

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACION Y PROPUESTAS DE REMEDIACION
A SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS
E HIDROCARBUROS DE PROCEDENCIA INDUSTRIAL**

Por:

MARIA GABRIELA ROSSI

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

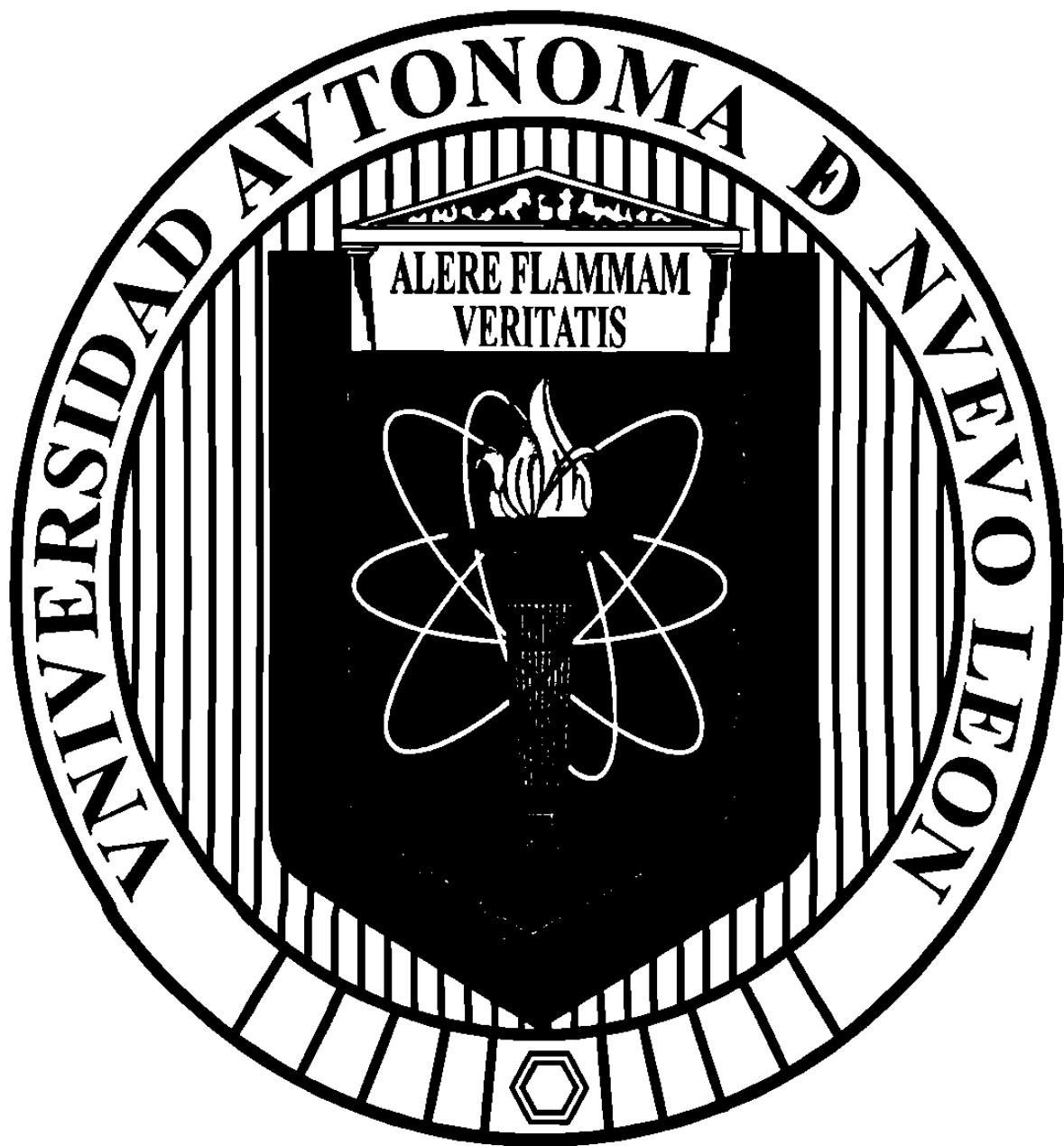
JUNIO 2002

TM
TD879
.H4
R6
c.1



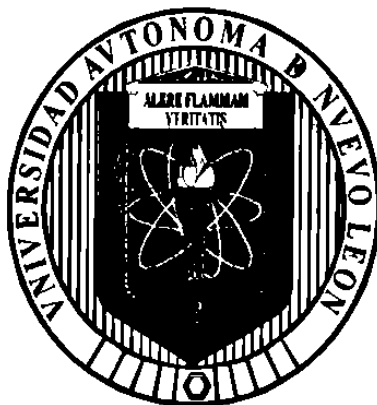
1080117222

304937



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE REMEDIACIÓN A SUELOS
CONTAMINADOS CON METALES PESADOS E
HIDROCARBUROS DE PROCEDENCIA
INDUSTRIAL**

Por

MARÍA GABRIELA ROSSI

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

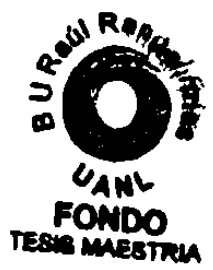
JUNIO 2002

TM

TD879

.H4

RG



Monterrey, 10 de Junio de 2002

**ING. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ÁLVAREZ
SUB-DIRECTOR DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

Presente:

Solicito a Ud. De la manera más atenta, la tramitación correspondiente para sustentar mi examen de grado, ya que he concluido con la elaboración de mi tesis titulada: "Evaluación y Propuestas de Remediación para Suelos Contaminados con Metales Pesados e Hidrocarburos Procedentes de Fuentes Industriales".

Mi tesis ya ha sido aprobada, en el aspecto técnico por mi directora de tesis, la Dra. Cecilia Rodríguez de Barbarín, y en el aspecto metodológico de redacción y ortografía , por el Arq. Ramón Longoria Ramírez.

Sin más por el momento, quedo desde ya agradecida por su atención.

Atentamente

ING. MARÍA GABRIELA ROSSI



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Coordinación de Escuela de Graduados en Ciencias

ING. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ÁLVAREZ, M. en I.
SUB-DIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Presente.-

