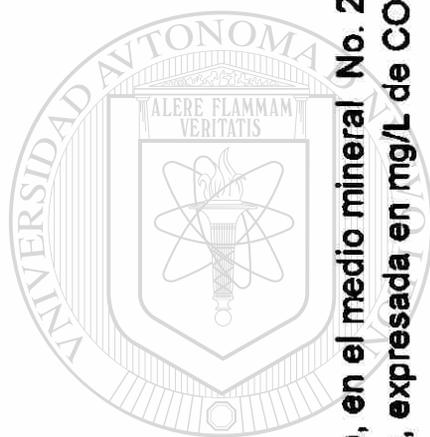


Tabla No. 4.9 Porcentaje de degradación de aceites lubricantes mediante la estimulación de la flora nativa con el medio mineral No. 2

	Concentración		Diferencia mg/L	Pérdida por método	Porcentaje degradado real	Porcentaje promedio
	inicial mg/L	final mg/L				
Aceite automotriz						
Matraz No. 1	8150.00	5383.89	2766.11	2636.10	32.34	32.20
Matraz No. 2	7600.00	5041.08	2558.92	2438.65	32.09	
Matraz No. 3	8700.00	5764.62	2935.38	2797.42	32.15	
Control	8800.00	8184.00	616.00	587.05	6.67	
ACEITE INDUSTRIAL						
Matraz No. 1	12900.00	8453.37	4446.63	4237.64	32.85	33.21
Matraz No. 2	13350.00	8701.53	4648.47	4429.99	33.18	
Matraz No. 3	13150.00	8515.94	4634.06	4416.26	33.58	
Control	12450.00	11541.15	908.85	866.13	6.96	
SUELO IMPACTADO						
Matraz No. 1	3454.40	2204.60	1249.80	1191.06	34.48	34.60
Matraz No. 2	3740.00	2384.25	1355.75	1292.03	34.55	
Matraz No. 3	3549.60	2254.71	1294.89	1234.03	34.77	
Control	3658.40	3374.51	283.89	270.55	7.40	

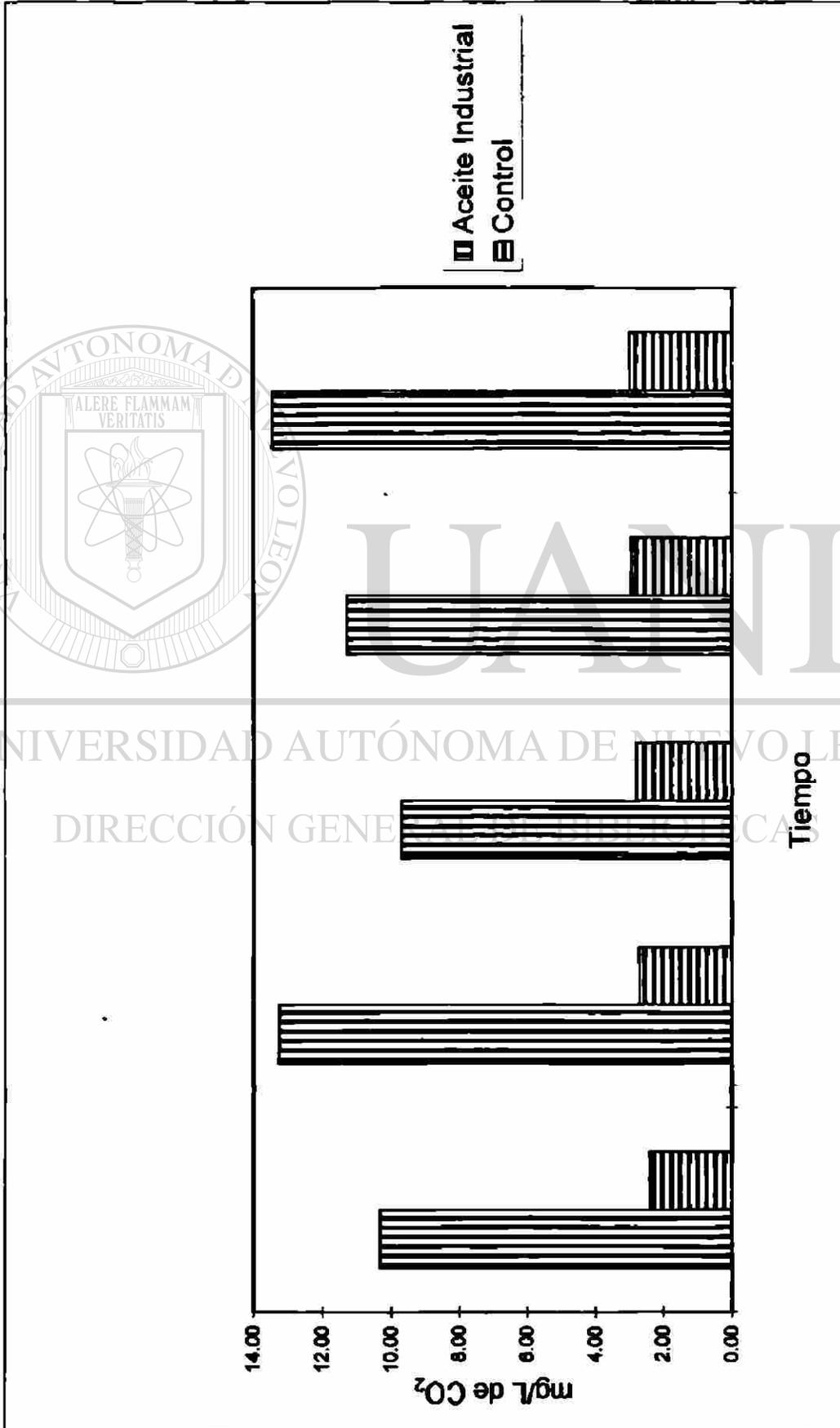


Figura No. 4.4 Producción de CO₂ en Aceite industrial como fuente de carbono comparado con un control en el medio mineral No. 2



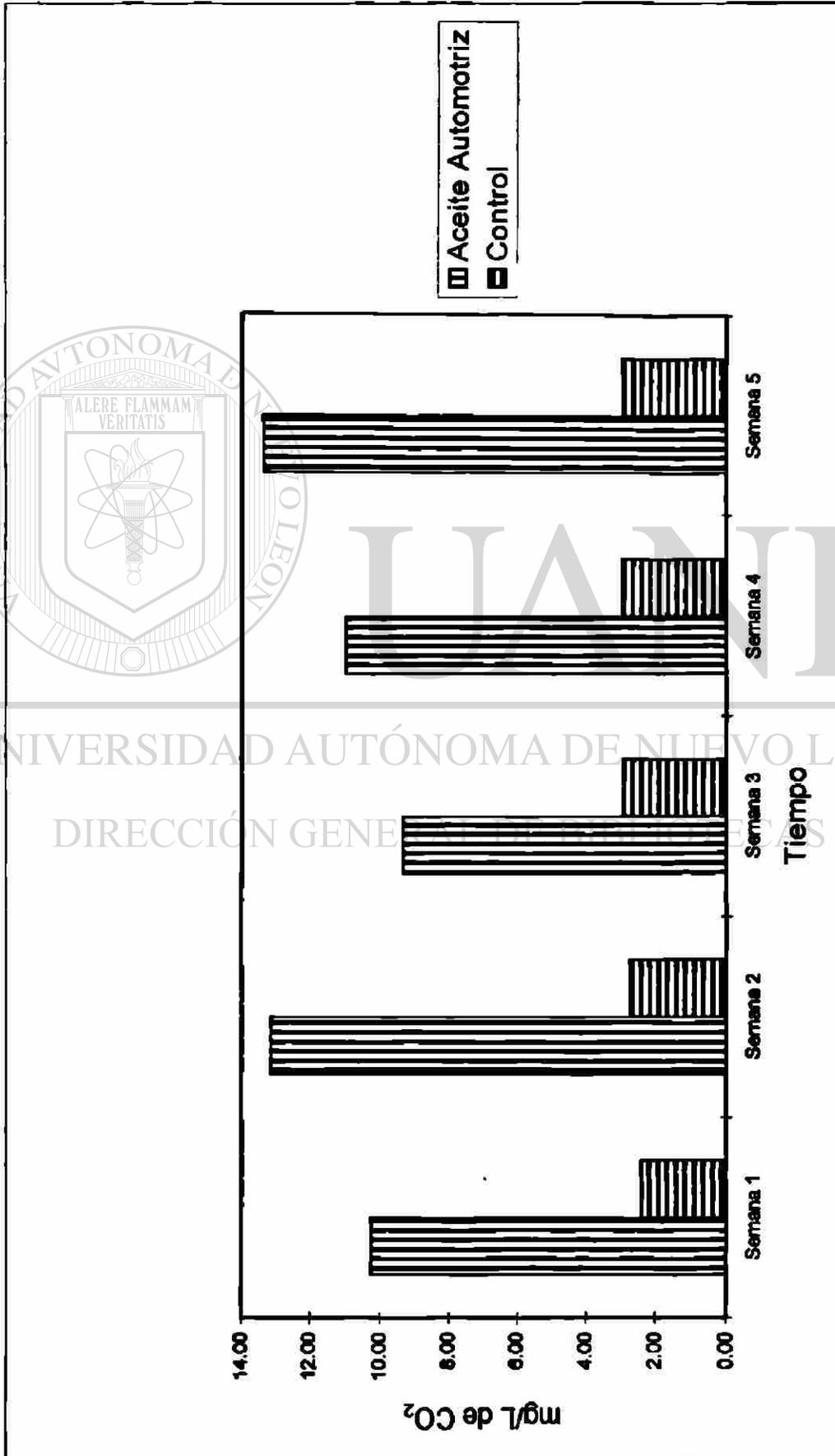


Figura No. 4.5 Producción de CO₂ en aceite automotriz como fuente de carbono comparado con un control en medio mineral No. 2

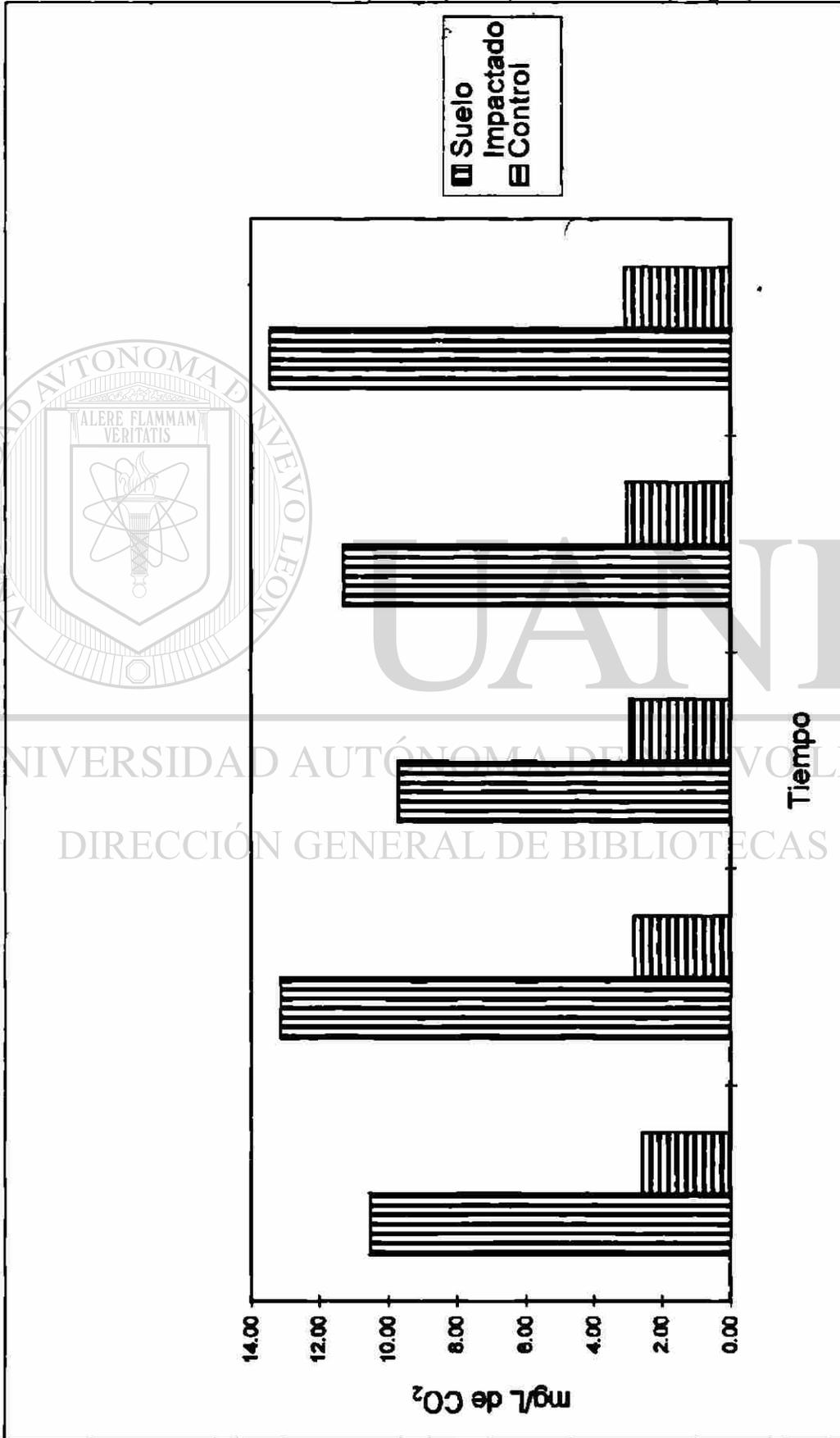


Figura No. 4.6 Producción de CO₂ en Suelo impactado con aceite como fuente de carbono comparado con un control en el medio mineral No. 2

