

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
**“Distribución Espacial de Metales Pesados en los
Suelos de Torreón (2000-2014)”**

POR
Ing. Ana Silvia Avalos Ibarra

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR DE TESIS
Dr. Francisco Valdes Perezgasga

ISSN: 0188-9060



RIITEC: (11)-TMCIE-2015

Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2015

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de La Laguna

"2015, Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

Torreón, Coah., 25/Septiembre/2015
Dependencia: DEPI/CPCIE
Oficio: DEPIJ/CPCIE/174/2015
Asunto: Autorización de impresión
de tesis.

C. Ana Silvia Avalos Ibarra
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.
PRESENTE

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

"Distribución espacial de metales pesados en los suelos de Torreón (2000 - 2014)"

Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RIITEC: (11)-TMCIE-2015**, para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

DR. JOSÉ LUIS MEZA MEDINA
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
del Instituto Tecnológico de la Laguna

JLMM/RSK



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
de la Laguna
División de Estudios de Posgrado
e Investigación



Bvd. Revolución y Cdad. Cuauhtémoc s/n Col. Centro C.P. 27000
Torreón, Coah. Tel. 7051313, e-mail: wmasrencia@laguna.edu.mx
www.itlalaguna.edu.mx



© 2014 SEP
RSCIP 1000 03/2012



DR. JOSE LUIS MEZA MEDINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que después de haber sometido a revisión el trabajo de tesis titulado:

"Distribución espacial de metales pesados en los suelos de Torreón (2000 - 2014)"

Desarrollado por el **C. Ana Silvia Avalos Ibarra**, con número de control **M1313073** y habiendo cumplido con todas las correcciones que se le indicaron, estamos de acuerdo que se le conceda la autorización de la fecha de examen de grado para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

Dr. Francisco Valdés Perezgasga
Asesor/Director de Tesis

Dr. Francisco Flores García
Coasesor de Tesis

Dr. Mario F. Cepeda Rubio
Comité Tutorial

M.C. Martín Vázquez Rueda
Comité Tutorial



Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Dios por todas las bendiciones que ha puesto en mi camino.

A mis padres Silvia Ibarra Garza y Jorge Enrique Ávalos Marines, que siempre me han apoyado en todas y cada una de las decisiones y proyectos que he realizado en mi vida. Por todos sus cuidados, paciencia, consejos y amor con el que me han formado hasta hoy.

A mis hermanos, Jorge y Vanessa, por estar siempre conmigo, por alegrarme en todo momento, por apoyarme y ayudarme en todo lo que les es posible.

A Jorge Ivan, por siempre estar conmigo, quererme, cuidarme, por continuar día a día apoyándome para terminar cada uno de mis objetivos y por todos los buenos tiempos que ha pasado a mi lado.

A mi abuelita y mi madrina por simplemente existir en mi vida, por todo el amor que me han brindado desde pequeña, por siempre hacerme sonreír, y todos los buenos consejos que me regalan día a día.

Agradezco al Dr. Francisco Valdés Perezgasga, por darme la oportunidad de trabajar a su lado, por todo el tiempo que me dedicó en la supervisión de este proyecto, por todos sus consejos, enseñanzas, ayuda, paciencia y apoyo brindados. Fue un honor para mí tenerlo como asesor.

A mis compañeros de la maestría y amigos que han estado para mí a lo largo de mi vida, por darme su amistad y confianza, por alegrar mis momentos cada día.

A mis profesores que aportaron en mí sus conocimientos a través de estos años, para así lograr formarme profesionalmente.

Al Instituto Tecnológico de la Laguna, por ser la Universidad donde me he formado profesionalmente, donde tuve la oportunidad de conocer a excelentes profesores, que han aportado tanto para lograr el objetivo de este trabajo hoy.

A la Universidad Autónoma de Barcelona por permitirme realizar mi estancia de investigación, parte importante del desarrollo de este trabajo de tesis.

Finalmente a CONACYT por el apoyo otorgado para realizar este posgrado y prepararme mejor profesionalmente.

Resumen

Los metales pesados han sido ampliamente utilizados en la industria, medicina e incluso agronomía, pero tienen efectos graves en la salud de los seres vivos. El presente trabajo de tesis se centra en la investigación del plomo, cadmio y arsénico, y las consecuencias que ocasionan al cuerpo humano, los cuales van desde distintos tipos de cáncer, perturbación del sistema nervioso, anemia, hipertensión arterial, desordenes psicológicos, infertilidad, enfermedad arterial, e incluso la muerte.

El propósito de la investigación es representar como ha cambiado la concentración de metales pesados en los suelos de Torreón, se han recolectado muestras de suelo del año 2000 al año 2014 y para una mejor visualización de la información se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los resultados observados en la investigación han demostrado que la concentración acumulada en el suelo ha disminuido en comparación a los primeros análisis realizados a las muestras.

Palabras Clave: Plomo, Arsénico, Cadmio, Torreón, SIG.

Abstract

Heavy metals have been widely used in industry, medicine and included agronomy, but have grave effects on the health of living beings. The present thesis focuses on the research of lead, cadmium and arsenic, and the consequences that cause the human body, ranging from different types of cancer, disruption of the nervous system, anemia, high blood pressure, psychological disorders, infertility, artery disease, and even death.

The purpose of the research is to represent how it has changed the concentration of heavy metals in soils of Torreon, have been collected soil samples from the years 2000 to 2014 and for a better visualization of the information has been used a Geographic Information System (GIS).

The results observed in the research have shown that the concentration of accumulated in the soil has decreased compared to the first analyzes performed to Samples.

Keywords: Lead, Arsenic, Cadmium, Torreon, GIS.

Índice General

Página

Capítulo I Introducción

Introducción.....	1
1.1 Objetivo de la tesis.....	1
1.2 Justificación.....	1

Capítulo II Marco Teórico

Marco Teórico.....	3
2.1 Consecuencias toxicológicas de los metales pesados.....	3
2.2. Plomo (Pb).....	8
2.2.1 Características del plomo.....	8
2.2.2 El plomo en la historia.....	9
2.2.3 Aplicaciones del plomo.....	10
2.2.4 Efectos del plomo en la salud.....	11
2.2.5 El plomo en el ambiente.....	14
2.2.6 Posibles maneras de exponerse al plomo.....	15
2.2.7 Maneras de reducir el riesgo de exposición al plomo.....	16
2.3 Cadmio (Cd).....	16
2.3.1 Características del cadmio.....	16
2.3.2 El cadmio en la historia.....	17
2.3.3 Aplicaciones del cadmio.....	18
2.3.4 Efectos del cadmio en la salud.....	18
2.3.5 Dosis y tiempo de exposición.....	20
2.3.6 El cadmio en el ambiente.....	21
2.3.7 Posibles maneras de exponerse al cadmio.....	21
2.3.8 Maneras de reducir el riesgo de exposición al cadmio.....	22
2.4 El Arsénico (As).....	22
2.4.1 Características del arsénico.....	23
2.4.2 El arsénico en la historia.....	23
2.4.3 Aplicaciones del arsénico.....	24

2.4.4 Efectos del arsénico en la salud.....	25
2.4.5 El arsénico en el ambiente	28
2.4.6 El arsénico en el agua	29
2.4.7 Posibles maneras de exponerse al arsénico.....	29
2.4.8 Maneras de reducir el riesgo de exposición al arsénico.....	30
2.5 Sistemas de Información Geográfica.....	30
2.5.1 Definición de los sistemas de información geográfica	30
2.5.2 Antecedentes de los sistemas de información geográfica.....	31
2.5.3 Componentes de un SIG.....	34
2.5.4 Funcionamiento de los SIG.....	35
2.5.5 Construcción de bases de datos geográficas	36
2.5.6 Representación de la Información.....	37

Capítulo III Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.....	41
3.1 La contaminación por plomo en el mundo.....	41
3.1.1 Principales países afectados por la contaminación por plomo.....	42
3.1.2 Magnitud del Problema en Kabwe, Zambia	46
3.1.3 La contaminación por plomo en México.....	48
3.1.4 La contaminación por plomo en la Comarca Lagunera	51
3.2 La contaminación por Cadmio en el mundo.....	56
3.2.1 Principales países afectados por la contaminación por cadmio	56
3.2.2 Magnitud del Problema en Rudnaya Pristan, Rusia	57
3.2.3 La contaminación por cadmio en México	59
3.2.4 La contaminación por Cadmio en la Comarca Lagunera.....	61
3.3 La contaminación por arsénico en el mundo.....	62
3.3.1 Principales Países Afectados por la contaminación por arsénico	63
3.3.2 Magnitud del Problema en Bangladesh.....	64
3.3.3 La contaminación por Arsénico en México	65
3.3.4 La contaminación por arsénico en la Comarca Lagunera	66

Capítulo IV Metodología

Metodología	70
4.1 Ubicación de puntos muestreados.....	70
4.2 Procedimiento para la toma de muestras de suelos.....	71
4.2.1 Pasos a seguir en el muestreo de suelos	72
4.3 Factores a considerar en el muestreo de suelos.....	81
4.3.1. Tamaño de la unidad de muestreo.....	81
4.3.2. Precauciones a tomar cuando se tomen muestras para análisis de suelos.....	82
4.4. Proceso de las muestras	82
4.4.1. Análisis por digestiones ácidas:	84
4.4.2. Análisis por extractos acuosos:	87
4.4.3. Análisis por extractos acéticos	89
4.5 Base de datos en Arcgis	93
4.6 Imagen Geográfica	94
4.7 Uso del Software Arcgis.....	95

Capítulo V Resultados del Análisis y Distribución Espacial

Resultados del Análisis y Distribución Espacial.....	101
5.1 Análisis Geográfico de las concentraciones de metales pesados depositadas en los suelos de Torreón.....	101
5.2 Cronología de los análisis.....	101
5.2.1 Año 2000.....	101
5.2.2 Año 2002.....	102
5.2.3 Año 2003.....	102
5.2.4 Año 2004.....	102
5.2.5 Año 2005.....	102
5.2.6 Año 2006.....	103
5.3 Análisis para el plomo.....	104
5.3.1 Mapas de distribución del plomo por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.....	104
5.3.2 Mapas de distribución del plomo por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.....	110

Capítulo II
Marco Teórico.

Figura 2.1.- Mapa original del Dr. John Snow. 32

Figura 2.2.- Esquema temporal de la evolución de los SIG. 33

Figura 2.3.- Elementos que componen un SIG. 34

Figura 2.4.- Capas a incluir en un SIG. 37

Figura 2.5.- Modelo Ráster y Modelo Vectorial. 38

Figura 2.6.- Visualización Ráster. 39

Figura 2.7.- Dimensión espacial de los datos de un SIG. 40

Capítulo III
Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Figura 3.1.- Principales países afectados por incluir plomo en sus pinturas. 44

Figura 3.2.- Principales causas de muerte por la contaminación. 45

Figura 3.3.- Kabwe, en el centro de Zambia, donde la actividad minera es causante de la contaminación del lugar. 47

Figura 3.4.- Estructura del volumen de la producción de plomo por principales estados productores 2006 y 2007. 49

Figura 3.5.- Distribución de la Comarca Lagunera en la República Mexicana. 52

Figura 3.6.- Osteomalacia en los huesos, afección producida por los altos niveles de cadmio en el cuerpo humano. 59

Figura 3.7.- Lesiones generadas por la contaminación por arsénico en Bangladesh. 65

Figura 3.8.- Fotos de lesiones causadas por la ingesta de altas concentraciones de arsénico en la Comarca Lagunera. 69

Capítulo IV
Metodología.

Figura 4.1.- Ciudad de Torreón, Coahuila. 70

Figura 4.2.- Plano de la ciudad de Torreón, en la figura se representa las 50 direcciones de muestreo de suelo. 73

Figura 4.3.- Selección del área a muestrear. 75

Figura 4.4.- Marco de madera de 15 cm x 15 cm. 76

Figura 4.5.- Recolección de la muestra sobre el sitio seleccionado. 76

Figura 4.6.- Llenado de dos contenedores por dirección. 77

Figura 4.7.- Recolección de muestras. 77

Figura 4.8.- Horno eléctrico donde se secaron las muestras que presentaban humedad. 78

Figura 4.9.- Muestra listas para retirar impurezas. 78

Figura 4.10.- Malla metálica con apertura de 1mm.....	78
Figura 4.11.- Residuos de la muestra mayores a 1 mm de diámetro.....	79
Figura 4.12.- Cuarteo de la muestra de partículas menores a 1mm de diámetro.....	79
Figura 4.13.- Recipientes para muestras finales.....	79
Figura 4.14.- Recolección de muestra no tamizada.....	79
Figura 4.15.- Tamiz para partículas menores a 150 µm.....	80
Figura 4.16.- Cuarteo de muestra de partículas menores a 150 µm, parte tamizada.....	80
Figura 4.17.- Muestras finales para ser enviadas a la UAB, tamizadas y no tamizadas.....	81
Figura 4.18.- Muestras finales para ser enviadas a analizar por Peñoles.....	81
Figura 4.19.- Molino de bolas.....	83
Figura 4.20.- Bolas para molino.....	83
Figura 4.21.- Proceso de la toma de muestra hasta la etapa de análisis.....	84
Figura 4.22.- Digestor de microondas.....	85
Figura 4.23.- HNO ₃ concentrado.....	85
Figura 4.24.- Filtro para descartar cualquier residuo sólido.....	86
Figura 4.25.- Espectroscopio de Plasma ICP-AES para analizar el análisis de muestras.....	86
Figura 4.26.- 1 gr de muestra.....	87
Figura 4.27.- Tubo de polipropileno de 75 ml.....	87
Figura 4.28.- Báscula de precisión.....	87
Figura 4.29.- Adición de 40 ml de agua Mili-Q.....	88
Figura 4.30.- Agitación de tubos de centrifuga.....	88
Figura 4.31.- Centrifuga para separación de residuo sólido y líquido.....	88
Figura 4.32.- Separación de líquido y sólido.....	88
Figura 4.33.- Filtrado del líquido.....	88
Figura 4.34.- Análisis del líquido recolectado.....	89
Figura 4.35.- Líquido filtrado para proceder a análisis.....	90
Figura 4.36.- Correspondencia entre las distintas fracciones de plomo que se analizan con la fase del suelo asociada a estas.....	91
Figura 4.37.- Elementos que son analizados para medir su concentración en el suelo de Torreón.....	92
Figura 4.38.- Ortofoto de la ciudad de Torreón.....	95
Figura 4.39.- Menú despegable para la selección de las coordenadas a incluir en el diseño.....	96
Figura 4.40.- Zonas UTM para la República Mexicana.....	97
Figura 4.41.- Ortofoto de la ciudad de Torreón, con la capa que contiene la base de datos, los puntos amarillos representan la ubicación muestreada.....	98
Figura 4.42.- Capa de concentración.....	99
Figura 4.43.- Diseño final de la representación de las concentraciones de metal creado en Arcgis.....	100

Capítulo V

Resultados del Análisis y Distribución Espacial.

Figura 5.1.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas no tamizadas para el plomo.....	106
Gráfica 5.1.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.....	107
Gráfica 5.2.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas no tamizadas para el plomo.....	109
Figura 5.2.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas tamizadas para el plomo.....	111
Gráfica 5.3.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.....	112
Gráfica 5.4.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas tamizadas para el plomo.....	114
Figura 5.3.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos no tamizados para el plomo.....	116
Gráfica 5.5.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos no tamizados.....	117
Gráfica 5.6.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos no tamizados para el plomo.....	119
Figura 5.4.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos tamizados para el plomo.....	121
Gráfica 5.7.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos tamizados.....	122
Gráfica 5.8.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos tamizados para el plomo.....	124
Figura 5.5.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos no tamizados para el plomo.....	126
Gráfica 5.9.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos no tamizados.....	127
Gráfica 5.10.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos no tamizados para el plomo.....	129

Figura 5.6.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos tamizados para el plomo.....	131
Gráfica 5.11.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos tamizados.....	132
Gráfica 5.12.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos tamizados para el plomo.....	134
Figura 5.7.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas no tamizadas para el cadmio.....	137
Gráfica 5.13.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.....	138
Gráfica 5.14.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas no tamizadas para el cadmio.....	140
Figura 5.8.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas tamizadas para el cadmio.....	142
Gráfica 5.15.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.....	143
Gráfica 5.16.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas tamizadas para el cadmio.....	145
Figura 5.9.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos no tamizados para el cadmio.....	147
Gráfica 5.17.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos no tamizados.....	148
Gráfica 5.18.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos no tamizados para el cadmio.....	150
Figura 5.10.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos tamizados para el cadmio.....	152
Gráfica 5.19.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos tamizados.....	153
Gráfica 5.20.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos tamizados para el cadmio.....	155
Figura 5.11.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos no tamizados para el cadmio.....	157

Gráfica 5.21.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos no tamizados.....	158
Gráfica 5.22.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos no tamizados para el cadmio.....	160
Figura 5.12.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos tamizados para el cadmio.....	162
Gráfica 5.23.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos tamizados.....	163
Gráfica 5.24.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos no tamizados para el cadmio.....	165
Figura 5.13.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas no tamizadas para el arsénico.....	167
Gráfica 5.25.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.....	168
Gráfica 5.26.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas no tamizadas para el arsénico.....	170
Figura 5.14.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas tamizadas para el arsénico.....	172
Gráfica 5.27.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.....	173
Gráfica 5.28.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas tamizadas para el arsénico.....	175
Figura 5.15.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos no tamizados para el arsénico.....	177
Gráfica 5.29.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos no tamizados.....	178
Gráfica 5.30.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos no tamizados para el arsénico.....	180
Figura 5.16.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos tamizados para el arsénico.....	182
Gráfica 5.31.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el	

análisis de extractos acéticos tamizados.....	183
Gráfica 5.32.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos tamizados para el arsénico.....	185
Figura 5.17.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos no tamizados para el arsénico.....	187
Gráfica 5.33.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos no tamizados.....	188
Gráfica 5.34.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos no tamizados para el arsénico.....	190
Figura 5.18.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos tamizados para el arsénico.....	192
Gráfica 5.35.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos tamizados.....	193
Gráfica 5.36.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos tamizados para el arsénico.....	195

Índice de Tablas

Página

Capítulo II

Marco Teórico.

Tabla 2.1.- Principales aplicaciones y afecciones de los elementos analizados.....	8
Tabla 2.2.- Principales afecciones ocasionadas por la exposición al plomo.....	13
Tabla 2.3.- Estimación de la emisión antropogénica del plomo hacia la atmósfera.....	14
Tabla 2.4.- Estimación de la emisión antropogénica del plomo hacia el suelo.....	15
Tabla 2.5.- Principales afecciones ocasionadas por la exposición al cadmio.....	20
Tabla 2.6.- Tasas de inhalación e ingesta de cadmio.....	20
Tabla 2.7.- Principales afecciones ocasionadas por la exposición al arsénico.....	28

Capítulo III

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Tabla 3.1.- Principales porcentajes de usos del plomo en México y países industrializados.....	48
Tabla 3.2.- Contenido de plomo en las gasolinas mexicanas.....	50
Tabla 3.3.- Efectos del plomo en la sangre en la salud de los niños.....	55

Capítulo IV

Metodología.

Tabla 4.1.- Direcciones de muestreo en la ciudad de Torreón.....	74
--	----

Capítulo I

Introducción.

1.1 Objetivo de la tesis

El propósito de esta tesis consiste en representar como se encuentran distribuidos diferentes metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón, y como han evolucionado sus niveles de concentración a lo largo de 15 años.

En el presente trabajo se analizarán los cambios que se han observado en este tiempo en los niveles de diversos metales pesados en los suelos de la ciudad. Este análisis es visualizado gracias a un sistema de información geográfica (SIG) que nos permite apreciar un panorama del comportamiento de los niveles de metales pesados en el suelo de Torreón, para que de esta manera sea más fácil de comprender tanto la distribución geográfica como la evolución histórica del problema de la contaminación de suelos.

1.2 Justificación

El suelo es una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos, material inerte y seres vivos. Los compuestos orgánicos, formados por organismos y microorganismos se descomponen, degradan y desintegran en el suelo proporcionándole nutrientes. En cambio, los residuos inorgánicos persistentes en el suelo, pueden resultar en residuos peligrosos, y aunque también se descomponen, transforman y degradan, ocasionan una contaminación del suelo, la contaminación generada a causa de éstos compuestos inorgánicos genera serios problemas para el suelo, entre éstos problemas se mencionan algunos:

- La contaminación de suelos genera lixiviados, los cuales se filtran a los mantos acuíferos, provocando la contaminación del agua.

- Infertilidad del suelo que deriva en pérdida de cobertura vegetal y una consecuente erosión.
- Pérdida de calidad del paisaje, deterioro de la vegetación, abandono de la actividad agropecuaria y la desaparición de la fauna.
- Pérdida del valor del suelo: económicamente, y sin considerar los costos de la recuperación del suelo, la contaminación de un área supone la desvalorización de la misma.⁽¹⁾

La contaminación de suelos puede ser provocada por la acción humana o provocada por causas naturales. En este trabajo se da especial énfasis a la contaminación de suelos provocada por metales pesados. Es bien sabido que los metales pesados tienen muchas aplicaciones útiles para la humanidad, de ahí la larga historia de su minería, fundición, refinación y uso. En la ciudad de Torreón, se localiza uno de los complejos metalúrgicos no ferrosos más grandes a nivel mundial, las operaciones de éste en la ciudad han depositado altas concentraciones de metales pesados en los suelos cercanos a la fundidora. Actualmente, se han realizado trabajos para reducir las emisiones y retirar polvos contaminados, pero los metales pesados siguen afectando a la población. De esto derivan los esfuerzos que se han realizado para medir las concentraciones de metales pesados persistentes en el suelo de Torreón, así como la monitorización del problema a través de estos años.

Capítulo II.

Marco Teórico.

2.1 Consecuencias toxicológicas de los metales pesados.

Los metales pesados son elementos contaminantes y tóxicos para el medio ambiente y los seres vivos pues presentan una densidad relativamente alta y una elevada toxicidad. Entre los metales pesados más conocidos por sus daños tóxicos, se encuentra el arsénico, plomo, mercurio y el cadmio. Existen tres tipos principales de fuentes de emisión de metales. El más evidente es el proceso de extracción y purificación; minería, fundición y refinación. El segundo, menos conocido, es la emisión de metales al quemarse combustibles fósiles como el carbón. Tales combustibles contienen cadmio, plomo, mercurio, níquel, vanadio, cromo y cobre. La tercera fuente, la más diversa, es la producción y utilización de productos industriales que contienen metales [2]. Éste tipo de elementos tienen un gran efecto tóxico en los organismos llegando a ser letales aunque la exposición a ellos sea en cantidades minúsculas.

La manipulación de metales está presente en un gran número de actividades industriales. Entre todas la más conocida es la minería, la fundición y metalurgia en general. La toxicidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables [2]. Una vez que éstos se han liberado en el ambiente, pueden permanecer en el aire, suelo y agua, durante miles de años. En la actualidad existe más información sobre ese tipo de elementos y los problemas que ocasionan a la salud. Las señales iniciales de envenenamiento por metales pesados incluyen temblor, irritabilidad, dificultad en concentrarse, cansancio y debilidad en las manos y los pies.

Otras señales incluyen:

- Dolores de cabeza, mareos, problemas para dormir, pérdida de memoria.
- Sarpullido, irritación de los ojos y de la nariz.
- Encías sangrantes, ampollas en la boca, dolor de muelas, dolor de la mandíbula, sabor a metal en la boca.
- Taquicardia, ansiedad y pulso filiforme.
- Dolor de estómago, diarrea o estreñimiento, poliuria.
- Espasmos musculares, dolor y rigidez en las articulaciones y músculos, manos y pies fríos.^[1]

Entre los daños más graves que pueden ser ocasionados por el contacto con metales pesados se encuentran: daño RENAL, retraso en el desarrollo, distintos tipos de cáncer, e incluso la muerte.

A continuación se listan los elementos que se han analizado en estos años, algunos de los cuales son metales pesados. Se agregan sus principales aplicaciones y afecciones.

Nombre (Símbolo)	Aplicaciones	Afecciones
Aluminio (Al)	Construcciones metálicas, transporte de energía, industrias químicas, tintas, pulido de metales, fabricación de aleaciones, envases de alimentos y bebidas, etc.	Afecta al sistema nervioso y al respiratorio.
Plata (Ag)	Fotografía, medicina, electricidad, electrónica, fabricación de monedas, en joyería y platería, aleaciones para piezas dentales, catalizador.	Daños renales, oculares, pulmonares, hepáticos, cerebrales, dermatitis alérgica, anemia. Si el material se traga y es aspirado en los pulmones, puede causar neumonitis química, que en ocasiones llega a ser mortal.