**Asunto: Carta de Aprobación
de Tesis y Solicitud de
Revisión y Evaluación.**

Estimado Ing. González Álvarez:

Me dirijo a Usted por medio de la presente para comunicarle que he revisado y aprobado la tesis de mi asesorada, la I.Q. María Gabriela Rossi, dándome por satisfecha con su trabajo titulado:

**"Evaluación y Propuestas de Remedación para Suelos
Contaminados con Metales Pesados e Hidrocarburos de
Procedencia Industrial"**

Por lo anterior, le solicito comedidamente que gire las instrucciones pertinentes para la revisión de estilo y la evaluación académica de la tesis.

Sin otro asunto en particular le hago llegar un saludo cordial.

Monterrey, N.L. a 03 de Junio 2002.

ATENTAMENTE

DRA. CECILIA RODRÍGUEZ DE BARBARÍN
DIRECTORA DE TESIS

c.c.p. I.Q. María Gabriela Rossi

Guerrero y Progreso
Col. Treviño, Monterrey, N.L.
Tel.: (Conm.) 83 74 61 37
y 83 75 34 47 ext. 111 y 107
e-mail: cerodrig@ccr.dsi.uanl.mx
cecy_barbarin@hotmail.com
cgonzalez@fcq.uanl.mx
egc@fcq.uanl.mx





COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: MARÍA GABRIELA ROSSI

Tema de la tesis: EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE REMEDIACIÓN A SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS E HIDROCARBUROS DE PROCEDENCIA INDUSTRIAL

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

Recomendaciones adicionales:

(NINGUNAS)

Nombre y firma de quien corrigió:

Arq. Ramón Longoria Ramírez

**M.I. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ALVAREZ
 SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Ciudad Universitaria, a 8 de JULIO de 2002



09 de agosto de 2002

ING. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ÁLVAREZ, M EN I
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Presente.-