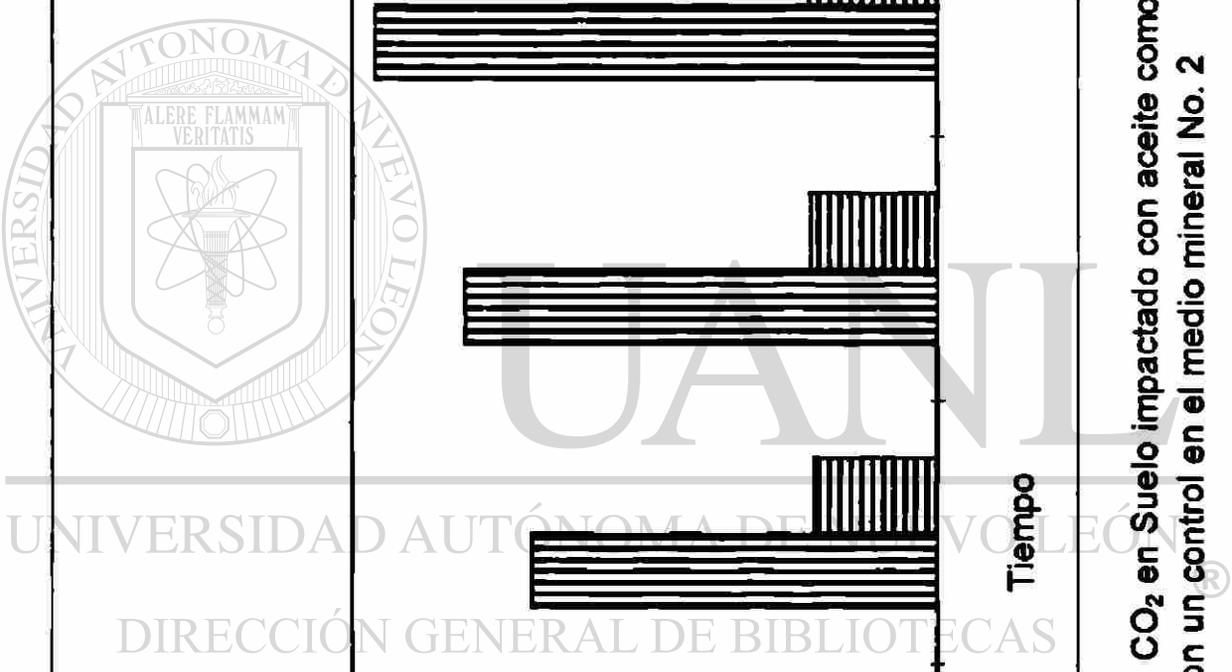


Tabla No. 4.10 Análisis realizados a los diferentes tipos de aceite antes de iniciar el tratamiento de biorremediación

PARÁMETRO	RESULTADOS			UNIDADES	MÉTODO
	Acete industrial	Acete automotriz	Suelo impactado		
Arsénico	< 0.050	< 6.00	< 5.00	mg/L	EPA-200.7
Benceno	-	< 0.25	< 0.25	mg/L	SW-8021
Cadmio	-	< 1.00	-	mg/L	EPA-200.7
Cloruros	-	-	432.00	mg/L	EPA-300.0
Cromo total	-	< 9.00	-	mg/L	EPA-200.7
Nitrógeno orgánico	-	-	920.50	mg/L	NMX-AA-26-80
Plomo	< 0.080	153.7	< 4.00	mg/L	EPA-200.7
Bifenilos policlorados	< 0.50	< 0.25	< 2.00	mg/L	EPA-8082
pH	9.83	7.85	9.20	unidad pH	NMX-AA-08-80
1,1,1 Tricloroetano	-	< 0.25	< 0.25	mg/L	SW-8010
Tricloroetileno	-	< 0.25	< 0.25	mg/L	CG/SM
Tetracloroetileno	-	< 0.25	< 0.25	mg/L	SW-8010
Xileno	-	< 0.25	< 0.25	mg/L	SW-8010
Zinc	-	1157.5	-	mg/L	EPA-200.7

Tabla No. 4.11 Análisis realizados a los diferentes tipos de aceite después del tratamiento de biorremediación

PARÁMETRO	RESULTADOS			UNIDADES	MÉTODO
	Aceite industrial	Aceite automotriz	Suelo impactado		
Benceno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
Clorobenceno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
Cloroformo	< 1.25	< 1.25	< 1.25	mg/L	EPA-SW-8260
Cloruro de Metileno	< 1.25	< 1.25	< 1.25	mg/L	EPA-SW-8260
Cloruro de Vinilo	< 0.20	< 0.20	< 0.20	mg/L	EPA-SW-8260
1,2 Diclorobenceno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
1,4 Diclorobenceno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
1,2 Dicloroetano	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
1,1 Dicloroetileno	< 0.50	< 0.50	< 0.50	mg/L	EPA-SW-8260
Isobutanol	< 25.00	< 25.00	< 25.00	mg/L	EPA-SW-8260
Etilmetilcetona	< 25.00	< 25.00	< 25.00	mg/L	EPA-SW-8260
1,1,1,2 Tetracloroet.	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
1,1,2,2 Tetracloroet.	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
Tetracloruro de Carbon	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
Tetracloroetileno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
Tolueno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
1,1,1 Tricloroetano	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
1,1,2 Tricloroetano	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
Tricloroetileno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260

Continuación de la tabla 4.11

PARÁMETRO	RESULTADOS			UNIDADES	MÉTODO
	Aceite Industrial	Aceite automotriz	Suelo Impactado		
Acrilonitrilo	< 2.50	< 2.50	< 2.50	mg/L	EPA-SW-8260
Disulfuro de carbono	< 2.50	< 2.50	< 2.50	mg/L	EPA-SW-8260
Hexaclorobutadieno	< 0.25	< 0.25	< 0.25	mg/L	EPA-SW-8260
Plomo	< 0.2	< 2.0	< 2.0	mg/L	EPA-200.7
Zinc	0.42	7.58	1.5	mg/L	EPA-200.7

En el conteo en placa que se le realizó a las diferentes muestras de aceite, hay una cantidad mucho mayor de Unidades Formadoras de Colonias en el Suelo Impactado, seguido del Aceite Industrial y al final el Aceite Automotriz, como se muestra en la tabla 4.12

Tabla 4.12 Unidades Formadoras de Colonias por tipo de aceite

Tipo de Aceite	Unidades Formadoras de Colonias (UFC)
Aceite Industrial	2 720.0 x 10 ⁶
Aceite Automotriz	116.8 x 10 ⁶
Suelo impactado	4 244.0 x 10 ⁶

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas son dinámicos; siempre están cambiando y adaptándose, como una respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, los cambios climáticos y por las alteraciones debidas a acciones humanas, tales como los derrames y las emisiones de contaminantes.

En las pruebas realizadas en el presente trabajo, el medio mineral No. 2, con menor cantidad de sales [®] y adicionado con peróxido de hidrógeno, presentó una actividad metabólica superior, en comparación con el medio mineral No. 1.

Esto pueda ser debido a que los microorganismos tardan más tiempo en adaptarse a concentraciones de sales elevadas y a bajas concentraciones de oxígeno disuelto . En cambio, en el medio mineral No. 2, con el peróxido de hidrógeno, la

flora microbiana nativa tardó en adaptarse al principio? pero superó esa etapa, para tener una actividad metabólica buena, superior a la observada con el medio mineral No. 1: La presencia de oxígeno disuelto explica los valores mayores en la actividad metabólica, generados por la población aeróbica. Además, el exceso de sales en el medio mineral No. 1 produjo inhibición en la capacidad de la flora microbiana para aprovechar los aceites como fuente de carbono. Se incluyó un tratamiento con agitación en el medio mineral No. 1, con el fin de observar si había alguna diferencia en su actividad, al introducir oxígeno al medio por la agitación. Aunque los valores de actividad metabólica fueron mayores a los no agitados, la inhibición por el exceso de sales fue notable al compararla con el medio mineral No. 2. El comportamiento en los tres tratamientos (aceite industrial, aceite automotriz y suelo impactado), fue semejante, probablemente porque los microorganismos reaccionaron de manera uniforme; o bien, porque las fuentes de carbono en los tres sustratos tuvieron una cinética de degradación semejante.

En el análisis estadístico de varianza se puede observar que en la actividad metabólica en el medio mineral No. 1 no hay diferencia significativa. En el medio mineral

No. 2 sí hubo diferencia significativa entre los tratamientos. También en el análisis bifactorial se puede apreciar que hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Con esto se puede observar que el añadir el peróxido de hidrógeno al medio en una concentración de 50 mg/L, estimula más la actividad metabólica que cuando se incuban en agitación o en condiciones estáticas.

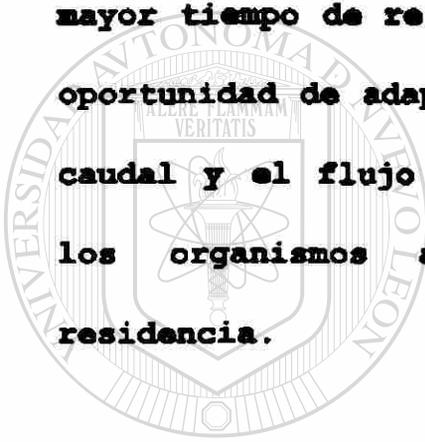
Podemos concluir que el tipo y concentración de sales es vital para una adecuada degradación de los aceites residuales; además, la presencia de oxígeno disponible es indispensable para que la flora microbiana nativa adaptada para degradar hidrocarburos pueda desarrollarse plenamente.

Otro punto que se debe considerar, es la inhibición por la presencia de concentraciones altas de metales pesados en el aceite automotriz. Esto causó que la flora microbiana no se desarrollara tan fácilmente como en el suelo o en el aceite industrial, donde no se registraron metales pesados.

Los análisis realizados de metales pesados a la muestra de aceite automotriz después del tratamiento de biorremediación, muestran que bajaron considerablemente. Lo

más probable es que fueron oxidados por el peróxido de hidrógeno.

La actividad metabólica en el suelo impactado fué superior, debido a la gran cantidad de microorganismos que se encuentran en la tierra y que, por selección natural, se han adaptado al medio hostil, consumiendo el hidrocarburo; pues éste, actúa como un reactor del tipo Batch, con un mayor tiempo de residencia, dando a los microorganismos la oportunidad de adaptarse. En las aguas, la fluctuación del caudal y el flujo constante, no permite tan fácilmente a los organismos adaptarse, dado el poco tiempo de residencia.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPÍTULO 6

RECOMENDACIONES

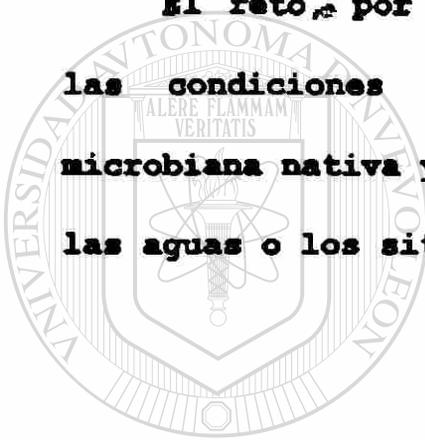
Se propone continuar con la investigación para monitorear la actividad metabólica, hasta la fase de decaimiento para determinar hasta qué grado o porcentaje se puede tratar el agua contaminada con aceites.

La biorremediación se avizora como una técnica con un excelente futuro, dentro de la biotecnología aplicada al medio ambiente, en México y en otros sitios de similares circunstancias. En la próxima década cobrará ésta una mayor importancia y, por lo tanto, debemos continuar en esta línea de investigación, hasta poder aplicarla en el campo.

Por otro lado, no debemos permitir que nos engañen con falsas tecnologías extranjeras que casi siempre han venido a empeorar el problema, introduciendo microorganismos desconocidos a nuestro medio ambiente, con posibles consecuencias catastróficas; o, al menos, desconocidas.

Debemos tener en mente, que los sistemas biológicos trabajan bien, pero que necesitan cierto tiempo para desarrollarse y ser estimuladas mediante las condiciones adecuadas para su buen funcionamiento; por lo tanto, no debemos caer en el engaño de pensar que la biorremediación se logra de la noche a la mañana. Es posible que el daño por un derrame, tarde años en ser remediado.

El reto, por lo tanto, está en encontrar el medio y las condiciones adecuadas para estimular a la flora microbiana nativa y así acortar el tiempo para biorremediar las aguas o los sitios contaminados.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPÍTULO 7

MEMORIA DE CÁLCULO

Con las soluciones preparadas y tituladas, como se mencionó en el capítulo 3, se procedió con el experimento para determinar la Producción de CO₂. Se obtuvo la tabla 4.4, de la siguiente manera:

$$\text{mg/L de CO}_2 = [(\text{mL NaOH}) (\text{N NaOH}) - (\text{mL HCl}) (\text{N HCl})] 0.022 \times 1000$$

Con la fórmula anterior y tomando los datos de los mL de HCl gastados en la neutralización de 5 mL de NaOH, tomados de las tablas 7.1 a la 7.5 se obtuvieron los mg/ L de CO₂, registrados en la tabla 4.4 como sigue:

Para el Aceite Automotriz con el medio mineral No. 1, en los matraces 1, 2, Agitado y el control relativo en la 1er. a la 5a. semana se obtuvieron los siguientes valores. Hay que mencionar que en la 3a semana, la Normalidad del

NaOH, Hidróxido de Sodio cambió a 0.08918, ya que se agotó y tubo que prepararse nuevamente.

1er. Semana

$[(5 \times 0.086) - (1.59 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.83
$[(5 \times 0.086) - (1.56 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.90
$[(5 \times 0.086) - (1.51 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.02
$[(5 \times 0.086) - (1.88 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.17

2a. Semana

$[(5 \times 0.086) - (2.08 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.71
$[(5 \times 0.086) - (2.16 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.53
$[(5 \times 0.086) - (2.09 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.69
$[(5 \times 0.086) - (3.12 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 2.34

3a. Semana

$[(5 \times 0.0892) - (2.01 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.22
$[(5 \times 0.0892) - (1.91 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.45
$[(5 \times 0.0892) - (1.89 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.50
$[(5 \times 0.0892) - (2.21 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.77

4a. Semana

$[(5 \times 0.0892) - (1.59 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.18
$[(5 \times 0.0892) - (1.53 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.32
$[(5 \times 0.0892) - (1.41 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.59
$[(5 \times 0.0892) - (1.74 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.84

5a. Semana

$[(5 \times 0.0892) - (1.24 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.98
$[(5 \times 0.0892) - (1.17 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 7.14
$[(5 \times 0.0892) - (1.13 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 7.23
$[(5 \times 0.0892) - (1.34 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.75

Para el Aceite Industrial, con el medio mineral No. 1, en los matraces 1, 2, Agitado y el control relativo en la 1er. a la 5a. semana se obtuvieron los siguientes valores. Hay que mencionar que en la 3a semana, la Normalidad del

NaOH, Hidróxido de Sodio cambió a 0.08918, ya que se agotó y tubo que prepararse nuevamente.

