

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**'DESARROLLO DE UNA PLUMA DE  
CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS EN  
EL ACUIFERO SUBTERRANEO SUBYACENTE  
A UNA PRESA DE CAPTACION DE AGUAS  
DE YACIMIENTO'**

**PRESENTA  
Q.I. BLANCA MANCILLA OVANDO**

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

**CD. UNIVERSITARIA**

**JUNIO DE 1999**

TM  
TD427  
.P4  
M3  
1999  
c.1

'DESAARROLLO DE UNA PLUMA DE  
CONTAMINACION POR HIDROPOCARIOS EN  
EL ACUAFERO SUBTERRANEO  
A UNA PRESA DE CAPTACION DE AGUAS  
DE YACIMIENTO.  
MANCILLA OVANDO



1080089080

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



"DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE  
CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS EN  
EL ACUIFERO SUBTERRANEO SUBYACENTE  
A UNA PRESA DE CAPTACIÓN DE AGUAS  
DE YACIMIENTO"

PRESENTA

Q.I. BLANCA MANCILLA OZAMUNDO

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

CT. UNIVERSITARIA

JUNIO DE 1998



TM

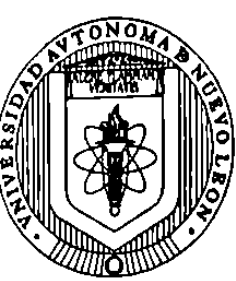
TD427

.P4

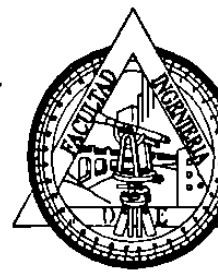
K13

1999





**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**COMPROBANTE DE CORRECCION**

**Tesista:** Blanca Mancilla Ovando

**Tema de la tesis:** “DESARROLLO DE UNA PLUMA DE CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS EN EL ACUÍFERO SUBTERRÁNEO SUBYACENTE A UNA PRESA DE CAPTACIÓN DE AGUAS DE YACIMIENTO”

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

**Recomendaciones adicionales:**

NINGUNA

---



---



---



---



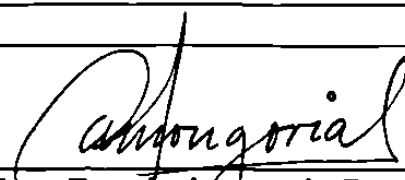
---

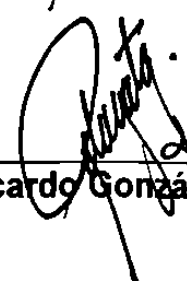


---



---

**Nombre y firma de quien corrigió:**   
**Arq. Ramón Longoria Ramírez**

**El Secretario de Posgrado:**   
**Dr. Ricardo González Alcorta**

**Ciudad Universitaria, a** 12 **de** julio **de 199** 9



## **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

Secretaría del Postgrado  
Cd. Universitaria  
San Nicolás de los Garza  
México

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Dr. Juan-Manuel Barbarín-Castillo**  
Profesor Investigador

Tel. (8)352-4969  
Tel. (8)375-3429

Monterrey, Nuevo León, a 6 de julio de 1999

**DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA  
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

Estimado Dr. González:

Por este conducto me permito comunicar a usted que la Q.I. Blanca Mancilla Ovando, pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su tesis titulada, "Desarrollo de una pluma de contaminación por hidrocarburos en el acuífero subterráneo subyacente a una presa de captación de aguas de yacimiento", 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 dé el trámite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

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

Atentamente

  
Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo

Monterrey, Nuevo León; 6 de julio de 1999

**DR. RICARDO GONZALEZ ALCORTA  
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

Presente:

Solicito a usted, de la manera más atenta, la tramitación correspondencia para sustentar mi examen de grado, ya que he concluido con la elaboración de mi tesis titulada: "Desarrollo de una pluma de contaminación por hidrocarburos en el acuífero subterráneo subyacente a una presa de captación de aguas de yacimiento".

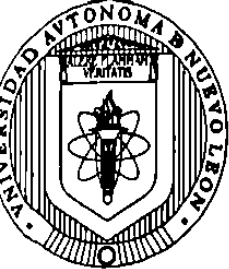
Mi tesis ya ha sido aprobada, en el aspecto técnico por mi asesor el Dr. Juan Manuel Barbarin Castillo, y en el aspecto metodológico de redacción y ortografía, por el Arq. Ramón Longoria Ramírez.