Estimado M en I González Álvarez:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado Evaluador de la Tesis: **“EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS É HIDROCARBUROS PROCEDENTES DE FUENTES INDUSTRIALES”**, que presenta la Sra. Ing. María Gabriela Rossi, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, me permito informar a usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro particular por el momento, le manifiesto mi disposición para cualquier duda o aclaración que considere usted pertinente,

Atentamente,



MC Jimmy Luis Loaiza Navía



**ING. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ÁLVAREZ, M. en I.
SUB-DIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

Presente.-

**Asunto: Carta de Aprobación
de Tesis por Revisor.**

Estimado Ing. González Álvarez:

Me dirijo a Usted por medio de la presente para comunicarle que he revisado y aprobado la tesis de nuestra alumna de la Maestría en Ciencias con orientación en Ingeniería Ambiental, la I.Q. María Gabriela Rossi, dándome por satisfecho con la calidad académica y de investigación de su trabajo titulado:

“Evaluación y Propuestas de Remedación para Suelos Contaminados con Metales Pesados e Hidrocarburos de Procedencia Industrial”

Sin otro asunto en particular le hago llegar un saludo cordial.

Monterrey, N.L. a 21 de Agosto de 2002.

ATENTAMENTE



**DR. JUAN MANUEL BARBARÍN CASTILLO
REVISOR DE TESIS**

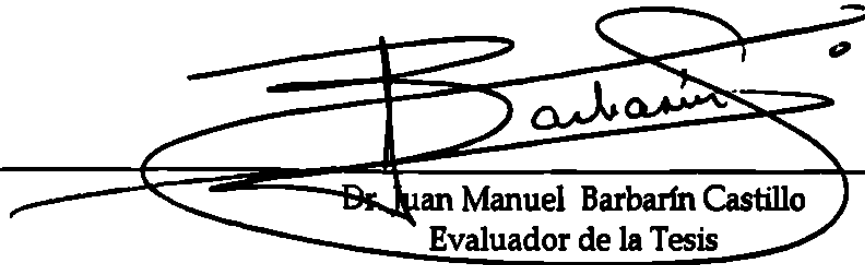
c.c.p. I.Q. María Gabriela Rossi

**EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE REMEDIACIÓN A SUELOS
CONTAMINADOS CON METALES PESADOS E
HIDROCARBUROS DE PROCEDENCIA
INDUSTRIAL**

Aprobación de la Tesis:



Dra. Cecilia O. Rodríguez de Barbarín
Directora de la Tesis



Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo
Evaluador de la Tesis



M.C. Jimmy Luis Loaiza Navia
Evaluador de la Tesis



Ing. Justino César González Álvarez
Sub-Director de Posgrado
Facultad de Ingeniería Civil

EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS CON METALES
PESADOS E HIDROCARBUROS DE PROCEDENCIA INDUSTRIAL
DEDICATORIA

DEDICATORIA

Les dedico esta tesis a mis padres, Araceli y Manuel, por su esfuerzo y su apoyo en mis estudios y a mi esposo, Gustavo, que siempre estuvo a mi lado apoyándome e instándome a continuar. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Relaciones Exteriores de México por el apoyo económico para la realización de mis estudios.

A la Subdirección de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil, a sus maestros y a su personal, por sus enseñanzas y su apoyo.

A la Facultad de Ciencias Químicas, por su apoyo y su confianza.

Quiero agradecer especialmente a la Dra. Cecilia Rodríguez de Barbarín, Directora de mi tesis, por todo su apoyo, todo su interés y todo el tiempo que me dedicó.

Al Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo, quien atendió todas mis inquietudes y dudas con interés y dedicación.

A mi familia, por el apoyo moral, la confianza y el amor que siempre me ha brindado.

A todas las personas que contribuyeron, de una forma u otra, en la realización de este trabajo.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Nombre:

María Gabriela Rossi

Candidato para el Grado de:

Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Tesis:

EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS
CONTAMINADOS CON METALES PESADOS E HIDROCARBUROS DE
PROCEDENCIA INDUSTRIAL

Campo de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Biografía:

Datos Personales: Nacido en la Ciudad de Buenos Aires, Argentina, el 30 de Marzo de 1965, hija de Manuel Rossi y Araceli Barra.