1er. Semana

$[(5 \times 0.086) - (1.73 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.51
$[(5 \times 0.086) - (1.38 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.31
$[(5 \times 0.086) - (1.49 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.06
$[(5 \times 0.086) - (1.84 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.26

2a. Semana

$[(5 \times 0.086) - (1.98 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.94
$[(5 \times 0.086) - (2.29 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.24
$[(5 \times 0.086) - (1.89 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.15
$[(5 \times 0.086) - (2.87 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 2.91

3a. Semana

$[(5 \times 0.0892) - (2.36 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.43
$[(5 \times 0.0892) - (1.93 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.41
$[(5 \times 0.0892) - (1.88 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.52
$[(5 \times 0.0892) - (2.16 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 4.88

4a. Semana

$[(5 \times 0.0892) - (1.61 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.14
$[(5 \times 0.0892) - (1.60 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.16
$[(5 \times 0.0892) - (1.48 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.43
$[(5 \times 0.0892) - (1.71 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 5.91

5a. Semana

$[(5 \times 0.0892) - (1.24 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.98
$[(5 \times 0.0892) - (1.17 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 7.14
$[(5 \times 0.0892) - (1.13 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 7.23
$[(5 \times 0.0892) - (1.33 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000$	= 6.78

Para el Suelo Impactado con el medio mineral No. 1, en los matraces 1, 2, Agitado y el control relativo en la 1er. a la 5a. semana se obtuvieron los siguientes valores. Hay que mencionar que en la 3a semana, la Normalidad del NaOH,

Hidróxido de Sodio cambió a 0.08918, ya que se agotó y tubo que prepararse nuevamente.

1er Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.086) - (1.54 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 5.95 \\ [(5 \times 0.086) - (1.59 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 5.83 \\ [(5 \times 0.086) - (1.48 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 6.08 \\ [(5 \times 0.086) - (1.82 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 5.31 \end{aligned}$$

2a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.086) - (2.09 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 4.69 \\ [(5 \times 0.086) - (2.18 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 4.49 \\ [(5 \times 0.086) - (2.08 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 4.71 \\ [(5 \times 0.086) - (2.81 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 3.05 \end{aligned}$$

3a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.0892) - (2.03 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 5.18 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.95 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 5.36 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.88 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 5.52 \\ [(5 \times 0.0892) - (2.18 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 4.84 \end{aligned}$$

4a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.0892) - (1.41 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 6.59 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.38 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 6.66 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.26 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 6.94 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.60 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 6.16 \end{aligned}$$

5a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.0892) - (1.17 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 7.14 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.19 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 7.09 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.10 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 7.30 \\ [(5 \times 0.0892) - (1.31 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 6.82 \end{aligned}$$

Se volvieron a preparar soluciones como se indicó anteriormente en el capítulo 3. Con estas soluciones tituladas, se procedió con el experimento en el Medio Mineral No. 2, para determinar la Producción de CO₂, se obtuvo la tabla 4.7 de la siguiente manera:

Para el Aceite Automotriz, en los matraces 1, 2, Agitado y el control en la 1er. a la 5a. semana se obtuvieron los siguientes valores. Hay que mencionar que la Normalidad del NaOH y del HCl de la primera a la tercera semana era de 0.1226 y 0.1333. En la 4a. semana, la Normalidad del NaOH, Hidróxido de Sodio cambió a 0.1279 y la Normalidad del HCl cambió a 0.1037, ya que se agotó y tubo que prepararse nuevamente.

1er. Semana

$$[(5 \times 0.1226) - (1.09 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 10.29$$

$$[(5 \times 0.1226) - (1.11 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 10.23$$

$$[(5 \times 0.1226) - (1.10 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 10.26$$

$$[(5 \times 0.1226) - (3.78 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 2.40$$

2a. Semana

$$[(5 \times 0.1226) - (0.11 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 13.16$$

$$[(5 \times 0.1226) - (0.13 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 13.10$$

$$[(5 \times 0.1226) - (0.11 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 13.16$$

$$[(5 \times 0.1226) - (3.67 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 2.72$$

3a. Semana

$$[(5 \times 0.1226) - (1.40 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 9.38$$

$$[(5 \times 0.1226) - (1.44 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 9.26$$

$$[(5 \times 0.1226) - (1.40 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 9.38$$

$$[(5 \times 0.1226) - (3.60 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 = 2.93$$

4a. Semana

$$[(5 \times 0.1279) - (1.33 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 11.03$$

$$[(5 \times 0.1279) - (1.34 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 11.01$$

$$[(5 \times 0.1279) - (1.39 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 10.90$$

$$[(5 \times 0.1279) - (4.86 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 2.98$$

5a. Semana

$$[(5 \times 0.1279) - (0.31 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 13.36$$

$$[(5 \times 0.1279) - (0.31 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 13.36$$

$$[(5 \times 0.1279) - (0.31 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 13.36$$

$$[(5 \times 0.1279) - (4.86 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 = 2.98$$

Para el Aceite Industrial, en los matraces A1, 2, Agitado y el control en la 1er. a la 5a. semana se obtuvieron los siguientes valores. Hay que mencionar que la Normalidad del NaOH y del HCl de la primera a la tercera semana era de 0.1226 y 0.1333. En la 4a. semana, la Normalidad del NaOH, Hidróxido de Sodio cambió a 0.1279 y la Normalidad del HCl cambió a 0.1037, ya que se agotó y tubo que prepararse nuevamente.

1er. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1226) - (1.10 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.29 \\ [(5 \times 0.1226) - (1.08 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.23 \\ [(5 \times 0.1226) - (1.05 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.26 \\ [(5 \times 0.1226) - (3.79 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.40 \end{aligned}$$

2a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1226) - (0.09 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.16 \\ [(5 \times 0.1226) - (0.08 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.10 \\ [(5 \times 0.1226) - (0.07 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.16 \\ [(5 \times 0.1226) - (3.68 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.72 \end{aligned}$$

3a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1226) - (1.32 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 9.38 \\ [(5 \times 0.1226) - (1.29 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 9.26 \\ [(5 \times 0.1226) - (1.27 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 9.38 \\ [(5 \times 0.1226) - (3.65 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.93 \end{aligned}$$

4a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1279) - (1.20 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 11.03 \\ [(5 \times 0.1279) - (1.20 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 11.01 \\ [(5 \times 0.1279) - (1.26 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.90 \\ [(5 \times 0.1279) - (4.88 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.98 \end{aligned}$$

5a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1279) - (0.28 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.36 \\ [(5 \times 0.1279) - (0.28 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.36 \\ [(5 \times 0.1279) - (0.28 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.36 \\ [(5 \times 0.1279) - (4.87 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.98 \end{aligned}$$

Para el Suelo Impactado, en los matraces 1, 2, Agitado y el control en la 1er. a la 5a. semana se obtuvieron los siguientes valores. Hay que mencionar que la Normalidad del NaOH y del HCl de la primera a la tercera semana era de 0.1226 y 0.1333. En la 4a. semana, la Normalidad del NaOH, Hidróxido de Sodio cambió a 0.1279 y la Normalidad del HCl cambió a 0.1037, ya que se agotó y tubo que prepararse.

1er. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1226) - (1.03 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.29 \\ [(5 \times 0.1226) - (0.98 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.23 \\ [(5 \times 0.1226) - (1.01 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.26 \\ [(5 \times 0.1226) - (3.72 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.40 \end{aligned}$$

2a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1226) - (0.12 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.16 \\ [(5 \times 0.1226) - (0.12 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.10 \\ [(5 \times 0.1226) - (0.11 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.16 \\ [(5 \times 0.1226) - (3.64 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.72 \end{aligned}$$

3a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1226) - (1.28 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 9.38 \\ [(5 \times 0.1226) - (1.28 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 9.26 \\ [(5 \times 0.1226) - (1.30 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 9.38 \\ [(5 \times 0.1226) - (3.59 \times 0.1333)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.93 \end{aligned}$$

4a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1279) - (1.21 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 11.03 \\ [(5 \times 0.1279) - (1.20 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 11.01 \\ [(5 \times 0.1279) - (1.24 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 10.90 \\ [(5 \times 0.1279) - (4.68 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.98 \end{aligned}$$

5a. Semana

$$\begin{aligned} [(5 \times 0.1279) - (0.30 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.36 \\ [(5 \times 0.1279) - (0.26 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.36 \\ [(5 \times 0.1279) - (0.26 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 13.36 \\ [(5 \times 0.1279) - (4.81 \times 0.1037)] \times 0.022 \times 1000 &= 2.98 \end{aligned}$$

Tabla No. 7.1 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 1a. Semana en el Medio Mineral No.1

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	1.60	1.60	1.70	1.60	1.50	1.60	1.50	1.59
Matraz No. 2	1.50	1.60	1.50	1.50	1.60	1.60	1.60	1.56
Agitado.	1.50	1.50	1.50	1.60	1.50	1.50	1.50	1.51
Control relativo	1.80	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.85	1.88
ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	1.70	1.80	1.70	1.70	1.70	1.80	1.70	1.73
Matraz No. 2	1.40	1.30	1.40	1.40	1.40	1.40	1.35	1.38
Agitado	1.40	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.49
Control relativo	1.80	1.90	1.90	1.90	1.80	1.80	1.80	1.84
SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	1.50	1.50	1.60	1.60	1.60	1.50	1.50	1.54
Matraz No. 2	1.50	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.59
Agitado	1.40	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.45	1.48
Control relativo	1.80	1.90	1.85	1.80	1.80	1.80	1.80	1.82

Tabla No. 7.3 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 3er. Semana en el Medio Mineral No. 1

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	2.00	2.00	2.00	2.10	2.00	2.00	2.00	2.01
Matraz No. 2	1.90	1.90	1.90	1.90	2.00	1.90	1.90	1.91
Agitado	1.90	1.80	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.89
Control relativo	2.30	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.21
ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	2.30	2.30	2.40	2.30	2.40	2.40	2.40	2.36
Matraz No. 2	2.00	1.90	2.00	1.90	1.90	1.90	1.90	1.93
Agitado	1.85	1.80	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.88
Control relativo	2.20	2.20	2.10	2.10	2.10	2.20	2.20	2.16
SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	2.10	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.03
Matraz No. 2	1.90	2.00	2.00	1.90	2.00	1.95	1.90	1.95
Agitado	1.85	1.80	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.88
Control relativo	2.20	2.20	2.15	2.10	2.20	2.20	2.20	2.18

Tabla No. 7.5 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 5ta. Semana en el Medio Mineral No.1

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	1.20	1.20	1.30	1.30	1.30	1.20	1.20	1.24
Matraz No. 2	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.10	1.20	1.17
Agitado	1.10	1.10	1.20	1.10	1.10	1.10	1.20	1.13
Control relativo	1.30	1.30	1.40	1.40	1.40	1.30	1.30	1.34

ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	1.20	1.20	1.30	1.30	1.30	1.20	1.20	1.24
Matraz No. 2	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.10	1.20	1.17
Agitado	1.10	1.10	1.20	1.10	1.10	1.10	1.20	1.13
Control relativo	1.30	1.30	1.40	1.40	1.30	1.30	1.30	1.33

SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.10	1.20	1.17
Matraz No. 2	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.10	1.20	1.19
Agitado	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Control relativo	1.30	1.30	1.30	1.40	1.30	1.30	1.30	1.31

Tabla No. 7.6 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 1er. Semana en el Medio Mineral No. 2

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	1.10	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09
Matraz No. 2	1.10	1.10	1.20	1.10	1.10	1.10	1.10	1.11
Matraz No. 3	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Control	3.70	3.80	3.80	3.75	3.80	3.80	3.80	3.78
ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Matraz No. 2	1.10	1.10	1.00	1.00	1.15	1.10	1.10	1.08
Matraz No. 3	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00	1.05	1.10	1.05
Control	3.80	3.80	3.80	3.75	3.80	3.80	3.80	3.79
SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.03
Matraz No. 2	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	0.98
Matraz No. 3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.01
Control	3.70	3.70	3.70	3.70	3.80	3.75	3.70	3.72

Tabla No. 7.7 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 2da. Semana en el Medio Mineral No. 2

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
Matraz No. 2	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13
Matraz No. 3	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
Control	3.60	3.70	3.60	3.70	3.70	3.70	3.70	3.67
ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Matraz No. 2	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Matraz No. 3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Control	3.70	3.70	3.60	3.70	3.65	3.70	3.70	3.68
SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12
Matraz No. 2	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12
Matraz No. 3	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
Control	3.60	3.60	3.60	3.60	3.70	3.70	3.70	3.64

Tabla No. 7.8 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 3a. Semana en el Medio Mineral No. 2

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	1.40	1.50	1.30	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Matraz No. 2	1.50	1.50	1.40	1.50	1.40	1.40	1.40	1.44
Matraz No. 3	1.40	1.50	1.30	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Control	3.60	3.60	3.50	3.60	3.70	3.60	3.60	3.60
ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	1.30	1.30	1.30	1.40	1.30	1.35	1.30	1.32
Matraz No. 2	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.20	1.30	1.28
Matraz No. 3	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.20	1.20	1.27
Control	3.60	3.60	3.65	3.70	3.70	3.70	3.60	3.65
SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	1.30	1.20	1.30	1.30	1.30	1.25	1.30	1.28
Matraz No. 2	1.30	1.20	1.30	1.30	1.30	1.25	1.30	1.28
Matraz No. 3	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
Control	3.60	3.60	3.50	3.60	3.60	3.60	3.60	3.59

Tabla No. 7.9 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 4ta. Semana en el Medio Mineral No. 2

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	1.30	1.30	1.30	1.40	1.30	1.40	1.30	1.33
Matraz No. 2	1.30	1.40	1.30	1.40	1.30	1.40	1.30	1.34
Matraz No. 3	1.40	1.40	1.30	1.40	1.40	1.40	1.40	1.38
Control	4.80	4.90	4.80	4.90	4.80	4.90	4.90	4.86
ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	1.20	1.20	1.30	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20
Matraz No. 2	1.20	1.20	1.30	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20
Matraz No. 3	1.20	1.30	1.30	1.20	1.30	1.30	1.20	1.26
Control	4.90	4.90	4.90	4.85	4.80	4.90	4.90	4.86
SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	1.20	1.20	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20	1.21
Matraz No. 2	1.20	1.20	1.30	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20
Matraz No. 3	1.30	1.20	1.30	1.25	1.20	1.20	1.20	1.24
Control	4.80	4.80	4.80	4.90	4.80	4.90	4.90	4.84

Tabla No. 7.10 mL de HCl gastados por día en 5 mL de NaOH en la 5ta. Semana en el Medio Mineral No. 2

	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	mL gastados Promedio
ACEITE AUTOMOTRIZ								
Matraz No. 1	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.31
Matraz No. 2	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.31
Matraz No. 3	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.31
Control	4.80	4.90	4.90	4.85	4.80	4.90	4.90	4.86
ACEITE INDUSTRIAL								
Matraz No. 1	0.30	0.30	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.28
Matraz No. 2	0.30	0.30	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.28
Matraz No. 3	0.30	0.30	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.28
Control	4.80	4.90	4.90	4.90	4.80	4.90	4.90	4.87
SUELO IMPACTADO								
Matraz No. 1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Matraz No. 2	0.30	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.26
Matraz No. 3	0.30	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.26
Control	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.90	4.80	4.81



Tabla No.7.11 Análisis de varianza de la producción de CO₂ promedio en el medio mineral No. 1 de las tres muestras de aceite.