Arsénico (As)	Fabricación de baterías, cerámica y vidrio, plaguicidas, colorantes, municiones, curtidos y peletería, vidrio, tratamiento de maderas, etc.	Es un carcinógeno humano que puede causar cáncer de piel, pulmones, vejiga, hígado, riñones y próstata. Puede causar la muerte.
Berilio (Be)	Industria nuclear, aleaciones, fluorescentes, cerámica, recuperación de metal, etc.	Es un carcinógeno humano. Puede causar cáncer de pulmón.
Calcio (Ca)	Agente reductor, coagulación de la leche, construcción de edificios, uso en laboratorios, insecticidas, uso en pinturas brillantes, estudios de rayos X y luces fluorescentes, fuegos artificiales, industria del vidrio, soldadura, aditivo alimentario, desinfección de piscinas, blanqueador, fungicida, productos dentales, fertilizantes, etc.	El uso de más de 2.5 gramos de calcio por día sin una necesidad médica desarrolla piedras en los riñones, esclerosis y problemas en los vasos sanguíneos.
Cadmio (Cd)	Tratamiento de superficies, aleaciones de acero, soldadura, acumuladores eléctricos, pigmentos, plásticos, abonos fosfatados, etc.	Es carcinógeno para el ser humano. Puede causar cáncer de pulmón, de próstata, de riñón y de vejiga.
Cobalto (Co)	Aleaciones usadas en turbinas de gas de aviación, imanes, cintas magnéticas, catalisis de petróleo e industria química, recubrimientos metálicos por deposición electrolytica, secante para pinturas, barnices y tintas, recubrimientos de esmaltes vitrificados, pigmentos, electrodos de baterías eléctricas, cables de acero de neumáticos, etc.	En altas concentraciones produce asma y neumonía, vómitos y náuseas, problemas de visión, problemas de corazón, daño de tiroides. La radiación de isótopos de cobalto puede causar esterilidad, ALÓPECIA, sangrado, coma e incluso la muerte.
Cromo (Cr)	Aleaciones de acero, cromado de	Es un carcinógeno humano. Puede

	superficies, cerámica, curtidos, tratamiento de maderas, pesticidas, etc.	causar bronquitis, sinusitis y cáncer pulmonar.
Cobre (Cu)	En construcciones, objetos decorativos, fabricación de objetos como hachas, espadas y cascos, electricidad y telecomunicaciones, componentes de coches y camiones, construcción y ornamentación, sanidad, monedas y recubrimientos, calderería y tubería	Irritación de nariz, boca y ojos, dolores de cabeza y estómago. Una toma considerable de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte.
Hierro (Fe)	Magnetismo, productos siderúrgicos, aleaciones de acero, fundición, en medicina para el tratamiento de la anemia. Las aleaciones férricas presentan gran variedad de propiedades mecánicas dependiendo de su composición o tratamiento.	Conjuntivitis, coriorretinitis y retinitis. La inhalación crónica de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna.
Potasio (K)	Fertilizantes, en medicina se utiliza el cloruro de potasio para detener el corazón, industria alimentaria, neutralización de los ácidos, vidrio templado, minería, etc.	Cuando nuestros riñones no funcionan bien se puede dar la acumulación de potasio. Esto puede llevar a cabo una perturbación en el ritmo cardíaco.
Litio (Li)	Refrigerante, fuegos artificiales y bengalas, grasas lubricantes, fabricación de baterías y teléfonos móviles, absorción de neutrones en la fusión nuclear, fabricación de piezas de aviones, purificación de aire en submarinos y naves espaciales, en medicina para el tratamiento del trastorno bipolar y	Inhalación: Sensación de quemadura, tos, respiración trabajosa, falta de aire. Piel: Enrojecimiento, quemaduras cutáneas, dolor, ampollas. Ingestión: Calambres abdominales, náuseas, shock o colapso. Puede causar edema pulmonar.

	la depresión, aditivos de alta energía, etc.	
Magnesio (Mg)	Industria automotriz, fabricación de teléfonos móviles, ordenadores portátiles y cámaras, antiséptico, fabricación de papel, es ideal para su uso en fotografía con flash, bengalas y fuegos artificiales.	Inhalación: irritación de las membranas mucosas o el tracto respiratorio. Visión: puede causar ceguera temporal.
Manganeso (Mn)	Metalurgia, soldadura, tintas, pilas secas, industria química, colorantes, cerámica, etc.	Afecta al sistema nervioso y al reproductivo.
Sodio (Na)	Descalcificación y refinación de metales, refrigerante en reactores nucleares, transmisor de calor, creación de desecantes.	Un exceso de sodio puede dañar nuestros riñones e incrementa las posibilidades de hipertensión.
Níquel (Ni)	Aleaciones, niquelado de superficies, industria química, baterías, utensilios de cocina, fabricación de monedas, cierto tipo de cementos, etc.	Carcinógeno para el ser humano. Cáncer del etmoides y de los senos de la cara. Cáncer bronquial.
Plomo (Pb)	Minería, metalurgia, municiones, fabricación de acumuladores, insecticidas, pantallas antirradiaciones, soldadura y corte, cables y alambres, lubricantes y combustibles, etc.	Es cancerígeno en animales y posiblemente carcinógeno en el ser humano. Provoca saturnismo. Alterador endocrino.
Vanadio (V)	Fabricación de herramientas en conjunto con aleaciones de acero, protector de la oxidación y corrosión, revestimientos de vidrio que bloquean la radiación infrarroja, fabricación de bisutería, etc.	Bronquitis, neumonía, irritación de pulmones, garganta, ojos y cavidades nasales. Daño cardíaco y vascular. Inflamación del estómago. Daño en sistema nervioso. Sangrado de hígado y riñones. Irritación de la piel.
Zinc (Zn)	Agente anticorrosivo, ánodo en	La acumulación de zinc puede

<p>otros metales, en plâs de zinc, fabricación de monedas, fotografía, protector de la radiación UV, retardante de fuego, pintura luminiscente, suplementos dietéticos, curación de heridas y resfriados, dentífricos, etc.</p>	<p>incluso producir defectos de nacimiento. Demasiada cantidad de zinc puede causar ulcera del estómago, vómitos, anemia, dañar el pâncreas y disturbar el metabolismo.</p>
---	---

Tabla 2.1.- Principales aplicaciones y afecciones de los elementos analizados. ^{[2], [4], [5]}

La tabla 2.1 resume algunas de las aplicaciones así como posibles efectos en la salud de algunos metales que se han analizado en el curso de este trabajo.

Por otra parte, en esta tesis se prestará atención especial al arsénico, plomo y cadmio por ser los que representan un mayor problema actualmente en la Comarca Lagunera.

2.2. Plomo (Pb)

El plomo es un metal pesado, de un color plateado-azulado. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Es usado en varios procesos industriales. Existe de forma natural en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos. ^[6]

2.2.1 Características del plomo

El plomo es un elemento cuyo símbolo químico es Pb, con número atómico 82. Éste elemento posee gran elasticidad molecular, la cual depende de la temperatura ambiente. Su estabilidad molecular distiende sus átomos o los extiende. El plomo es un metal pesado relativamente resistente al ataque del ácido sulfúrico y del ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos.

El plomo forma aleaciones con muchos metales, y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Es un metal tóxico y la intoxicación por plomo se denomina saturnismo o plumbosis.^[4]

2.2.2 El plomo en la historia

El plomo es uno de los elementos más conocidos desde la antigüedad, se dice que se descubrió en el año 7000 a. C. El hombre lo ha empleado por su abundancia y por su facilidad de fundirse.

Los primeros en utilizarlo fueron los egipcios. Se encontró una estatuilla en Egipto que se remonta a 4000 años a.C. Suave y plegable, era adecuado para el trabajo artístico, pero no fuerte como el hierro o brillante como el cobre.

Sin embargo fue con los romanos donde encontró su nicho, pues al descubrir que existía una mejor manera de transportar su agua que la de usar hombres fuertes cargando baldes y cubetas, optaron por usarlo en sus tuberías de agua, debido a su maleabilidad y resistencia a la corrosión.

Fue tanta la aceptación del plomo en el imperio romano que revistieron tanques, acueductos y lo usaron en marmitas, ollas y cubiertos. Los científicos antiguos también descubrieron las propiedades de compuestos de plomo brillantemente coloreados, gracias a esto fue usado en cosméticos, pinturas, esmaltes.

Luego de una exposición prolongada la gente reconoció algunos efectos peligrosos, pero el metal también se consideraba terapéutico, y se creía que los ungüentos daban un tratamiento más rápido y eficaz si se mantenían guardados en recipientes de plomo.^[5]

2.2.3 Aplicaciones del plomo

El plomo tiene amplia variedad de aplicaciones, por ello este metal puede estar presente en materiales de construcción, productos de limpieza, tuberías, ollas cerámicas, e incluso platos o juguetes.

En la actualidad se sabe que el plomo no es adecuado para muchos usos, sin embargo aún tiene muchas aplicaciones útiles por sus propiedades químicas.

2.2.3.1 Usos del Plomo

- Antidetonante en las gasolinas.
- Producción de municiones
- Fabricación de soldaduras
- Producción de pinturas
- Vidriado de utensilios de barro

2.2.3.2 Usos modernos del plomo

- Su densidad lo hace excelente para la protección de la radiación y es esencial para el personal que trabaja en hospitales, cirugía dental, laboratorios e instalaciones nucleares.
- Las pantallas de rayos catódicos de los televisores requieren vidrios plúmbicos para proteger al espectador.
- Se agregan estabilizadores plúmbicos a plásticos tipo PVC para mejorar su durabilidad.
- El metal protege miles de kilómetros de cables de energía y comunicaciones subacuáticos.
- Las baterías ácidas de plomo son utilizadas para el almacenamiento de energía, como la producida por celdas solares y turbinas eólicas. La mayor parte del plomo es usada para mantener al mundo moderno en movimiento. Las baterías ácidas arrancan automóviles, camiones, autobuses, motocicletas y no existe hasta el día de hoy una alternativa viable.^[7]

Dado el amplio uso del plomo, no sorprende que el metal tenga una importancia económica global tan grande. Los minerales de plomo son extraídos a una tasa de más de tres millones de toneladas por año, con un valor de mercado de alrededor de 3 mil millones de dólares, y el valor del mercado mundial para el plomo refinado se sitúa alrededor de 7.5 miles de millones de dólares.

El plomo tiene propiedades únicas útiles para ciertas aplicaciones, que actualmente es difícil encontrar un sustituto viable, que no resulte tan costoso. A pesar que las primeras aplicaciones del plomo que causaron preocupaciones por la salud se han descontinuado, los desechos que se encuentran depositados en el suelo no son biodegradables. El plomo metálico sigue siendo una sustancia que debe ser manipulada con cuidado.

2.2.4 Efectos del plomo en la salud

El plomo tiene consecuencias graves a la salud, incluso con una dosis pequeña, pero es más común que el envenenamiento por plomo se de en periodos prolongados de tiempo, por exposiciones frecuentes en pequeñas cantidades.

El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, puede entrar al organismo mediante inhalación, ingestión o absorción de la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos y se sospecha afecta a los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal, además de afectar la piel y los riñones.^[6]

El envenenamiento por plomo es más dañino en los niños que en los adultos porque afecta el desarrollo de sus nervios y cerebro. Cuanto más pequeño sea el niño, mayor daño producirá el plomo. El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de su madre. Debido a esto puede causar serios daños al desarrollo del sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer. De igual manera en los niños ya nacidos, la exposición incluso a pequeñas cantidades puede dañar el desarrollo mental del niño.^[3]

Una concentración de 7 μg de plomo por decilitro de sangre ($\mu\text{g}/\text{dl}$) causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes. Existen estudios que relacionan una

baja de 5.8 puntos en pruebas de cociente intelectual (en las que 100 sería la habilidad de la mayoría de los niños), por cada 10 mg por decilitro en la sangre de un niño. El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un menor, según la Norma Oficial Mexicana ¹⁸¹ es de 10 µg/dl. Es importante resaltar que este nivel no es seguro ni normal. Sin embargo, no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. ¹⁶¹

La tabla 2.2 muestra los datos clínicos y alteraciones patológicas del plomo en los aparatos y sistemas.

Aparato o sistema	Alteración en el organismo
Sistema Respiratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de neumonías. • Inhibición de fagocitos y distintos efectos sobre la inmunidad pulmonar.
Boca	<ul style="list-style-type: none"> • La formación de depósitos plúmbicos en las encías que forman una línea de color gris claro azulado llamada “la línea del plomo” o “la línea de Burton”.
Sistema Gastrointestinal	<ul style="list-style-type: none"> • Náuseas • Calambres abdominales • Vómito • Diarrea sanguinolenta • Estreñimiento • Pérdida de apetito • Gastritis y cólicos.
Sistema Inmunológico	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de algunos tipos de células del sistema inmunológico.
Órganos de los sentidos	<ul style="list-style-type: none"> • Irritabilidad del órgano óptico
Sistema Nervioso	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbación del sistema nervioso • Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños. • Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

	<ul style="list-style-type: none"> • Encefalopatía • Perturbaciones en la coordinación.
Sistema Hematopoyético	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina. • Anemia (deficiencia de hierro). • Incremento de la presión sanguínea. • Glóbulos rojos microcíticos e hipocrómicos.
Renal	<ul style="list-style-type: none"> • Daño a los riñones • Alteraciones reversibles de la función tubular proximal glicosuria, aminoaciduria, hiperfosfatemia. • Nefropatía crónica • Hipertensión arterial de origen renal. • Síntomas de gota • Hiperuricemia.
Genital	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño al esperma
Sistema Endócrino y Genético	<ul style="list-style-type: none"> • Aborto espontáneo
Dérmico	<ul style="list-style-type: none"> • Piel seca, rojiza y con picazón (Dermatitis).
Sistema Circulatorio	<ul style="list-style-type: none"> • Hipertensión arterial

Tabla 2.2.- Principales afecciones ocasionadas por la exposición al plomo. ^{[9], [10], [11]}

Es recomendado monitorear periódicamente los niveles de plomo en la sangre para valorar la exposición a ese metal, que los hábitos de higiene sean estrictos, en particular en los infantes, para evitar que el plomo sea ingerido, evitar el uso de loza de barro vidriado, no fumar y reducir la ingesta de alcohol. También se sugiere ingerir alimentos ricos en calcio y hierro, que evitan la fijación del plomo en órganos de tejido blando, así como la administración de vitamina D. ^[6]

2.2.5 El plomo en el ambiente

El plomo se encuentra de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones encontradas en el ambiente son el resultado de actividades humanas, los niveles de plomo han sido incrementados al menos unas 1,000 veces en los últimos tres siglos como consecuencia de estas actividades. El gran incremento ocurrió entre 1950 y 2000. ^[12]

El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire y en el agua. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar generaciones de niños y adultos hasta que sea removido. ^[6]

Cuando se libera el plomo al aire puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo, una vez que cae, generalmente se adhiere a partículas de suelo.

La movilización del plomo desde el suelo al agua subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo. ^[13]

Las tablas 2.3 y 2.4 muestran una estimación de las emisiones del plomo de los países industrializados hacia la atmósfera y suelo.

Fuente	Emisión (Toneladas/año)
Combustión de Carbón	
• Plantas de energía eléctrica	780 - 4,650
• Industrial y doméstico	990 - 9,900
Combustión de Petróleo	
• Plantas de energía eléctrica	230 - 1,740
• Industrial y doméstico	720 - 2,150
Producción de Plomo Fundición	
• Minería	1,700 - 3,400
• Producción de plomo	11,700 - 31,200
• Producción de Cu-Ni	11,000 - 22,100
• Producción de Cd-Zn	5,520 - 11,500
Otros	
• Producción de acero	1,070 - 14,200
• Fuentes móviles	248,030

Tabla 2.3.- Estimación de la emisión antropogénica de plomo hacia la atmósfera. ^[14]

Fuente	Emisión (Toneladas/año)
Residuos orgánicos	1,600
Fertilizantes	2,300
Lodos residuales	9,700
Residuos sólidos	11,000
Residuos animales	20,000
Residuos agrícolas	27,000
Cenizas de carbón	242,000
Precipitación	263,000
Atmosférica	390,000
Residuos comerciales	390,000
Residuos mineros	390,000
Residuos metalúrgicos	

Tabla 2.4.- Estimación de la emisión antropogénica de plomo hacia el suelo. ^[14]

2.2.6 Posibles maneras de exponerse al plomo

- Bebiendo o lavando alimentos con agua que ha salido de tuberías de plomo.
- Utilizando cierto tipo de cerámica vidriada.
- Suelo contaminado.
- Pinturas con plomo.
- Escapes de los vehículos.
- Contaminación Industrial.^[14]

2.2.7 Maneras de reducir el riesgo de exposición al plomo

- Evitar la exposición a fuentes de plomo.
- No permitir que los niños pongan la boca en superficies que pueden haber sido pintadas con pintura a base de plomo, de igual manera si se sospecha que algún juguete tiene plomo es necesario descharlo inmediatamente.
- Si se cree tener plomo en el agua, se debe dejar correr el agua que ha estado estancada en las cañerías durante la noche antes de beberla o cocinar.
- Si en el hogar existen pinturas con plomo o se vive en un área contaminada con plomo, es necesario lavar a menudo las manos y cara de los niños para remover polvo y tierra y limpiar la casa con frecuencia para eliminar el polvo y tierra que han entrado.^[31]

2.3 Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal blanco azulado, dúctil y maleable. Se puede cortar fácilmente con un cuchillo. En algunos aspectos es similar al zinc. La toxicidad que presenta es similar a la del mercurio. Es uno de los metales más tóxicos existentes. Normalmente se encuentra en minas de zinc y se emplea especialmente en la fabricación de pilas.^[41]

2.3.1 Características del cadmio

El símbolo químico del cadmio es Cd y su número atómico es 48, pertenece a los metales de transición. Se ha estimado que entre 25,000 y 30,000 toneladas de cadmio son liberadas al medio ambiente cada año, de las cuales 4,000 a 13,000 son derivadas de las actividades humanas como la minería y el consumo de combustibles fósiles.

En la naturaleza, es un elemento que si bien se puede hallar en estado puro, nunca ocurre en grandes cantidades. Generalmente se lo puede encontrar en pequeñas cantidades de minerales de zinc. Artificialmente se consigue como subproducto del tratamiento de zinc, el cobre y minerales de plomo.^[12]

A diferencia de los demás metales, el cadmio es resistente a la corrosión y como resultado se utiliza como una capa protectora cuando se deposita sobre otros metales. Como un metal en masa, el cadmio es insoluble en agua y no es inflamable, siN embargo, en su forma de polvo puede quemar y liberar humos tóxicos.^[15]

2.3.2 El cadmio en la historia

El cadmio fue descubierto en Alemania, en el año 1817, cuando el químico Friedrich Stromeyer analizaba la impureza del carbonato de zinc. El descubrimiento del cadmio es también atribuido a K.S.L. Hermann y J.C.H. Roloff, que encontraron cadmio en el óxido de zinc ese mismo año. Alemania fue durante cien años el único productor importante del metal.

La producción a escala industrial del cadmio inició en la década de 1930 y 1940, la principal aplicación de Éste fue en el recubrimiento de hierro y acero para prevenir la corrosión. En 1956 el 24 % del cadmio utilizado dentro de los Estados Unidos se utilizó para la elaboración de pigmentos rojos y de color amarillo.

El uso de cadmio en aplicaciones tales como pigmentos, revestimientos, estabilizadores y aleaciones disminuyó debido a las regulaciones ambientales y de salud en los años 1980 y 1990, y en 2006, sólo el 7 % del consumo total de cadmio se utilizó para el recubrimiento y revestimiento y únicamente se utilizó el 10 % para los pigmentos. La disminución del consumo de cadmio en otras aplicaciones se compone por una creciente demanda de cadmio en las baterías de níquel-cadmio, que representan el 81 % del consumo de cadmio en los Estados Unidos en 2006.^[15]

2.3.3 Aplicaciones del cadmio

El cadmio tiene muchas aplicaciones industriales comunes, a continuación se listan las principales:

- Aproximadamente tres cuartas partes del cadmio producido se emplea en la fabricación de baterías níquel-cadmio.
- Una parte importante se emplea en galvanoplastia (como recubrimiento).
- Algunas sales se emplean como recubrimiento.
- Se emplea en algunas aleaciones de bajo punto de fusión.
- Debido a su bajo coeficiente de fricción y muy buena resistencia a la fatiga se emplea en aleaciones para cojinetes.
- Muchos tipos de soldaduras contienen este metal.
- En barras de control en fisión nuclear.
- Algunos compuestos fosforescentes de cadmio se emplean en televisiones.
- Se emplea en algunos semiconductores.
- Algunos compuestos de cadmio se emplean como estabilizantes de plásticos como el PVC.^[16]

2.3.4 Efectos del cadmio en la salud

El cuerpo humano no necesita cadmio en ninguna forma. El cadmio es una sustancia cancerígena, que si se respira en altas concentraciones produce graves problemas a la salud, en dosis altas puede producir la muerte. El envenenamiento crónico, no agudo, por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños.^[6]

La exposición al cadmio en los humanos se produce generalmente a través de dos fuentes principales: la primera es la vía oral (por agua e ingestión de alimentos contaminados) y la segunda vía es por inhalación. La población fumadora es la más expuesta al cadmio, porque los cigarrillos lo contienen.

En la tabla 2.5 se muestran los sistemas afectados por el cadmio y los problemas que ocasiona en la salud.^[16]

Aparato o sistema	Alteración en el organismo
Sistema Respiratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye la actividad pulmonar • Enfisema pulmonar • Cáncer pulmonar • Disnea • Dolor torácico • Edema agudo de pulmón (puede causar la muerte por insuficiencia respiratoria).
Sistema Gastrointestinal	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación Estomacal • Náuseas • Diarreas • Dolores abdominales y musculares • Vómitos severos • Salivación
Sistema Inmunológico	<ul style="list-style-type: none"> • Disfunciones
Hígado	<ul style="list-style-type: none"> • Hepatitis
Órganos de los sentidos	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación de los ojos
Sistema Nervioso	<ul style="list-style-type: none"> • Desordenes psicológicos
Sistema Hematopoyético	<ul style="list-style-type: none"> • Anemia
Renal	<ul style="list-style-type: none"> • Daño en los riñones • Albuminuria • Aruria • Enfermedad de los túbulos renales con proteinuria. • Daño glomerular. • Insuficiencia renal. • Necrosis del tejido renal.
Genital	<ul style="list-style-type: none"> • Infertilidad • Daño en los testículos
Sistema Endócrino y Genético	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos en la reproducción • Posible daño en el ADN

Sistema cutáneo	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación de la piel • Acumulación en uñas y pelo
Sistema Óseo	<ul style="list-style-type: none"> • Fractura de huesos • Osteomalacia • Osteoporosis • Dolores reumáticos.
Sistema Cardiovascular	<ul style="list-style-type: none"> • Hipertensión y enfermedades coronarias
Sistema glandular	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta la glándula tiroideas

Tabla 2.5.- Principales afecciones ocasionadas por la exposición al cadmio. ^[17]

2.3.5 Dosis y tiempo de exposición.

La cantidad de metal necesaria para causar un efecto adverso en una persona expuesta depende de: la vía de entrada, las características de la exposición, la forma química y sus propiedades físico químicas. Existen más factores a tener en cuenta que pueden alterar el riesgo de que se presenten enfermedades por exposición al cadmio, como si se es o no fumador, no usar equipos de protección en trabajadores, estilos de vida y la edad, etc.

Algunas cifras a tener en cuenta:

Ingesta	Diaria	10-50 microgramos (el cuerpo sólo absorbe entre el 5 y 10 %)
	Semanal	400-500 mg (adulto)
Inhalación	Exposición crónica a polvo	< 0,01 mg/m ³ (8 horas diarias)
	Exposición crónica a humo de óxido de Cd	< 0,05 mg/m ³ (8 horas diarias)

Tabla 2.6.- Tasas de inhalación e ingesta de cadmio. ^[18]

Como se logra visualizar en la tabla 2.6, la tasa de inhalación de cadmio es mucho menor que la tasa de ingesta. Es de suma importancia aclarar que la fuente principal de exposición para los bebés y niños en su primera infancia son la leche y productos lácteos, que pueden llevar a que se supere la dosis semanal tolerable provista por la Organización Mundial de la Salud (OMS).^[18]

2.3.6 El cadmio en el ambiente

Como se mencionó anteriormente se liberan al ambiente entre 25,000 y 30,000 toneladas de cadmio al año. Cerca de la mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas, también es liberado al aire a través de incendios forestales y volcanes. El resto por las actividades humanas.

Las aguas residuales con cadmio, en su mayor parte procedentes de industrias, terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son: por ejemplo, la producción de zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias de estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles.

Algunos hongos pueden acumular cadmio en concentraciones cientos de veces superiores a las del ambiente en el que viven. La ingesta de grandes cantidades de estas especies de hongos puede producir cuadros de envenenamiento, a menudo pasajeros y a los que generalmente no se les presta mucha atención.^[19]

2.3.7 Posibles maneras de exponerse al cadmio

Ingesta: Puede ser directamente a través de líquidos, ya sea por las tuberías antiguas que contienen cadmio en sus soldaduras, o por el agua que ha sido contaminada por las industrias que vierten desechos a ríos. Indirectamente a través de los alimentos, ya que el cadmio que estaba en el agua contaminada o en los suelos puede pasar a las plantas o

vegetales. Esta cadena es frecuente cuando se han usado fosfatos con alto contenido de cadmio como fertilizante.

La fuente principal para los bebés es la leche materna, pues las madres con altas concentraciones de cadmio pueden transmitirlo a través de la misma.

Inhalación: Los trabajadores que están expuestos a respirar aire contaminado, al respirar humo de cigarrillo o respirar aire contaminado donde quemen combustible de fósiles o desechos municipales.

2.3.8 Maneras de reducir el riesgo de exposición al cadmio

Las medidas preventivas contra el envenenamiento por cadmio giran en torno a evitar su ingesta. Incrementar los hábitos de higiene en las zonas donde exista el metal en polvo, no fumar, beber preferentemente agua purificada y usarla para cocinar y lavarse los dientes; no usar utensilios de plástico para preparar, guardar o servir alimentos; evitar los mariscos, setas o vísceras pues acumulan cadmio. ^[6]

Es importante también mantener las baterías níquel-cadmio fuera del alcance de los niños, así como mantener una dieta equilibrada rica en vitamina C, bioflavonoides, vitamina B y selenio.

2.4 El Arsénico (As)

El arsénico se presenta en tres estados alotrópicos, gris, amarillo y negro. Se usa para librar al vidrio de los tonos verdosos y se agrega al plomo para volverlo más duro. También se emplea en la elaboración de diversos insecticidas. Antes del advenimiento de los antibióticos se le empleaba como medicamento en dosis sumamente pequeñas para tratar padecimientos como la sífilis. ^[6]

2.4.1 Características del arsénico

El arsénico ocupa el lugar número 52 entre los elementos más abundantes en la corteza terrestre. En general se encuentra en cantidades de 2 mg/Kg. Sin embargo hay sitios con concentraciones de 637.5 mg/Kg. Es un elemento esencial para la vida sin embargo el arsénico como sus compuestos son extremadamente venenosos.

Su símbolo químico es As y su número atómico 33, se presenta raramente sólido y pertenece a los metaloides, ya que muestra propiedades intermedias entre los metales y los no metales.

El arsénico gris es la forma estable en condiciones normales, es un buen conductor de calor pero pobre conductor eléctrico, es deleznable y pierde el lustre metálico al ser expuesto al aire.

El arsénico amarillo se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría rápidamente. Es extremadamente volátil y más reactivo que el metálico y presenta fosforescencia a temperatura ambiente.

El arsénico negro tiene propiedades intermedias entre las formas alotrópicas descritas y se obtiene en la descomposición de la arsina o bien enfriando lentamente el vapor de arsénico.

[4]

2.4.2 El arsénico en la historia

El arsénico se ha conocido y utilizado en todas las civilizaciones a lo largo de la historia humana. Es uno de los elementos más mencionados durante la edad media e incluso moderna, aunque fuera conocido antes por chinos, romanos e incluso babilonios.

Los griegos usaron el óxido de arsénico como depilatorio, y 4,000 años antes de la era cristiana el arsénico intervenía en la elaboración de los primeros bronce. Los árabes por su parte lo utilizaban en fumigaciones, píldoras y pociones además de en aplicaciones externas.

El arsénico debió su popularidad gracias a sus propiedades físico-químicas y fácil obtención. Éste elemento mostró ser versátil y tóxico por lo que se usó como plaguicida e insecticida. Pero se descubrió que estar en contacto continuo con el causaba la muerte.

Los médicos lo utilizaron hasta el siglo XIX y principios del XX para combatir infecciones como la sífilis. No obstante a sus usos como medicamento, en la edad media su popularidad como veneno se consolidó ya que es inodoro, incoloro e insípido y al ingerirlo los malestares se confundían con cólera y era difícil detectarlo a tiempo en el cuerpo humano. El arsénico fue cronológicamente el tercer elemento químico empleado como veneno desde el punto de vista histórico después del mercurio y el plomo. No es de extrañar que fuera el ingrediente principal del famoso veneno “Cantarella” de los Borgías, llamado así por los gritos, lamentos y convulsiones que en su fase emitían los envenenados. ^[20]

También se cuenta el caso de la muerte de Napoleón Bonaparte. La pintura verde del papel tapiz de la casa donde estuvo cautivo en la isla de Santa Helena -la pintura llamada “verde de París”, con alto contenido de arsénico fue el veneno que terminó con su vida. ^[6]

El arsénico no siempre produjo males. Hipócrates (V a. C) recomendaba un tratamiento a base de sulfuro de arsénico para curar las úlceras y los chinos tenían un elixir denominado “Los tres amarillos” que consistía en oropimente, rejalgar y oro para el tratamiento de diversas enfermedades. La solución Fowler a base de anhídrido arsenioso, se empleó para combatir la epilepsia, asma y determinados eczemas. ^[21]

2.4.3 Aplicaciones del arsénico

El arsénico se obtiene como producto secundario en refinación de cobre, plomo, zinc, estaño y oro. México produce 20 por ciento de todo el arsénico mundial.