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

Atentamente

  
**Q.I. Blanca Mancilla Ovando**



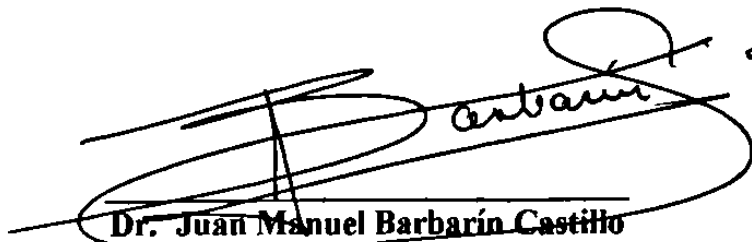


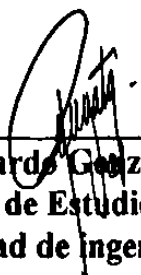
**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**“DESARROLLO DE UNA PLUMA DE CONTAMINACIÓN POR  
HIDROCARBUROS EN EL ACUÍFERO SUBTERRÁNEO  
SUBYACENTE A UNA PRESA DE CAPTACIÓN DE  
AGUAS DE YACIMIENTO”**

**Aprobación de la Tesis:**

  
**Dr. Juan Manuel Barbarío Castillo**  
**Asesor de la Tesis**

  
**Dr. Ricardo González Alcorta**  
**Secretario de Estudio de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

## RESUMEN

### "Desarrollo de una pluma de contaminación por hidrocarburos en el acuífero subterráneo subyacente a una presa de captación de aguas de yacimiento"

Por Blanca Mancilla Ovando.

La presencia de hidrocarburos parafínicos y aromáticos en aguas subterráneas ha sido demostrada cualitativa y cuantitativamente, confirmándose así el desarrollo de una pluma de contaminación en el acuífero subterráneo, como consecuencia de infiltraciones provenientes de una o varias presas de captación de aguas de yacimiento.

La historia de los derrames e infiltraciones de petróleo o sus derivados, en medios tan diversos como el acuático, terrestre, marino y hasta sobre el subsuelo, son analizados en el contexto del desarrollo y las actividades de la industria petrolera en México, tanto la extractiva como la de refinación. El análisis incluye nociones actualizadas sobre la recuperación natural de los medios contaminados y particularmente los acuíferos subterráneos contaminados con compuestos tóxicos como los aromáticos.

Una reseña descriptiva a detalle sobre la Geología del Noreste de México, y en particular de la Cuenca de Burgos, es hecha y sirve como base para la elaboración de una explicación acerca del probable mecanismo de migración de los contaminantes hacia el subsuelo a través de la matriz del acuífero.

Sin embargo, los resultados de los más de 400 análisis químicos aquí reportados son más fácilmente comprensibles, y también más significativos, a la luz de los conceptos de un tema de gran actualidad; la Evaluación de la Calidad del Agua, el cual es también reseñado descriptivamente en combinación con los conceptos de Dinámica de las Aguas Subterráneas.

La gran preocupación por la normatividad, que en buena manera ha sido aumentada gracias a la presión de la opinión pública sobre las empresas privadas y públicas, no ha sido dejada de lado. Los valores o parámetros permisibles o máximos recomendados son señalados en tablas comparativas en las que más de una fuente y una opinión han sido tomadas en cuenta. En particular se mencionan las normatividades Oficial Mexicana, de la Organización Mundial de la Salud, de la Unión Europea y de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de USA.

Finalmente, debe decirse que este trabajo habrá de servir de base a estudios posteriores que conduzcan a un mejor conocimiento de la pluma o penacho de contaminación ya detectada. En particular se termina esta parte de la investigación con recomendaciones para extender los estudios e incluir pozos testigo y pozos particulares hacia la porción Este del área estudiada, para así determinar la forma y extensión de la pluma identificada. Deberá también incluirse en esos estudios la zona vadosa o insaturada con el fin de precisar la diferenciación que presenten las especies orgánicas en su migración diferencial en el medio de la matriz del acuífero regional.