Trata.

1	5.83	4.71	5.22	6.18	7.14	5.90
	4.53	5.45	6.32	7.23		
2	6.02	4.69	5.50	6.59	7.23	
3	5.17	2.34	4.77	5.84	6.75	
4	5.51	4.94	4.43	6.14	6.98	6.31
	4.24	5.41	6.16	7.14		
5	6.06	5.15	5.52	6.43	7.23	
6	5.26	2.91	4.88	5.91	6.78	
7	5.95	4.69	5.18	6.59	7.14	5.83
	4.49	5.36	6.66	7.09		
8	6.08	4.71	5.52	6.94	7.30	
9	5.31	3.05	4.84	6.16	6.82	

ANÁLISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	8	7.882202	0.985275	0.7960	0.610
ERROR	51	63.130249	1.237848		
TOTAL	59	71.012451			

C.V. = 19.49 %

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	REP.	MEDIA
1	10	5.851000
2	5	6.006000
3	5	4.974000
4	10	5.726000
5	5	6.078000
6	5	5.148000
7	10	5.898000
8	5	6.110000
9	5	5.236000

Tabla No.7.12 Análisis de varianza de la producción de CO₂ promedio en el medio mineral No. 2 de las tres muestras de aceite.

Trata.

1	10.29	10.23	10.26	13.16	13.10	13.16
	9.38	9.26	9.38	11.03	11.01	10.90
	13.36	13.36	13.36			
2	2.40	2.72	2.93	2.98	2.98	
3	10.26	10.32	10.41	13.22	13.25	13.28
	9.61	9.70	9.76	11.33	11.33	11.19
	13.43	13.43	13.43			
4	2.37	2.69	2.78	2.94	2.96	
5	10.47	10.61	10.52	13.13	13.13	13.16
	9.73	9.73	9.67	11.31	11.33	11.24
	13.38	13.48	13.48			
6	2.58	2.81	2.96	3.03	3.10	

ANÁLISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	5	857.924316	171.584869	88.6294	0.000
ERROR	54	104.542969	1.935981		
TOTAL	59	962.467285			

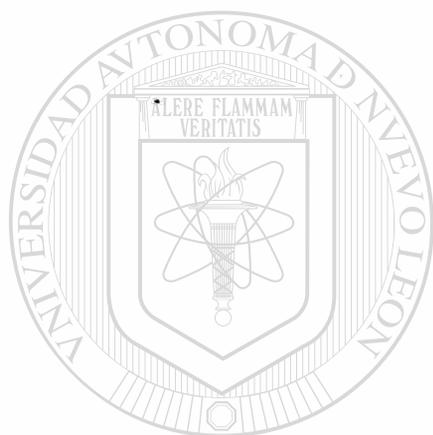
C.V. = 14.86 %

TABLA DE MEDIAS

TRATAMIENTO	REP.	MEDIA
1	15	11.415999
2	5	2.802000
3	15	11.596665
4	5	2.748000
5	15	11.624666
6	5	2.896000

RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS

TRATAMIENTO	MEDIA	
5	11.6247	A
3	11.5967	A
1	11.4160	A
6	2.8960	B
2	2.8020	B
4	2.7480	B



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla No. 7.13 Análisis bifactorial entre la producción de CO₂ en el medio mineral No. 1 y el medio mineral No. 2

A	B	1	2	3	5	5
1	1	5.92	4.64	5.39	6.36	7.12
1	2	5.17	2.34	4.77	5.84	6.75
1	3	5.96	4.78	5.12	6.24	7.12
1	4	5.26	2.91	4.88	5.91	6.78
1	5	5.95	4.63	5.35	6.73	7.18
1	6	5.31	3.05	4.84	6.16	6.82
2	1	10.26	13.14	9.34	10.98	13.36
2	2	2.40	2.72	2.93	2.98	2.98
2	3	10.33	13.25	9.69	11.28	13.43
2	4	2.37	2.69	2.78	2.94	2.96
2	5	10.53	13.14	9.71	11.29	13.45
2	6	2.58	2.81	2.96	3.03	3.10

ANÁLISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	1	41.884521	41.884521	27.1456	0.000
FACTOR B	5	339.420410	67.884079	43.9960	0.000
INTERACCIÓN	5	237.140381	47.428078	30.7384	0.000
ERROR	48	74.062012	1.542959		
TOTAL	59	692.507324			

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
C.V. = 19.58 %

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR A

FACTOR A	MEDIA
1	5.509333
2	7.180334

TABLA DE MEDIAS DEL FACTOR B

FACTOR B	MEDIA
1	8.651000
2	3.888000
3	8.719999
4	3.948000
5	8.796000
6	4.066000

TABLA DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS A X B

A	B	MEDIA
1	1	5.886000
1	2	4.974000
1	3	5.843999
1	4	5.148000
1	5	5.968000
1	5	5.236000
2	1	11.416000
2	2	2.802000
2	3	11.596000
2	4	2.748000
2	5	11.624001
2	6	2.896000

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

ANEXOS**ANEXO A**

A continuación se anexan copias de los análisis realizados en el laboratorio de pruebas ATLATEC, a las muestras marcadas como 1, 2 y 3, las cuales son respectivamente: Aceite Industrial, Aceite Automotriz y Suelo Impactado, junto con los cromatogramas y los tiempos de retención de dichos cromatogramas.

LABORATORIO ATATEC
 PRIV. LIBERTAD # 6
 COL. SAN JERONIMO
 MONTERREY N.L. MEXICO
 TELEFONO: (8) 333-65-51
 FAX : (8) 333-60-35

GRUPO CYDSA
 RICARDO MARGAIN ZOZAYA 325
 GARZA GARCIA, N.L. C.P. 66220

No. de Orden # :97-11-127
 Fecha : 12/17/97
 Ident. : ANALISIS ORGANICOS
 Recibida: 11/19/97
 Completa: 12/17/97
 Total de páginas del reporte : 5

ING. RAMIRO GARZA MOLINA

IDENTIFICACION DE MUESTRAS

Número	Identificación de la Muestra	Número	Identificación de la muestra
01	MUESTRA 1	03	MUESTRA 3
02	MUESTRA 2		

Revisado Por
 LQI. JAIME E. LEAL G.
 JEFE DE LABORATORIO

Aprobado Por
 LQI. DAVID RAZON ALONSO
 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ATATEC

CONFIDENCIAL



LABORATORIO CENTRAL
RESULTADOS POR MUESTRA

ATATEC

No de Orden:97-11-127

Página: 2 de 5

Muestra: 01A MUESTRA 1

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ARSENICO	< 0.050		mg/L	EPA 200.7	12/15/97	HRC
CINCOVALENTOS	VER TEXTO		mg/L	SW8021		
CLORUROS	VER TEXTO		mg/L	EPA 300.0		
NITROGENO ORGANICO	VER TEXTO		mg/L as N	NMX-AA-26-80		
AROMATICOS POLINUCLEADOS						
NAFTALENO	VER TEXTO			EPA		
ACENAFTILENO	VER TEXTO			EPA		
ACENAFTENO	VER TEXTO			EPA		
FLUORENO	VER TEXTO			EPA		
FENANTRENO	VER TEXTO			EPA		
ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
FLUORANTRENO	VER TEXTO			EPA		
PIRENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(a)ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
CRISENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(b)FLUORANTENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(a)PIRENO	VER TEXTO			EPA		
INDENO(1,2,3,-cd)PIRENO	VER TEXTO			EPA		
DIBENZO(a,h)ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(g,h,i)PIRILENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(k)FLUORANTENO	VER TEXTO			EPA		
PLOMBO	< 0.080		mg/L	EPA 200.7	12/15/97	HRC
PCB POLICLORADOS	< 0.50		mg/L	EPA 8082	12/04/97	JCR
	9.83		PH UNITS	NMX-AA-08-80	11/24/97	REZ
1,1 TRICLOROETANO	VER TEXTO		mg/L	SW 8010		
TRICLOROETILENO	VER TEXTO		mg/L	CG/SM		
TETRACLOROETILENO	VER TEXTO		mg/L	SW 8010		
PENTACLOROETILENO	VER TEXTO		mg/L	SW8021		

Muestra: 02A MUESTRA 2

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ARSENICO	< 5.00		mg/Kg	EPA 200.7	12/17/97	HRC
CINCOVALENTOS	< 0.25		mg/L	SW8021	12/10/97	JCR
CLORURO DE AMONIO	< 1.00		mg/Kg	EPA 200.7	12/17/97	HRC
CLORUROS	VER TEXTO		mg/L	EPA 300.0		
CROMO TOTAL	< 9.00		mg/Kg	EPA 200.7	12/17/97	HRC
NITROGENO ORGANICO	VER TEXTO		mg/L as N	NMX-AA-26-80		
AROMATICOS POLINUCLEADOS						
NAFTALENO	VER TEXTO			EPA		
ACENAFTILENO	VER TEXTO			EPA		



**LABORATORIO CENTRAL
RESULTADOS POR MUESTRA**

No de Orden: 97-11-127

Página: 3 de 5

Muestra: 02A MUESTRA 2

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ACENAFTENO	VER TEXTO			EPA		
FLUORENO	VER TEXTO			EPA		
FENANTRENO	VER TEXTO			EPA		
ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
FLUORANTRENO	VER TEXTO			EPA		
PIRENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(a)ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
CRISENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(b)FLUORANTENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(a)PIRENO	VER TEXTO			EPA		
INDENO(1,2,3,-cd)PIRENO	VER TEXTO			EPA		
DIBENZO(a,h)ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(g,h,i)PIRILENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(k)FLUORANTENO	VER TEXTO			EPA		
LOMO	153.7		mg/Kg	EPA 200.7	12/17/97	HRC
HIPOFENILOS POLICLORADOS	< 25.0		mg/Kg	EPA 8082	12/11/97	JCR
PH	7.85		PH UNITS	NMX-AA-08-80	11/24/97	REZ
1,1,1 TRICLOROETANO	< 0.25		mg/L	SW_8010	12/10/97	JCR
TRICLOROETILENO	< 0.25		mg/L	CG/SM	12/10/97	JCR
TETRACLOROETILENO	< 0.25		mg/L	SW_8010	12/10/97	JCR
PIRENO	< 0.25		mg/L	SW8021	12/10/97	JCR
PHC	1157.5		mg/Kg	EPA 200.7	12/17/97	HRC

Muestra: 03A MUESTRA 3

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ARSENICO	< 5.00		mg/Kg	EPA 200.7	12/15/97	HRC
CADAVENCO	< 0.25	0.25	mg/L	SW8021	12/10/97	JCR
CLORUROS	432		mg/Kg	EPA 300.0	12/15/97	NLG
NITROGENO ORGANICO	920.5		mg/Kg as N	NMX-AA-26-80	12/16/97	ANL
AROMATICOS POLINUCLEADOS						
NAFTALENO	VER TEXTO			EPA		
ACENAFTILENO	VER TEXTO			EPA		
ACENAFTENO	VER TEXTO			EPA		
FLUORENO	VER TEXTO			EPA		
FENANTRENO	VER TEXTO			EPA		
ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
FLUORANTRENO	VER TEXTO			EPA		
PIRENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(a)ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
CRISENO	VER TEXTO			EPA		

* Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización previa de este laboratorio *



**LABORATORIO CENTRAL
RESULTADOS POR MUESTRA**



No de Orden: 97-11-127

Página: 4 de 5

Muestra: 03A MUESTRA 3

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
BENZO(b)FLUORANTENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(a)PIRENO	VER TEXTO			EPA		
INDENO(1,2,3,-cd)PIRENO	VER TEXTO			EPA		
DIBENZO(a,h)ANTRACENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(g,h,i)PIRILENO	VER TEXTO			EPA		
BENZO(k)FLUORANTENO	VER TEXTO			EPA		
LOMO	< 4.0		mg/Kg	EPA 200.7	12/15/97	HRC
DIFENILOS POLICLORADOS	< 2.0		mg/Kg	EPA 8082	12/04/97	JCR
PH	9.20		PH UNITS	NMX-AA-08-80	11/24/97	REZ
1,1,1 TRICLOROETANO	< 0.25		mg/L	SW_8010	12/10/97	JCR
TRICLOROETILENO	< 0.25		mg/L	CG/SM	12/10/97	JCR
TETRACLOROETILENO	< 0.25		mg/L	SW_8010	12/10/97	JCR
PIRILENO	< 0.25		mg/L	SW8021	12/10/97	JCR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



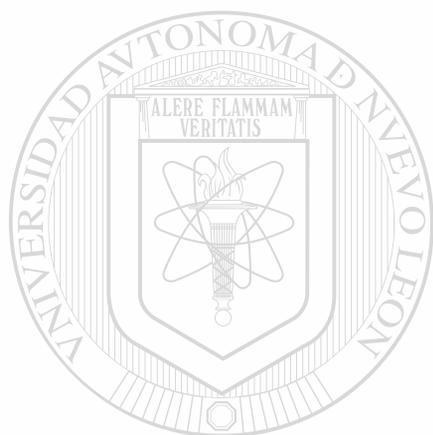
. de Orden:97-11-127

Página:5 de 5

LAS MUESTRAS ACEITOSAS PRESENTAN INTERFERENCIAS DEBIDO A SU NATURALEZA O TRATAMIENTO QUE IMPIDEN LA REALIZACION DEL ANALISIS DE CLORUROS Y NITROGENO.

LA MUESTRA ACUOSA CONTIENE INTERFERENCIAS (APARENTEMENTE NH₄OH) QUE EVITAN EL USO DEL SISTEMA DE PURGA Y TRAMPA PARA EL ANALISIS DE VOLATILES.