Actualmente entre las aplicaciones industriales y comerciales del arsénico destacan:

- Semiconductor empleado en circuitos integrados.
- Fabricación de vidrio, textiles, papeles, adhesivos de metal.

- Preservante de la madera y alimentos.
- Aditivo en aleaciones de plomo y latones.
- Procesos de bronceado.
- Disección de animales y conservación de pieles.
- En la industria de curtiduría y peletería.
- Elaboración de insecticidas, herbicidas y venenos.
- Decolorante en la fabricación de vidrio
- Elemento fertilizando en forma mineral.

Los compuestos orgánicos trivalentes del arsénico y sus formas inorgánicas son usados para la elaboración de productos farmacéuticos (por ejemplo para el tratamiento de enfermedades de la piel como la psoriasis). En odontología se usa para destruir la pulpa dentaria.^[22]

2.4.4 Efectos del arsénico en la salud

Si bien el arsénico se asocia con la muerte, es un elemento esencial para la vida y su deficiencia puede dar lugar a diversas complicaciones. La ingesta diaria de 12 a 15 μg puede obtenerse sin problemas con la dieta diaria de carnes, pescados y cereales, siendo los peces y crustáceos los que más contenido de arsénico presentan, generalmente en forma de arsenobetaina, menos tóxica que el arsénico inorgánico.^[9]

En cambio una dosis alta de arsénico causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de piel. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos puede causar una muerte violenta.^[6]

Los efectos del arsénico en la fisiología humana son distintos según la exposición a altas dosis en un tiempo corto o a dosis bajas durante largo tiempo. En el primer caso es manifestación inmediata: vómito, dolor abdominal, diarrea, shock o muerte. En el segundo los malestares son menos visibles y el daño se manifiesta hasta que un órgano se encuentra muy enfermo por la ingesta del metaloide. Puede provocar inflamación intestinal, muerte de la

mucosa intestinal, hemorragias internas o diarrea con sangre; a nivel cardiovascular provoca cardiomiopatías que resultan en shock o también cambios cardiovasculares que ocasionan gangrenas o muerte por enfermedades como la “enfermedad del pie negro”, endémica de la India. Pero tal vez una de las manifestaciones más características de la exposición al arsénico es el daño a la piel, su pigmentación cambia a colores amarillo o naranja y se endurece, a esto se le llama queratosis. [23]

En la tabla 2.7, se enlistan los sistemas que afecta la exposición prolongada al arsénico y sus padecimientos:

Aparato o sistema	Alteración en el organismo
Sistema Respiratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Hemorragias difusas subpleurales • Bronquiales • Difusas • Segmentarias • Aumento en la frecuencia de cáncer laríngeo y bronquial
Boca	<ul style="list-style-type: none"> • Mucosa gingival isquémica • Aumento en la frecuencia de caries • Destrucciones de la corona • Retardo en la erupción dentaria • Hipoplasia dentaria • Pigmentación dentaria de coloración blanquecina o pardo oscuro
Sistema Gastrointestinal	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuaciones diarreicas • Estreñimiento que se altera con los periodos de evacuaciones diarreicas • Histopatológicamente encontramos: puntado hemorrágico o ulceración, infartos ganglionares mesentéricos, congestión intensa. • Dolor abdominal difuso.
Hígado	<ul style="list-style-type: none"> • Degeneración grasa. • Cirrosis

	<ul style="list-style-type: none"> • Hemangioendoteliomas • Hipertensión portal sin cirrosis hepática
Órganos de los sentidos	<ul style="list-style-type: none"> • Atrofia del nervio óptico • Disminución de la agudeza auditiva
Sistema Nervioso	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Central <ul style="list-style-type: none"> • Paranoia • Disminución de la atención. ➤ Periférico <ul style="list-style-type: none"> • Paresias • Parestesias • Plejías • Parálisis • Degeneración mielínica • Atrofia
Sistema Hematopoyético	<ul style="list-style-type: none"> • Leucemia • Anemia • Aplasia medular • Aumento en las tendencias hemorrágicas en piel, útero y mucosas
Renal	<ul style="list-style-type: none"> • Síndrome nefrótico • Insuficiencia renal crónica • Necrosis tubular
Genital	<ul style="list-style-type: none"> • Impotencia • Dismenorrea • Menarca tardía • Menopausia precoz • Aumento en el número de abortos • Aumento en la frecuencia de muerte perinatal
Sistema Endócrino y Genético	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones en el funcionamiento de la glándula pineal • Antagonismo de la actividad de las hormonas tiroideas • Se inhibe la actividad de la DNA polimerasa causando aberraciones cromosómicas
Dérmico	<ul style="list-style-type: none"> • Macular • Pápulas

	<ul style="list-style-type: none"> • Placas • Úlceras • Costras • Lentigo Maligno • Melanoma Maligno • Carcinoma basocelular • Carcinoma espinocelular • Enfermedad de Bowen
Sistema Circulatorio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La intoxicación aguda por arsénico puede causar tanto una fuga capilar difusa como una cardiomiopatía, las cuales pueden conducir a un shock. ➤ Enfermedad arterial oclusiva (enfermedad del pie negro) <ul style="list-style-type: none"> • Entumecimiento • Frialidad • Ulceración de una extremidad • Gangrena • Amputación espontánea o quirúrgica.

Tabla 2.7.- Principales afecciones ocasionadas por la exposición al arsénico. ^[23]

2.4.5 El arsénico en el ambiente

El arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía. ^[24]

El arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando éste es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y fundiciones el arsénico inmóvil se ha movilizó también y puede ser encontrado en muchos lugares donde no existía de forma natural.

El arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura.

Éste no puede ser destruido una vez que ha entrado en el ambiente, así que las cantidades añadidas pueden esparcirse y causar consecuencias graves a la salud de los humanos y los animales.

Las plantas absorben Arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Las aves comen peces contaminados por arsénico y morirán como resultado del envenenamiento, consecuencia de la descomposición de los peces en su cuerpo. ^[24]

2.4.6 El arsénico en el agua

La presencia de arsénico en el agua potable puede ser el resultado de la disolución del mineral presente en cuencas hidrográficas cercanas a volcanes y naturalmente en el suelo por donde fluye el agua antes de su captación para uso humano; o bien, por vía antrópica por contaminación industrial o por pesticidas.

Envenenamientos graves pueden ocurrir cuando la cantidad tomada es de 100 mg. Se ha atribuido al arsénico enfermedades de prevalencia carcinógena a la piel, pulmón y vejiga. ^[4]

2.4.7 Posibles maneras de exponerse al arsénico

Las fuentes principales de la contaminación arsenical son las fundidoras, el agua de ciertas regiones, el humo del tabaco, algunos plaguicidas, los huevos de gallinas criadas en régimen industrial (se les da arsénico para combatir los parásitos) y los mariscos. ^[6]

2.4.8 Maneras de reducir el riesgo de exposición al arsénico

- Evitar inhalar aserrín de la madera tratada con arsénico
- Nunca quemar madera tratada ni aserrín
- Lavarse las manos antes de sentarse a comer

Para protegerse de los daños se pueden tomar dosis de yodo orgánico, megadosis de vitamina C y comer diversos germinados.

2.5 Sistemas de Información Geográfica.

Los Sistemas de Información Geográfica permiten realizar análisis complejos de la realidad espacial rápidamente, es por eso que para un mejor entendimiento de la distribución de metales pesados en los suelos de Torreón, se utilizó el software ArcGis.

Entre los beneficios que se obtienen al plasmar los datos en un SIG, se listan los siguientes:

- Optimizar recursos.
- Aumentar la productividad.
- Fomentan la competitividad.
- Facilitan el salto de la brecha digital.
- Reducen los costes de producción.
- Simplifican los procesos productivos. ^[25]

2.5.1 Definición de los sistemas de información geográfica

Un sistema de información geográfica se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos cuyo objetivo básico es el de la comprensión y el uso de datos de manera espacial, están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar,

analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

Un SIG, es un sistema de cómputo que sirve para almacenar, analizar y representar datos relativos a la superficie terrestre, para poder tener una mejor comprensión de ciertos aspectos que de otra forma sería difícil visualizar, permite manejar conjuntamente la cartografía y las bases de datos alfanuméricos asociadas.

Su importancia radica en que un sistema de información geográfica resulta la solución para muchos problemas que frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información, usando la geografía para analizar y establecer patrones, relaciones y tendencias en la información, todo tendiente a contribuir a tomar mejores decisiones. ^[26]

2.5.2 Antecedentes de los sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica surgieron por la necesidad de tener una visualización, de plasmar una información sobre cierta superficie u objeto para tener una mejor comprensión de diversos aspectos o datos.

Los SIG no se habrían desarrollado si no existiera la cartografía, ésta surgió por la necesidad de representar sobre un objeto o superficie esférica parte o la totalidad de la superficie terrestre, los objetos que en ella se puedan observar y los fenómenos que puedan producirse. ^[27]

En el año de 1854 el médico John Snow, cartografió en un ya famoso mapa la incidencia de los casos de cólera en el distrito de Soho en Londres. Este mapa permitió a Snow localizar con precisión un pozo de agua contaminado como la fuente causante del brote. Si bien la cartografía ya existía, el mapa de Snow fue el único hasta ese momento que, utilizando métodos cartográficos, por primera vez analizaba conjuntos de fenómenos gráficos dependientes. ^[28] La investigación del Dr. Snow no sólo es el inicio de los sistemas de información geográfica sino que fue clave para el desarrollo de la epidemiología, la reforma

de los sistemas de manejo de los residuos urbanos y de la teoría de los microorganismos presentes en el agua como causantes de enfermedades. [29]

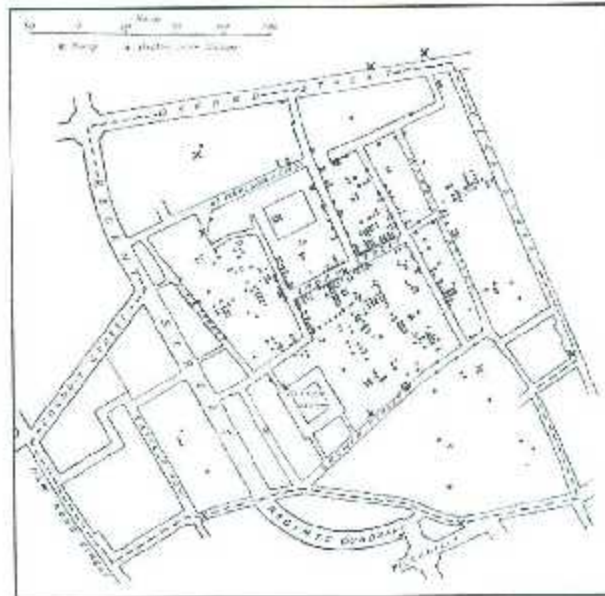


Figura 2.1.- Mapa original del Dr. John Snow. Los puntos son casos de cólera durante la epidemia en Londres de 1854. Los cruces representan los puzes de agua de los que bebían los enfermos.

En los años 1960 y 1970 emergieron nuevas formas de utilizar los mapas, para la valoración de recursos y planificación. En el año 1962 que se vio la primera utilización real más similar a lo que conocemos hoy en día como SIG, para ser exactos en Ottawa, Canadá por parte del Departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural, desarrollado por Roger Tomlinson, fue utilizado para almacenar, analizar y manipular datos recogidos para el Inventario de Tierras de Canadá.

En 1964, Howard T. Fisher formó en la Universidad de Harvard el Laboratorio de Computación Gráfica y Análisis Espacial, donde se desarrollaron una serie de importantes conceptos teóricos en el manejo de datos espaciales, y en la década de 1970 había difundido código de software y sistemas germinales.

En la década de 1980, emergieron los primeros proveedores comerciales de software SIG, entre ellos M&S Computing (Intergraph), Environmental Systems Research Institute (ESRI) y CARIS (Computers Aided Resource Information System). Incorporando con éxito las características del primer SIG Canadiense. Esta década representa la fase comercial de los SIG.

Los 90's fueron años de fuerte aumento de las empresas que comercializaban estos sistemas, debido al crecimiento y popularización de los SIG en estaciones de trabajo UNIX y ordenadores personales.

A partir del año 2000 se ha dado la explotación del recurso, debido al fuerte desarrollo de internet, tecnologías móviles y sistemas de posicionamiento, propiciando la expansión del software SIG. ¹³⁰

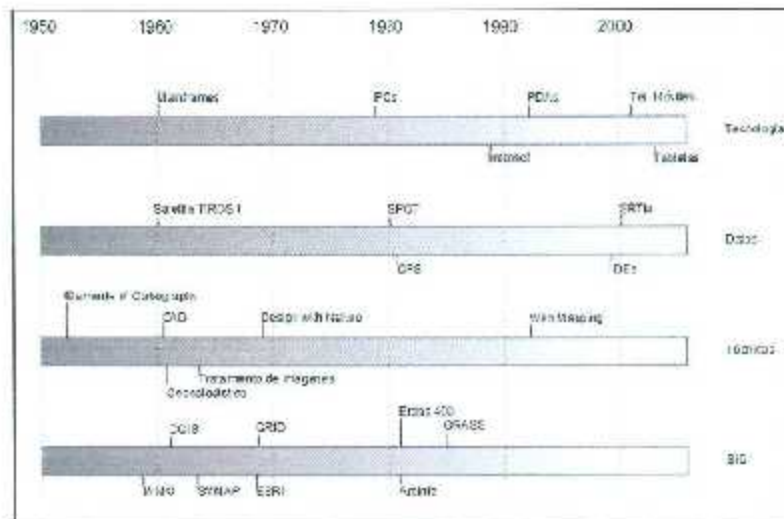


Figura 2.2.- Esquema temporal de la evolución de los SIG.

2.5.3 Componentes de un SIG

Los elementos que componen un Sistema de Información Geográfica son:

- Hardware
- Software
- Información
- Personal
- Métodos



Figura 2.3.- Elementos que componen un SIG

Hardware: Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadores, desde equipos personales hasta configuraciones de red, una organización requiere de hardware suficientemente específico para cumplir con las necesidades de aplicación.

Software: Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, y mostrar la información geográfica, los principales componentes del software son:

- Base de datos
- Interfaz gráfica
- Herramientas para captura y manejo de información geográfica
- Herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos.

Información: El componente más importante para un sistema de información geográfica es la información. Se requiere de adecuados datos de soporte para que el SIG puede resolver los problemas y responder a las cuestiones de la manera más acertada posible. La recolección de datos es un proceso que frecuentemente demora el desarrollo de productos útiles

Personal: Las tecnologías SIG son de valor limitado si no se cuenta con los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se desactualiza y se maneja erróneamente, el hardware y el software no se manipularían en todo su potencial.

Métodos: Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividades definidas, que son los modelos y prácticas operativas exclusivas en cada organización.^[26]

2.5.4 Funcionamiento de los SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta manera al señalar un objeto, conoces sus atributos, e inversamente,

preguntando por un registro en la base de datos, puedes identificar la localización de este objeto.

El principal objetivo de un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y almacenarlas independientemente, para así trabajar con cualquiera de ellas de manera rápida y sencilla.

Las principales cuestiones a las que responde un SIG son:

- Localización. ¿Qué hay en...?
- Condición. ¿Dónde sucede que...?
- Tendencias. ¿Qué ha cambiado...?
- Rutas. ¿Cuál es el camino óptimo...?
- Pautas. ¿Qué pautas existen...?
- Modelos. ¿Qué ocurriría si...?

Cuestiones que resultan primordiales en actividades relacionadas con la planificación, investigación, distribución y monitoreo de recursos. En el presente trabajo el principal interés del uso de un SIG es el monitoreo del impacto que han tenido las actividades humanas en el medio ambiente.

2.5.5 Construcción de bases de datos geográficas

La construcción de una base de datos implica un proceso necesario para poder pasar de la complejidad de la vida real a una representación que pueda ser procesada por el lenguaje de las computadoras actuales. Este proceso consiste en diversos niveles y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas, en esta fase y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.^[26]

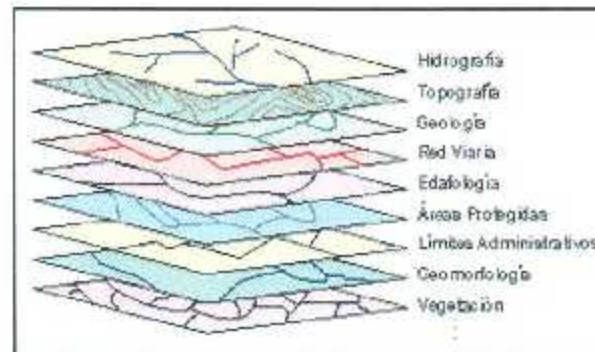


Figura 2.4.- Capas a incluir en un SIG [26]

La estructuración en capas conlleva cierto nivel de dificultad, el tipo de procesamiento que requieren los computadores conlleva a trabajar con las formas más primitivas de dibujo, la complejidad de la realidad queda reducida a líneas, puntos y polígonos. En segundo lugar la topología, que en realidad es el método lógico-matemático usado para definir las relaciones espaciales entre los objetos geográficos puede llegar a ser bastante compleja, debido a que muchos elementos interactúan con la realidad. La topología de un SIG reduce sus funciones a conocer por ejemplo si determinada línea pertenece a un polígono, o bien saber que agrupación de líneas pertenece a una carretera. [25]

2.5.6 Representación de la Información

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Existen dos formas de almacenar los datos en un Sistema de Información Geográfica: SIG vectoriales y SIG Raster. No existe un modelo que sea superior a otro, cada uno tiene una utilidad específica.

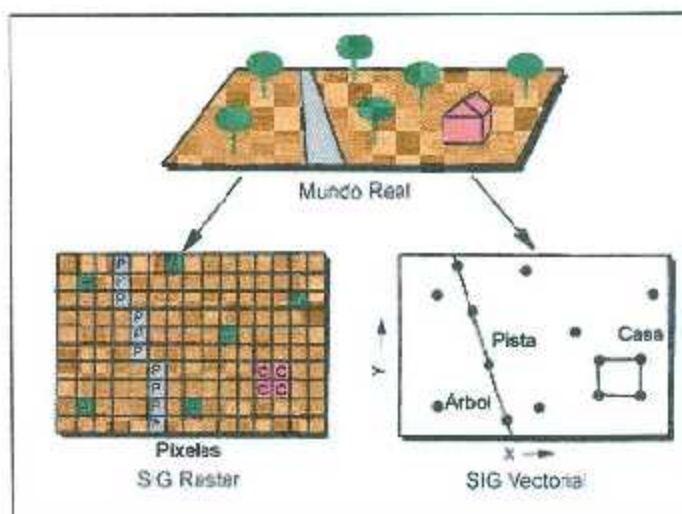


Figura 2.5.- Modelo Ráster y Modelo Vectorial

Los SIG que manejan los datos en forma vectorial resultan más populares a niveles comerciales, sin embargo los SIG ráster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, son utilizados normalmente en estudios medio ambientales donde no es necesario tener una excesiva precisión espacial (contaminación ambiental, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc).

2.5.6.1 Modelo Ráster

Los datos ráster representan una rejilla rectangular de píxeles o puntos de color, denominada matriz. Un píxel es la unidad más pequeña de información en una imagen y cada uno representa un valor único, la combinación de éstos da lugar a las imágenes que podemos apreciar normalmente. Algunos de los valores registrados que puede almacenar cada píxel son: color, uso de suelo, valores continuos, temperaturas, o un valor nulo si no se dispone de datos. Este tipo de modelo se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. El tipo de datos ráster reflejará una abstracción de la realidad.

Algunos ejemplos de datos raster son las fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales e incluso mapas escaneados, pues su único propósito es mostrar una imagen detallada sobre la que se realizarán labores de digitalización.^[31]

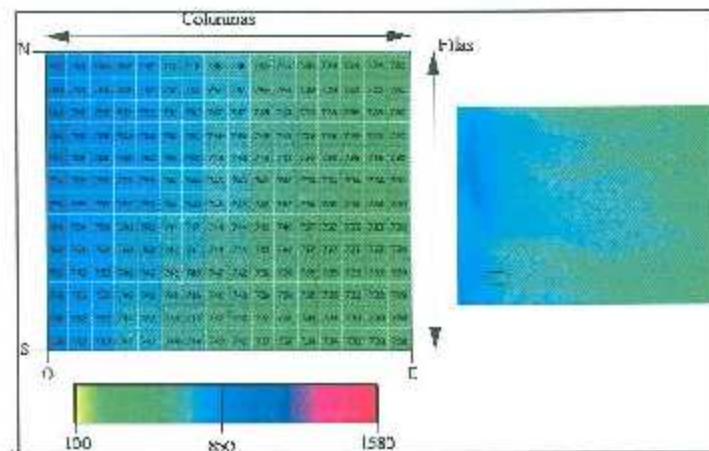


Figura 2.6.- Visualización Raster

2.5.6.2 Modelo Vectorial

Un SIG trabaja frecuentemente con vectores, para mantener las características geométricas de las figuras. El principal interés del método vectorial es centrarse en la localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar constan de límites definidos.

Todas las geometrías que componen un espacio vectorial están vinculadas a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo una fila que describe bosques puede contener datos sobre el nivel de contaminación en éstos.

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

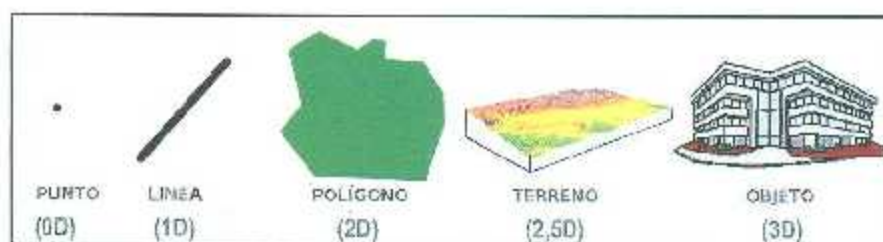


Figura 2.7.- Dimensión espacial de los datos de un SIG.

- **Puntos:** Se utilizan para representar una ubicación. Los puntos transmiten la menor cantidad de información de estos tipos de archivo y no son posibles en las mediciones. También se utilizan para representar zonas a una escala pequeña.
- **Líneas o polilíneas:** Son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, curvas de nivel, etc. En estos elementos es posible medir la distancia.
- **Polígonos:** Son utilizados para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra. Estas entidades pueden representar lagos, límites de parques naturales, edificios, etc. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información y permiten medir perímetros y áreas.

En el presente trabajo se utilizó el software Arcgis para la elaboración de los mapas de distribución de metales pesados, se utilizó un formato de tipo raster porque era el que se nos acoplaba mejor para representar los niveles de contaminación que existen en la ciudad debido a la acumulación de metales pesados.

Capítulo III.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

3.1 La contaminación por plomo en el mundo

Los daños causados por el plomo dependen de la cantidad y la frecuencia de la exposición a éste metal. Saturnismo es el nombre que se le da al envenenamiento que produce el plomo en los seres humanos. El polvo, el agua y los gases contaminados con plomo perjudican el cerebro, los riñones, el hígado y otros órganos.

El envenenamiento por plomo se da luego de que las personas han estado expuestas a dosis de éste metal durante largos periodos de tiempo, tras un análisis de sangre se detecta si el cuerpo ha absorbido cantidades peligrosas para su salud. Si se encuentra un alto nivel de plomo, significa que la persona no es capaz de eliminarlo de forma natural.

Las comprobaciones del daño del plomo han llevado a América Latina, Estados Unidos, Europa y otras naciones a aplicar regulaciones y normativas contra el uso del material tóxico encontrado en las producciones de pinturas, cosméticos, corrosión de tuberías, gasolina, entre otros componentes.

Se estima que en los niños la exposición al plomo causa anualmente 600,000 nuevos casos de discapacidad intelectual. La exposición al plomo se cobra cada año un total estimado de 143,000 vidas, registrándose las tasas más altas de mortalidad en las regiones en desarrollo.

Alrededor de la mitad de la carga de morbilidad asociada a la intoxicación por plomo se concentra en la Región de Asia Sudoriental de la OMS, en tanto que la Región del Pacífico Occidental y la Región del Mediterráneo Oriental acaparan una quinta parte de cada una. No

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torroón.

existe un nivel de exposición al plomo que pueda considerarse seguro, la intoxicación por plomo es totalmente prevenible. ^[32]

3.1.1 Principales países afectados por la contaminación por plomo

Entre los sitios que presentaron un mayor problema de contaminación en el año 2013 según estudios del Instituto Blacksmith y la fundación Green Cross se listan: Haina (República Dominicana), Ghana, Kabwe en Zambia (África), Oroya (Perú), Rudnaya Pristan, Dzerzhinsk (Rusia), Indonesia (Asia), Argentina (América Latina). Cabe mencionar que esta lista representa los países más contaminados, pero es importante señalar que el problema es en realidad mucho más grande que sólo estos sitios. Se estima que la salud de más de 200 millones de personas está en riesgo debido a la contaminación en el mundo en desarrollo.

En Estados Unidos casi medio millón de niños está afectado de contaminación por plomo. En México, se aplican tres normas (NOM-0007-SSA1-1993, NOM-0003-SSA1-1993, y NOM-004-SSA1-1193) para impedir el uso de pinturas o tintas, lacas, esmaltes con plomo en juguetes, lápices, plumas, colores para dibujar, plastilinas, cosméticos, pinturas para viviendas, y muebles entre otros productos. ^[33]

En los países asiáticos, un estudio examinó los impactos del plomo en la inteligencia de los niños, se conoce que la exposición a pequeñas cantidades de éste metal da lugar a una pérdida significativa de CI. El estudio [Caravanos et al (2013)], estima que cerca de 200,000 niños sufrieron 5 puntos de reducción de su coeficiente intelectual, en promedio, existieron casos donde niños perdieron casi 15 puntos de CI. Este resultado se considera una estimación conservadora del impacto real en los niños asiáticos. Existe también evidencia que los individuos con exposiciones a altos niveles de plomo en su infancia, tienen más probabilidades de verse involucrados en violencia social o actividades delictivas. ^[34]

En Sudáfrica en el año 2002, Investigadores de Consejo de Investigación Médica colectaron muestras de sangre de alumnos de primer grado en municipios pobres de Johannesburgo para comprobar su exposición al plomo, los niveles eran altos para los estándares de hoy en día teniendo un promedio de 9 µg/dl, pero una estudiante presentaba 52 µg/dl, muy por encima de la recomendación que normaliza Estados Unidos que es de 5 µg/dl.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Terroón.

Investigando a fondo para explicar las causas de tan alta exposición, descubrieron que en el apartamento de la niña faltaban parches en la pintura de las paredes de toda la vivienda, preocupados por lo encontrado en el departamento de la niña, se encuestaron hogares de todo Johannesburgo descubriendo que el 20 % de los hogares tenía pinturas a base de plomo en las paredes en concentraciones miles de veces más altas que lo que indica la norma actual de Estados Unidos (90 ppm), cuando los investigadores probaron las pinturas de los juguetes de los niños, los niveles descubiertos fueron alarmantes tan altos como 135,000 ppm, juguetes que incluso llevaban las marcas de dientes de los infantes.