## PRÓLOGO

El despertar de conciencia de la opinión pública en cuanto a los impactos ambientales ocurridos con las actividades de la extracción de hidrocarburos modificó en el transcurso de los años la actitud de la industria petrolera Mexicana frente a estos problemas, a pesar de que la industria había tenido como principal prioridad la producción.

Los impactos negativos en los terrenos agrícolas, ganaderos, ríos, lagos, rancherías, paralelamente con la creciente participación de los activistas defensores del medio ambiente, representantes legislativos y sobre todo, quizás con el mayor peso, la opinión pública, hicieron que se tomara conciencia del papel esencial que representa la industria petrolera dentro de la sociedad en la aportación económica, llegándose a un acuerdo sobre los niveles de equilibrio que permiten a esta empresa brindar bienes y servicios indispensables para el progreso y al mismo tiempo protección al medio ambiente aplicando la normatividad establecida en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente publicado en el Diario Oficial en 1996.

Pémex, exploración y producción, como industria de gobierno y tomando en cuenta el papel que tiene en nuestra sociedad, se obliga a la aplicación estricta de la citada normatividad en sus actividades.

El presente estudio trata de mostrar uno de los muchos proyectos que la industria petrolera viene realizando para minimizar el impacto que genera por sus actividades de extracción y producción del hidrocarburo.

Este estudio está dirigido a evaluar los efectos de fugas o infiltraciones accidentales de aguas de yacimiento almacenadas y tratadas en presas de captación. Esta agua presenta en forma natural propiedades y concentraciones salinas que la normatividad clasifica en la categoría de residuos peligrosos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Sentirme con tu apoyo y protección, siempre me ha producido una fuerza interior para vencer una y mil adversidades, hasta lograr mi objetivo realizar, hoy que con este trabajo concluyo un logro académico más; mi regocijo es profundo al comprobar que tú mi guía, mi luz y mi todo, siempre estas conmigo.

**¡Gracias mi Dios!**

Enfrentarme a un ambiente estudiantil después de varios lustros, me hacia sentir endeble, pero como vencerme en esos momentos; si la gente que más amo, tenía esa seguridad que mi tenacidad y esa fuerza interior que encierra mi personalidad me daría el estandarte de triunfadora.

**¡Gracias a los míos por creer en mí!**

Al acudir a mis superiores en el aspecto laboral, siempre tuve la seguridad que eran hombres de buena voluntad, y que mi pedimento iba a ser concedido.

Pues con la inteligencia que los caracteriza estarían ciertos que al darme las herramientas académicas, a través del estudio.

Yo trabajadora estaré en posibilidades de realizar mi trabajo con más calidad.

**¡Por lo concedido mil Gracias!**

Tener a mi lado, un hombre lleno de sapiencia, me dio la oportunidad de crecer como individuo, observando su ejemplo de gente responsable que ama lo que hace.

Sin usted apreciado Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo, el trabajo que hoy está terminado no hubiera sido tan brillante como lo realizado.

**¡Por ello! ¡Mi eterno agradecimiento!**

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN AL TEMA DE LOS DERRAMES E INFILTRACIONES DE HIDROCARBURO SOBRE AMBIENTES DIVERSOS: EFECTOS Y MEDIDAS DE REMEDIACIÓN.	1
1.1 Contaminación de suelos por petróleo crudo, efectos sobre las poblaciones de microorganismos y sobre la potencial reforestación con árboles de bosque.	2
1.2 Efectos del derrame de petróleo sobre un río y sus poblaciones de macroinvertebrados.	8
1.3 Absorción y vías de migración de los hidrocarburos poliaromáticos en el caso de derrames de petróleo sobre suelos: una explicación a la contaminación de acuíferos subterráneos.	12
1.4 La degradación natural, como vía para biorremediación de un acuífero subterráneo contaminado con hidrocarburo	23
1.4.1 Procesos biológicos.	24
1.4.2 Procesos Físicos.	27
1.4.3 Procesos Químicos.	27
1.4.4 Un caso de estudio: derrame de la bahía de Goose.	28
1.4.5 Resultados de la remediación intrínseca.	29
1.5 Influencia de la salinidad sobre la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.	31
1.6 Manifestaciones y seguimiento de una biorremediación.	32
1.7 Posibilidades de la biodegradación de compuestos BTEX, en aguas subterráneas.	35
2. ANTECEDENTES.	40
2.1 Reseña histórica sobre las presas de captación.	41
2.2 Posibles fuentes de la contaminación y objetivo del estudio.	46
3. GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA REGIÓN NORESTE DE MÉXICO.	51