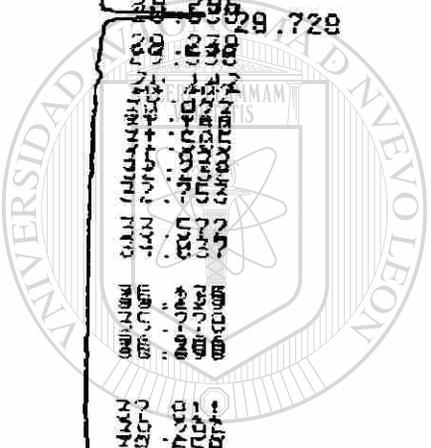
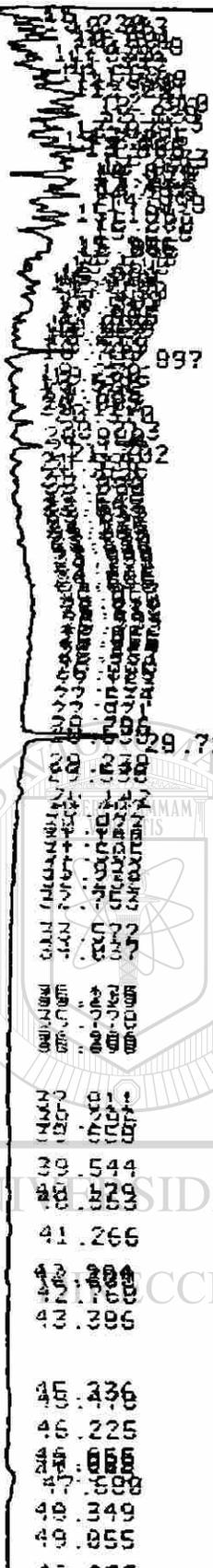
NO SE DETERMINO EL ANALISIS DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLINUCLEARES DEBIDO A LA FALTA DE ESTANDARES.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

STOP

RUN# 10 JAN 1, 1981 09:13:51

SAMPLE NAME: 9711127-2A SAMPLE# 51
 METHOD NAME: M:PCB.MET

AREA#

RT	AREA	TYPE	WIDTH	AREA%
19.323	115852	HH	.131	.98288
19.581	124287	HH	.136	.97449
19.591	117844	HH	.123	.92398
19.918	141789	HH	.129	1.11172

15.195	221849	UU	.144	1.38587
15.327	113930	UU	.119	1.23697
15.562	44283	UU	.062	.48118
15.685	113619	UU	.148	1.23459
15.785	58658	UU	.078	.63738
15.852	181922	UU	.116	1.18749
15.956	36575	UU	.044	.39742
16.125	85282	UU	.185	.92581
16.235	156388	UU	.179	1.69836
16.388	83895	UU	.187	.91168
16.677	284575	UU	.252	2.22292
16.765	49378	UU	.128	1.87984
16.927	40594	UU	.131	.97353
17.138	78841	UU	.183	.76187
17.268	46525	UU	.069	.58554
17.488	204932	UU	.138	3.11781
17.755	104133	UU	.225	1.71828
17.931	78248	UU	.139	1.86748
18.082	285285	UU	.383	2.22976
18.561	100128	UU	.138	1.38129
18.655	45842	UU	.158	1.83273
18.938	60684	UU	.176	.57377
20.129	435268	BB	.888	4.72963
20.665	70417	PU	.100	.87035
21.188	70443	UU	.082	.67155
21.281	74517	UU	.111	.88978
21.988	70259	UU	.094	.86123
22.020	50825	UP	.119	.64789
22.545	150468	PS	.181	1.65663
24.800	100000	UU	.082	.91262
24.870	100000	UU	.088	.84998
25.854	100000	UU	.183	.56378
25.288	110445	UU	.122	1.28783
25.584	400000	UU	.165	.52454
25.782	300000	UU	.119	.38282
26.888	88788	UU	.182	.96382
26.378	88933	UU	.285	.96635
26.581	45347	UU	.167	1.84691
26.951	100000	UP	.372	8.33642
27.488	61374	PU	.161	.56589
27.728	81582	UU	.188	.88568
28.181	100000	UU	.199	1.86712
28.785	285393	UU	.175	2.23188
29.368	58698	UU	.226	.63781
30.125	159829	UU	.164	1.72881
34.418	288281	UU	.669	3.15428
34.888	83688	UU	.241	.98936
35.218	184417	UU	.332	1.14546
35.572	68757	UU	.197	.66819
35.887	68558	UU	.286	.74495
37.888	128172	BU	.331	2.47932
37.437	64838	UU	.111	.69584
37.536	42863	UU	.075	.46575
37.778	143785	UU	.258	1.56158
38.664	34666	UU	.076	.37668
39.811	34511	UU	.122	.37588
48.255	31365	UU	.136	.34881

TOTAL AREA=9.2838E+06

MUL FACTOR=1.8888E+08

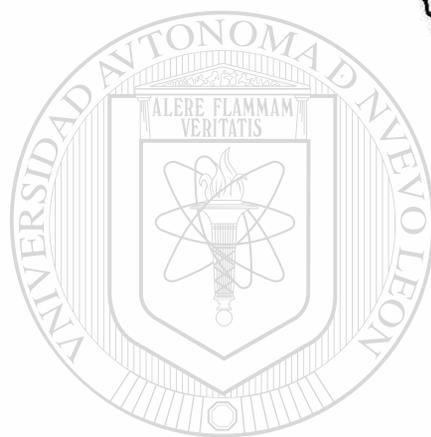
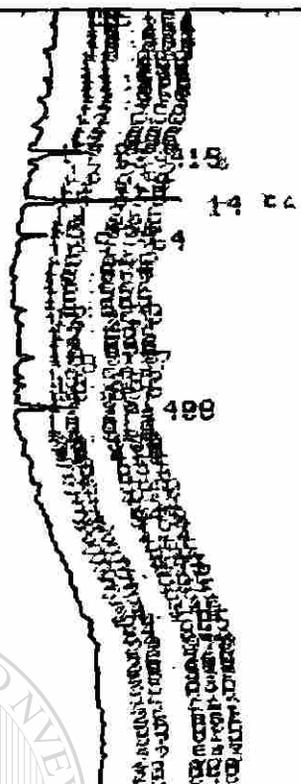
END START

LOW LOADING M: PCB MET

EQUILIBRATION DELAY IN PROGRESS

RUN # 1 JAN 1, 1981 00:12:35

START



Time	Count
1.0	1400
1.4	1300
4.0	1200

JANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.0	1400
1.4	1300
4.0	1200
4.1	1100
4.2	1000
4.3	900
4.4	800
4.5	720
4.6	604
4.7	520
4.8	640
4.9	774
5.0	801

JAN 1, 1981 00:12:35

127-1A
PCB MET

SAMPLE# 52

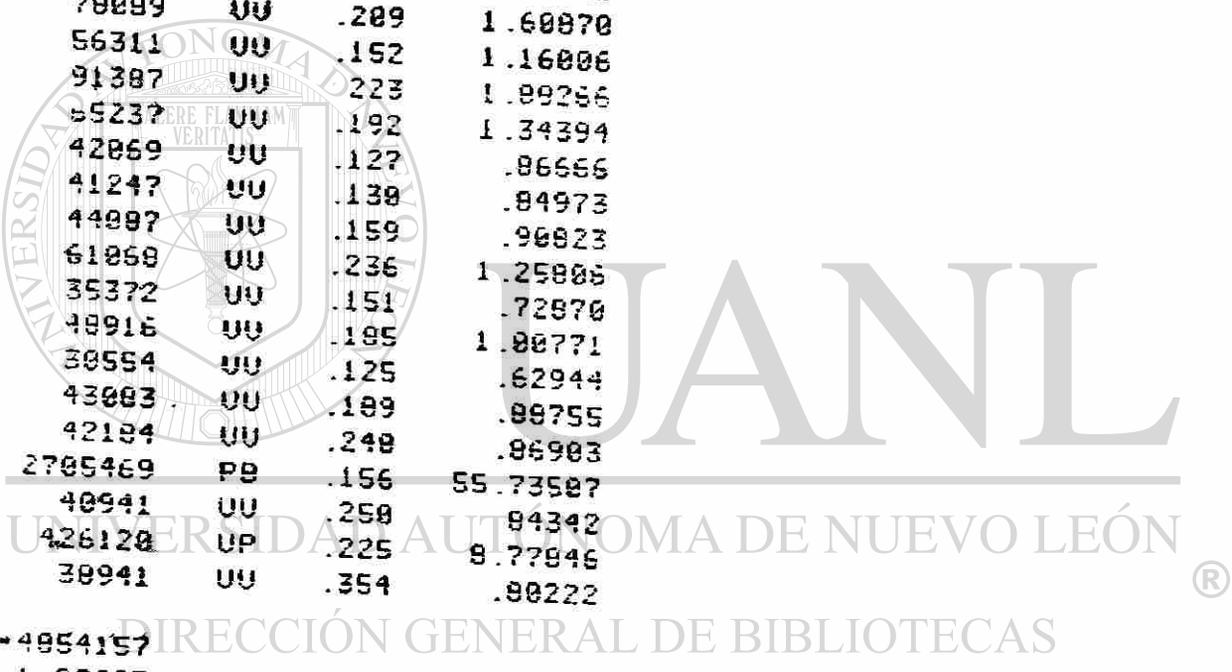
REA

TYPE WIDTH

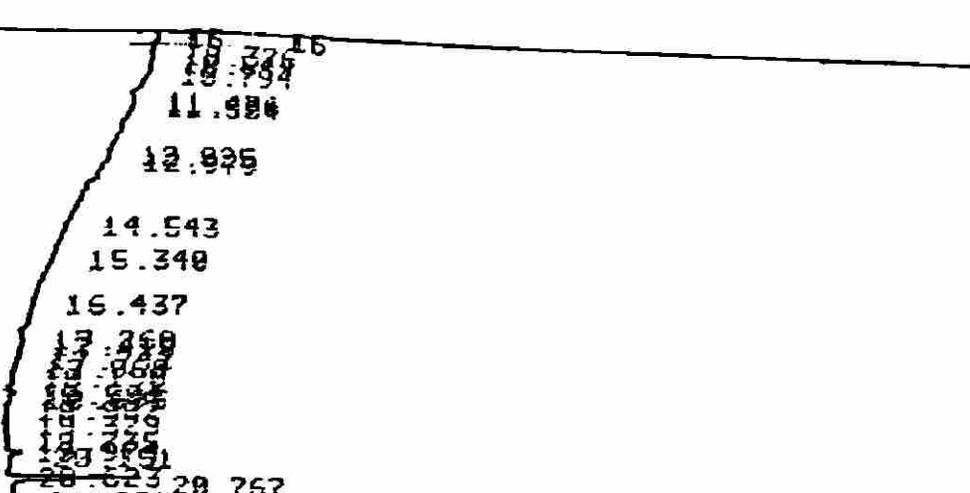
AREA%

RT	AREA	TYPE	WIDTH	AREA*
12.350	37929	PH	.261	.78137
13.415	78498	HP	.107	1.61697
14.567	155642	HP	.075	3.20636
15.364	33115	HH	.079	.69220
19.237	47373	HH	.151	.97593
19.400	67149	UP	.078	1.39333
22.192	30889	UU	.193	.63634
22.464	31657	UU	.227	.65216
22.695	39551	UU	.218	.81479
22.876	36033	UU	.161	.74231
23.121	33269	UU	.129	.69537
23.317	51239	UU	.180	1.05557
23.505	31575	UU	.127	.65047
23.665	60894	UU	.206	1.25447
24.045	85445	UU	.272	1.76024
24.140	51214	UU	.162	1.05505
24.395	91618	UU	.226	1.99741
24.602	78089	UU	.209	1.60070
24.849	56311	UU	.152	1.16006
24.970	91387	UU	.223	1.99266
25.111	65237	UU	.192	1.34394
25.305	42869	UU	.127	.86666
25.513	41247	UU	.138	.84973
25.835	44007	UU	.159	.90023
26.048	61060	UU	.236	1.25806
26.267	35372	UU	.151	.72970
26.503	48916	UU	.195	1.00771
26.631	30554	UU	.125	.62944
26.806	43003	UU	.189	.89755
27.260	42104	UU	.240	.96903
28.739	2705469	PE	.156	55.73507
30.121	40941	UU	.250	.84342
37.392	426120	UP	.225	9.77946
45.020	38941	UU	.354	.80222

TOTAL AREA=4954157
 FACTOR=1.0000E+00

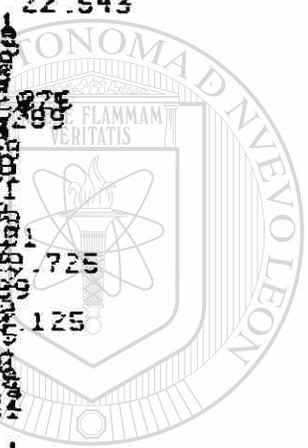
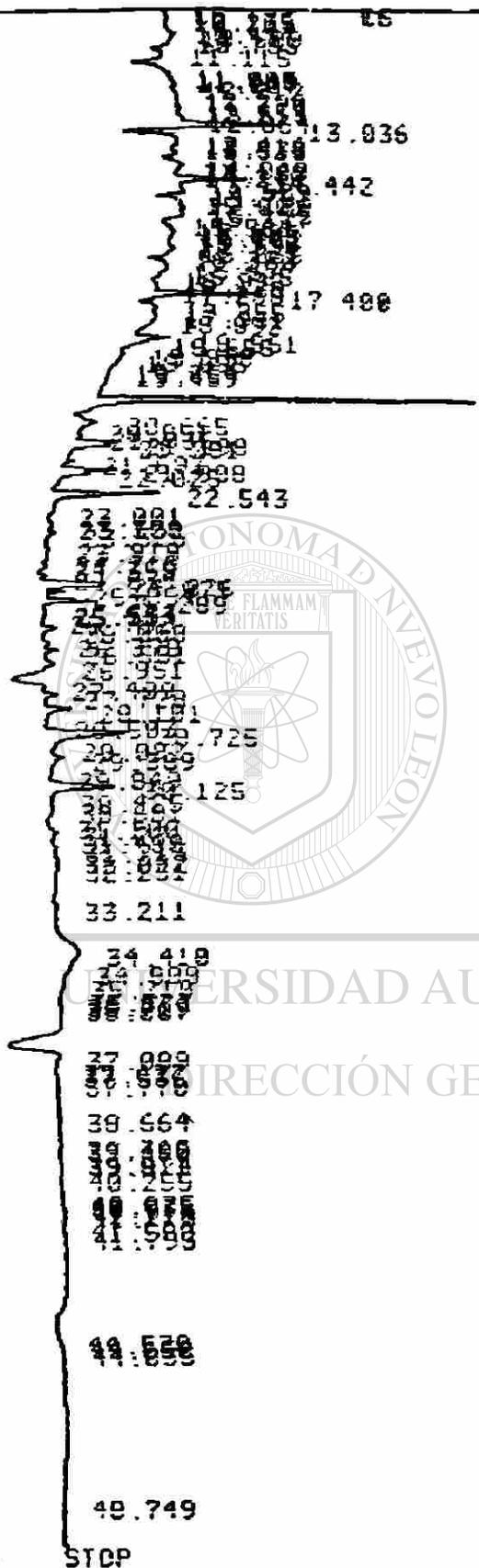