Los compuestos de plomo son añadidos a pinturas para mejorar la opacidad y durabilidad. Estas pinturas han sido implicadas en intoxicaciones infantiles al menos desde 1904. En Estados Unidos la venta de éste tipo de pinturas fue limitada desde 1955, pero no se prohibió absolutamente hasta 1977, cuando la concentración permisible era de 600 ppm. Siendo hasta el año 2009 el límite oficial a 90 ppm. Una coalición medio ambiental realizó estudios de los países que aún seguían vendiendo pinturas con pigmentos de plomo, localizando numerosos países en desarrollo entre ellos: Belarus, Brasil, China, India, Malasia, México, Nigeria, Tanzania, entre otros. Ésto se debe a que en un inicio nadie le prestaba atención al problema, resultando más económico conseguir pigmentos a base de plomo, pero sobre todo a que han sido implementados por mucho tiempo, resultan fáciles de producir, están ampliamente disponibles, son más durables y tienen mejores colores. ^[35]

La figura 3.1 enlista los países que continúan vendiendo pinturas decorativas con altos pigmentos de plomo:



Figura 3.1.- Principales países afectados por incluir plomo en sus pinturas. [35]

A nivel mundial los niveles de plomo en la sangre de los niños han disminuido considerablemente, debido en gran parte a la eliminación de la gasolina con plomo en la mayoría de los países, sin embargo el 49 % de todos los niños y el 42 % de los adultos tienen niveles de plomo en la sangre por encima de 5 µg/dl, y la exposición al plomo de las pinturas, residuos de escape de gasolina, la minería, reciclaje de baterías y otras fuentes contribuye a 600,000 nuevos casos de discapacidad intelectual cada año, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Ésta y otras fuentes importantes de intoxicación por plomo necesitan acciones inmediatas, en particular en los países en desarrollo, los cuales son el hogar del 90 % de los niños con los niveles de plomo más altos. La carga social de plomo incluye casos de criminalidad y violencia, además estudios recientes estima que la amplia pérdida de puntos en el coeficiente intelectual de la población es resultante de pérdida de ingresos hasta por 977 mil millones al año en la disminución de la productividad.

En la imagen siguiente se muestran las principales causas de muertes causadas por la contaminación.

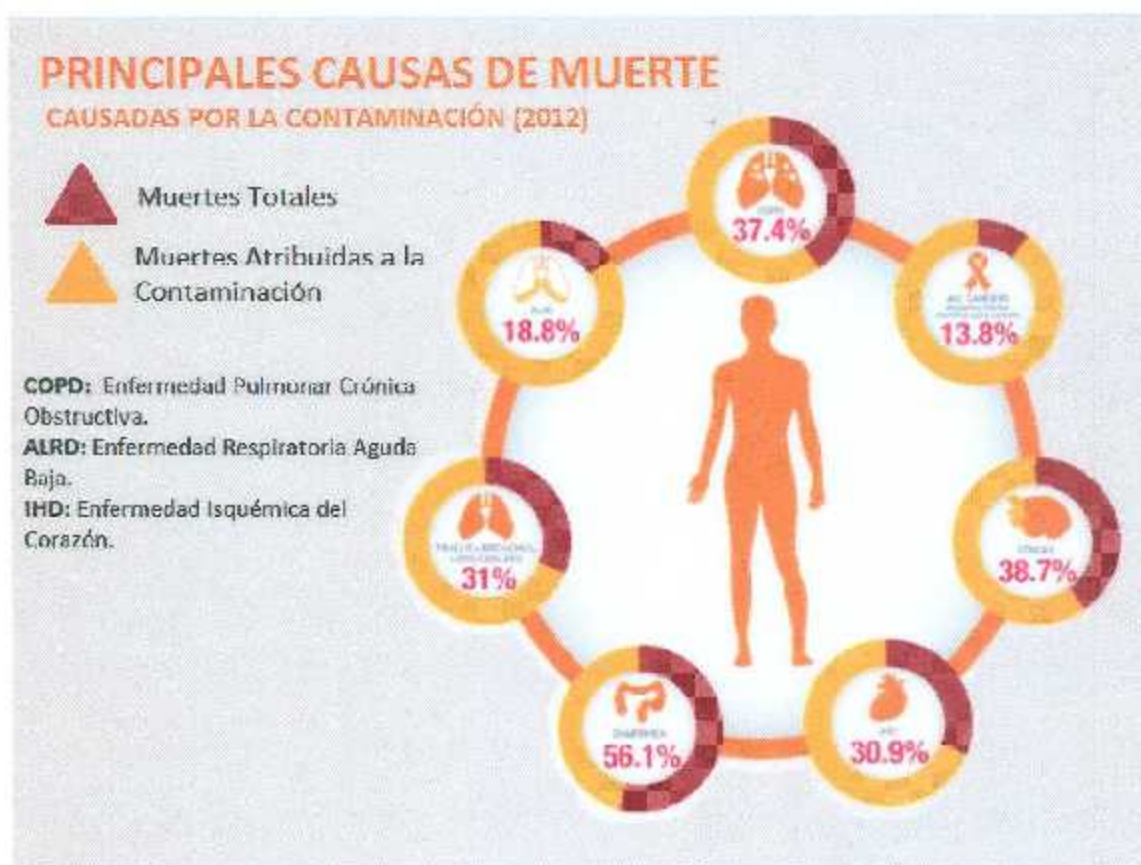


Figura 3.2.- Principales causas de muerte por la contaminación. [34]

3.1.2 Magnitud del Problema en Kabwe, Zambia

Un estudio de la salud en 2006, descubrió que, en promedio, los niveles de plomo en la sangre de los niños en Kabwe superan los niveles recomendados entre cinco y diez veces sobre el máximo permitido por la EPA (Environmental Protection Agency). Este fue el resultado de la contaminación de la minería de plomo en la zona. En 1902 se descubrieron ricos yacimientos de plomo. Las vetas de mineral con concentraciones de plomo de hasta 20%, se excavaron profundamente en el terreno y se montaron instalaciones de fundición para el procesamiento de mineral extraído. Se encontraron abundantes depósitos de mineral sulfuroso consistente en silicatos, óxidos y carbonatos de plomo, con porcentajes de concentraciones que promediaban el 34 %. Las operaciones de extracción y fundido del mineral se mantuvieron casi continuamente hasta 1994, sin que el gobierno asumiera el peligro potencial del plomo. Ese proceso de fundición se realizó sin regulación alguna, provocando que se liberaran metales pesados en forma de partículas de polvo, que se asentaron en la tierra y en las zonas circundantes. La mina y la fundición no están actualmente operativas pero dejaron a la ciudad envenenada. Algunas concentraciones de plomo en el suelo fueron registradas en el orden de los 2,400 ppm, en otros estudios, la dispersión del plomo, cadmio, cobre y zinc en el suelo se extendía hasta un radio de 20 km alrededor de los procesos de extracción y fundición. La concentración en los suelos de estos cuatro metales superaba el límite máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud.⁽³⁶⁾

En Estados Unidos los niveles permisibles de plomo en la sangre son menores a 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ ⁽³⁷⁾. Los síntomas de envenenamiento agudo ocurren a partir de 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$, provocando vómitos, diarrea y llegando a espasmos musculares y daño hepáticos, niveles arriba de 120 $\mu\text{g}/\text{dl}$ llegan a producir la muerte. En algunos barrios de Kabwe se llegó a registrar concentraciones en sangre de niños de 200 $\mu\text{g}/\text{dl}$, el promedio se encontraba entre 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$ y 100 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Los niños que juegan en el suelo y los jóvenes que excavan las escorias del metal, son los más susceptibles al plomo producido por la extracción y fundición. Un pequeño arroyo que corre desde la mina hasta el centro de la ciudad y ha sido usado para llevar residuos desde la alguna vez activa fundición no tiene restricción alguna, y en ocasiones los niños locales lo

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

usan para tomar baños. Adicionalmente al agua, los secos y polvorientos patios de las casas de los trabajadores son una fuente significativa de contaminación local. Una de las formas más comunes en que los trabajadores y residentes se exponen a los niveles tóxicos de plomo es a través de la inhalación del polvo contaminado que se aloja en sus pulmones. Si bien las minas están cerradas, la actividad artesanal en las pilas de desechos sigue. [36]



Figura 3.3.- Kabwe, en el centro de Zambia, donde la actividad minera es causante de la contaminación del lugar.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

3.1.3 La contaminación por plomo en México

México figura entre los 15 países de mayor producción de plomo, utilizado en diversos procesos industriales; desde tetraetilo de plomo hasta baterías, pigmentos, pinturas y soldaduras. Más de la mitad de la producción nacional se exporta.

Uso	México	Países Industriales
Baterías	18	63
Antidetonante	12	2
Cables	1.5	5

Tabla 3.1.- Principales porcentajes de usos del plomo en México y países industrializados en el año de 1990. ^[14]

En 1991, México fue el séptimo productor mundial de plomo, su producción anual fue de 160,460 toneladas métricas, lo que representa el 4.9 % del total mundial, en 1998, México fue el sexto productor mundial, con 171,610 toneladas y para 2008 México fue el quinto lugar con una producción de 141,000 toneladas. ^[25]

En la actualidad los principales estados productores de éste mineral son Chihuahua y Zacatecas, con aproximadamente 70 % de la producción del país, seguidos de Durango, México, Hidalgo, San Luis Potosí y Guerrero. ^[38]

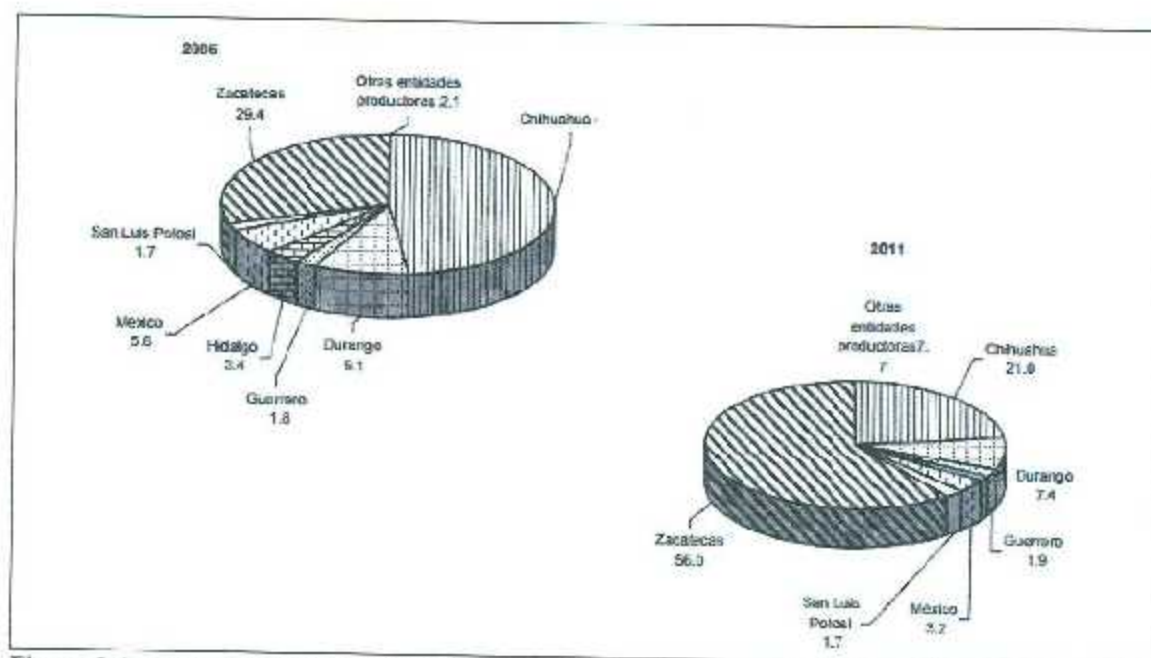


Figura 3.4.- Estructura del volumen de la producción de plomo por principales estados productores 2006 y 2007 (Porcentaje). [38]

Diversos estudios determinaron el origen de la contaminación por plomo en el país. En primer término, la gasolina, seguida de la cerámica vidriada y cocida a baja temperatura, las pinturas y la soldadura.

El consumo de plomo en México era utilizado principalmente para la elaboración de gasolina, fue incrementándose de 7,298 ton/año en 1985 hasta 15,020 para 1995. En el año de 1986, motivado por los elevados niveles de plomo en el aire de la ciudad de México, el gobierno acordó con representantes de la industria automotriz la gradual eliminación de la gasolina con plomo y la instalación de convertidores catalíticos en los automóviles nuevos. En el año de 1990 se comenzó el uso de la gasolina sin plomo Magna. [39]

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Marca	Año							
	1978	1979	1980	1984	1985	1986	1991	1994
Extra	0.924	0.02	0.02	0.02	0.013	0.013	Descontinuada	---
Nova	0.924	0.924	0.924	0.264	0.132- 0.264	0.132- 0.264	0.13-0.264	0.2
Magna sin plomo	--	--	--	--	--	--	Sin plomo	Sin plomo

Tabla 3.2.- Contenido de plomo en las gasolinas mexicanas (ml/l.)^[39]

Mejorar la gasolina fue uno de los programas oficiales que recibieron atención prioritaria al igual que controlar las emisiones de las industrias que, como las de fundición, las fábricas de acumuladores y los cientos de talleres de reparación de estos, emitían al aire variadas cantidades de éste metal, que luego se depositaban en polvo en el agua y suelo, terminando finalmente en el cuerpo humano.

Hace 20 años también la pintura que se utilizaba para señalamientos de vialidad, útiles escolares, entre otras tenían altas concentraciones de plomo que finalmente afectaba a la población expuesta. En cuanto a la cerámica vidriada estaba probado su peligro. Esta cerámica se utilizó en el país para cocinar, servir y guardar alimentos que contienen por ejemplo, chile, jugos de limón o naranja y tomate, los cuales con su acidez provocan el desprendimiento del plomo. Estudios encontraron los mayores niveles de plomo en platos y jarros elaborados en Jalisco y Oaxaca, vendidos también en la ciudad de México.

Aunque el plomo no ha sido del todo eliminado de las fuentes que lo originan y causan daños a la salud, los logros han sido muy importantes y se puede decir que, por lo que hace a las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla, León y Tijuana, es un contaminante menor y cada vez más controlado.^[40]

3.1.4 La contaminación por plomo en la Comarca Lagunera

3.1.4.1 Ubicación y clima de la Comarca Lagunera

La comarca lagunera, comprendida en la parte central del norte de México, en los márgenes del Río Nazas entre los estados de Coahuila y Durango, está conformada por cinco municipios del estado de Coahuila los cuales son: Torreón, San Pedro, Matamoros, Francisco I. Madero y Viesca y diez municipios del estado de Durango siendo: Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Mapimí, San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero, Rodco, Nazas, General Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe. Es la novena zona más poblada de México.

Debe su nombre a los cuerpos de agua, es decir a las trece lagunas que anteriormente existieron, entre ellas la Laguna de Mayrán, la más grande de Latinoamérica, que se alimentaba por los ríos Nazas y Aguanaval hasta antes de la construcción de las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco.

Es una zona caracterizada por sus limitados recursos hídricos y su clima seco muy caluroso en verano y caluroso frío en invierno. Está circundada por cadenas montañosas con zonas predominantemente áridas y semiáridas, donde por razones climáticas y de relieve, se tiene reducida disponibilidad de agua. La escasa precipitación y las características del terreno solamente favorecen la aparición de corrientes intermitentes y efímeras. Sólo los principales ríos tienen flujos permanentes.

En la Laguna, se observan cuatro usos principales del agua, que en orden de importancia son: agrario (89 %), público urbano (7 %), pecuario (2 %) e industrial (2 %). Para satisfacer esas necesidades el 60.6 % del agua es proveniente de los acuíferos: Principal, Ceballos y Oriente Aguanaval; el 39.4 % restante del volumen proviene de aguas superficiales. ⁽¹¹⁾

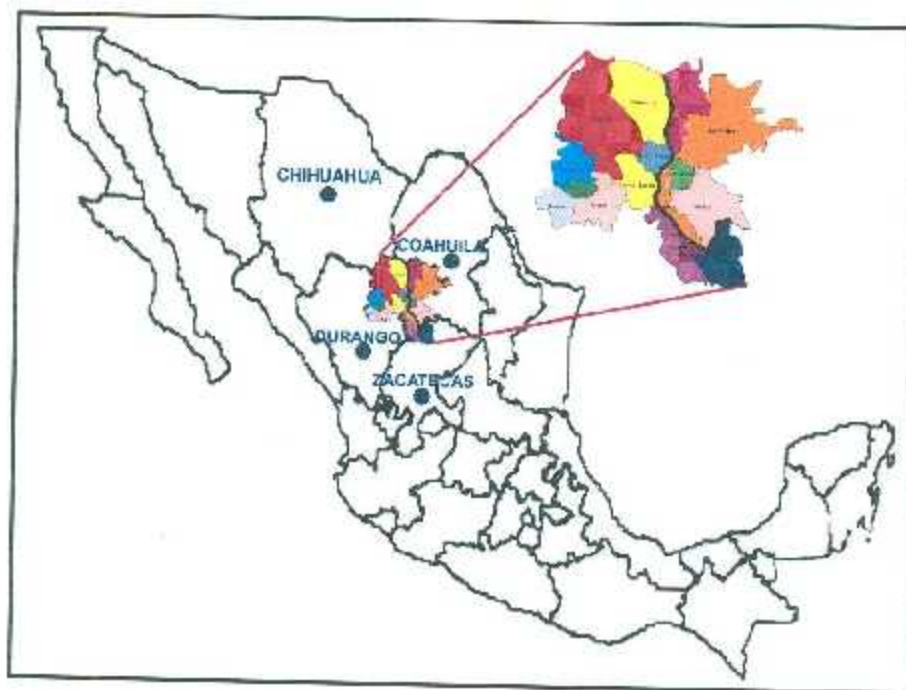


Figura 3.5.- Distribución de la Comarca Lagunera en la República Mexicana [27]

3.1.4.2 El problema del plomo en la Comarca Lagunera.

El envenenamiento por metales pesados entre los pobladores de la Comarca Lagunera es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para la salud. Sin embargo, los estudios, las denuncias y las acciones que se han realizado en torno a éste problema tienen como actor principal al plomo. Ésto no significa que sea el más tóxico de los tres, de hecho ocurre lo contrario, pero es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente, y por ende, causa más problemas y más preocupación en el mundo. [42]

El problema de Torreón se debe al funcionamiento de la fundidora Peñoles, la planta procesadora de metal más grande de América Latina y la cuarta más grande del mundo. La planta incluye una fundidora de plomo, una refinería de plomo/plata y una planta de refinería electrolítica de zinc, y está rodeada por zonas residenciales. [6]

La contaminación por plomo en Torreón comenzó a ser detectada a finales de los 70's: La doctora Lilia Albert realizó los primeros estudios sobre el problema del plomo en Torreón

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

en 1978. Desde entonces sus hallazgos y las denuncias que le siguieron cayeron en oídos sordos. [43]

El doctor Víctor Calderón Salinas, ha realizado diversos estudios en la zona a partir de 1986, estos reportes provocaron denuncias de ciudadanos y de organizaciones ambientalistas, sin que se les presentara atención oficial. Diversos estudios han demostrado que Torreón presenta concentraciones de plomo y arsénico superiores a los que establece la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) para considerarlos seguros.

En 1998, el pediatra José Manuel Velasco, empezó a ordenar análisis de sangre, encontrando resultados alarmantes, de 51 niños analizados, 24 tenían niveles de plomo en sangre superiores a 10 µg/dl. [42]

Ya desde 1999, La Agencia de protección al ambiente (EPA) había dictaminado que cuando menos en 4 kilómetros y medio de radio, Peñoles envenena el ambiente pero también a los niños que habitan en éste espacio. Según Estudios de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFIPA) del año 2005, existían al menos 35,000 niños con altos niveles de plomo en su sangre.

En Torreón el problema continuaba agravándose, para el año 2008 al menos 80 niños de esta ciudad nacieron con más de 10 µg/dl, probando que el envenenamiento sigue dañando la salud de los infantes. [44]

Sin embargo y aún después de ver los resultados tan alarmantes, las autoridades parecen no mostrar interés alguno, no realizan acciones pertinentes para minimizar el problema, sus acciones resultan deficientes, aplicando normas laxas con reglamentos inútiles muy por encima de niveles que resulten seguros para la población.

En el año 1999 se realizaron audiencias públicas, tomando diversas medidas de control, incluyendo la reducción parcial y temporal del funcionamiento de la planta Peñoles, para reducir las emisiones de ésta, quizá el caso más escandaloso, demostrando la incompetencia de las autoridades para trabajar con normas ambientales dignas, fue el levantamiento de la clausura parcial de la planta, con un criterio de tolerancia de plomo en suelo considerablemente alto, expresado no en unidades de concentración sino de carga (600

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

miligramos de plomo por metro cuadrado de superficie). Éste valor es tan alto que de la noche a la mañana desapareció el problema de la contaminación de plomo en Torreón, y se decretó el regreso de la planta a su pleno funcionamiento.

Se conoce que el problema es por ingestión, al vivir en un ambiente contaminado, al contacto con las manos y llevarlas a la boca, el plomo se inerusta iniciando el envenenamiento. Sin embargo esto se controlaría efectivamente si las normas de existencia de plomo por pie cuadrado se respetaran.

Actualmente la norma internacional permite un máximo de 34 miligramos por gramo de suelo, es decir 3,400 microgramos. Según la Organización Mundial de la Salud lo máximo tolerable resulta en 120 microgramos por metro cuadrado, la norma aplicada de 600 miligramos queda muy por encima de estos estándares, mostrando una irregularidad irrefutable convalidada por las autoridades sanitarias estatales.^[41]

El 5 de abril de 2009, el secretario de Salud de Coahuila, Raymundo Verduzco Rosan, intentó minimizar el hecho de la aparición de los recién nacidos envenenados, como consecuencia del plomo esparcido por la empresa metalúrgica, afirmó sin mostrar cifras que los casos de envenenamiento con el metal se encuentran a la baja. Incluso, fue a más. Redujo arbitrariamente el área de la ciudad que con certeza es depósito de las emisiones de la metalúrgica Peñoles a 3 kilómetros. De acuerdo con sus declaraciones durante 2008 nacieron 19 mil torreconenses. En ese universo, se registraron 80 nuevos casos, pero ahora de recién nacidos, la presencia exagerada de microgramos de plomo por decilitro de sangre, desvelando la infamia que Peñoles está cometiendo.

Imposibilitado a negar que sea Peñoles la fuente de contaminación y envenenamiento de los infantes, Verduzco Rosan reconoció que de las chimeneas de Peñoles emerge la nube negra que corroe los huesos, pudre sangre y atrofia el cerebro.

Conforme al expediente “Comparativo histórico de niveles de plomo en sangre de población infantil de cero a 15 años de edad 1998-2005” sellado por la unidad de salud ambiental. El 30 de julio de 2005, en esos momentos existían 34,796 niños envenenados.

Los números de enfermos se dividían así:

- 24,043 almacenaban sangre menos de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$.
- 6,236 portaban entre 10 y 14 $\mu\text{g}/\text{dl}$.
- 3,696, estaban envenenados con 15 hasta 24.9 $\mu\text{g}/\text{dl}$.
- 799 niños poseían 25 a 44.9 $\mu\text{g}/\text{dl}$.
- Pero también existían 63 niños con 45 a 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$.^[44]

Según estudios del Departamento de Salud de Texas en los Estados Unidos, señala los siguientes efectos del plomo en la salud de los niños:

Sintomas	Nivel de Plomo en la sangre
Parto prematuro, bajo peso al nacer, problemas de desarrollo y aprendizaje	10 a 15 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Cocientes intelectuales (IQ) reducidos	25 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Reflejos más lentos	30 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Menos glóbulos rojos en la sangre	40 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Problemas nerviosos, anemia, cólicos	70 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Problemas estomacales y renales	90 $\mu\text{g}/\text{dl}$
Problemas cerebrales	100 $\mu\text{g}/\text{dl}$

Tabla 3.3.- Efectos del plomo en la sangre en la salud de los niños.^[6]

En Torreón es necesario una atención urgente al problema, que las autoridades que regulan estos problemas sean eficientes, responsables, no manipulables ni corruptas, que mantengan una atención seria respecto al problema y dejen de trabajar sólo para los intereses de los grandes empresarios. Peñoles le ha dejado a Torreón un total de 34,796 niños envenenados, y las medidas tomadas hoy en día para la remediación o control del problema aún dejan mucho que desear, falta un mayor compromiso por parte de todos, de la población, la empresa Peñoles y las autoridades.

3.2 La contaminación por Cadmio en el mundo.

El cadmio resulta ser uno de los elementos de mayor toxicidad de la tabla periódica, se ha relacionado con sus efectos cancerígenos, daños renales y debilidad ósea. Actualmente existen muy pocas investigaciones sobre éste elemento y la población mundial que se encuentra envenenada por éste metal.

Éste metal es poco abundante en la corteza terrestre y difícilmente se encontrara en su estado natural, a menudo se encuentra combinado con otros elementos, se ha comprobado que la acción del hombre ha alterado el equilibrio de éste y ha producido el exceso del metal, logrando que éste llegue a alimentos, a la cadena alimentaria y por tanto al hombre.

El 77 % del uso mundial de cadmio se destina a baterías de cadmio y níquel (NiCd), un 11 % se utiliza en pigmentos, un 8 % en revestimientos y el 4 % restante en otros fines. Entre los países que se conoce tienen problemas por la contaminación por cadmio, se mencionan Ghana, Indonesia, Rusia, Zambia, Japón, República de Corea, Bélgica, Canadá, México, Estados Unidos, Alemania, Suiza, Francia, sólo por mencionar algunos. En los países desarrollados se ha logrado ver una reducción en el uso de éste, no obstante la demanda pudiera repuntar en China e India.^[45]

3.2.1 Principales países afectados por la contaminación por cadmio

El problema más serio reportado hasta la fecha, ocurrió en el valle del río Jintsu en 1912, en Japón, en donde el arroz de consumo local se regaba con agua del río, el cual estaba contaminado con cadmio disuelto, procedente de una mina de zinc y plomo ubicada río arriba. Cientos de personas de esta área, particularmente mujeres de edad avanzada y multíparas presentaron una enfermedad degenerativa de los huesos a la que se llamó "itai-itai" la cual es considerada por múltiples fracturas, alteraciones combinadas con osteoporosis y osteomalacia, daño renal, enfisema pulmonar y anemia. En japonés significa "ay-ay" y le dieron el nombre debido a los gritos de dolor que emitían los afectados.^[46]

En 1972 la Organización Mundial de la salud fijó el valor de cadmio que puede ingerirse semanalmente por un adulto en 400-500 μg . La cantidad en agua bebida debe ser inferior a 5 $\mu\text{g/L}$. La dosis fijada por la OMS es muy baja y esto indica el carácter acumulativo que presenta el cadmio. Por ejemplo en diversas partes de Europa los champiñones contienen más de 50 mg de Cd/Kg de peso seco, es decir el límite que establece la OMS de 500 μg semanales correspondería a la cantidad que contendrían 10 g de champiñones de bosque.