3.1 Geología.	52
3.1.1 Ubicación.	58
3.1.2 Geología Histórica y Tectónica.	58
3.1.3 Estratigrafía y bioestratigrafía.	63
3.1.3.1 Paleoceno.	63
3.1.3.2 Eoceno.	68
3.1.3.3 Oligoceno.	76
3.1.3.4 Mioceno.	85
3.1.3.5 Plioceno.	86
3.1.3.6 Cuaternario.	86
3.1.4 Geología estructural.	87
3.2 Geohidrología superficial.	88
3.2.1 Climatología.	89
3.2.2 Unidades de escurrimiento.	97
3.2.3 Permeabilidad.	97
3.2.4 Usos del suelo.	98
3.3 Geohidrología subterránea.	99
3.3.1 Unidades Geohidrológicas.	102
3.3.1.1 Unidad de material consolidado con posibilidades medias.	102
3.3.1.2 Unidades de materiales consolidado con posibilidades bajas.	103
3.3.1.3 Unidades de material no consolidado con posibilidades altas.	103
3.3.1.4 Unidad de material no consolidado con posibilidades bajas.	104
4. Dinámica y criterios de calidad de las aguas subterráneas.	106
4.1 Introducción.	107
4.2 Clasificación de los cuerpos de agua y fuentes de abastecimiento.	108
4.2.1 Fuentes de abastecimiento de agua potable.	110
4.2.2 Uso agrícola.	111
4.3 Términos comunes en referencia al agua subterránea.	112
4.3.1 El flujo del agua subterránea.	119
4.4 Términos de caracterización de los cuerpos de agua.	121
4.4.1 Propiedades hidrológicas (rasgos hidrodinámicos).	121
4.4.2 Rasgos fisicoquímicos.	123
4.5 Calidad del agua; Una definición.	124
4.6 Fuentes de contaminación y mecanismos de distribución.	128
4.7 Variabilidad de la calidad del agua y frecuencia del muestreo.	129
4.7.1 Control hidrológico en combinación con el monitoreo de calidad del agua.	131
4.8 Parámetros de evaluación de la calidad del agua.	133

4.8.1 Variables generales.	133
4.8.1.1 Contaminantes orgánicos.	134
4.8.1.2 Petróleo y sus derivados.	135
4.9 Resumen y tablas de consulta.	136
<b>5. MÉTODOS EXPERIMENTAL.</b>	<b>141</b>
5.1 Método de los estudios geológicos e hidrogeológicos.	142
5.2 Métodos para los estudios fisicoquímicos de aguas.	144
5.2.1 Medición de pH.	144
5.2.2 Conductividad eléctrica.	144
5.2.3 Determinación de la turbidez.	145
5.2.4 Determinación de la alcalinidad.	146
5.2.5 Determinación de sólidos totales.	148
5.2.6 Cloruros.	149
5.2.7 Sulfatos.	150
5.3 Determinación de Metales por espectrometría.	151
5.3.1 Determinación de Metales por espectrometría de absorción atómica.	151
5.3.1.1 Principios de la determinación de metales por espectrometría de absorción atómica de llama.	152
5.3.2 Determinación de metales por espectroscopia de emisión de plasma.	156
5.4 Métodos de análisis para los compuestos orgánicos.	157
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	<b>158</b>
6.1 Resultados de todos los análisis efectuados a las aguas del pozo testigo No. 3.	159
6.1.1 Parámetros físicos y especies iónicas de las aguas del pozo testigo.	159
6.1.2 Compuestos BTEX en las aguas del pozo testigo.	161
6.1.3 Compuestos hidrocarburos poliaromáticos (PAH) en las aguas del pozo testigo.	163
6.1.4 Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en las aguas del pozo testigo.	164
6.1.5 Determinación cualitativa de compuestos hidrocarburos parafínicos en las aguas del pozo testigo.	166
6.2 Resultados de todos los análisis efectuados a los sedimentos de las presas.	166
6.2.1 Metales pesados y otros constituyentes inorgánicos.	167
6.2.2 Constituyentes orgánicos volátiles en los sedimentos de las presas.	169
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>172</b>