Educación:

Egresada de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Argentina, en el año 1990, obteniendo el grado de Ingeniera Química.

Postgrado en Diseño de Recipientes y Tuberías Sujetos a Presión en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, egresada en el año 1991.

Experiencia Profesional:

Maestra de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Nuevo León desde 1999.

Asesora Técnica en Filtración Productiva S.A. de C.V., desde 2001 hasta la fecha.

Ingeniero Ambiental/Ingeniero de Proyectos en G&E Engineering de México S.A. de C.V., desde 1999 hasta 2000.

Gerente de Control de Calidad e Implementación de ISO 9000 en Corporación General de Alimentos desde 1997 hasta 1998.

Jefe de Producción y Desarrollo de Nuevos Productos en Helga S.R.L., desde 1993 hasta 1997.

Jefe de Control de Calidad y Desarrollo de Nuevos Productos en Besimar S.A. desde 1990 hasta 1992.

RESUMEN

Evaluación y propuestas de remediación para suelos contaminados con metales pesados e hidrocarburos de procedencia industrial

Por María Gabriela Rossi

El presente estudio se realizó en una empresa ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua, dedicada a la producción de ácido fluorhídrico, además de subproductos como mono y bifluoruro de amonio, la que utiliza materias primas tales como ácido sulfúrico, amoníaco y fluorita de origen mineral.

Debido a manchas de diesel observadas en el suelo durante una evaluación ambiental *in situ* y a la existencia de un montículo de anhídrita como desecho industrial, se supuso la existencia de contaminación del suelo como consecuencia de su actividad, además de la causada por las posibles fugas en lugares donde se manipulaban y se almacenaban hidrocarburos.

Se realizó un "Estudio de Afectación de Suelos" en el lugar, en Julio de 1997, pero estos estudios se hicieron hasta una profundidad limitada (7,6 m), además de ser limitados también en cuanto a la cantidad de especies químicas analizadas, por lo que fue necesario ampliarlo con un estudio complementario.

Para efectuar el estudio complementario se realizaron sondeos en algunos sectores, hasta alcanzar el nivel del agua subterránea, se sondearon zonas que no habían sido estudiadas previamente y, por último, se analizó la presencia de sustancias químicas que no habían sido analizadas. Además se estudió la estratificación del suelo.

Muchas veces la cantidad de contaminantes detectados puede ser excesiva y, sin embargo, a menudo sólo unos pocos de éstos provocan riesgos a la salud. El resto de los contaminantes detectados tienen una mínima influencia en el riesgo total.

Por este motivo se realizó un análisis minucioso de los potenciales efectos para la salud causados por cada una de las sustancias químicas presentes en el sitio de estudio, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se determinó qué sustancias químicas están presentes como contaminantes y cuáles están presentes como componentes del suelo nativo mediante:
 - Comparación entre muestras del sitio en estudio y muestras del suelo nativo sin contaminar.
 - Comparación de las sustancias químicas presentes en el suelo con las que se encuentran en los depósitos de minerales adyacentes.
- Se estudiaron las rutas de exposición de cada contaminante y su toxicidad específica.
- Se calculó la toxicidad equivalente de cada contaminante.
- Se seleccionaron los contaminantes significativos.
- Se evaluaron los efectos aditivos de los contaminantes no significativos, para poder estimar los riesgos a la salud en los casos en que se hallaron presentes dos o más contaminantes.

Una vez conocidos los contaminantes presentes en los suelos del área estudiada, también se caracterizó la extensión de la contaminación del lugar.

En base a la estimación de los potenciales riesgos para la salud y para el medio ambiente, provocados por dichos contaminantes, se identificaron los niveles de remediación que deben alcanzarse, con el fin de proteger tanto la salud humana como el medio ambiente.