Gran parte del cadmio absorbido en el cuerpo humano es por ingesta, los valores absorbidos dependen de la zona estudiada. Se tiene como valores más bajos, los establecidos por el Reino Unido, para un consumo medio diario de 1.5 kg. El aporte sería de 15 a 30 μg . Estos valores son similares también en Suecia. Sin embargo, países como Japón, Estados Unidos y Canadá prevén un intervalo más amplio, entre 15 y 70 μg por día.

A pesar de estas diferencias ninguno de los valores resulta alarmante pues se cumple el límite establecido por la OMS. Sin embargo debido al aumento de la producción del metal, que se supone se dobla cada 10 años, y que provoca una duplicación de la concentración en la cadena alimentaria cada 20 años, y que el período de acumulación sea tan largo, hace que actualmente se intente comprobar si se llega al umbral de 200 ppm a nivel de córtex renal. Pero estos estudios apenas se encuentran en etapas primarias.

En otras ocasiones las exposiciones a pequeñas cantidades de una sustancia pueden proteger al organismo contra efectos letales de una sola dosis grande, por ejemplo, la exposición repetida a dosis pequeñas de compuestos de cadmio puede proteger a la persona contra dosis que pudieran ser letales para un organismo que anteriormente no hubiera estado expuesto al cadmio.^[47]

3.2.2 Magnitud del Problema en Rudnaya Pristan, Rusia

En los años en que la República Soviética estaba en su esplendor, era natural explotar de sobre manera las minas de esos alrededores, además las fábricas eran muy comunes. Existen ciudades como Rudnaya Pristan, ciudad ubicada sobre la costa del Océano Pacífico

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

que siguen pagando las consecuencias de esa sobre explotación de las minas para conseguir el máximo aprovechamiento, la situación actual deja a gran cantidad de personas que habitan este pueblo contaminadas con diferentes materiales, algo que realmente sufren cada día. Las cifras indican que existen aproximadamente 90,000 personas afectadas, por distintos contaminantes como cadmio, plomo, mercurio y antimonio. Desde el año 1930, el descontrol absoluto de los desechos minerales causó grave contaminación del agua y del suelo.

Este pueblo de Rusia es uno de los más contaminados del mundo, las personas que viven allí presentan altos índices de contaminación, debido a una vieja fundición que se ha encontrado activa hasta hace poco, que ha dejado en suelos, agua y atmósfera gran cantidad de contaminantes, algo que anteriormente no importaba y por desgracia ahora es muy difícil remediar para los ciudadanos de la zona.

Éste tipo de contaminantes es muy difícil de eliminar, pues no resultan biodegradables, lamentablemente resultan muy perjudiciales para la salud de la población quienes en vez de morir sufren durante toda su vida una serie de enfermedades realmente desagradables. El haber querido obtener una máxima productividad durante la Era Soviética ha dejado consecuencias devastadoras para las personas y naturaleza que rodea a este pueblo. Lo más grave es que existe gran parte de la población sumamente desinformada que ignora por completo los riesgos y consecuencias de la situación, por ejemplo es frecuente encontrar casas con jardines llenos de macetas viejas construidas con las carcasas de baterías de los submarinos. De hecho los residentes del área fueron simplemente abandonados a lidias por su cuenta con sus problemas del riesgo de salud.

Actualmente la fundición de plomo se encuentra cerrada, las empresas fabricantes han tomado un poco de conciencia; y los menores están siendo atendidos con fondos de la Organización Blacksmith, con estos fondos se está educando también a los residentes del lugar para diseñar e implementar un plan para remediar los peores problemas de la ciudad. ^[48]



Figura 3.6.- Osteomalacia en los huesos, afección producida por los altos niveles de cadmio en el cuerpo humano.

3.2.3 La contaminación por cadmio en México

En México la exposición al envenenamiento por cadmio se da principalmente por dos maneras, la primera es a través de la cadena alimenticia mientras que la segunda es por el consumo de tabaco contaminado con cadmio presente en los fertilizantes fosfátados.

La fuente más importante de liberación de cadmio al ambiente es mediante el empleo de combustibles fósiles, como el carbón, petróleo, aunque se sabe el cadmio es también liberado durante el refinamiento de metales como el zinc, plomo o cobre. Las personas que trabajan o viven cerca de donde se emiten partículas que pueden contener cadmio, tienen una mayor exposición que el promedio de la población.

Durante los últimos 30 años, la ciudad de México se ha convertido en una de las mayores áreas metropolitanas del mundo. Con un gran número de instalaciones industriales, así como la multiplicación de su población, eso sin mencionar el drástico incremento de sus automóviles, de 956,969 en 1972 hasta alrededor de 3 millones en 1996. ^[46]

El cadmio se acumula en el cuerpo humano principalmente en los riñones, pulmones, huesos entre otros órganos blancos. En los riñones causa hipertensión arterial mientras que si éste es acumulado en los pulmones su absorción resulta mayor, por lo que resulta más peligroso éste metal sea inhalado, siendo uno de los principales causantes de enfisema e incluso cáncer pulmonar.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Para México la concentración crítica en la corteza renal, que da lugar a una prevalencia de 10 % de proteinuria de bajo peso molecular en la población en general, es aproximadamente de 200 mg/kg y se alcanza con una ingestión alimentaria de unos 175 µg por persona durante 50 años. Partiendo de una tasa de absorción de cadmio vía alimentaria de 5 % y de una tasa diaria de excreción de 0.005 % de la carga corporal se estableció un nivel de ingestión semanal tolerable en 7 µg/kg.

El cadmio ha sido asociado también con cáncer de próstata en humanos, así como deformación de huesos, fracturas, proteinuria y glaucoma. Se considera que estas alteraciones logran agravarse por factores dietéticos así como deficiencia de vitamina D. [49]

México participa actualmente en varios convenios internacionales, en los cuales han derivado diversos compromisos y oportunidades para el control de la contaminación por metales pesados entre ellos el cadmio, los principales son:

- **Convenio de Basilea, 1989.** El objetivo de éste convenio, es el de regular los movimientos transfronterizos de materiales y residuos peligrosos.
- **Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), 1990.** En 1990 el Consejo de la OCDE, adoptó la Decisión/Recomendación para la Cooperación en la Investigación y la Reducción de Riesgos de las Sustancias Químicas existentes [C (90)163/Final]. Esta Acta del Consejo de la OCDE, trata de la reducción de riesgos de sustancias químicas al ambiente, o que dañen la salud de la población o los trabajadores. Se basa en la premisa de la cooperación internacional en actividades de reducción de riesgos que favorezcan los aspectos institucionales y técnicos del manejo de riesgos en los países miembros al compartir esfuerzos para reducir la duplicación de éstos. Dentro de la OCDE se manejan cuatro sustancias, tres de las cuales son metales pesados: cadmio, plomo y mercurio. [45]

En especial en zonas donde existe sequía y las superficies carecen de cobertura vegetal, es más común que el viento levante partículas de polvo o de contaminantes dañinos para la salud. A medida que estas partículas son más pequeñas resultan tener mayores efectos en la

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

salud. Si estas partículas resultan muy finas, menores a un micrómetro de diámetro, son las que tienen mayor repercusión en la salud humana, pues son causantes de muchos de los problemas respiratorios. Entre más pequeñas es más fácil que floten, además de que entran al torrente sanguíneo y los pulmones. Por lo tanto un problema derivado de la contaminación de suelo, es la contaminación del aire.

3.2.4 La contaminación por Cadmio en la Comarca Lagunera

En la ciudad de Torreón, se han encontrado los niveles de concentración de cadmio más elevados jamás reportados por la literatura científica. La presencia de éste metal en tan altas concentraciones en los suelos, representa una amenaza para la salud de los seres vivos. Las concentraciones de éste se debe en principio a las actividades propias de la región, teniendo a la minería como factor principal, seguido de la fundición de metales, la quema de combustibles fósiles, el uso de fertilizantes fosfatados que durante muchos años se utilizaron en la laguna, por su auge en la agronomía, cuando el algodón tenía gran producción en la comarca, las baterías de cadmio que son desechadas en el suelo, entre otros.

Según investigaciones que se han llevado por distintas universidades de la región entre ellas el Instituto Tecnológico de la Laguna (ITL) y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), han reflejado la presencia de cadmio en el agua y en el suelo en concentraciones demasiado altas. Éste elemento ocasiona graves daños a la salud es un metal pesado no esencial en ninguna concentración para los seres vivos

Hay que tomar en cuenta que los límites de la norma mexicana han sido superados, y saber también que las normas mexicanas en relación a los metales pesados no suelen ser muy compatibles con las de otros países, las normas mexicanas son muy altas en sus límites permisibles. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que el límite de detección estimado para la aspiración directa de cadmio es de 0.0004 mg/L en comparación a la norma mexicana que indica éste debe ser de 0.005 mg/L, es decir más de 10 veces mayor. Estas diferencias son demasiado amplias entre ellas, mientras que los países más desarrollados tienen normas más estrictas en cuanto a los límites permisibles para la regulación de las

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

concentraciones de metales pesados. Por esta razón es necesario todas las normas mexicanas sean analizadas nuevamente, para tener un mejor control de las emisiones de metales pesados hacia la atmósfera, agua y suelo. ^[50]

3.3 La contaminación por arsénico en el mundo

El arsénico en altas concentraciones resulta muy tóxico y grave para la salud, es común que éste se encuentre en suelos y aguas subterráneas en todo el mundo, pero es particularmente peligroso en algunos lugares.

El origen general del arsénico es natural, está presente en materiales geológicos en los que abunda éste elemento, así como en actividades volcánicas. Es tóxico para la salud humana y animal, y entre los lugares más afectados por este problema destaca el continente asiático.

Por ejemplo muchos habitantes de la India no sólo tienen problemas por beber agua contaminada por arsénico, sino que además los cultivos de los cuales se alimentan como el arroz, están irrigados con agua que contiene elevados niveles de este metaloide. En Bangladesh, se calcula que existen 1.5 millones de casos de lesiones cutáneas relacionadas con la presencia de arsénico en el agua potable.^[51]

Alemania no se salva de la presencia de residuos arsénicos industriales, en donde plantas de fabricación de tintas son aún dolor de cabeza para los habitantes. Ese es el caso de una fábrica clausurada en 1930 y en cuyos antiguos predios aún se encuentra arsénico, ochenta años después.

En América Latina, el arsénico también causa estragos. Se menciona a Argentina, Chile y México como los países en los cuales se han encontrado “aguas contaminadas con Arsénico”.^[52]

La intoxicación por arsénico se da de forma gradual en un lapso de 5 a 20 años, y puede llegar a ocasionar envenenamientos graves cuando la ingesta es cercana a los 100 mg. La ingesta de pequeñas cantidades causa efectos crónicos en el organismo y puede derivar en cáncer de piel, vejiga, riñones, entre otras enfermedades. Comúnmente los elevados niveles de

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

arsénico pasan inadvertidos hasta que se dan los primeros síntomas y problemas de la salud.

[53]

3.3.1 Principales Países Afectados por la contaminación por arsénico

La contaminación por arsénico no es exclusiva de una región en especial, es un problema que afecta a diversas regiones en el mundo. Muchas de éstas deben este problema a su geología, otras a la sobreexplotación de sus mantos acuíferos, algunas más a la expansión industrial o actividades mineras.

La región que es considerada como el peor desastre ambiental debido al exceso de arsénico en sus aguas se presenta en la delta donde convergen los ríos Ganges y Brahmaputra.

Entre los países que cuentan con aguas subterráneas que representan una amenaza a la salud por tener concentraciones de arsénico lo suficientemente altas para perjudicar a los humanos, o que ya generan graves impactos a la salud destacan: Bangladesh, India, Taiwán, Tailandia, China, Hungría, Vietnam, Nepal, Myanmar, Serbia, Croacia, Alemania, Argentina, Chile, México, Estados Unidos, Mongolia, Rumania, Ecuador y Nueva Zelanda, pero se han encontrados problemas en muchos otros países. [54]

Además se encuentran otras áreas, directamente relacionadas con procesos hidrotermales en Japón, Islandia, Francia, Dominica y Kamchatka.

De igual forma han sido reconocidas áreas con problemas de arsénico debido a sus depósitos minerales y minería, siendo los casos más sobresalientes: Ghana, Grecia, Tailandia, Chile y Estados Unidos. [55]

En Asia más personas son afectadas por el envenenamiento por Arsénico que en el resto del mundo combinado. Es probable que más de 100 millones de personas beban agua que contenga Arsénico >10 ppb. [56]

3.3.2 Magnitud del Problema en Bangladesh

El problema de la contaminación por arsénico en Bangladesh fue detectado por primera vez en 1980, se estima que 35 millones de personas están envenenados según los datos más conservadores, sin embargo la Organización Mundial de la Salud contempla que un total de 77 millones de personas únicamente en ese país tienen algún grado de intoxicación por el contacto con agua potable contaminada, los niveles de arsénico encontrados son tan altos que la OMS considera el caso como "El mayor caso de envenenamiento de una población registrado en la historia".^[27]

Un informe de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) sugiere que la presencia del arsénico representa una amenaza aún más insidiosa, basada en un estudio más a fondo sugiere que la población podría no solamente estar expuesta a través del agua potable, sino de manera indirecta en los cultivos alimentarios regados.

El arsénico que existe en la capa superior del suelo de Bangladesh es también un alto riesgo de contaminar los alimentos, como el arroz, granos y vegetales que se cultivan en el país. Se han encontrado grandes cantidades de arsénico en organismos marinos como peces moluscos y crustáceos, pero en formas orgánicas tales como arsenoazúcares en algas, y arsenobetaina y arsenocolina. Sin embargo las plantas terrestres no cuentan con una desintoxicación del arsénico de las algas por metilación y ésta quizá es la razón por la cual las especies de arsénico inorgánico son predominantes en plantas y suelos.

Desafortunadamente el arsénico inorgánico es muy peligroso para el bienestar humano y es necesario conocer la movilidad y alcance que tiene éste metal en el suelo agrícola de Bangladesh, para conocer el impacto ambiental y la penetración en la biodisponibilidad que tiene, y que puede perjudicar la salud humana mediante la contaminación de suelos. La principal hipótesis que se tiene, es que el origen principal de la contaminación del suelo de Bangladesh es debido al riego con aguas con alto contenido de arsénico.^[57]

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.



Figura 3.7.- Lesiones generadas por la contaminación por arsénico en Bangladesh.

3.3.3 La contaminación por Arsénico en México

La contaminación por arsénico es generalizada en México. Sin embargo hay pocas descripciones relativas a la distribución de arsénico. Hay abundante actividad geotérmica y mineralización del sulfuro y de lo que se ha publicado, se reconoce que la contaminación ocurre de manera natural y como resultado de siglos de actividad minera, y extracción de agua de mantos acuíferos, lo que ha causado un impacto significativo sobre las aguas subterráneas, las aguas superficiales y la calidad del aire. [56]

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Según estudios existen tres ambientes hidrogeológicos con altas concentraciones de arsénico en el agua subterránea: acuíferos aluviales del norte y centro de México, áreas mineras en distintas partes del país y aguas geotérmicas asociadas a rocas volcánicas.

Los acuíferos aluviales representan especial interés ya que la mayoría de la población de México vive en sus regiones norte y centro del país y un gran número de sus habitantes depende en gran medida de éste recurso para su abastecimiento. A diferencia de lo que ocurre en las áreas mineras los problemas de arsénico en los mantos acuíferos son difíciles de identificar, pues no se obtiene un resultado hasta realizar un análisis de muestras de agua.

También se ha encontrado arsénico asociado con actividades mineras en algunas áreas montañosas y en cuencas aluviales en ciertas zonas del norte de México. También se encuentra presente en aguas geotérmicas asociadas con rocas volcánicas. ^[58]

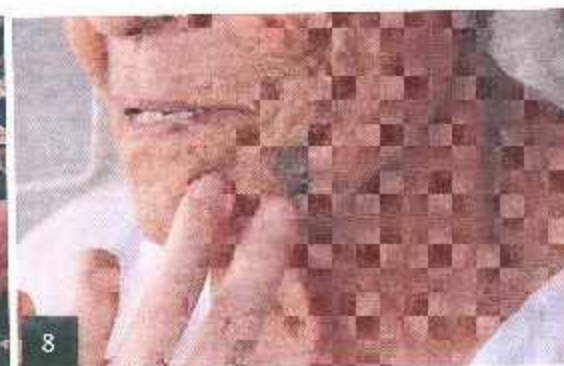
Se estima que alrededor de 500,000 habitantes de las zonas rurales del país se encuentran expuestos a concentraciones de arsénico mayores de 50 µg/L por el agua que ingieren. ^[59]

3.3.4 La contaminación por arsénico en la Comarca Lagunera

Los problemas de salud relacionados con el arsénico fueron descritos por primera vez en la década de 1960, consistiendo en melanosis, queratosis y cáncer de piel. Se estima que para la década de 1990, al menos 400,000 personas fueron expuestas a concentraciones de arsénico mayores a 50 ppb. En ese mismo año se identificaron síntomas de intoxicación por arsénico en el 21 % de la población expuesta en la región, los efectos principales fueron: Pigmentación de la piel, queratosis, enfermedad de Bowen (5.1 %), cáncer de piel (1.4 %), enfermedad vascular periférica (4 %), incluyendo la enfermedad de pie negro (0.7 %), y enfermedades gastrointestinales. ^[56]

Los problemas comenzaron principalmente cuando la economía se vio impulsada por el algodón, pues se depositó gran cantidad de químicos en los suelos que se utilizaban para sembrarlo y cosecharlo.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.



Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

Las características físicas y químicas del suelo de la comarca son importantes para el control de su capacidad adsorbtiva y así pues afectarán la disponibilidad de arsénico a las plantas. Una amplia variedad de compuestos de arsénico se pueden absorber mediante las plantas, pero tienen diferentes efectos tóxicos.^[60] Examinando los niveles de arsénico en la comida y el agua de la comarca lagunera, se concluyó que la comida hace una igual contribución de arsénico a la ingesta dietética de los adultos.

Actualmente en la laguna el arsénico ha sido encontrado en la sopa, salsa, frijoles entre otros alimentos, debido al uso de suelos y agua contaminados por éste metaloide para su procesamiento.^[61]

En la región lagunera además de estar propensos a la intoxicación por arsénico, por el simple hecho de beber agua, se corre el riesgo de que los alimentos consumidos pueden llegar a tener altas concentraciones de éste metal, pues las tierras donde son cosechados son fertilizados con químicos que poseen arsénico, el agua con la que son regados también suele tener altos niveles de éste tóxico, así como los insecticidas y plaguicidas que se utilizan en la cosecha, y una vez contaminado el suelo, el arsénico no puede ser destruido, las cantidades añadidas se esparcen, pues las plantas absorben bastante fácil éste metal, llegando así a la comida, y contaminando a seres humanos y animales mediante la ingesta. Los alimentos de origen animal también están propensos a contener de igual forma arsénico pues existen medicamentos de uso veterinario a base de arsénico. Investigaciones han demostrado que algunos alimentos producidos en la comarca lagunera tienen altas concentraciones de éste metal, por ejemplo los niveles de arsénico en la leche han sido hasta de 84 µg/L, en la uva se obtuvieron hasta 0.403µg/L, el tomate alcanzó hasta 0.617 µg/L y para el chile su nivel máximo fue de 2.312 µg/L.^[62]

El problema del arsénico es un tema extenso que debería ser tomado con seriedad por la problemática que representa para toda la población expuesta, en las siguientes imágenes se muestran algunas de las principales afecciones causadas por la intoxicación por éste elemento.

Antecedentes de la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de la ciudad de Torreón.

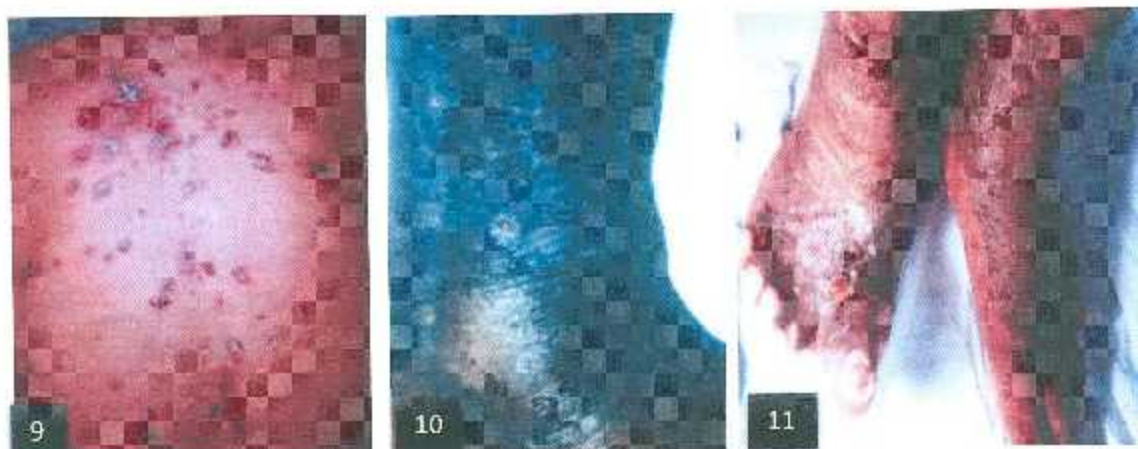


Figura 3.8.- Fotos de lesiones causadas por la ingesta de altas concentraciones de arsénico en la Comarca Lagunera: 1) hiperqueratosis en pie, 2) dedos amputados por intoxicación de arsénico, 3) hiperpigmentación en pierna, 4) hipopigmentación en pie, 5) lesión vascular periférica en pecho, 6) cáncer de piel en axila, 7) lesión vascular periférica en pie, 8) lesión vascular periférica en cara, 9) hiperqueratosis en espalda, 10) pie negro, 11) hiperpigmentación en piernas y pies. ^[59]

Capítulo IV.

Metodología

4.1 Ubicación de puntos muestreados

Torreón, Coahuila, es una ciudad mexicana que se localiza al norte del país, que en conjunto con las vecinas ciudades de Gómez Palacio, Ciudad Lerdo, Matamoros, San Pedro, entre otros municipios de los estados de Coahuila y Durango conforman la Comarca Lagunera, la cual es la novena área urbana más grande de México. Las industrias más importantes de la ciudad son la metalúrgica, la producción de leche, la industria textil y eléctrica, el comercio y los servicios. [62]

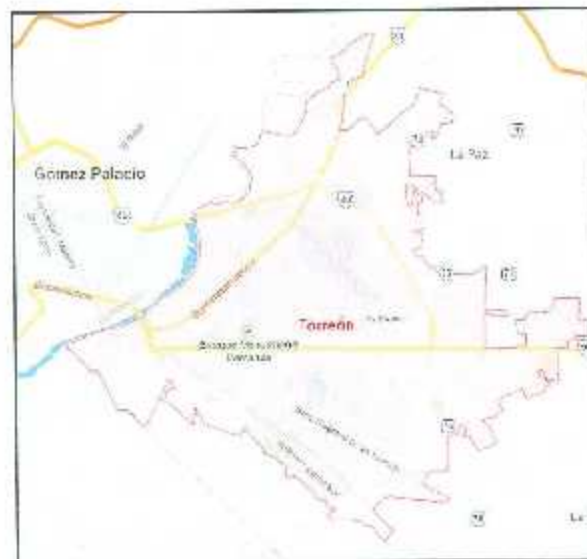


Figura 4.1.- Ciudad de Torreón, Coahuila

La ciudad de Torreón alberga uno de los complejos metalúrgicos más grandes a nivel mundial. Sus operaciones desde hace más de cien años han depositado metales pesados en los suelos aledaños a la fundidora. Es sabido que se han realizado importantes inversiones para minimizar las emisiones, pero los metales que ya han sido depositados y continúan en el suelo pueden seguir afectando a la población que aquí habita. Es por esta razón que se hayan realizado diversas investigaciones para medir las concentraciones de metales que se encuentran depositadas en los suelos de Torreón.^[63]

Uno de los objetivos de este trabajo es representar como ha cambiado la contaminación del suelo del año 2000 al año 2014. Para ello se han recabado muestras de suelo durante todos estos años. En un inicio se recolectaron 30 muestras pero en el año 2003 la cantidad se aumentó a 50 muestras. Este muestreo se ha realizado siempre en las mismas ubicaciones, poniendo como centro de referencia a la fundidora Met-Mex Peñoles.

4.2 Procedimiento para la toma de muestras de suelos

El muestreo se realizó siguiendo un procedimiento estándar (ASTM Designation E 1727-99),^[63] este procedimiento consiste en el cuchareo del suelo usando un marco de madera de 0.15 m x 0.15 m para delimitar el área a muestrear, una cuchara de acero inoxidable y contenedores estériles de polipropileno para muestras biológicas. También se utilizó agua destilada y toallas de papel higiénico para limpiar la cuchara antes de cada muestro y reducir el riesgo de contaminar la muestra actual con material de la muestra anterior.

Es importante prestar atención al muestreo de suelos, pues el análisis depende de la calidad de las muestras tomadas, éste tipo de análisis puede resultar una excelente referencia si la muestra es tomada de manera adecuada, pues la muestra enviada a análisis representa miles de kilogramos de suelo. En seguida, se enlista cada paso del proceso del muestreo de suelos.

4.2.1 Pasos a seguir en el muestreo de suelos

4.2.1.1 Delimitación de las áreas

Para elegir la ubicación donde se realizaría la toma de muestras se definieron ciertos criterios:

- El primero fue la selección de sitios que tuvieron suelo desnudo, es decir sin recubrimientos vegetales (pasto, árboles) o constructivos (asfalto, cemento).
- Para el segundo criterio se seleccionaron únicamente espacios públicos, sitios donde el acceso es libre para cualquier persona, prefiriendo muestrear parques, plazas, escuelas públicas.
- En el tercer criterio se consideró la fuente fija de emisión de metales pesados, el punto fue un sitio entre los antiguos patios de manejo de materiales de Met-Mex Peñoles, la planta de sinterización y los hornos de fundición de plomo primario de la misma compañía.^[64]

Posteriormente, sobre un plano de la ciudad de Torreón, se trazaron círculos concéntricos ubicando la fuente de emisión como el centro, estos círculos tenían un radio de 400, 800, 1200, y 1600 metros respecto de la fuente de emisión, sobre los círculos y cruzando por la fuente de emisión se trazaron ocho líneas en las principales direcciones cardinales, (N, E, S, O, NE, SE, NO, SO). La idea principal era obtener cuatro puntos de muestreo sobre cada línea trazada, cada uno a 400, 800, 1200 y 1600 metros con respecto a la fuente de emisión. Se eligió este criterio de selección porque se pretendía investigar cómo se comporta la distribución de metales a medida que uno se aproxima o se aleja de la planta emisora, así como ver el comportamiento según los patrones de viento e intentar determinar la existencia de un modelo de dispersión contaminante.^[65] Por otra parte, existen reglamentaciones locales de uso de suelo, obligan a utilizar otro criterio de suelo, que es el de obtener muestras de suelo sólo de sitios que se encuentren a una distancia mínima de 50 metros de cualquier otro emisor puntual (por ejemplo imprentas, talleres de soldadura, galvanoplastia, pintura etcétera).