APÉNDICE

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1.1 Composición de un petróleo crudo. (AGIP, 1995)	4
1.2 Concentraciones típicas de hidrocarburos aromáticos policíclicos y parámetros de petróleo en tierra, creosote y contaminación de tierra desde los cinco sitios de Alberta, Canada.	21
1.3 Concentraciones de los 15 compuestos PAH en el solvente diclorometano utilizado para las extracciones, por lotes o cargas para tiempo de equilibrio variable.	22
1.4 Capacidad de asimilación del agua subterránea.	30
1.5 Parámetros de ajustes de la ecuación de rapidez de la degradación de hidrocarburos en suelos.	34
1.6 Resumen de documentos, claves anteriores relacionados con la biorremediación BTEX, en el suelo y en el manto acuífero.	37
1.7 Tratamientos experimentales de desempeño para estudiar la biorremediación de los BTEX, en muestras de mantos acuíferos bajo diferentes condiciones ambientales.	38
2.1 Componentes principales del gas y condensado que se utilizan como materia prima y los productos de mayor importancia económica que se obtienen de ellos.	48
3.1 Datos generales de las estaciones climatográficas.	90
3.2 Registro de perforación, aforo y equipamiento de pozos de ranchos aledaños al área de estudio.	100
4.1 Porosidad y producción específica de materiales geológicos.	115
4.2 Los principales tópicos de calidad del agua dulce a escala mundial.	126

4.3 Optimización de frecuencias en los monitoreos de tendencias en la calidad del agua.	130
4.4 Información hidrológica requerida en la evaluación de la calidad del agua.	132
4.5 Concentraciones máximas permitidas para algunas variables de calidad del agua para dos usos seleccionados: consumo humano y producción piscícola	137
4.6 Concentraciones máximas permitidas para algunas variables de calidad del agua en dos usos agrícolas seleccionados: a) riego mediante descargas residuales de origen urbano y b) pecuario o de abrevadero.	140
5.1 Intervalos de concentración para óptima aplicabilidad de la absorción atómica de aspiración directa.	153
5.2 Datos de precisión y sesgo interlaboratorios para métodos de absorción atómica directa y metales extraídos.	154
6.1 Resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a las aguas del pozo testigo número 3.	160
6.2 Resultados del análisis de compuestos BTEX en las aguas del pozo testigo.	162
6.3 Resultados de la determinación de hidrocarburos poliaromáticos (PAH) en las aguas del pozo testigo.	163
6.4 Resultados de la determinación de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en las aguas del pozo testigo.	164
6.5 Sobre la identificación por análisis cualitativos, de compuestos presentes de hidrocarburos en el agua del pozo testigo número 3.	166
6.6 Metales pesados y otras especies inorgánicas en los sedimentos de las seis presas de captación.	168
6.7 Con los contenidos de constituyentes orgánicos en los sedimentos de las 6 presas.	169

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
1.1 Mapa ilustrativo de la posición aproximada de la pluma BTEX y pozos testigos para muestreo y control.	39
2.1 Distribución de las presas en el centro de captación y tratamiento de la batería Monterrey.	43
3.1 Distribución paleográfica del noreste de México durante el oxfordiano.	54
3.2 Paleogeografía del noecomiano – aptiano inferior para el norte y noreste de México.	55
3.3 Subprovincias geológicas.	57
3.4 Columnas estratigráficas del noreste de México.	64
4.1 Textura y porosidad de roca, de los materiales de acuíferos típicos.	114
4.2 La clasificación del agua sub-superficial, basandose en el trabajo de Griscoll.	117
4.3 Promedio lineal y trayectoria del flujo microscópico del agua subterránea.	120

## **LISTA DE SIMBOLOS**

**BTEX:** Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno.

**COT:** Dióxido de Carbono Total.

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno.

**INEGI:** Instituto Nacional de Estadística, Geografía y Informática.

**PAH:** Hidrocarburos poliaromáticos.

**PCB's:** Bifenilos Policlorinados.

**SARH:** Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

**SDT:** Sólidos Disueltos Totales.

**SOM:** Materia Orgánica de los suelos.