

**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**



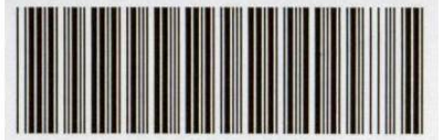
TM

TD427

.H93

G3

c.1



1080080868

11137

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS

CON HIDROCARBUROS

Por

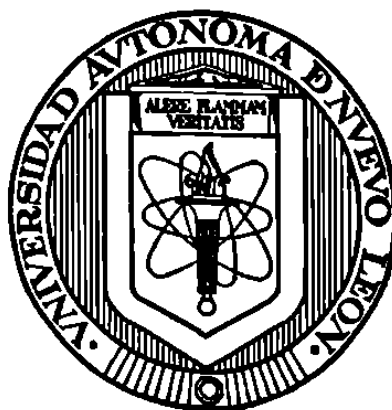
RAMIRO GARZA MOLINA

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

Enero, 1998

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS  
CON HIDROCARBUROS**

**Por**

**RAMIRO GARZA MOLINA**

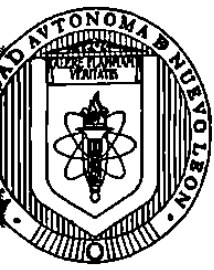
**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Ingeniería Ambiental**

**Enero, 1998**

BMU Rañit Rangel Files  
UANL  
FONDO  
TESIS  
20868

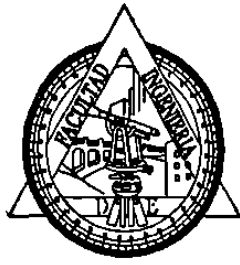
BU Rañit Rangel Files  
UANL  
FONDO  
TESIS LICENCIATURA

TM  
TD427  
•H93  
G3



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**

---

**Asesor Externo de la Tesis  
M.C. Maribel Leal Castillo**

---

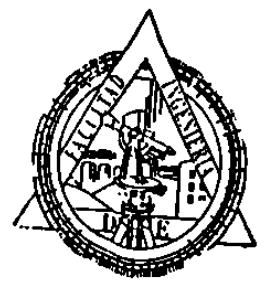
**Secretario de Estudios de Postgrado  
Ing. Oscar M. Robles Sánchez**







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

Nombre y firma de quien corrigió :

ARQ. RAMÓN LONGORIA RAMÍREZ

El Secretario de Postgrado :

Ing. Oscar M. Hobles Sánchez  
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.

## 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.

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,  
Tu Persona divinal,  
A mí 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



## 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
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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> , 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> , 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 <sub>2</sub> promedio en el medio mineral No. 1 de las tres muestras de aceite.....	157
7.12 Análisis de varianza de la producción de CO <sub>2</sub> promedio en el medio mineral No.2 de las tres muestras de aceite....	158
7.13 Análisis bifactorial entre la producción de CO <sub>2</sub> en el medio mineral No. 1 y el medio mineral No. 2 .....	160

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
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-alcános 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-alqueno .....	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 CO2 en Aceite industrial como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1 .....	121
4.2 Producción de CO2 en Aceite automotriz como fuente de carbono comparado con un control relativo, en el medio mineral No. 1 .....	122

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

## 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 hidrocarburohítica de la flora nativa de cada muestra mediante métodos indirectos: captación de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>, 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:



---