Por último, se evaluaron las distintas técnicas de remediación existentes para cada contaminante, y se propusieron las técnicas a utilizar en base a:

- Factibilidad de la alternativa propuesta para la remediación de los contaminantes presentes

EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS CON METALES
PESADOS E HIDROCARBUROS DE PROCEDENCIA INDUSTRIAL

RESUMEN

- Nivel de remediación que sea posible alcanzar mediante las alternativas propuestas, en comparación con el nuevo uso del suelo y de la propiedad
- Tiempo que tomará la remediación, según las distintas alternativas
- Costo de las distintas alternativas
- Compatibilidad de las opciones con las características regionales

PRÓLOGO

México, junto con Canadá y Estados Unidos, forman parte del Tratado de Libre Comercio, debido a lo cual, gran cantidad de empresas de capital estadounidense han establecido alguna subsidiaria en territorio mexicano. Esto trae como consecuencia que dichas empresas, hoy, deban cumplir con los más estrictos estándares ambientales; en primer lugar, deben apegarse a la normatividad mexicana y, en caso de ausencia de dicha normatividad, deben cumplir las condiciones establecidas por la Environmental Protection Agency (EPA).

El presente estudio se refiere a una empresa de capital norteamericano, recientemente adquirida por una empresa multinacional del mismo origen, ubicada en la frontera, específicamente en Ciudad Juárez, Chihuahua, dentro de una zona delimitada como polígono de alto riesgo.

Durante muchos años se acumuló a cielo abierto, dentro de los límites del terreno de la planta, un gran montículo de anhídrita que ocupa todo el límite sur de la propiedad.

Este material ha sido analizado y estudiado en repetidas ocasiones por las autoridades competentes, incluyendo la PROFEPA y el Municipio. Como resultado de esos análisis CRETIB, se llegó a la conclusión de que el material no presenta peligrosidad. Sin embargo, la anhídrita sometida a esos análisis es la producida en la tercera etapa de la historia de la planta, la que anteriormente tuvo otros propietarios que se abastecieron de fuentes de fluorita de calidad inferior o material de ganga, con contenidos importantes de metales pesados.

Debido a la presión ejercida por los medios periodísticos, junto con personas de comunidades adyacentes afectadas en su salud y las autoridades competentes, los nuevos propietarios de la empresa decidieron evaluar el estado del suelo y acordaron con las autoridades llevar a cabo las tareas de remediación requeridas, de acuerdo con lo establecido en el Tratado de Libre Comercio.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1. INTRODUCCION	1
1.1. Toxicidad de una sustancia	1
1.1.1. Rutas de exposición	2
1.1.2. Dosis	4
1.1.3. Exposición	4
1.1.4. Reacción e interacción	5
1.1.5. Efectos tóxicos	5
1.2. Contaminación de suelos	6
2. ANTECEDENTES	9
2.1. Identificación del sitio de estudio	9
2.2. Características del sitio	9
2.2.1. Localización	9
2.2.2. Clima	10
2.2.2.1. Condiciones de temperatura	10
2.2.2.2. Precipitaciones	11
2.2.2.3. Estaciones	11
2.2.2.4. Tormentas tropicales	12
2.2.2.5. Desertificación	13
2.2.2.6. Otras características climáticas	13
2.2.2.7. Intemperismos climáticos	14
2.2.3. Fisiografía regional	14
2.2.3.1. Fisiografía del sitio	16
2.2.4. Historia geológica	16
2.2.4.1. Geología del sitio	17
2.2.4.2. Movimientos tectónicos	18