UTILIZATION DELAY IN PROGRESS
 N # 2 JAN 1, 1981 01:09:21
 PART



EQUILIBRATION DELAY IN PROGRESS

RUN # 8 JAN 1, 1901 00:10:54
START



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



RUN# 9 JAN 1, 1901 00:10:54

SAMPLE NAME: 9711127-3A

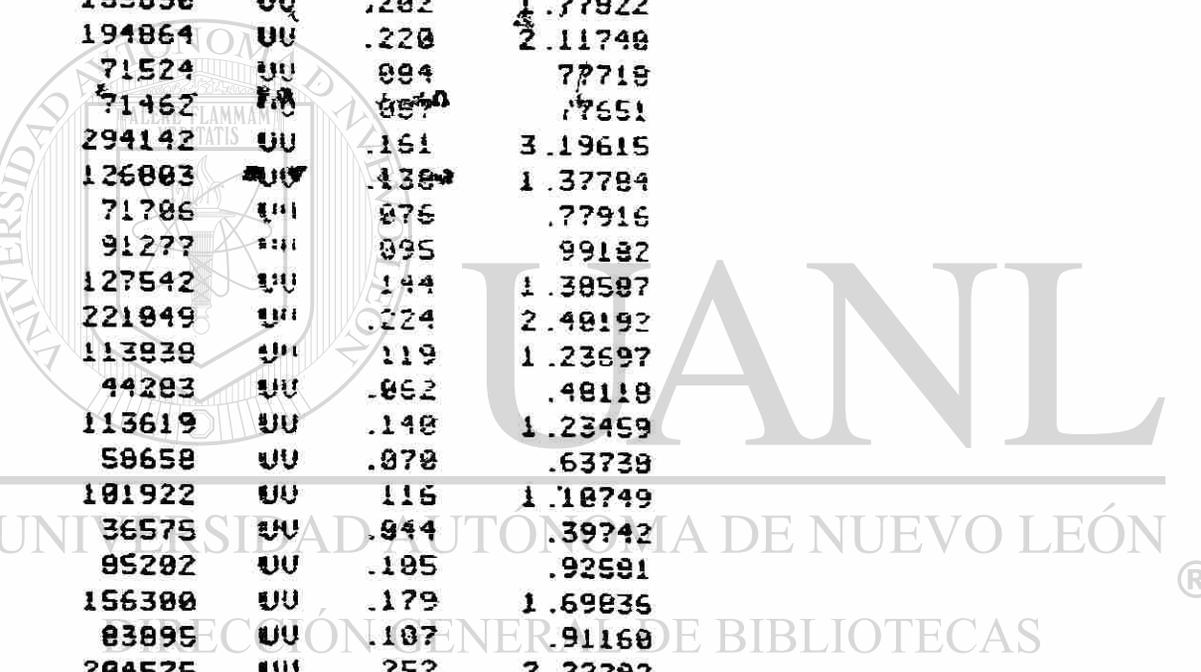
SAMPLE# 50

METHOD NAME: M:PCB.MET

SAMPLE NAME: 9711127-3A SAMPLE# 50
 METHOD NAME: M:PCB.MET

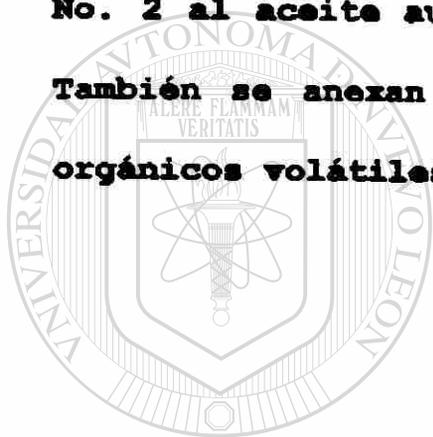
AREAX

RT	AREA	TYPE	WIDTH	AREAX
10.609	61164	UU	.198	.66461
10.793	90366	UU	.242	.87326
11.115	97759	UP	.274	1.06225
11.685	138980	PU	.258	1.51816
11.907	57433	UU	.096	.62487
12.012	151728	UU	.222	1.64859
12.298	177554	UU	.242	1.92938
12.553	90117	UU	.185	.87955
12.614	118802	UU	.142	1.20398
12.864	150888	UU	.188	1.65868
13.036	337388	UP	.149	3.66528
13.416	164465	UU	.096	1.78788
13.533	138782	UU	.172	1.58881
13.747	163650	UU	.202	1.77822
14.048	194864	UU	.228	2.11748
14.157	71524	UU	.084	.77718
14.249	71462	UU	.084	.77551
14.442	294142	UU	.161	3.19615
14.629	126883	UU	.138	1.37784
14.751	71786	UU	.076	.77916
14.793	91277	UU	.095	.99182
15.001	127542	UU	.144	1.38587
15.195	221849	UU	.224	2.48192
15.327	113838	UU	.119	1.23697
15.562	44283	UU	.062	.48118
15.685	113619	UU	.148	1.23459
15.785	58658	UU	.078	.63738
15.952	181922	UU	.116	1.18749
15.956	36575	UU	.044	.39742
16.125	85282	UU	.185	.92581
16.235	156388	UU	.179	1.69836
16.388	83895	UU	.107	.91168
16.677	284575	UU	.252	2.22292
16.765	99378	UU	.128	1.07984
16.927	89594	UU	.131	.97353
17.138	78841	UU	.183	.76187
17.268	46525	UU	.069	.58554
17.488	286932	UU	.138	3.11781
17.755	158133	UU	.225	1.71828
17.931	98248	UU	.139	1.06748
18.092	285285	UU	.383	2.22976
18.561	127128	UU	.138	1.38129
18.655	95842	UU	.158	1.03273
18.938	52884	UU	.176	.57377
20.129	435268	BB	.888	4.72963
20.665	76417	PU	.196	.83835
21.198	61883	UU	.082	.67155
21.281	74517	UU	.111	.88978
21.988	79259	UU	.094	.86123
22.825	59625	UP	.119	.64789
22.543	152468	PB	.181	1.65663
24.826	83988	UU	.882	.91262
24.875	78224	UU	.888	.84998
25.854	51877	UU	.183	.56378
25.289	118445	UU	.122	1.29783



ANEXO B

A continuación se anexan copias de los resultados obtenidos en el laboratorio a las muestras siguientes: Muestra No. 1, que correspondió al aceite industrial, la No. 2 al aceite automotriz y la No. 3 al suelo impactado. También se anexan los cromatogramas para los análisis de orgánicos volátiles.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



LABORATORIO ATATEC
 PRIV. LIBERTAD # 6
 COL. SAN JERONIMO
 MONTERREY N.L. MEXICO
 TELEFONO: (8) 333-65-51
 FAX : (8) 333-60-35 *Eadu*

GRUPO CYDSA
 RICARDO MARGAIN ZOZAYA 325
 GARZA GARCIA, N.L. C.P. 66220

No. de Orden # :97-12-200
 Fecha : 01/09/98
 Ident. : ANALISIS ORGANICOS
 Recibida: 12/30/97
 Completa: 01/09/98
 Total de páginas del reporte : 4

ING. RAMIRO GARZA MOLINA

IDENTIFICACION DE MUESTRAS

<u>Número</u>	<u>Identificación de la Muestra</u>	<u>Número</u>	<u>Identificación de la muestra</u>
01	MUESTRA 1	03	MUESTRA 3
02	MUESTRA 2		

Revisado Por
 Q. JUAN CARLOS RIVERA CASTRO
 COORDINADOR ANALITICO

Aprobado Por
 LQI. DAVID RAMON ALONSO
 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ATATEC

CONFIDENTIAL



LABORATORIO CENTRAL
RESULTADOS POR MUESTRA

ATATEC

No de Orden: 97-12-200

Página: 2 de 4

Muestra: 01A MUESTRA 1

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ORG. VOLATILES SIN LIX.						
BENCENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLOROBENCENO	< 0.25	100.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLOROFORMO	< 1.25	6.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLORURO DE MET.	< 1.25	8.6	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLORURO DE VINILO	< 0.20	0.2	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,2-DICLOROBENC.	< 0.25	4.3	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,4-DICLOROBENC.	< 0.25	7.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,2-DICLOROETANO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,-DICLOROETILENO	< 0.50	0.7	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ISOBUTANOL	< 25.00	36.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ETILMETILCETONA	< 25.00	200.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,1,2-TETRACLOROET.	< 0.25	10.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,2,2-TETRACLOROET.	< 0.25	1.3	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TETRACLORURO DE CARB.	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TETRACLOROETILENO	< 0.25	0.7	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TOLUENO	< 0.25	14.4	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,1-TRICLOROETANO	< 0.25	30.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,2-TRICLOROETANO	< 0.25	1.2	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TRICLOROETILENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ACRILONITRILLO	< 2.50	5.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
DISULFURO DE CARBONO	< 2.50	14.4	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
HEXAFLUOROBUTADIENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ALOMO	2.0		mg/L	EPA 200.7	01/09/98	HRC
ALIC	0.42		mg/L	EPA 200.7	01/09/98	HRC

Muestra: 02A MUESTRA 2

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ORG. VOLATILES SIN LIX.						
BENCENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLOROBENCENO	< 0.25	100.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLOROFORMO	< 1.25	6.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLORURO DE MET.	< 1.25	8.6	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLORURO DE VINILO	< 0.20	0.2	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,2-DICLOROBENC.	< 0.25	4.3	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,4-DICLOROBENC.	< 0.25	7.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,2-DICLOROETANO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,-DICLOROETILENO	< 0.50	0.7	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ISOBUTANOL	< 25.00	36.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ETILMETILCETONA	< 25.00	200.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR

* Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización previa de este laboratorio *



**LABORATORIO CENTRAL
RESULTADOS POR MUESTRA**

ATATE

No de Orden: 97-12-200

Página: 3 de 4

Muestra: 02A MUESTRA 2

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
1,1,1,2-TETRACLOROET.	< 0.25	10.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,2,2-TETRACLOROET.	< 0.25	1.3	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TETRACLORURO DE CARB.	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TETRACLOROETILENO	< 0.25	0.7	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TOLUENO	< 0.25	14.4	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,1-TRICLOROETANO	< 0.25	30.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,2-TRICLOROETANO	< 0.25	1.2	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TRICLOROETILENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ACRILONITRILO	< 2.50	5.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
DISULFURO DE CARBONO	< 2.50	14.4	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
HEXAFLOROBUTADIENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
PLOMO	< 2.0		mg/L	EPA 200.7	01/09/98	HRC
ZINC	7.58		mg/L	EPA 200.7	01/09/98	HRC

Muestra: 03A MUESTRA 3

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ORG. VOLATILES SIN LIX.						
BENCENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLOROBENCENO	< 0.25	100.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLOROFORMO	< 1.25	6.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLORURO DE MET.	< 1.25	8.6	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
CLORURO DE VINILO	< 0.20	0.2	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,2-DICLOROBENC.	< 0.25	4.3	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,4-DICLOROBENC.	< 0.25	7.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,2-DICLOROETANO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,-DICLOROETILENO	< 0.50	0.7	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ISOBUTANOL	< 25.00	36.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ETILMETILCETONA	< 25.00	200.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,1,2-TETRACLOROET.	< 0.25	10.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,2,2-TETRACLOROET.	< 0.25	1.3	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TETRACLORURO DE CARB.	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TETRACLOROETILENO	< 0.25	0.7	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TOLUENO	< 0.25	14.4	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,1-TRICLOROETANO	< 0.25	30.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
1,1,2-TRICLOROETANO	< 0.25	1.2	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
TRICLOROETILENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
ACRILONITRILO	< 2.50	5.0	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
DISULFURO DE CARBONO	< 2.50	14.4	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
HEXAFLOROBUTADIENO	< 0.25	0.5	mg/L	EPA SW 8260	01/07/98	JCR
PLOMO	< 2.0		mg/L	EPA 200.7	01/09/98	HRC



**LABORATORIO CENTRAL
RESULTADOS POR MUESTRA**

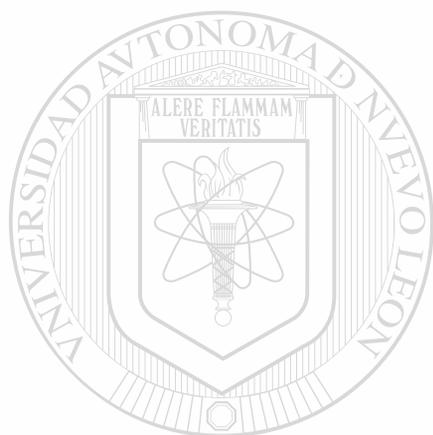
No de Orden: 97-12-200

Página: 4 de 4

Muestra: 03A MUESTRA 3

Recolectada:

PARAMETRO	RESULTADO	LIMITE	UNIDADES	METODO	FECHA ANALISIS	ANALISTA
ENC	1.5		mg/L	EPA 200.7	01/09/98	HRC



UANL

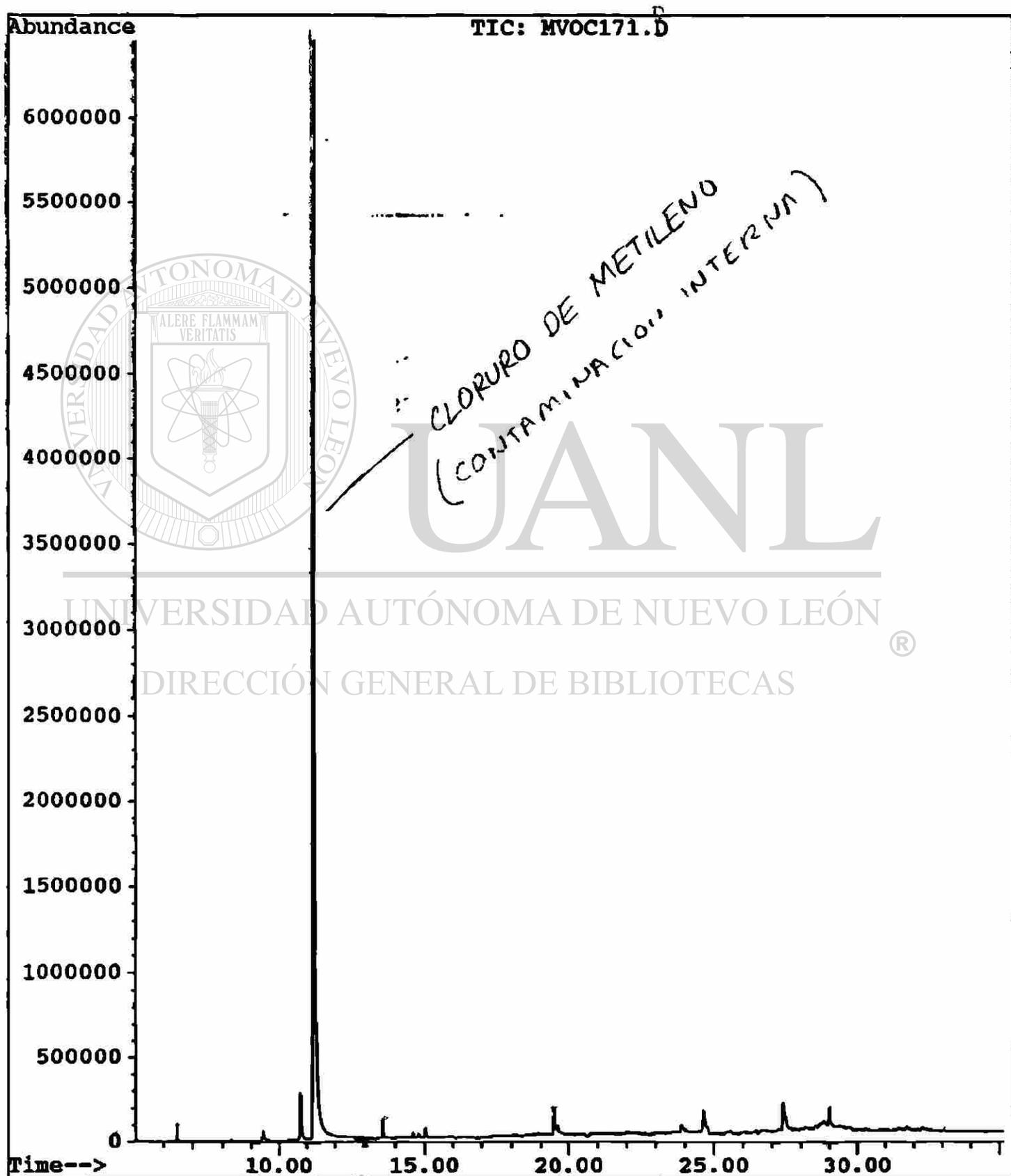
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

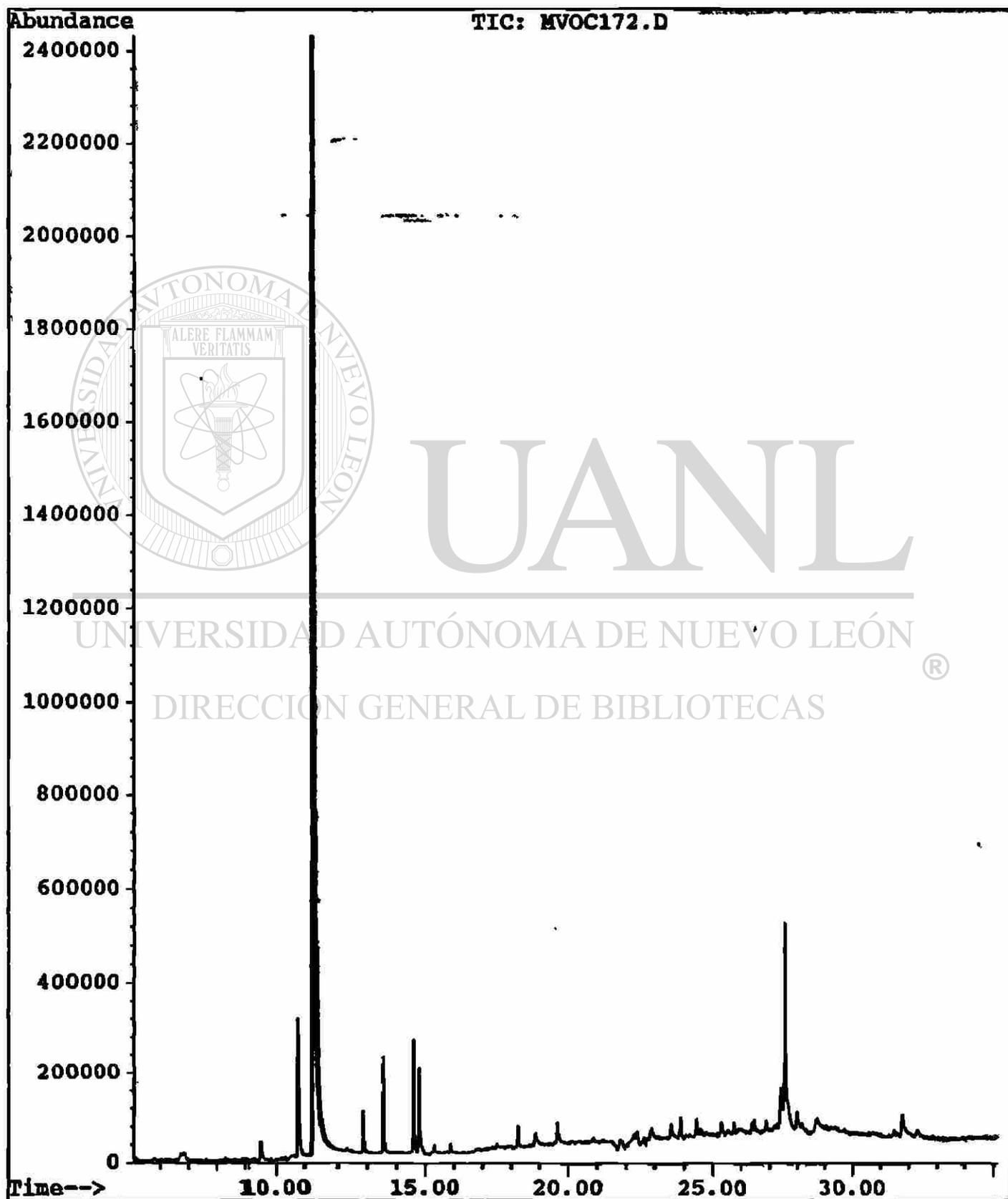
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



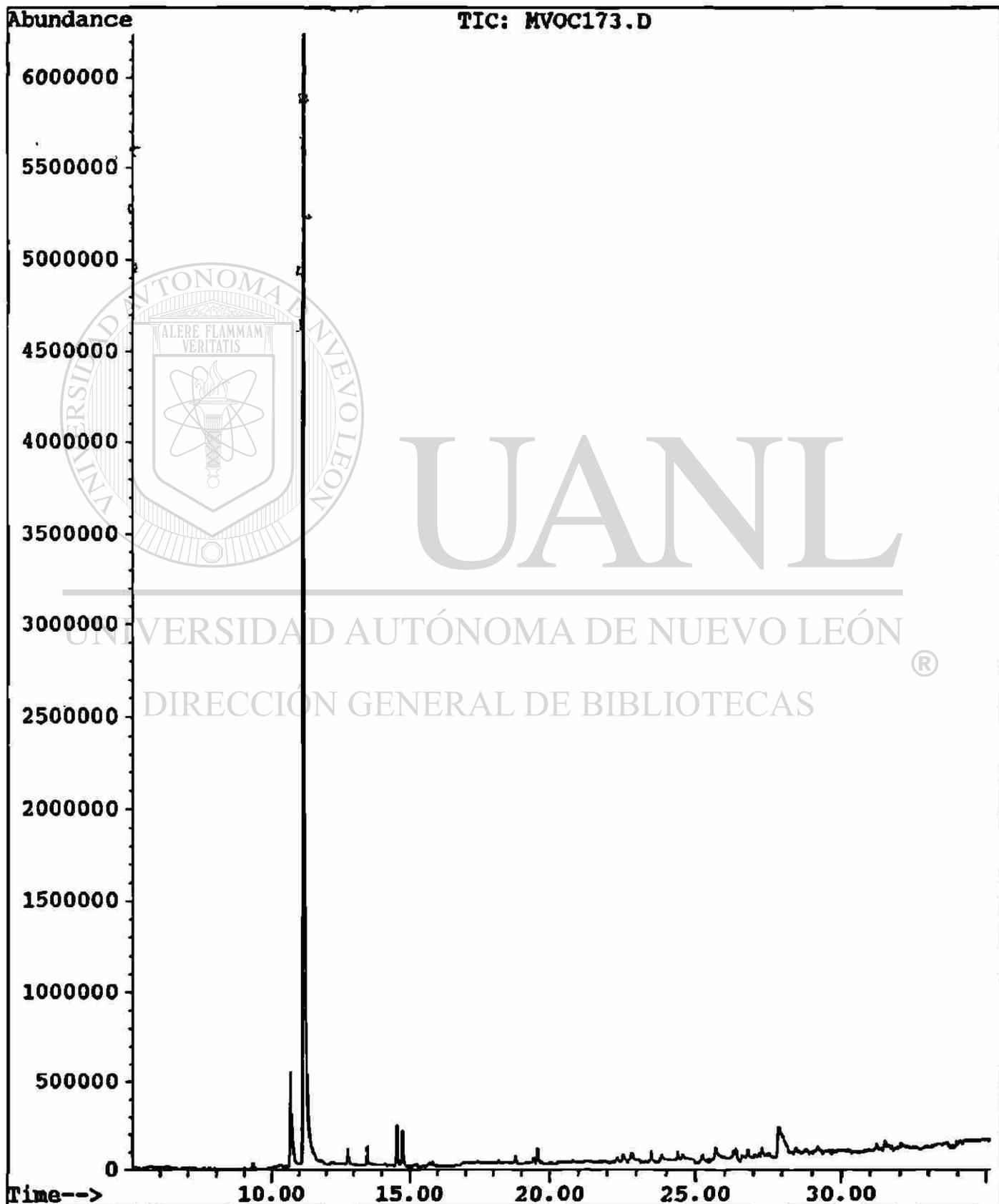
File : C:\HPCHEM\1\DATA\MUESTRAS\VOCS\MVOC171.D
Operator :
Acquired : 7 Jan 98 3:27 pm using AcqMethod VOCS7
Instrument : 5971 - In
Sample Name: 9712200-1A
Misc Info :
Vial Number: 5



File : C:\HPCHEM\1\DATA\MUESTRAS\VOCS\MVOC172.D
Operator :
Acquired : 7 Jan 98 4:20 pm using AcqMethod VOCS7
Instrument : 5971 - In
Sample Name: 9712200-2A
Misc Info :
Vial Number: 4



File : C:\HPCHEM\1\DATA\MUESTRAS\VOCS\MVOC173.D
Operator : *
Acquired : 7 Jan 98 5:14 pm using AcqMethod VOCS7
Instrument : 5971 - In
Sample Name: 9712200-3A
Misc Info :
Vial Number: 5



ANEXO C

A continuación se anexan copias del manual de prácticas de Microbiología del suelo, donde se muestra la fórmula para la obtención de $\mu\text{g/L}$ de CO_2 . Cabe mencionar que se ha trabajado de esa manera por más de 10 años en la F.C.B. de la U.A.N.L.;



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

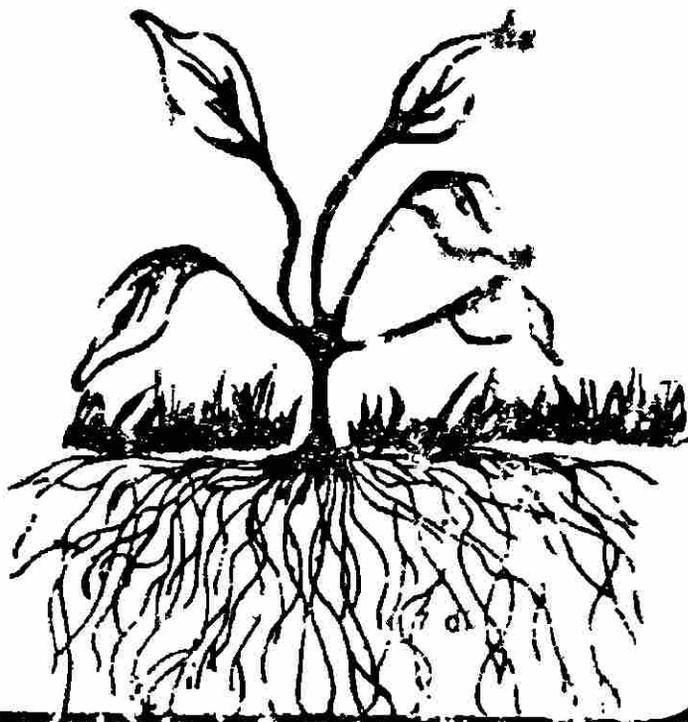
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

182
MICROBIOLOGIA

DEL

SUELO



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Q. B. F. HUGO ALBERTO LUNA OLVERA
LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA
INDUSTRIAL Y DEL SUELO

DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA E
INMUNOLOGIA

2a Edición
1987

e) Suelo tratado con herbicida 100 ppm

- Inyecte los compuestos químicos disueltos en agua, en una cantidad suficiente para ajustar a un 60% de la capacidad de retención del suelo y selle posteriormente el matraz con el tapón de hule, preparado con los diferentes aditamentos.
- Coloque en el vaso reservorio adherido al tapón de hule una cantidad de 5-10 ml de NaOH 0.1 N mediante una jeringa conectada a la aguja y mida directamente la producción de CO₂ por la microflora del suelo, al utilizar como captador al compuesto incluido en el reservorio.
- Haga el anterior procedimiento de la siguiente manera: Con una jeringa, extraiga después de cada 24 horas el NaOH en cada uno de los tratamientos, y por separado vacíelos en matraces de 500 ml. Se le agrega la mitad de ml que se hayan recuperado de BaCl₂ al 1% (5 o 2.5 ml). Afore a 100 ml con agua destilada, agregue fenolftaleína hasta obtener un color rosa y titule con HCl 0.1 N hasta que desaparezca el color. Anote la cantidad gastada de HCl.
- Sustituya cada día el NaOH recuperado. Haga determinaciones durante 7 días y ajuste la humedad a un 60%.