Para poderse adaptar a todos los criterios mencionados y a la geografía del suelo, no fue posible ubicar las muestras de acuerdo a lo planteado originalmente, y se realizaron

modificaciones para poder satisfacer los criterios exigidos, de esta manera se seleccionaron los primeros 30 puntos. Pero fue en el año 2003 que se decidió incrementar el número de muestreos a 50 para poder cubrir un mayor rango de estudio y visualizar una mayor dispersión de metales pesados en el suelo de Torreón, cumpliendo con los criterios establecidos anteriormente. La figura 4.2 permite observar un plano de la ciudad de Torreón con los 50 puntos de muestreo, remarcando en un polígono la ubicación de la planta fundidora.

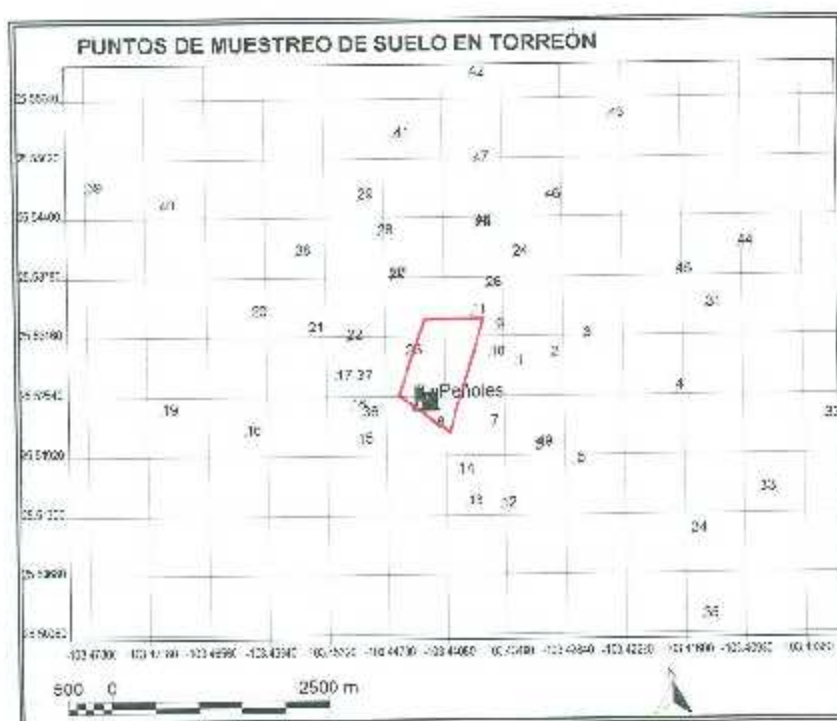


Figura 4.2.- Plano de la ciudad de Torreón, en la figura se representa las 50 direcciones de muestreo de suelo. El polígono de perímetro rojo representa el área ocupada por las plantas de la fundidora Met-Mex Peñoles. La figura del castillo negro representa el foco de emisión supuesto. [94]

La tabla 4.1 muestra las 50 direcciones en las que se ha trabajado durante los últimos años, las primeras 30 son con las que se trabajó en un inicio y a partir de la número 31 hacia la 50 son las 20 direcciones que se agregaron después. La primera columna representa el número de la muestra, la segunda y tercera la latitud y longitud respectivamente, esto en coordenadas UTM de las cuales se hablará en el capítulo siguiente y la última columna representa la dirección

M	ESTE_X_WGS84	NORTE_Y_WGS84	UBICACIÓN
1	657413.310000	2824246.000000	Fsquina de Cipreses y Mimbrés (Escuela, Jardines de California)
2	657785.000000	2824349.000000	Clavos # 460 entre Laguna Sur y Nogal (Torreón Jardín)
3	658125.130000	2824571.250000	Avenida Central entre Gardenias y Eglantinas (Torreón Jardín)
4	659084.250000	2823960.000000	Avenida Central y Paseo de Las Flores (Col. Torreón Jardín)
5	658059.880000	2823121.500000	Calle L entre 5a y 6a (Eduardo Guerra)
6	657617.750000	2823274.750000	Calle 6a entre H y G (Eduardo Guerra)
7	657152.060000	2823557.250000	Calle 6a y B (Eduardo Guerra)
8	656583.440000	2823530.500000	Estadio de Fútbol Sección 74 (Peñoles)
9	657210.380000	2824666.750000	Edificio 34 Instituto Tecnológico de La Laguna
10	657140.750000	2824350.250000	Cancha de Fútbol (Instituto Tecnológico de La Laguna)
11	656944.000000	2824837.500000	Calle Román Cepeda 344 (Luis Echeverría 1)
12	657264.750000	2822605.750000	Calle 9 del Tiro # 375 casi esquina con Av. 4 (Col. Vicente Guerrero)
13	656905.630000	2822630.500000	Calle 6 y Avenida 6 (Col. Vicente Guerrero)
14	656812.880000	2822997.000000	Calle 3 y Avenida 4 (Col. Vicente Guerrero)
15	655752.380000	2823338.000000	Esquina de Colonia Zacatecas y Carretera al Cristo de las Noas (Barra de la Refinería Peñoles)
16	654581.380000	2823426.500000	Cerro de las Noas, Carretera del Cristo
17	655579.750000	2824067.750000	Plaza de la Colonia Primero de Mayo
18	655680.500000	2823730.500000	Av. Independencia 101, esquina con Francisco Sarabia (Primero de Mayo)
19	653715.250000	2823656.750000	G.A. Madero y Apolinario Avilés (Col. Polvorera)
20	654672.060000	2824765.750000	Av. Luis Reyna a la altura de la Cepeda (Col. Antigua Aceitera)
21	655239.880000	2824623.750000	Calzada Colón 931 Sur (Colonia Vencedora)
22	655641.880000	2824538.750000	Calzada Colón (Clínica San Rafael)
23	656262.060000	2824366.500000	Raúl Madero y Gutiérrez, Ortiz (Col. Luis Echeverría 2)
24	657385.380000	2825510.500000	Bosque Venustiano Carranza (Matamoros y Calle 14)
25	656995.560000	2825840.500000	Av. Ocampo y Calle 10 (sobre calle 10)
26	657103.130000	2825152.750000	Calle 11 # 453 Bis Sur
27	656094.880000	2825254.000000	C. González Ortega entre Juárez e Hidalgo (fuera de Bancomer)
28	655965.500000	2825748.750000	Av. Abasolo, entre Calzada Colón y Degollado
29	655755.690000	2826158.250000	Esquina de Corregidora y Rayón (sobre la Corregidora)
30	655101.380000	2825512.750000	Av. Matamoros # 643 Poniente
31	659405.380000	2824929.750000	Unidad Deportiva de Torreón (área de juegos infantiles)
32	660641.130000	2823640.750000	Calzada Gómez Morán # 413 (Col. Torreón Residencial)
33	659966.630000	2827797.500000	Placita de Campestre La Rosita (área de juegos infantiles)
34	659253.630000	2822313.750000	Paseo Central # 214. (Col. La Fuente)
35	659379.940000	2821332.500000	Durango # 153 (Col. Santiago Ramírez)
36	655806.130000	2823645.500000	G.A. Madero # 40 (Col. Primero de Mayo)
37	655751.000000	2824063.500000	Av. Ferrocarril y Victoria (Col. Primero de Mayo)
38	655101.880000	2825512.750000	Av. Matamoros # 643 poniente (Centro)
39	652930.940000	2826225.500000	Placita de la Col. Flores Magón; Gómez Palacio, Durango
40	653683.000000	2826021.250000	Lecho seco del río Nazas, cerca del puente naranja
41	655138.250000	2826874.000000	Placita Kennedy. (frente a Arocena # 7, Col. Los Ángeles)
42	656927.750000	2827586.750000	Frente a Saltillo # 307 (Col. Granjas San Isidro)
43	658392.630000	2827103.250000	Calzada Abastos # 106 b (Col. Abastos)
44	659733.750000	2825627.250000	Placita de Col. Nuevo Torreón (frente a YMCA)
45	659093.380000	2825302.750000	Av. Juárez y H. Colegio Militar (contraesquina de JV)
46	657725.380000	2826162.750000	Esquina de Av. Corregidora y Gutenberg
47	656972.310000	2826610.250000	Fsquina de Av. 6 de Octubre y Calle 10 (placita)
48	656986.250000	2825863.750000	Av. Ocampo y Calle 10 (sobre la calle 10)
49	657634.380000	2823318.000000	Calle 6 entre H y G (Jardín de niños Luz Ma. Serradel, Col. Eduardo Guerra)
50	656092.940000	2825247.250000	C. González Ortega entre Juárez e Hidalgo (fuera de Bancomer)

Tabla 4.1.- Direcciones de muestreo en la ciudad de Torreón.

4.2.1.2 Época de Muestreo

Es necesario esperar que el suelo esté seco, que no se hayan dado precipitaciones en al menos quince días. En algunos puntos muestreados resulta cada vez más difícil obtener una muestra fiable, pues se encuentra prácticamente toda la zona pavimentada, es debido a esto que algunas de las muestras se obtienen de jardines, o en puntos cercanos que aun tengan suelo sin ser pavimentado, si algunas de las muestras recolectadas se encuentran humedecidas por pertenecer a un jardín, éstas son secadas en un horno. Pero principalmente se busca obtener la muestra de un punto seco y limpio. La regularidad con la que se realizan las muestras es anualmente, excepto en dos ocasiones que se ha muestreado dos veces durante un año.



Figura 4.3.- Selección del área a muestrear

4.2.1.3 Toma de la muestra

- 1 Una vez ubicado en cada dirección se utiliza un marco de madera de 15 cm, para posicionarlo en el suelo donde se desea recolectar la muestra, esto para tener un área específica cuidando recolectar la muestra lo más superficial posible, esto a una profundidad de 0 a 5 cm a partir de la superficie según lo que indica la norma mexicana NMX-AA-132-SCFI-2015.¹⁵⁵ Es importante mencionar que la muestra debe tomarse en un punto donde no haya árboles cubriendo la zona o demasiado césped, que pudieran alterar los resultados, en caso de haberlo se debe eliminar la cobertura vegetal, limpiar la superficie y descartar todo lo que sea rastrojo.



Figura 4.4.- Marco de madera de 15 cm x 15 cm.

- 2 La persona responsable de la recolección de la muestra debe utilizar un guante de látex desechable, tomar la cuchara de acero inoxidable previamente lavada con agua destilada y secada con papel absorbente y en seguida raspar el suelo hasta una profundidad de aproximadamente 1 pulgada, siguiendo las orillas del marco, se junta el material suelto mientras se presiona el marco con la mano libre para evitar que se mueva de su posición.^[64]



Figura 4.5.- Recolección de la muestra sobre el sitio seleccionado.

- 3 Se retira el material raspado y se llenan dos contenedores de la muestra, se cierran los botes y se procede a marcarlos con el número de la dirección muestreada, uno para ser analizado por el tecnológico de la laguna y el segundo para ser analizado por la compañía Met-Mex Peñoles.



Figura 4.6.- Llenado de dos contenedores por dirección.

4. Se limpia el marco de madera, se lava la cuchara con agua destilada y se seca con papel absorbente, los guantes y papel utilizados se desechan.
5. Se realizan las cincuenta tomas de muestra



Figura 4.7.- Recolección de muestras

6. Cuando se finaliza de muestrear y se obtienen las 50 muestras, se llevan al laboratorio para darles un tratamiento previo.

- 7 Se seleccionan las que presenten mayor humedad, y se secan en un horno eléctrico a 100°C de 6 a 12 horas y se dejan enfriar a temperatura ambiente.

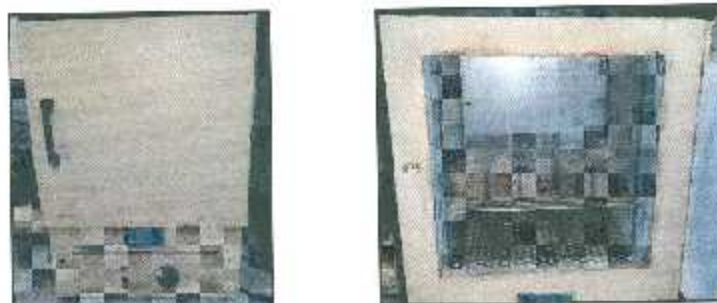


Figura 4.8.- Horno eléctrico donde se secaron las muestras que presentaban humedad.



Figura 4.9.- Muestras listas para retirar impurezas

- 8 Cuando se tiene el total de las muestras secas, éstas pasan por una malla metálica con apertura de 1 mm para quitar impurezas de la muestra, tales como piedras, césped, terrones, palitos de madera, entre otros desechos que no sirven para el análisis.



Figura 4.10.- Malla metálica con apertura de 1 mm.

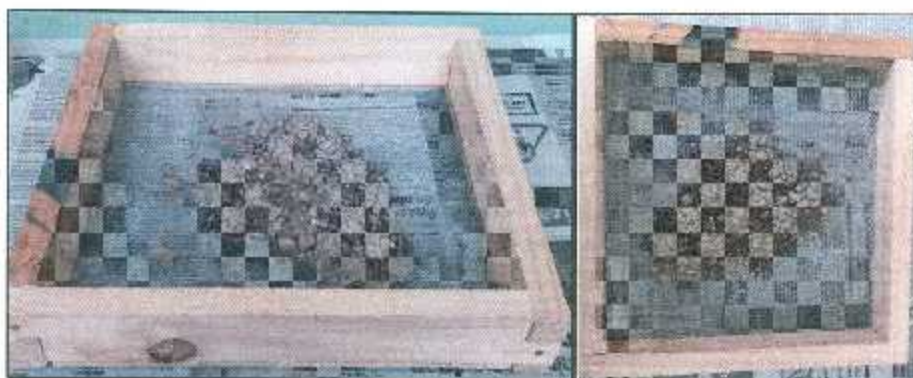


Figura 4.11.- Residuos de la muestra mayores a 1 mm de diámetro.

- 9 Una vez que la muestra está libre de materiales mayores a 1 mm de diámetro, se sigue el proceso de cuarteo de muestra y la división se realiza tomando las muestras de manera diagonal, se divide porque de aquí resultarán dos análisis, uno será para muestras no tamizadas y el segundo para muestras tamizadas.



Figura 4.12.- Cuarteo de la muestra de partículas menores a 1 mm diámetro



Figura 4.13.- Recipientes para muestras finales.



Figura 4.14.- Recolección de muestra no tamizada.

10. Las muestras no tamizadas se vacían directamente en el frasco final, y las muestras que serán tamizadas pasan en seguida por un tamiz. Este tamiz tiene una luz de 150 micras de modo que las partículas que pasan a través de este tamiz son aquellas cuyo tamaño es menor y que más fácil entran por la boca, nariz, etc. Siendo ésta la causa de que se tamicen para tener también un análisis de que concentración de partículas es más fácil que entren al organismo mediante éstas vías.



Figura 4.15.- Tamiz para partículas menores a 150 μm .

11. Una vez se obtiene la porción de la muestra que pasó por el tamiz de 150 micras, se cuartea y se selecciona para análisis únicamente dos cuartos de la porción para obtener una fracción de muestra representativa que será enviada al laboratorio para su análisis.



Figura 4.16.- Cuarteo de muestra de partículas menores a 150 μm , parte tamizada.

4.2.1.4 Identificación de la muestra

Para identificar la muestra se marcó cada frasco con un número, conservándose la lista de las direcciones muestreadas así como el número al que corresponde cada dirección, se añade en el frasco el año al que corresponde el muestreo.

Son los frascos más pequeños en que se hace la separación entre muestra tamizada y no tamizada, únicamente se añade la letra T en los frascos tamizados para diferenciar una de otra.



Figura 4.17.- Muestras finales para ser enviadas a la UAB, tamizadas y no tamizadas.



Figura 4.18.- Muestras finales para ser enviadas a analizar por Peñoles

4.3 Factores a considerar en el muestreo de suelos

4.3.1. Tamaño de la unidad de muestreo

El tamaño de la muestra es pequeño, solamente se llenan dos frascos de aproximadamente 100 ml. Y únicamente se trabaja con uno, pues el otro se envía a Peñoles para su análisis independiente del nuestro. Y la cantidad de material que se envía al laboratorio para su análisis resulta mucho menor, pues a la primera muestra se le quita todo desecho, pero con esto es suficiente para medir la concentración de metales que se encuentre en éste.

4.3.2. Precauciones a tomar cuando se tomen muestras para análisis de suelos

- Evite muestrear suelos muy mojados.
- Use frascos plásticos limpios.
- No fume durante la recolección de muestras, para evitar contaminarlas con las cenizas del cigarro, ricas en potasio.
- No tome muestras en áreas recién fertilizadas, sitios próximos a viviendas, galpones, corrales, cercas, caminos, lugares pantanosos o erosionados, áreas quemadas, lugares donde se amontonan estiércol, fertilizantes, cal u otras sustancias que pueden contaminar la muestra. ¹⁶⁵

4.4. Proceso de las muestras

Una vez que se han recolectado las muestras en las 50 direcciones y han pasado el proceso de tamizado, éstas son enviadas a la Universidad Autónoma de Barcelona, para obtener los resultados de la concentración de metales pesados que se encuentran en cada una de ellas.

Cuando las muestras se encuentran en la UAB para su análisis se debe trabajar con aquellas que son no tamizadas. Es decir aquellas que no pasaron por el tamiz de 150 μm es necesario procesarlas en un molino de bolas, durante diez minutos a 380 rpm. Este proceso se encargará de destruir los terrones que pudiesen tener un tamaño mayor. Es importante destacar que las muestras no tamizadas normalmente tienen un tamaño menor a 1 mm y mayor a 150 μm . Pero ya una vez pasadas por el molino, las muestras quedan aptas para los análisis. En el caso de las muestras tamizadas no es necesario pasarlas por el molino ya que son partículas menores a 150 μm .



Figura 4.19.- Molino de bolas



Figura 4.20.- Bolas para molino

Las muestras son analizadas desde tres puntos de vista diferentes, análisis de concentración total, análisis de concentración biodisponible y análisis de concentración bioextraíble, es importante realizar los tres tipos de análisis porque cada uno representa indicativos diferentes.

Realizar un análisis para medir la cantidad total de un metal presente en el suelo es importante pero se perdería buena parte de la información como los datos referentes a la movilidad del metal en el corto y mediano plazo. Es por ésto que resulta importante analizar también sus fracciones. Los metales pesados igualmente presentan una distribución en diferentes fracciones de disponibilidad variable en el suelo.^[54]

La figura 4.21 resume el proceso desde la toma de la muestra hasta la etapa de análisis.

1.- Para el análisis de digestiones ácidas, se tratan 0.5g de la muestra total, se les agrega 10 mL de HNO₃ concentrado en un digestor de microondas. Las muestras se ponen a una temperatura de 175 °C y una presión de 120 psi, durante 20 minutos.



Figura 4.22.- Digestor de microondas



Figura 4.23.- HNO₃ concentrado

2.- Una vez el recipiente de teflón se ha enfriado, se filtra el concentrado, para ello se utilizan jeringas de un sólo uso. Los filtros utilizados son del tipo Millex-HA, este tipo de filtros son especiales porque tienen que soportar temperatura más el ácido nítrico (HNO₃). Una vez filtrado únicamente se conserva el líquido obtenido, descartando el contenido sólido después de dos lavados con agua Milli-Q (el agua Milli Q, es agua desionizada que únicamente libera los metales más peligrosos, los más fácilmente movilizables), y finalmente se afora hasta 50 ml.

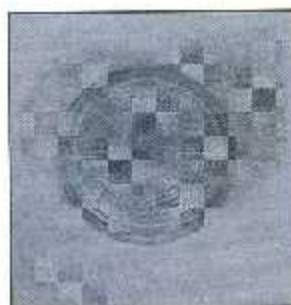


Figura 4.24.- Filtro para descartar cualquier residuo sólido.

3.- El contenido de los metales de la disolución se determinan por espectroscopía de emisión atómica por inducción acoplada de plasma (ICP-AES) frente a patrones de cada metal, en un medio que contiene HNO_3 a la misma concentración utilizada para la muestra.



Figura 4.25.- Espectroscopio de Plasma ICP-AES para realizar el análisis de muestras.

Este procedimiento completo se realiza por triplicado en las muestras no tamizadas y por duplicado en las muestras tamizadas. De éstos se obtiene el promedio y es el resultado final de la concentración que se reporta.

4.4.2. Análisis por extractos acuosos:

Este análisis representa la concentración biodisponible que es soluble en agua. Es una adaptación del protocolo del SM&T donde se emplea como reactivo extractante agua Milli-Q. Los pasos a seguir se listan a continuación, y son realizados dos veces para cada muestra de estudio, de estos dos resultados se obtiene un promedio que representa la concentración de metal por este tipo de análisis. La importancia de conocer este parámetro, reside en la toxicidad de esta fracción, ya que al ser más intercambiable, resulta la más dañina para la salud pública y ambiental a corto plazo.^[64]

1.- Se pesa 1g de muestra en un tubo de centrifuga de polipropileno de 75 ml en una báscula de precisión.



Figura 4.26.- 1 gr de muestra.



Figura 4.27.- Tubo de polipropileno de 75 ml.



Figura 4.28.- Báscula de precisión.

2.- Se adicionan 40 ml de agua Milli-Q en el tubo de centrifuga y se somete a agitación durante 16 horas a 45 rpm.



Figura 4.29.- Adición de 40 ml de agua Milli-Q.



Figura 4.30.- Agitación de tubos de centrifuga.

3.- Los tubos se centrifugan a 3500 rpm durante 15 minutos. Se recoge el líquido con una jeringa de un sólo uso que tiene un filtro acoplado de 30 μm . Lo único necesario para el análisis por extractos acuosos es el líquido obtenido mediante el filtrado, el residuo sólido se deja en el tubo de centrifuga para utilizarlo en el siguiente análisis.



Figura 4.31.- Centrifuga para separación de residuo sólido y líquido.



Figura 4.32.- Separación de líquido y sólido.



Figura 4.33.- Filtrado del líquido.

4.- El líquido recolectado se analiza por ICP-MS.



Figura 4.34.- Análisis del líquido recolectado.

El análisis de los extractos se debe realizar lo antes posible ya que el medio relativamente neutro (pH 4-6) facilita la formación de complejos de las diferentes especies metálicas presentes. Si es necesario esperar para el análisis de extractos, éstos deben permanecer refrigerados a 4 °C.

4.4.3. Análisis por extractos acéticos

Este tipo de análisis representa la fracción que es soluble en ácido, y es considerada la concentración bioextraíble, representa la cantidad de concentración que el estómago podría digerir. Este análisis sigue el protocolo del SM&T y se lleva a cabo una vez efectuada la extracción de la fracción soluble en agua.

Los pasos para la extracción de la fracción bioextraíble se detallan a continuación y resultan ser similares a los del método anterior.

1.- Se adicionan 40 ml de ácido acético glacial 0.11 M al residuo de la primera extracción realizada con agua Milli-Q (El residuo sólido sobrante del análisis anterior).

- 2.- El conjunto se somete a agitación durante 16 horas a 45 rpm.
- 3.- Los tubos se centrifugan a 3500 rpm durante 15 minutos. El líquido se recoge en una jeringa de un sólo uso, que tiene acoplado un filtro de 30 μm .
- 4.- El líquido recolectado se analiza por ICP-AES



Figura 4.35.- Líquido filtrado para proceder a análisis.

De manera similar que el procedimiento anterior, este análisis deber ser realizado lo más pronto posible, para evitar la formación de complejos de diferentes especies químicas

Para obtener la concentración bioaccesible de metal existen dos maneras, se puede obtener mediante la suma de la concentración biodisponible y bioextraíble, o simplemente obteniendo la determinación bioextraíble utilizando el proceso de extracción secuencial, la única diferencia es que el reactivo extractante se adiciona sobre un suelo que no ha sido sometido a ningún procedimiento previo, es decir, para obtener la concentración bioaccesible únicamente se le agregan 40 ml de ácido acético al suelo que no ha sido tratado, que no ha pasado por el análisis de extractos acuosos.

Para un mejor entendimiento de lo que significa bioaccesible, bioextraíble y biodisponible, estos términos se detallan a continuación.

La determinación de la concentración bioaccesible nos permite utilizar este parámetro como un indicador de contaminación por determinado metal en el medio ambiente, además de

ser un importante indicador del riesgo potencial de éste sobre la salud, en corto o mediano plazo.

Es importante señalar que existe gran controversia en la definición del concepto de fracción biodisponible y bioaccesible. La nomenclatura utilizada en este trabajo de tesis queda mejor detallada en los siguientes párrafos. [68]

- Concentración biodisponible: es la fracción soluble en agua. Esta fracción es la que resulta más peligrosa para la salud pública y para el medio ambiente a corto plazo.
- Concentración bioextraíble: es la suma de la fracción asociada a iones intercambiables y de la ligada a carbonatos. Esta concentración proporciona la fracción que es potencialmente biodisponible.
- Concentración bioaccesible: es formalmente, la suma del plomo biodisponible y el bioextraíble (potencialmente biodisponible)

La figura 4.36 proporciona una representación de lo anterior mencionado.

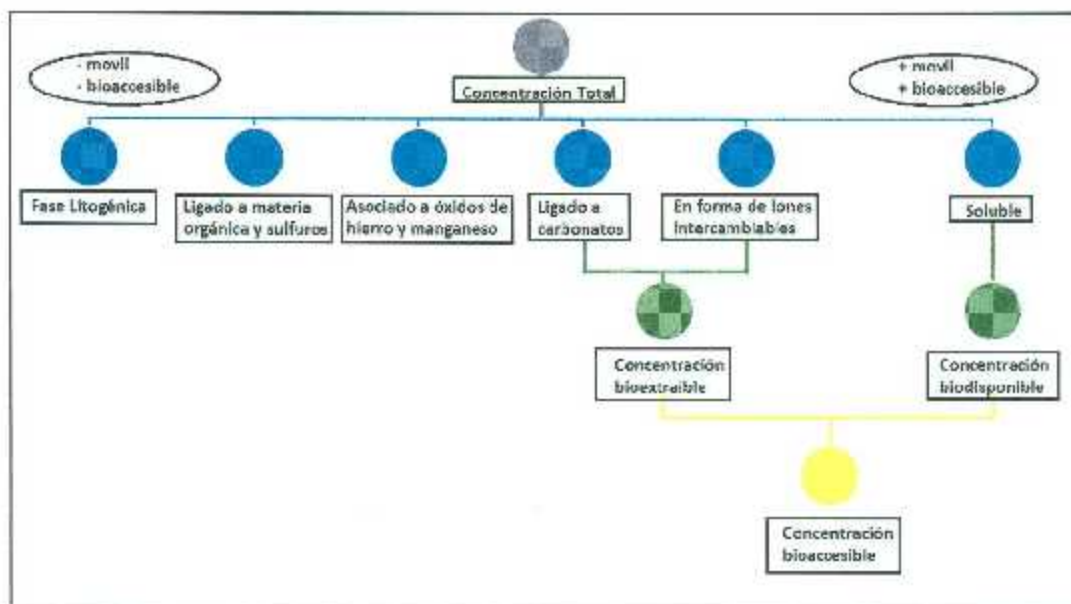


Figura 4.36.- Correspondencia entre las distintas fracciones de plomo que se analizan con la fase del suelo asociada a éstas.