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
2.2.5. Geografía: geomorfología y orografía regional	18
2.2.6. Hidrología regional	21
2.2.6.1. Hidrología del sitio	22
2.2.6.2. Unidades hidrológicas	23
2.2.7. Vegetación	25
2.2.7.1. Matorrales desérticos	25
2.3. Descripción de los procesos productivos de la planta en estudio	27
2.3.1. Planta de ácido fluorhídrico	28
2.3.1.1. Secado de la fluorita	28
2.3.1.2. Producción de HFA	29
2.3.1.3. Ultrapurificación del HFA	31
2.3.1.4. Planta de HF-70%	32
2.3.2. Planta de bifluoruro de amonio	32
2.3.3. Planta de solución de fluoruro de amonio	33
2.3.4. Servicios auxiliares	34
2.3.5. Generación de residuos no peligrosos	35
2.3.5.1. Anhidrita	35
2.3.5.2. Chatarra	36
3. ESTUDIO PREVIO DE AFECTACIÓN DE SUELOS	37
3.1. Perforaciones profundas	37
3.2. Perforaciones manuales	38
3.3. Muestras de suelo	38
3.3.1. Área del antiguo tanque subterráneo de almacenamiento de combustible (U)	38
3.3.2. Área del tanque superficial de diesel (A)	39
3.3.3. Lagunas de evaporación (L)	39
3.3.4. Área de procesos químicos (P)	40

Capítulo	Página
3.3.5. Área de la antigua planta de procesos químicos (O)	40
3.3.6. Perímetro de la propiedad (B)	40
3.4. Análisis de los resultados	41
4. ESTUDIO COMPLEMENTARIO DE AFECTACIÓN DE SUELOS	42
4.1. Introducción	42
4.2. Estudios de suelos	44
4.3. Estudio de terrenos adyacentes	47
4.4. Resultado de las perforaciones	48
4.5. Resultado de los análisis químicos	48
4.5.1. Montículo de anhidrita (M)	49
4.5.2. Cárcamo de tratamiento de residuos (R)	49
4.5.3. Tanques de diesel (D)	50
4.5.4. Tanques sépticos (S)	50
4.5.5. Propiedades adyacentes (E)	50
4.6. Conclusiones previas	51
5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	52
5.1. Introducción	52
5.2. Determinación de especies presentes como contaminantes	53
5.2.1. Geología económica - Depósitos de minerales adyacentes	53
5.2.2. Análisis de la estratigrafía del sitio	54
5.2.2.1. Arenas y limos	55
5.2.2.2. Arcillas	55
5.2.2.3. Carbonato de calcio	56
5.2.2.4. Coloración del suelo	56
5.2.3. Comparación de muestras de suelo contaminado con muestras de suelo nativo	56

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
5.3. Selección de los contaminantes significativos	58
5.3.1. TPH	60
5.4. Evaluación de los contaminantes no significativos	61
5.4.1. Efectos sobre la salud	62
5.4.2. Efecto aditivo	64
6. REVISIÓN A LAS ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN	66
6.1. Introducción	66
6.2. Alternativas de remediación	66
6.2.1. TPH	67
6.2.1.1. Remediaciones biológicas	67
6.2.1.1.1. Bioceldas	70
6.2.1.1.2. Aireación o aspersion de aire	72
6.2.1.1.3. Biodegradación	76
6.2.1.1.4. Bioextracción	78
6.2.1.1.5. Bioventilación	82
6.2.1.1.6. Atenuación natural	86
6.2.1.2. Remediaciones físico-químicas	92
6.2.1.2.1. Desorción térmica a baja temperatura	93
6.2.1.2.2. Extracción de vapor de suelos	98
6.2.1.2.3. Extracción en dos fases	103
6.2.2. Arsénico	106
6.2.2.1. Remediaciones biológicas	107
6.2.2.1.1. Medidas fitocorrectivas	107
6.2.2.2. Remediaciones físico-químicas	112
6.2.2.2.1. Enjuague del suelo <i>in situ</i>	112
6.2.2.2.2. Lavado del suelo	115

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
7.1. Introducción	120
7.2. Alternativas de remediación propuestas	121
7.2.1. Área del antiguo tanque subterráneo de almacenamiento de combustible	123
7.2.2. Área del tanque superficial de diesel	124
7.2.3. Área de la laguna de evaporación	125
7.2.4. Área de proceso químico actual	126
7.2.5. Área de proceso químico antiguo	127
7.2.6. Perímetro de la propiedad	128
7.2.7. Área del cárcamo de tratamiento de residuos	128
7.2.8. Área del montículo de anhidrita	129
TABLAS	130
GRÁFICOS	176
ANEXO A - FOTOGRAFÍAS	197
ANEXO B - ESTRATIGRAFÍA	201
GLOSARIO	218
ABREVIATURAS	230
CITAS BIBLIOGRÁFICAS	232