Cálculos:

$$\text{mg CO}_2 \text{ producido} = [(\text{ml NaOH}) (N \text{ NaOH}) - (\text{ml HCl}) (N \text{ HCl})] 0.022 \times 1000$$

Esta fórmula deriva de la siguiente relación:

$$\text{g CO}_2 \text{ producido} = (\# \text{ meq CO}_2) (P \text{ meq CO}_2)$$

$$\text{mg CO}_2 \text{ producido} = (\# \text{ meq CO}_2) (P \text{ meq CO}_2) \times 1000$$

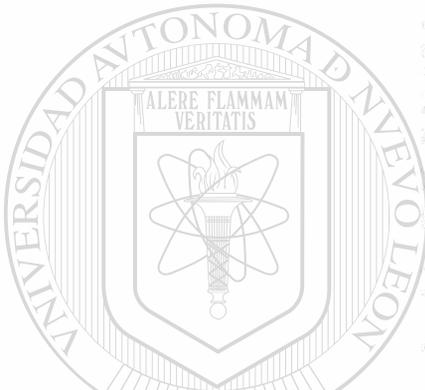
El número de millequivalentes se obtiene de la diferencia de meq del ácido y la base. El P meq del CO₂ es 0.022.

$$P \text{ meq de CO}_2 = \frac{PM}{\text{valencia} \times 1000} = \frac{44}{2 \times 1000} = 0.022$$

GLOSARIO

- Aeróbico** Organismo que realiza sus funciones en presencia de oxígeno molecular (O_2)
- Anabolismo** Constituye la fase constructiva o biosintética del metabolismo, en la cual tiene lugar la biosíntesis enzimática de los componentes moleculares de las células tales como los ácidos nucleicos, las proteínas, los polisacáridos y los lípidos, a partir de sus precursores sencillos.
- Anaeróbicos** Organismos capaces de sobrevivir sin oxígeno, como ciertas bacterias y levaduras
- Autótrofo** Organismos capaces de fijar la energía de la luz y producir su propio alimento a partir de sustancias inorgánicas simples (como agua, bióxido de carbono, nitratos, etc.); por el proceso de la fotosíntesis. Se les llama también productores.
- Bioacumulación o biomagnificación** Concentración de un determinado químico en los organismos con posiciones más elevadas en la estructura trófica, que se alimentan de los organismos de las posiciones inferiores
- Biodegradación** Eliminación de un compuesto orgánico, a partir de la actividad metabólica de la biocenosis o comunidad de un ecosistema determinado. Los productos finales de la biodegradación son: biomasa, bióxido de carbono, agua y en ocasiones otros compuestos inorgánicos adicionales (amoníaco, sulfatos)

Biosfera	Último nivel de organización biótica, el cual es el mayor y más eficiente; mantiene un balance entre la energía solar que entra y la energía térmica que sale al espacio. Incluye a todos los organismos vivos de la tierra actuando recíprocamente con el medio ambiente físico como un todo. Se divide en Litosfera, Hidrosfera, Atmósfera y Biota
Capacidad hidrocarburoli- tica	La capacidad para romper cadenas hidrocarbonadas
Catabolismo	Es la fase degradativa del metabolismo, en la cual las moléculas nutritivas complejas y relativamente grandes (glúcidos, lípidos y proteínas) que provienen o bien del entorno o de sus propios depósitos de reserva, se degradan para producir moléculas más sencillas tales como ácido láctico, ácido acético, CO_2 , amoníaco o urea. El catabolismo vá acompañado de liberación de energía química.
Catalizador	Cualquier sustancia activadora o impulsora de una reacción química específica. En los organismos vivos la catálisis está a cargo de las enzimas
Detoxificación	Se refiere a la conversión biológica de una sustancia tóxica a especies menos tóxicas, la cual puede ser todavía relativamente compleja.
Enzima	Catalizador orgánico producido dentro de un organismo
Fotoautótrofo	Organismos que obtienen su energía a partir de la luz y utiliza CO_2 como única fuente de carbono.
Heterótrofos	Organismos que utilizan a otros para alimentarse, descomponiendo los materiales complejos sintetizados por los autótrofos. También se les llama consumidores.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DELEGACIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Lixiviación	Movimiento de sustancias químicas, a través de poros, fisuras o fallas del terreno hacia el subsuelo, a partir de depósitos superficiales o subterráneos de residuos
Metabolitos	Se le llama así a los productos intermedios de las rutas químicas del metabolismo.
Microsomas	Cuerpo o estructura microscópico, como organelos intracelulares, retículo endoplásmico que contiene sistemas de transporte electrónico no fosforilante unidos a la membrana, que participan no solamente en reacciones de hidroxilación, sino también en reacciones de saturación, etc.
Quimioautótrofos	Microorganismos que sobreviven gracias a la energía derivada de sustancias químicas inorgánicas. Ej. bacterias sulfurosas, ferrosas y otras.
Recalcitrante	Sustancia química resistente a la biodegradación, también se les llama persistentes.
Residuo peligroso	Aquellas sustancias que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, biológicas y/o tóxicas, representan un peligro potencial para la salud humana, o el ecosistema
Sustrato	Sustancia sobre la cual actúa una enzima
Xenobióticos	Son compuestos no naturales o sintéticos

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Alexander, M. (1980), "Transformación de hidrocarburos" en Microbiología de suelos. AGT Editor pp. 219-238. México.
2. Altamirano, R. (1996), "Incineración de askareles, alternativa de eliminación". Teorema 8:22-23. México.
3. Austin, B., J.J. Calomiris & J.D.Walker and R.R. Colwell (1977), "Numerical taxonomy and Ecology of petroleum-degrading bacteria" Appl. Environ. Microbiol. 34:60-68
4. Baker, K. H., Herson, D. S. (1994), Bioremediation. Editorial McGraw-Hill, Inc., New York, U.S.A.
5. Barret, J. M., Gleason, S. V., et. al., (1992), La Industria Petrolera ante la Regulación Jurídico-Ecológica en México. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México.
6. Campbell, R. (1987), "Conversiones microbianas de carbono en el medio" en Ecología microbiana. Ed. Limusa. pp. 45-70. México.
7. Canby, T.Y. de (1993); "Bacteria, teaching old bugs new tricks" National Geographic 1 Agosto.
8. Cookson, J. T., (1995), Bioremediation Engineering, Design and Application. Editorial McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y. U.S.A.
9. Daugherty, D.D., and S. F. Karel. (1994), "Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by *Pseudomonas cepacia* DBO1 (pR0101) in a dual substrate chemostat" Appl. Environ. Microbiol. 60: 3261-3267.
10. Davis, M.L., Cornwell, D.A. (1991), Introduction to Environmental Engineering. Edit. McGraw-Hill, 2da. Edition. U.S.A.

11. Duets, W.A., C.D. Jong, P.A. Williams and J.G. Andala (1994), "Competition in chemostat culture between *Pseudomonas* strains that use different pathways for the degradation of toluene". *Appl. Environ. Microbiol.* 60:2858-2863.
12. Fan, S., and K.M. Scrow. (1993), "Biodegradation of trichloroethylene and toluene by indigenous microbial populations in soil" *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 1911-1918.
13. Flores, L. F.J. (1994), "Falta en México reciclaje de aceites. Reunión Académica sobre Tecnologías Limpias y Manejo de Residuos Peligrosos". *El Norte.* 25 de Nov. Folio 63242. Monterrey N.L. Méx.
14. Freeman, H.M., (1989), Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal. McGraw-Hill., New York, U.S.A.
15. Grifoll, M., S.A. Selifonov and P. J. Chapman. (1994), "Evidence for a novel pathway in the degradation of fluorene by *Pseudomonas* sp. strain F274" *Appl. Environ. Microbiol.* 60:2438-2449.
16. Harte, J. et. al. (1995), Guía de las Sustancias Contaminantes, el Libro de los Tóxicos de la A a la Z. Editorial Grijalbo. México, D.F.
17. Higler, B.E., W.H. Wallace and J. C. Spain. (1994), "Biodegradation of 2-nitrotolueno by *Pseudomonas* sp. strain JS42." *Appl. Environ. Microbiol.* 60:3466-3469.
18. Instituto de Investigaciones Jurídicas, PEMEX. (1995), PEMEX: Ambiente y Energía. Los retos del futuro. UNAM., México D.F., México.
19. LaGrega, M. D., Bukingham, P. L., Evans, J. C. (1996), Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos. Editorial McGraw-Hill., México D.F., México.
20. Landa, A.S., E.M. Spikema., J. Weijma., A.A.C.M. Becnakers., J. Dolfing, and D.B. Janssen (1974), "Cometabolic degradation of trichloroethylene by *Pseudomonas cepacia* G4 in a chemostat with toluene as the primary substrate." *Appl. Environ. Microbiol.* 60:3368-3374.

21. Leal, C.M., J.M. Sánchez, Y., J.J. Peña, C. (1996), "Biocide in a metal working fluid". Corrosion Review, vol. 16 No. 1.
22. Lehninger A.L., (1978), Bioquímica. 2da Edición, Editorial, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España
23. Manahan, S. E. (1991), Environmental chemistry of hazardous wastes in Environmental chemistry. fifth edition. Lewis publishers pp. 427-450 Michigan U.S.A.
24. México, (1995) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. quinta edición, Ed. Delmas Naucalpan, Edo. México
25. México, (1980), Norma Mexicana "Aguas residuales. Muestreo", Diario Oficial de la Federación.
26. México, (1980), NMX-AA-5-1980 Norma Mexicana. Aguas. Determinación de grasas y aceites, Diario Oficial de la Federación.
27. México, Instituto Nacional de Ecología (1993), "NOM-052-ECOL-1993" Norma oficial Mexicana que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Diario Oficial de la Federación 22 de Octubre de 1993.
28. México, Instituto Nacional de Ecología (1993), "NOM-053-ECOL/1993" Norma Oficial Mexicana que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un Residuo Peligroso por su Toxicidad al ambiente. Diario Oficial de la Federación 22 de Octubre de 1993.
29. México, Instituto Nacional de Ecología (1993), "NOM-054-ECOL/1993" Norma Oficial Mexicana que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o mas Residuos considerados como Peligrosos por la Norma Oficial Mexicana Diario Oficial de la Federación 22 de Octubre de 1993.
30. México, Instituto Nacional de Ecología (1993), "NOM-055-ECOL/1993" Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de Residuos Peligrosos, excepto de los Radiactivos. Diario Oficial de la Federación 22 de Octubre de 1993.

31. México, Instituto Nacional de Ecología (1993), "NOM-056-ECOL/1993" Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de Residuos Peligrosos. Diario Oficial de la Federación 22 de Octubre de 1993.
32. México, Instituto Nacional de Ecología (1993), "NOM-057-ECOL/1993" Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para Residuos Peligrosos. Diario Oficial de la Federación 22 de Octubre de 1993.
33. México, Instituto Nacional de Ecología (1993), "NOM-058-ECOL/1993" Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de Residuos Peligrosos. Diario Oficial de la Federación 22 de Octubre de 1993.
34. Mueller Associates, (1989), Waste oil: reclaiming technology, utilization, and disposal. Edit. Noyes Data Corporation., New Jersey, U.S.A.
35. Ogino, H., K. Miyamoto., and H. Ishikawa. (1994), "Organic solvent-tolerant bacterium which secretes organic-solvent-stable lipolytic enzyme". Appl. Environ. Microbiol. 60:3884-3886.
36. Pelczar., Reid., Chan. (1977) p Microbiología. 4a. Edición. Editorial McGraw-Hill, México, D.F.
37. Pramer, D., Schnidt) E.L. (1965) p Experimental soil microbiology. De Burgess Publishing Co. Minnesota, U.S.A. pp 70-71
38. PUMA, UNAM., (1997), Memorias del Curso: "Biorremediación de Suelos y Acuíferos". Instituto de Ingeniería. México D.F., México.
39. PUMA, Serrano, O. R., Rodríguez, G. P., et. al., (1996), Los Residuos Peligrosos en México. UNAM, PUMA. México, D.F., México.
40. Rodríguez, M F:J. (1994), "Piden a armadoras mayor información. Federación Nacional de Asociaciones de Talleres Automotrices A.C." El Norte. 7 de Mayo. Folio 24304. Monterrey, N.L. Mex.

41. Soberanes, F. J. L., Treviño, M. F. J., et. al., (1997), El Derecho Ambiental en América del Norte y el Sector eléctrico Mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México.
42. Videla, H.A., R.C. Salvarezza (1984), Corrosión Microbiológica en Introducción a la corrosión microbiológica. Primera edición. Librería agropecuaria pp. 81-127. Buenos Aires, Argentina.
43. Walker, J.D., and R.R. Colwell. (1974), "Microbial degradation of model petroleum at low temperature". *Microbiol. Ecol.* 1:63-95.
44. Walker, J.D., and R. R. Colwell. (1974), "Microbial petroleum degradation: use of mixed hydrocarbon substrates. *Appl. Environ. Microbiol.* 27:1053-1060.
45. Walker, J. D., and R.R. Colwell. (1975), "Factors affecting enumeration and isolation of actinomycetes from Chesapeake Bay and Southeastern Atlantic Ocean sediments. *Mar. Biol.* 30:193-201.
46. Wentz, C.A., (1989), Hazardous Waste Management. McGraw-Hill Book Company. New York, U.S.A.
47. Yadav, J. S., J.F. Quensen III., J.M. Tiedje and C.A. Reddy. (1995), "Degradation of polychlorinated biphenil mixtures (aroclors 1242, 1254, and 1260) by congener-specific analysis". *Appl. Environ. Microbiol.* 61:2560-2565.
48. Zapata, C. R. (1994), "Dominan descargas químicas. Subsecretaría de Ecología". *El Norte*. 3 de Enero. folio 121 Monterrey, N.L. Mex.