Y los resultados que se obtienen son para los elementos resaltados

TABLA PERIODICA DE ELEMENTOS

1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Ku	Ha													
LANTANIDOS			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
ACTINIDOS			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	Nc	Lr		

Figura 4.37.- Elementos que son analizados para medir su concentración en el suelo de Torreón.

4.5 Base de datos en Arcgis

Cuando se recaban los datos resultantes de los análisis realizados en la Universidad Autónoma de Barcelona, se procede a realizar la base de datos e en Excel, para su posterior visualización en Arcgis. Se trabajó con datos que se han recolectado desde el año 2000 sobre la concentración de metales pesados. En un inicio se practicó recolectando 30 muestras de suelo en la ciudad, para a partir del año 2003 incrementar a 50 muestras, este proyecto se lleva a cabo entre el Instituto Tecnológico de la Laguna y la Universidad Autónoma de Barcelona. En los primeros dos muestreos (año 2000 y 2002), sólo se determinaron las concentraciones de Plomo y Cadmio y únicamente se realizaba un tipo de análisis con digestiones ácidas, y solamente para muestras de suelo no tamizadas, a partir del año 2003 el análisis se realiza para 19 metales en total. Estos son: aluminio, arsénico, bario, cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, fierro, litio, magnesio, manganeso, níquel, plata, plomo, potasio, sodio, vanadio y zinc. Pero ya no solamente se realizaba un tipo de análisis, se añadieron dos más, uno con extractos acéticos y uno más con extractos acuosos, estos análisis son mejor descritos en el capítulo anterior, este año sólo se analizaron muestras no tamizadas. Fue hasta el año 2004, que ya se analizaron los 19 elementos, con sus tres tipos de análisis pero para muestras tamizadas y muestras no tamizadas. Actualmente, existen seis tablas por año para cada metal, exceptuando aquellos donde la cantidad existente en suelos es demasiado pequeña para ser medida. La información contenida en la tabla es la siguiente:

- Número de muestra.
- Coordenada Latitud en UTM.
- Coordenada Longitud en UTM.
- Nivel de concentración.
- Dirección donde se recolectó la muestra.

La base de datos es realizada en Excel, ésta cuenta con ciertos requisitos de formatos, para poder trabajar con el formato SIG. Estos requisitos incluyen: en caso de títulos evitar espacios, eliminar la letra Ñ, en las coordenadas geográficas y de la concentración deben presentarse los números con seis decimales, dejar el libro con una sola hoja, eliminar las hojas electrónicas que no se utilizan y guardar el archivo como Libro de Excel 97-2003. [27]

La longitud y latitud de las direcciones muestreadas se obtuvieron ubicando el punto muestreado en el programa Google Earth, otra alternativa para obtener la latitud y longitud de los puntos de muestreo es utilizando un aparato receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Estas herramientas de trabajo nos entregaron las coordenadas en un formato de grados, minutos y segundos $NN^{\circ}NN'NN.NNNN^{\circ}$, para poder trabajar con un SIG es necesario transformar este formato de grados, minutos y segundos a coordenadas UTM, debido a que el primer formato representa las coordenadas tridimensionales, y en el SIG se trabaja con coordenadas bidimensionales o coordenadas UTM pues representa una superficie o área terrestre.

4.6 Imagen Geográfica

Para la realización de los mapas de distribución se utilizó una ortofoto, éste es un producto cartográfico que es generado a partir de aerofotografías verticales obtenidas con una cámara métrica. Para la elaboración de la ortofoto es necesario seguir un flujo de trabajo que comienza con la obtención de las fotografías seguido de los procesos de fotocontrol, aerotriangulación, restitución, correlación, generación y edición de modelo general de terreno, ortorectificación y edición del modelo digital de las mismas. Una ortofotografía combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano, por lo tanto es posible realizar mediciones exactas. [28]

La imagen que fue utilizada en este trabajo de tesis para referenciar la ciudad de Torreón fue usada anteriormente en trabajos de tesis previos, la obtención de ésta proviene de

tres fuentes, la primer imagen fue suministrada por INEGI, la cual sirvió para referenciar el segundo tipo de imagen, la cual fue una ortofoto creada a partir de capturas de pantalla del programa Google Earth y la tercer imagen es la llamada Quickbird, la cual cuenta con la información más actualizada y la resolución espacial más grande de los tres tipos.




Figura 4.38.- Ortofoto de la ciudad de Torreón.

4.7 Uso del Software Arcgis

Primero se utilizó el módulo ArcCatalog, que viene incluida en el software. La aplicación ArcCatalog proporciona una ventana con un catálogo que se utiliza para organizar y administrar varios tipos de información geográfica de ArcGIS Desktop, en este caso fue utilizada para administrar esquemas de geodatabase y crear archivos cartográficos. [31]

La forma de trabajar en el módulo de ArcCatalog es la siguiente:

- Se selecciona la opción Connect to Folder  y se elige la ubicación donde se encuentra el archivo de Excel deseado.

- Seleccionado el archivo se da doble click para acceder a la hoja donde se guardó la base de datos.
- Click derecho sobre éste archivo, se selecciona la opción Create Feature Class y en seguida y en seguida la opción From XY Table.
- Se despliega una ventana, en ésta se llenan los campos X y Y correspondientes a las coordenadas UTM Este y Norte respectivamente.

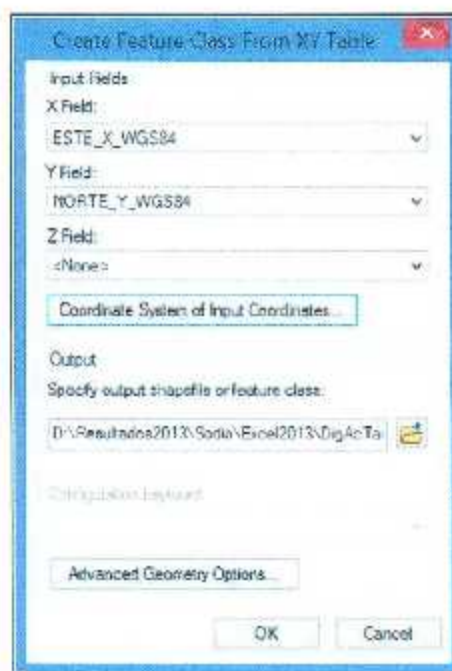


Figura 4.39.- Menú desplegable para la selección de las coordenadas a incluir en el diseño

- En seguida se da click en el botón Coordinate System of Input Coordinates para elegir los parámetros requeridos para el formato a generar.
- Se elige la opción Projected Coordinate Systems, ésto se refiere a una superficie plana, éste tipo de sistema tiene longitudes constantes, ángulos y áreas a través de las dos dimensiones, un sistema de coordenadas proyectadas siempre se basa en un sistema de coordenadas geográficas que se encuentra en una esfera o esferoide.

- En seguida se selecciona la opción UTM, ésta por ser el tipo de coordenadas que se manejan en la base de datos.
- A continuación la opción a elegir es WGS1984, ésta opción se refiere al Sistema Geodésico Mundial por sus siglas en inglés, y es un estándar para el uso en la cartografía, geodesia y navegación. Comprende un sistema de coordenadas estándar para la tierra, una superficie de referencia esferoidal estándar para los datos de altitudes primas, y una superficie equipotencial gravitacional que define el nivel del mar, la última revisión es la de 1984, revisada por última vez en 2004 y es el sistema utilizado para coordinar la referencia del Sistema de Posicionamiento Global. [69]
- Se elige el hemisferio norte y la zona 13, por ser la zona que representa la ubicación de la Comarca Lagunera.

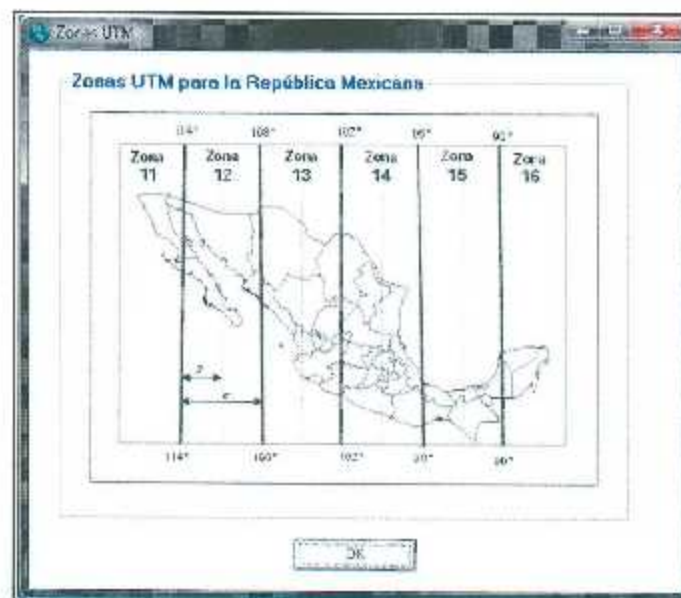



Figura 4.40.- Zonas UTM para la República Mexicana

- Por último se elige la carpeta donde se desea guardar, generando seis archivos que conforman el archivo cartográfico.

Una vez generado el archivo cartográfico se trabaja con el módulo ArcMap, otra herramienta incluida en el Software Arcgis, ésta resulta ser la aplicación central de este software, es el lugar donde se visualiza y explora los dataset SIG de su área de estudio, donde se asignan símbolos y se crean los diseños de mapa para imprimir o publicar.

En ArcMap se visualiza la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Entre los elementos más comunes en un mapa se encuentran: marco de datos, barra de escala, flecha de norte, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, entre otros. [31]

Para trabajar con el módulo de ArcMap se siguieron los siguientes pasos.

- Para añadir las capas se utiliza el ícono  lo primero en añadir es la imagen ráster (ortofoto) de la Comarca Lagunera.
- En seguida se añade la capa vectorial de los puntos de ubicación de muestras (archivo shapefile) este archivo es el que se generó en el módulo de ArcCatalog.

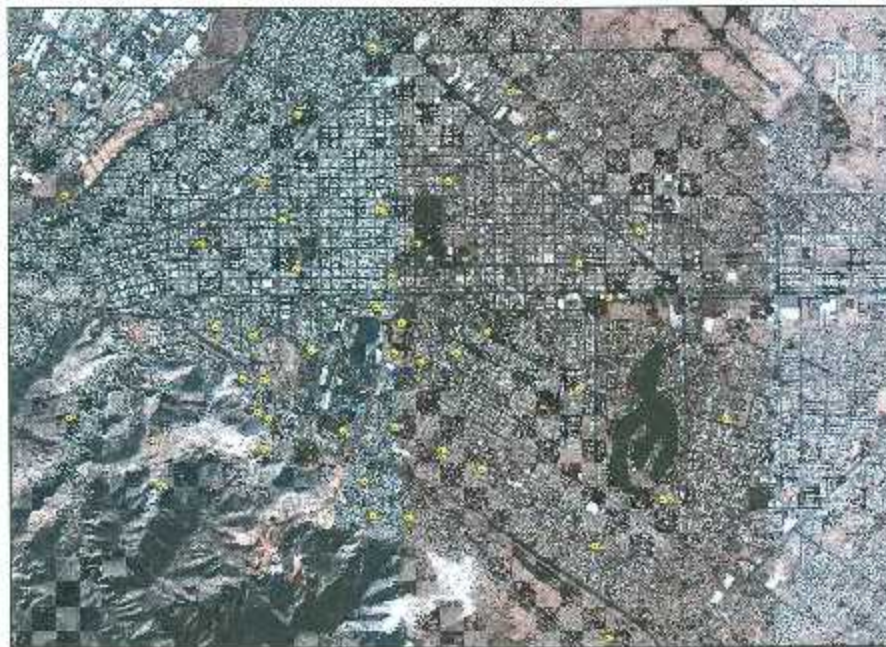


Figura 4.41.- Ortofoto de la ciudad de Torreón, con la capa que contiene la base de datos, los puntos amarillos representan la ubicación muestreada.

- Una vez hecho ésto se utiliza la herramienta Geostatistical Analyst, la cual es una extensión que proporciona la capacidad de modelado de las superficies utilizando métodos deterministas y geoestadísticos. Se seleccionó la herramienta de Geostatistical Wizard, y el método que se seleccionó para realizar las interpolaciones fue el denominado Inverse Distance Weighting. Este método resulta ser muy exacto, consiste en predecir la concentración de metales en puntos no muestreados, partiendo de la concentración de puntos si muestreados. Cada punto no muestreado se parecerá más a los puntos cercanos que a los lejanos. [27]
- Una vez que se creó la capa de concentración, es posible modificar la gama de colores graduados, así como los rangos, nivel de transparencia de dicha capa, entre otras más características.

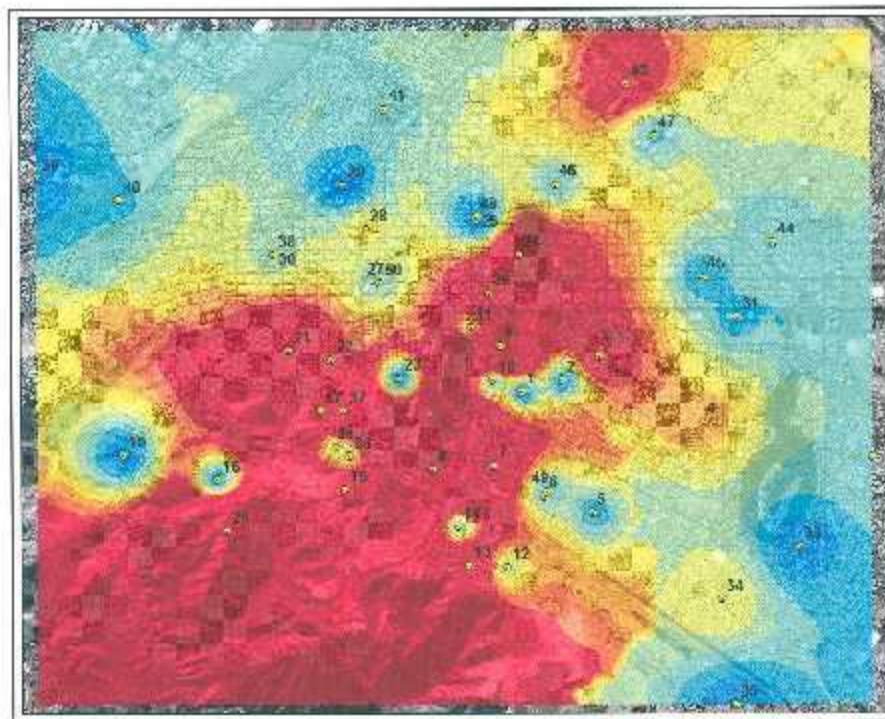


Figura 4.42.- Capa de concentración.

- Existen varios elementos que se pueden agregar a cada mapa, como símbolos, leyendas entre otros. Estos diseños varían dependiendo los requerimientos necesarios para cada mapa.

El software resulta ser bastante sencillo de trabajar una vez que se ha obtenido la base de datos, así como la ortofoto necesaria. En la imagen siguiente se logra apreciar un mapa finalizado con los respectivos elementos que lo componen.

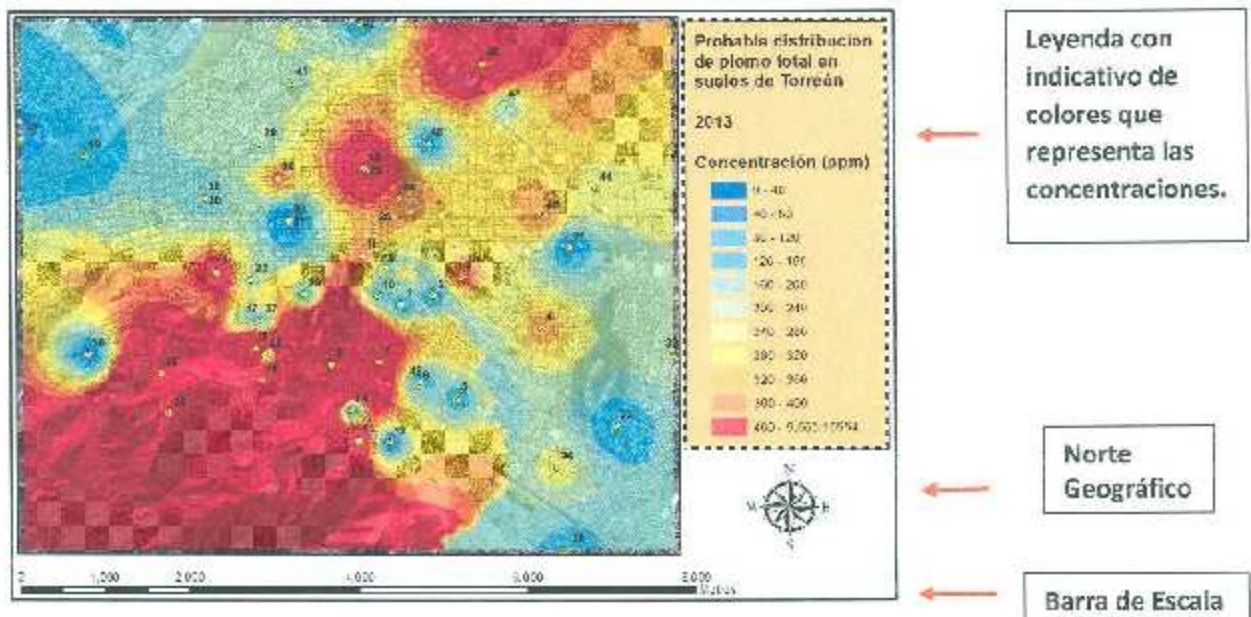


Figura 4.43.- Diseño final de la representación de las concentraciones de metal creado en Arcgis.

Capítulo V

Resultados del Análisis y Distribución Espacial.

5.1 Análisis Geográfico de las concentraciones de metales pesados depositadas en los suelos de Torreón.

En el presente capítulo se analizan los resultados de los muestreos que se han llevado a cabo a partir del año 2000. En este capítulo se realiza un análisis geográfico de cómo ha evolucionado la problemática de la contaminación por metales pesados en los suelos de Torreón. Han sido 19 elementos los que se han analizado en estos años, pero el enfoque en este trabajo, se dará principalmente a la contaminación por plomo, cadmio y arsénico.

5.2 Cronología de los análisis.

5.2.1 Año 2000.

En el año 2000, se inició con el proyecto de la recolección de muestras para analizar los niveles de concentración de metales pesados que almacenaba Torreón en sus suelos. Primero se inició con la recolección de 30 muestras distribuidas en diversos puntos de la ciudad, tomando como centro la fundidora más grande de Latinoamérica, Peñoles. El análisis sólo se realizó para muestras no tamizadas, es decir, no se analizaron las partículas más pequeñas, que es más fácil entren al cuerpo por inhalación o ingestión. En este año se realizó solamente el análisis por digestiones ácidas, éste para representar la concentración total de metal presente en los suelos, y únicamente se obtuvieron resultados para las concentraciones de plomo y cadmio presentes en los suelos.

5.2.2 Año 2002

El año previo al 2002, no se realizó muestreo, retomando el proyecto hasta este año, en este muestreo se analizaron de igual manera únicamente plomo y cadmio, también sólo para análisis por digestiones ácidas y muestras no tamizadas, de igual manera con el monitoreo de 30 sitios de la ciudad de Torreón Coahuila.

5.2.3 Año 2003

A partir del año 2003 se incrementó el número de muestras de 30 a 50. También se iniciaron los análisis para extractos acéticos y acuosos pero únicamente para plomo y cadmio. Se inició con el análisis de los 19 elementos que se analizan actualmente, pero únicamente por el análisis de digestiones ácidas. Las muestras analizadas fueron únicamente no tamizadas.

5.2.4 Año 2004

Fue hasta el año 2004 que se realizaron análisis para muestras tamizadas y no tamizadas, y se llevaron a cabo los tres tipos de análisis para plomo y cadmio. Para los elementos restantes, continuó solamente el análisis por digestiones ácidas. Este año se llevaron a cabo dos muestreos, uno se dio en el mes de febrero y otro más para el mes de septiembre.

5.2.5 Año 2005

El año 2005 los muestreos y análisis se llevaron de igual manera que en el año anterior, con la variación que sólo se realizó un muestreo por año.

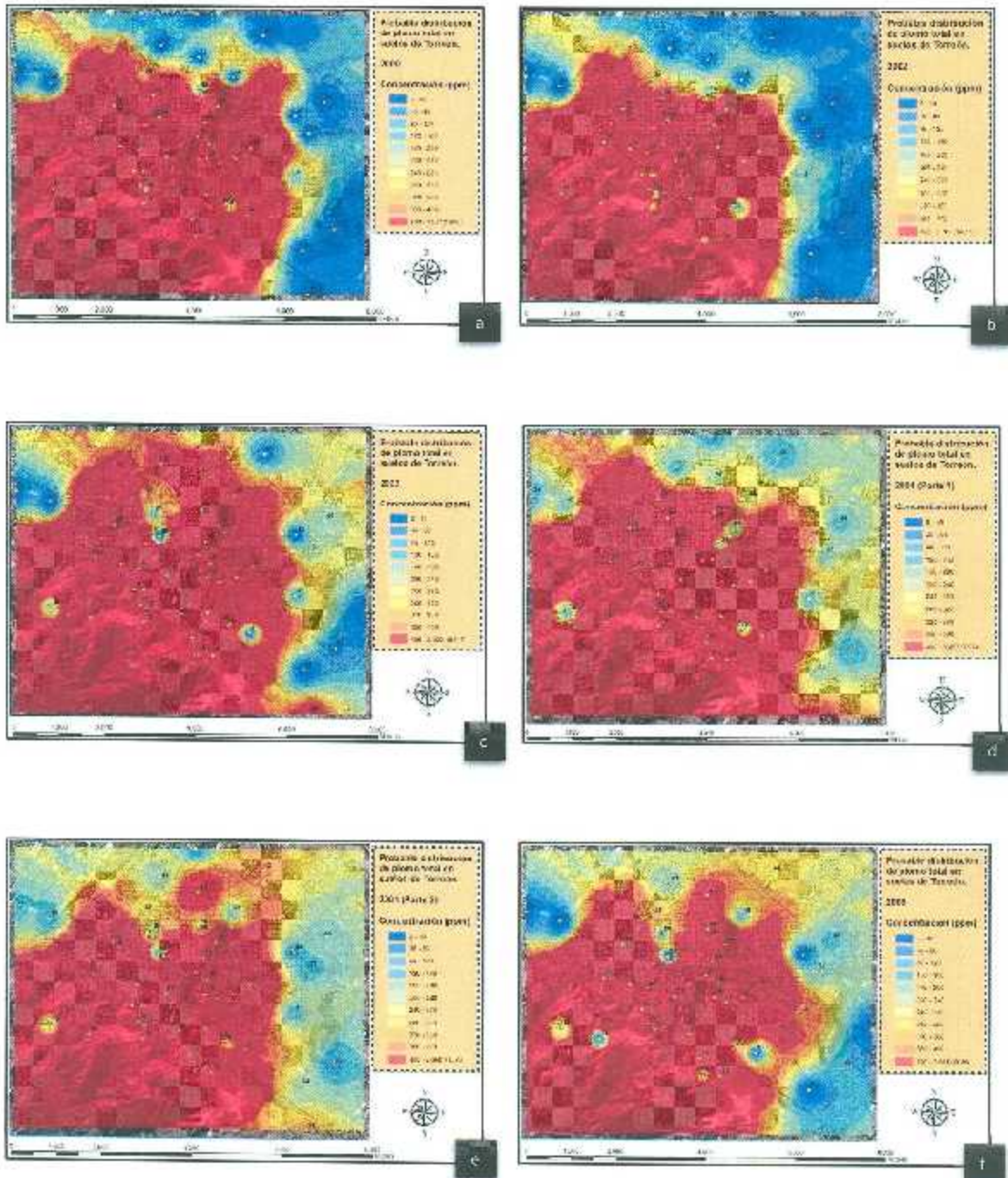
5.2.6 Año 2006

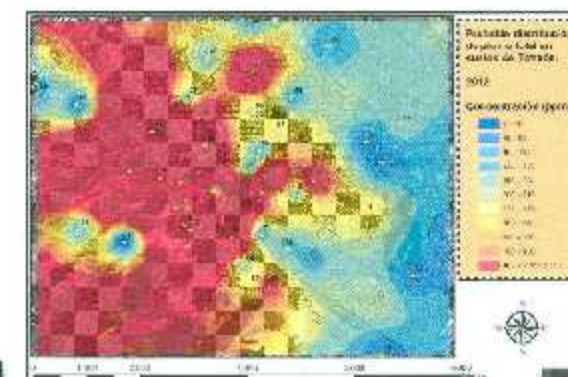
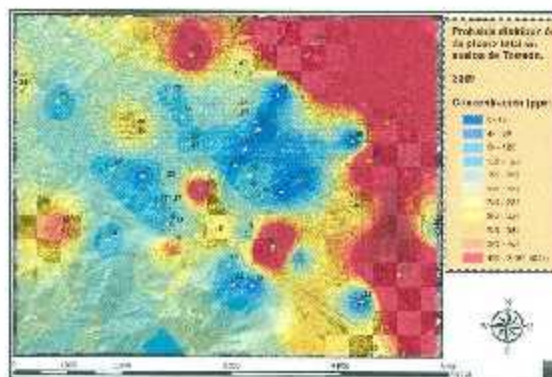
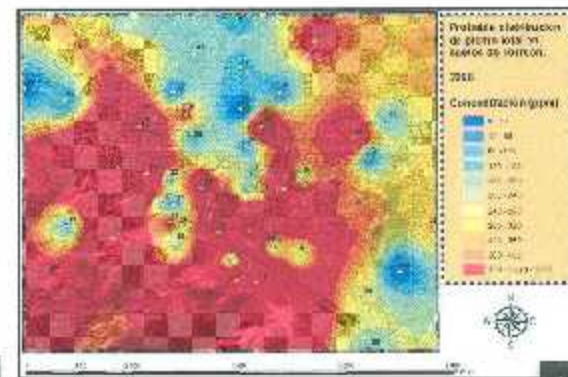
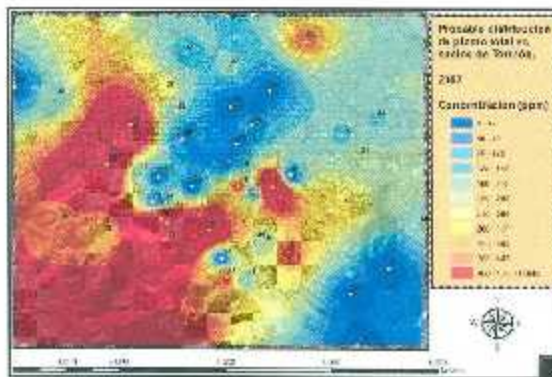
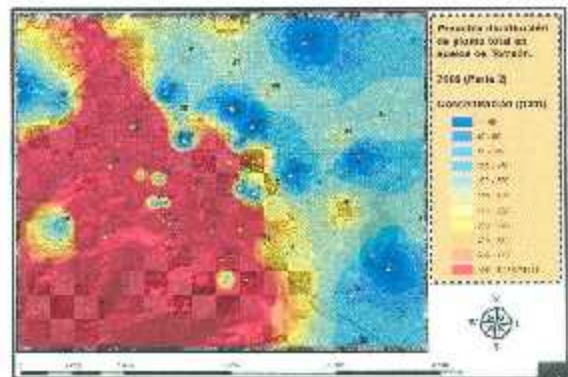
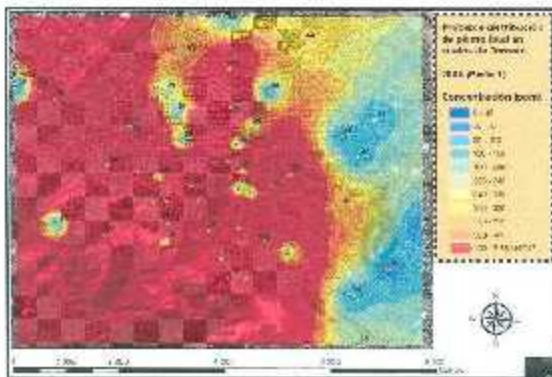
Este año también cuenta con dos muestreos, uno se dio en el mes de febrero, similar a los últimos análisis en los años anteriores, y el siguiente en el mes de noviembre, en los resultados analizados en la segunda parte ya se cuenta con una medición más amplia 5 de los 19 elementos en total tienen los tres tipos de análisis, éstos son: análisis por digestiones ácidas, análisis por extractos acéticos y análisis por extractos acuosos. Generando seis tablas con diferentes mediciones de concentración para cada uno de estos 5 elementos analizados (arsénico, cadmio, plomo, cobre, zinc), los 14 elementos restantes sólo pasan por el análisis de digestiones ácidas para la fracción tamizada y no tamizada. A partir de este año todos los análisis son los mismos.