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
3.1 Lista de muestras	130
3.2 Análisis en el área del antiguo tanque de almacenamiento de combustible (U)	131
3.3 Análisis en el área del tanque superficial de diesel (A)	132
3.4 Análisis en el área de la laguna de evaporación (L)	132
3.5 Análisis en el área de proceso químico actual (P)	135
3.6 Análisis en el área de procesos químicos antigua (O)	137
3.7 Análisis en el perímetro de la propiedad (B)	138
4.1 Control de muestras	139
4.2 Resumen de sustancias químicas detectadas en el suelo	140
4.3 Resumen de sustancias detectadas en el suelo de las propiedades adyacentes	141
5.1 Parámetros de fondo	142
5.2 Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Área del antiguo tanque subterráneo de almacenamiento de combustible	143
5.3 Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Área del tanque superficial de diesel	144
5.4 Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Área de la laguna de evaporación	145
5.5 Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Área de proceso químico actual	147
5.6 Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Área de procesos químicos antigua	150

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
5.7	Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Perímetro de la propiedad	150
5.8	Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Montículo de anhidrita	151
5.9	Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Área del antiguo tanque séptico	151
5.10	Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Cárcamo de tratamiento de residuos	151
5.11	Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Área del tanque séptico actual	152
5.12	Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Propiedad adyacente	152
5.13	Presencia de contaminantes en concentraciones superiores a los parámetros de fondo - Aguas abajo del tanque de diesel	152
5.14	Contaminantes significativos y a evaluar - Área del antiguo tanque subterráneo de almacenamiento de combustible	153
5.15	Contaminantes significativos y a evaluar - Área del tanque superficial de diesel	154
5.16	Contaminantes significativos y a evaluar - Área de la laguna de evaporación	155
5.17	Contaminantes significativos y a evaluar - Área de proceso químico actual	157
5.18	Contaminantes significativos y a evaluar - Área de proceso químico antigua	158
5.19	Contaminantes significativos y a evaluar - Perímetro de la propiedad	159
5.20	Contaminantes significativos y a evaluar - Área del montículo de anhidrita	159

Tabla	Página
5.21 Contaminantes significativos y a evaluar - Cárcamo de tratamiento de residuos	160
5.22 Contaminantes significativos y a evaluar - Propiedad adyacente de la antigua excavación	160
5.23 Sondeos con mayor presencia de contaminantes no significativos y/o contaminantes significativos por debajo de la concentración de riesgo	161
5.24 Cálculo de coeficientes aditivos - Área del tanque de combustible superficial	162
5.25 Cálculo de coeficientes aditivos - Área de los tanques de diesel	163
5.26 Cálculo de coeficientes aditivos - Área de la laguna de evaporación	163
5.27 Cálculo de coeficientes aditivos - Área de proceso	164
5.28 Cálculo de coeficientes aditivos - Área de la planta antigua	164
5.29 Cálculo de coeficientes aditivos - Perímetro de la propiedad	165
5.30 Cálculo de coeficientes aditivos - Área del montículo de anhidrita - Interfase entre el montículo y el suelo nativo	166
5.31 Cálculo de coeficientes aditivos - Área del montículo de anhidrita - Superficie del montículo	167
5.32 Cálculo de coeficientes aditivos - Área del montículo de anhidrita - Aguas abajo del montículo	169
5.33 Cálculo de coeficientes aditivos - Área del cárcamo de tratamiento de residuos	170
5.34 Cálculo de coeficientes aditivos - Área del antiguo tanque séptico	171
5.35 Cálculo de coeficientes aditivos - Área del tanque séptico en uso	172
5.36 Cálculo de coeficientes aditivos - Aguas abajo del tanque de diesel	173
5.37 Cálculo de coeficientes aditivos - Propiedad con la antigua excavación	173
5.38 Áreas a remediar	175