A continuación se muestran los mapas de distribución de metales pesados para los metales plomo, cadmio y arsénico. Recopilando todos los análisis realizados para cada uno de los años.

5.3 Análisis para el plomo

5.3.1 Mapas de distribución del plomo por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.





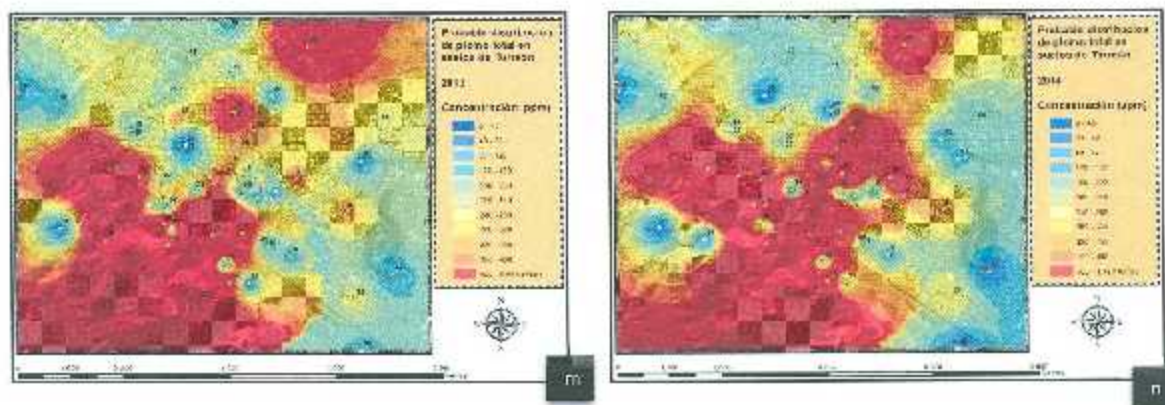
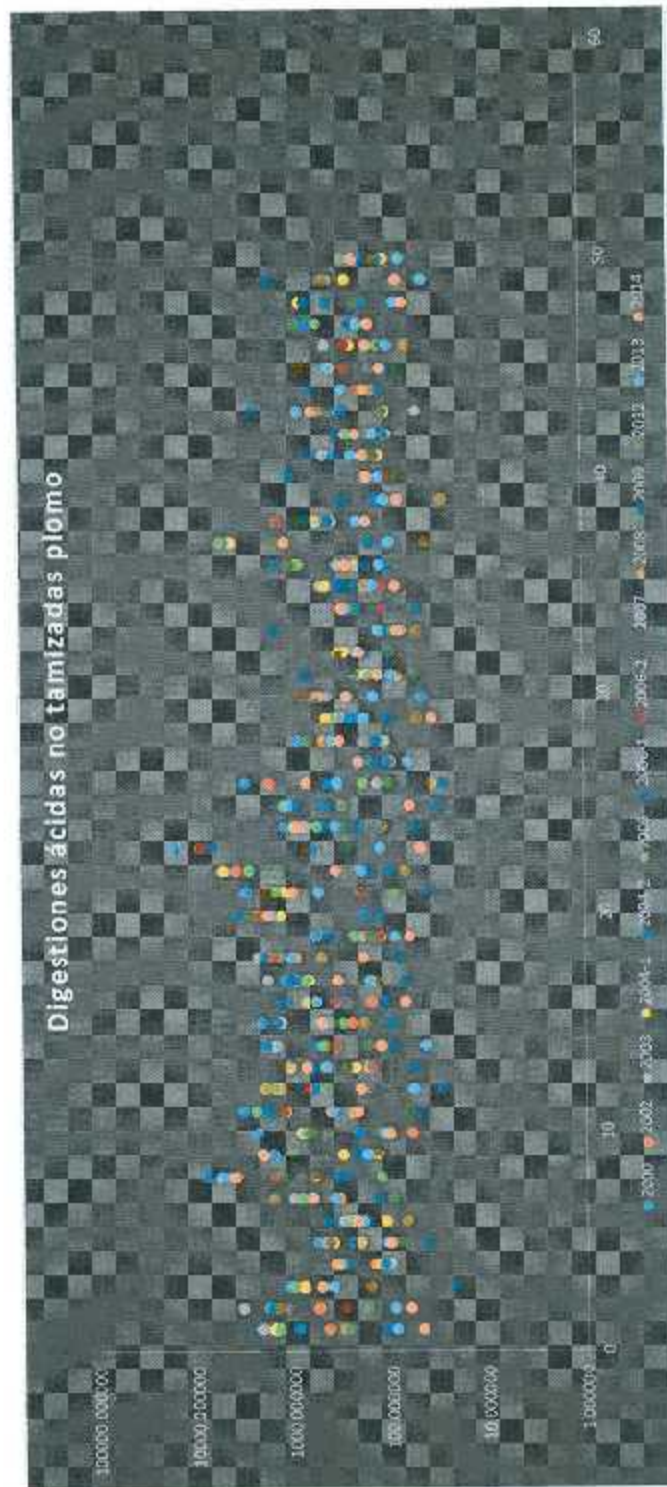


Figura 5.1.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas no tamizadas para el plomo.

a) Año 2000, b) Año 2002, c) Año 2003, d) Año 2004 (Parte 1), e) Año 2004 (Parte 2), f) Año 2005, g) Año 2006 (Parte 1), h) Año 2006 (Parte 2), i) Año 2007, j) Año 2008, k) Año 2009, l) Año 2012, m) Año 2013, n) Año 2014.

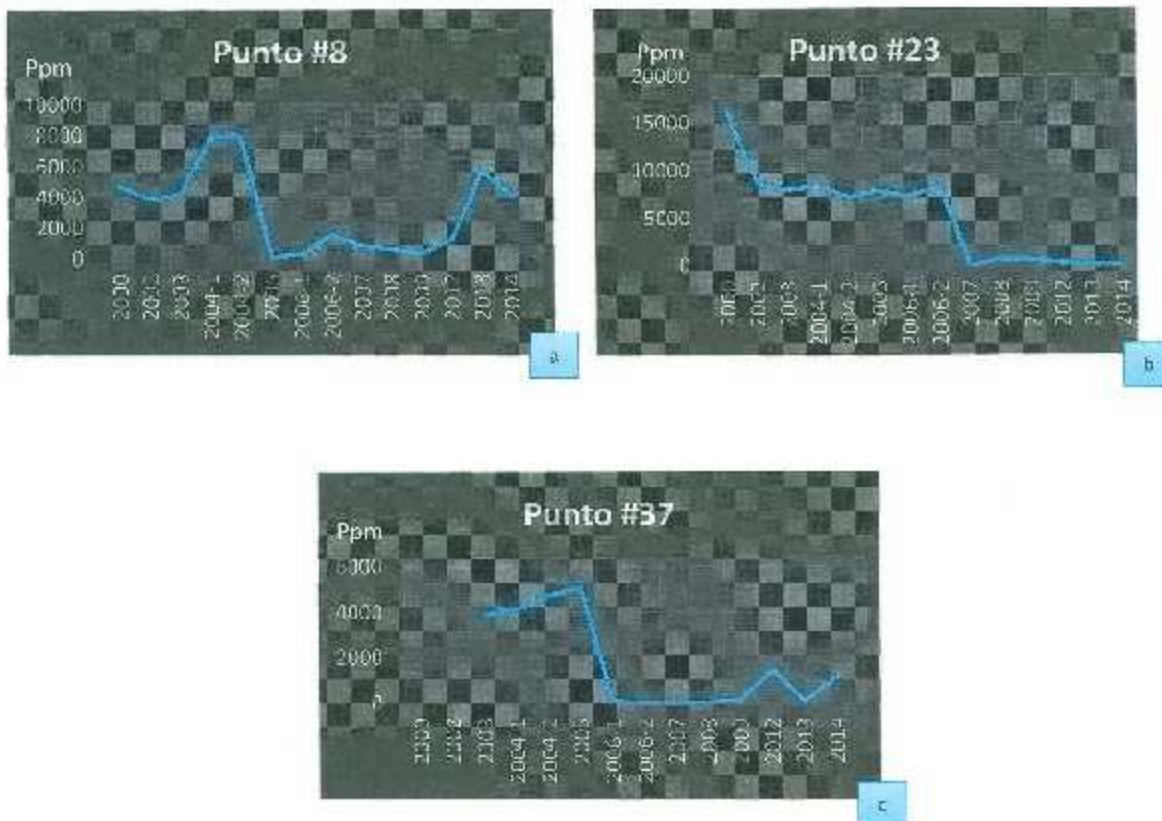


Gráfica 5.1.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.

Este tipo de análisis que representa la cantidad total de plomo en el suelo, permite visualizar como ha cambiado la distribución total en Torreón, mostrando que ha habido mejoras significativas, para el primer muestreo en el año 2000 se tenían hasta 16,216 ppm y en el año 2007 tuvimos la cantidad mínima muestreada de 1,223 ppm una cantidad trece veces menor, es preocupante que para el año 2009 el impacto se vio invertido y la cantidad ha vuelto a aumentar en estos últimos años.

En la gráfica 6.1 se muestra cómo ha evolucionado el problema a través de los años, graficando cada punto muestreado, el año y el límite que ha logrado alcanzar.

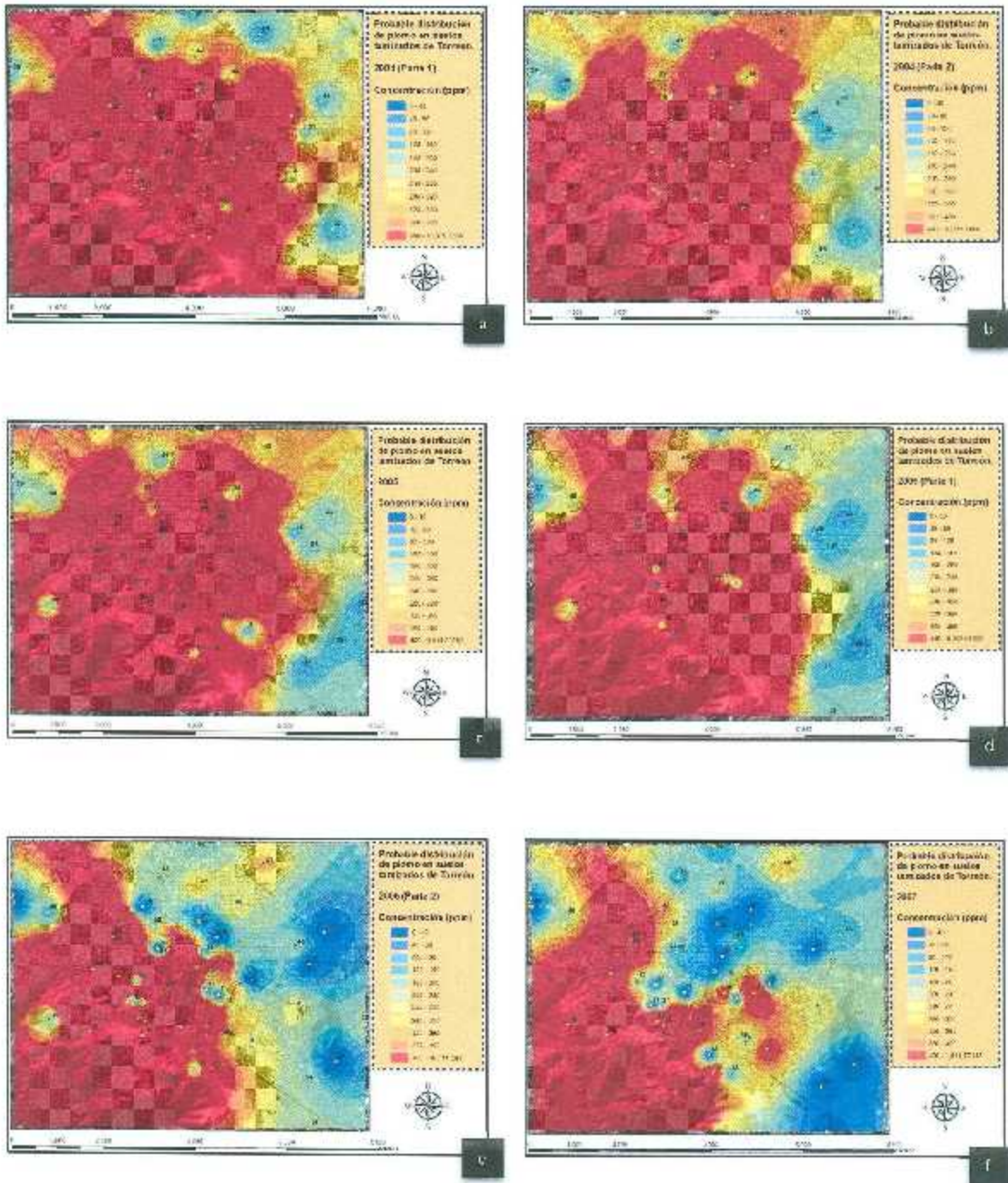
Al visualizar el gráfico es claro que son tres los puntos más altos en cuanto a concentración de plomo, ubicando éstos en la muestra #8, #23 y #37, los que representan el mayor problema, puntos que tienen su dirección muy cercana a la fundidora Met-Mex Peñoles, los mayores problemas se dieron para el punto #8 en el año 2004, esto se logró visualizar en el primer muestreo, para el punto #23 el cual ha representado la mayor concentración monitoreada en todos estos años, se dio para el año 2000 al inicio de este proyecto, mientras que para el punto #37 la más alta medida registrada se dio en el año 2005. En la gráfica 6.2 se logra apreciar el comportamiento de estos sitios a lo largo de todo el proyecto, notándose que la dirección #8 ha tendido a aumentar estos últimos años, de igual manera la dirección #37 ha subido en comparación a años anteriores.



Gráfica 5.2.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas no tamizadas para el plomo.

a) Ubicación #8, b) Ubicación #23, c) Ubicación #37.

5.3.2 Mapas de distribución del plomo por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.



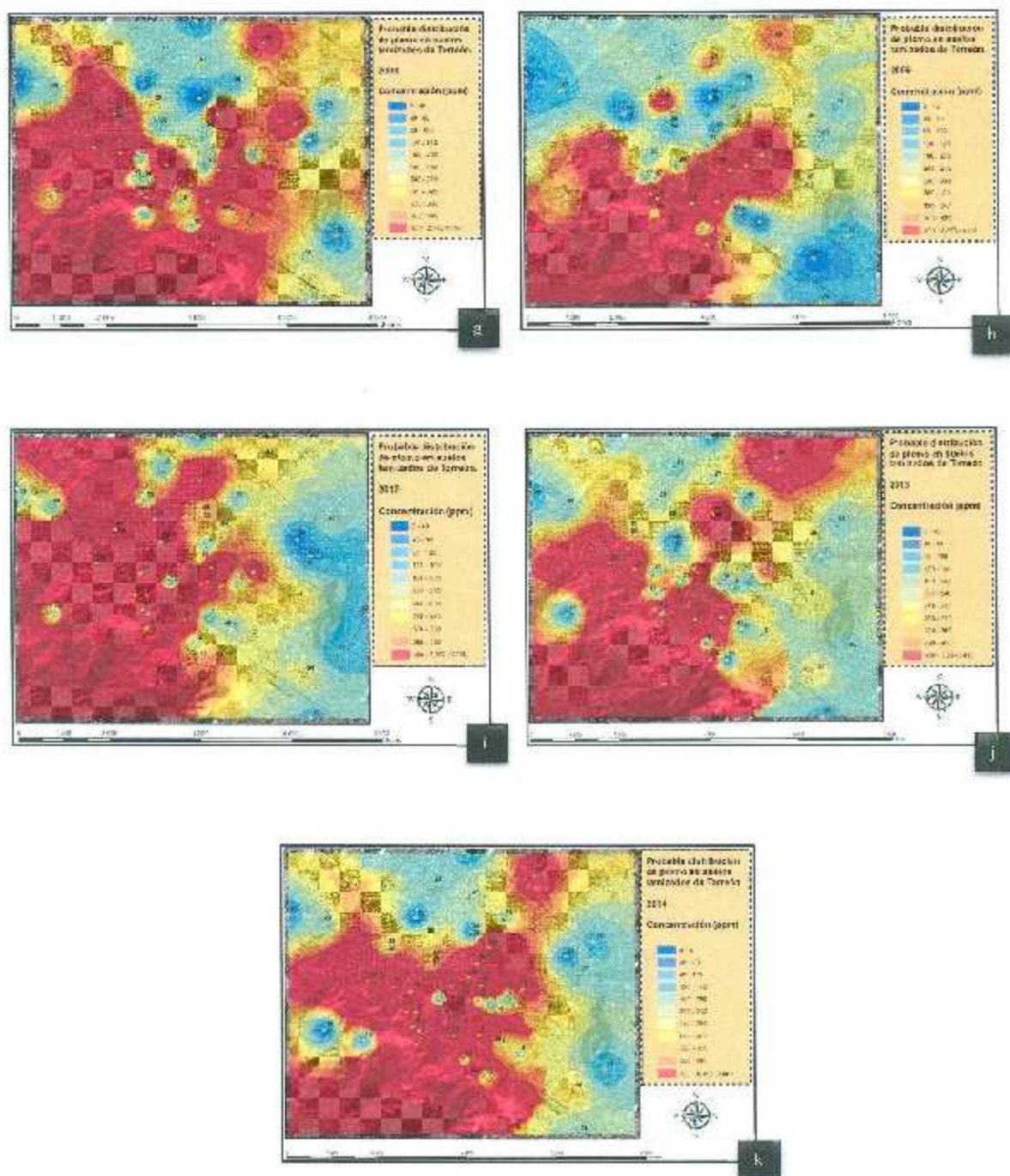
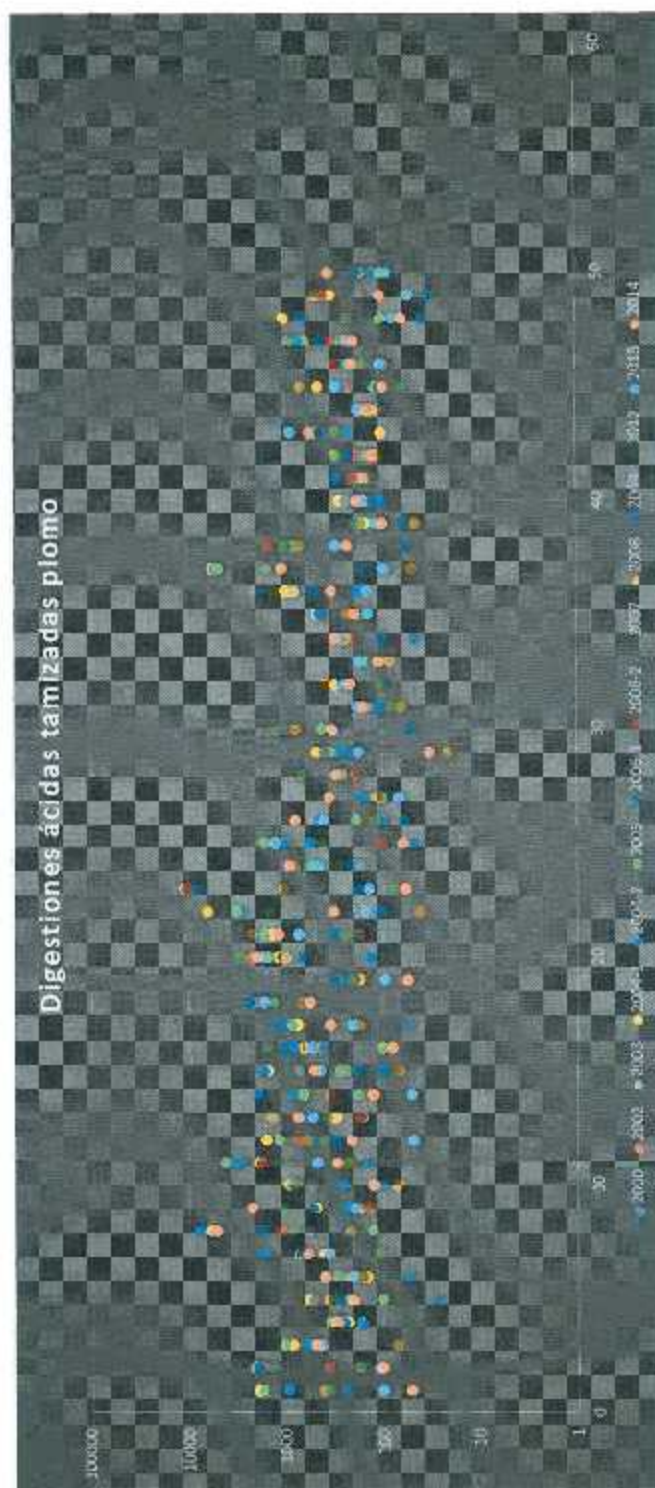


Figura 5.2.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas tamizadas para el plomo.

a) Año 2004 (Parte 1), b) Año 2004 (Parte 2), c) Año 2005, d) Año 2006 (Parte 1), e) Año 2006 (Parte 2), f) Año 2007, g) Año 2008, h) Año 2009, i) Año 2012, j) Año 2013, k) Año 2014.

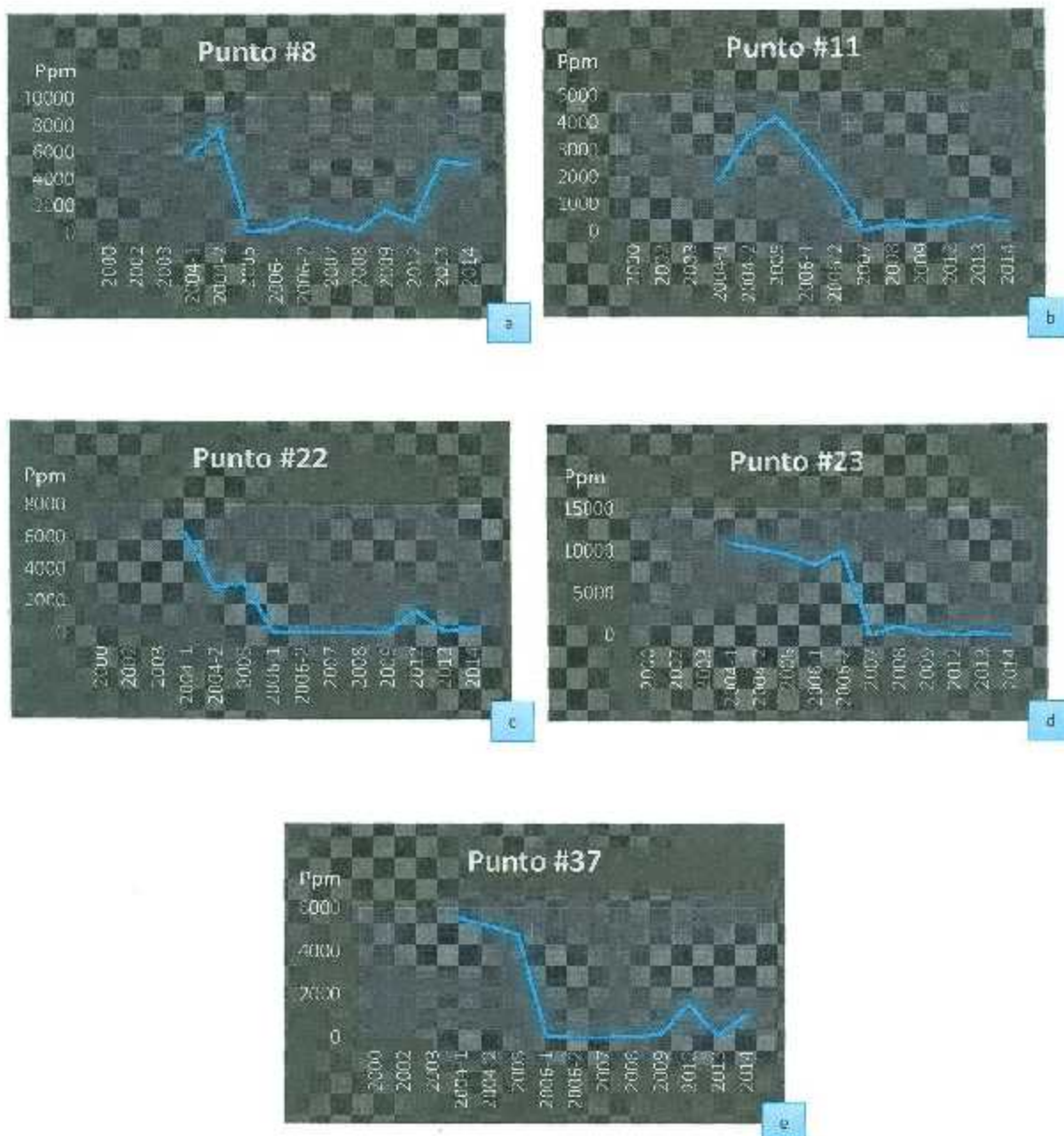


Gráfica 5.3.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el período total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.

En el análisis de digestiones ácidas tamizadas la distribución a través de los años resulta similar al análisis de digestiones ácidas no tamizadas, pues es precisamente el primer año de muestreo el que presenta la mayor concentración de plomo muestreada en Torreón. Y el año 2007 el que presenta la menor cantidad.

La cantidad tiende a disminuir desde el primer muestreo pero en el segundo muestreo que se dio en el año 2006, la cantidad de plomo vuelve a subir pero ahora los puntos en situación crítica resultan menos y se puede apreciar que algunas zonas que sobrepasaban el límite máximo permisible según la NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 ^[70], ahora están por debajo de éste, concentrándose la situación crítica en las zonas aledañas a la fundidora. Mientras que la situación observada en el análisis anterior resulta similar en este análisis, los últimos dos años los niveles de plomo van en aumento en especial el año 2013, donde la concentración de plomo subió considerablemente con respecto al año 2007 que fue el que presentó niveles de plomo menores en todo el tiempo que se han realizado muestreos en la ciudad.

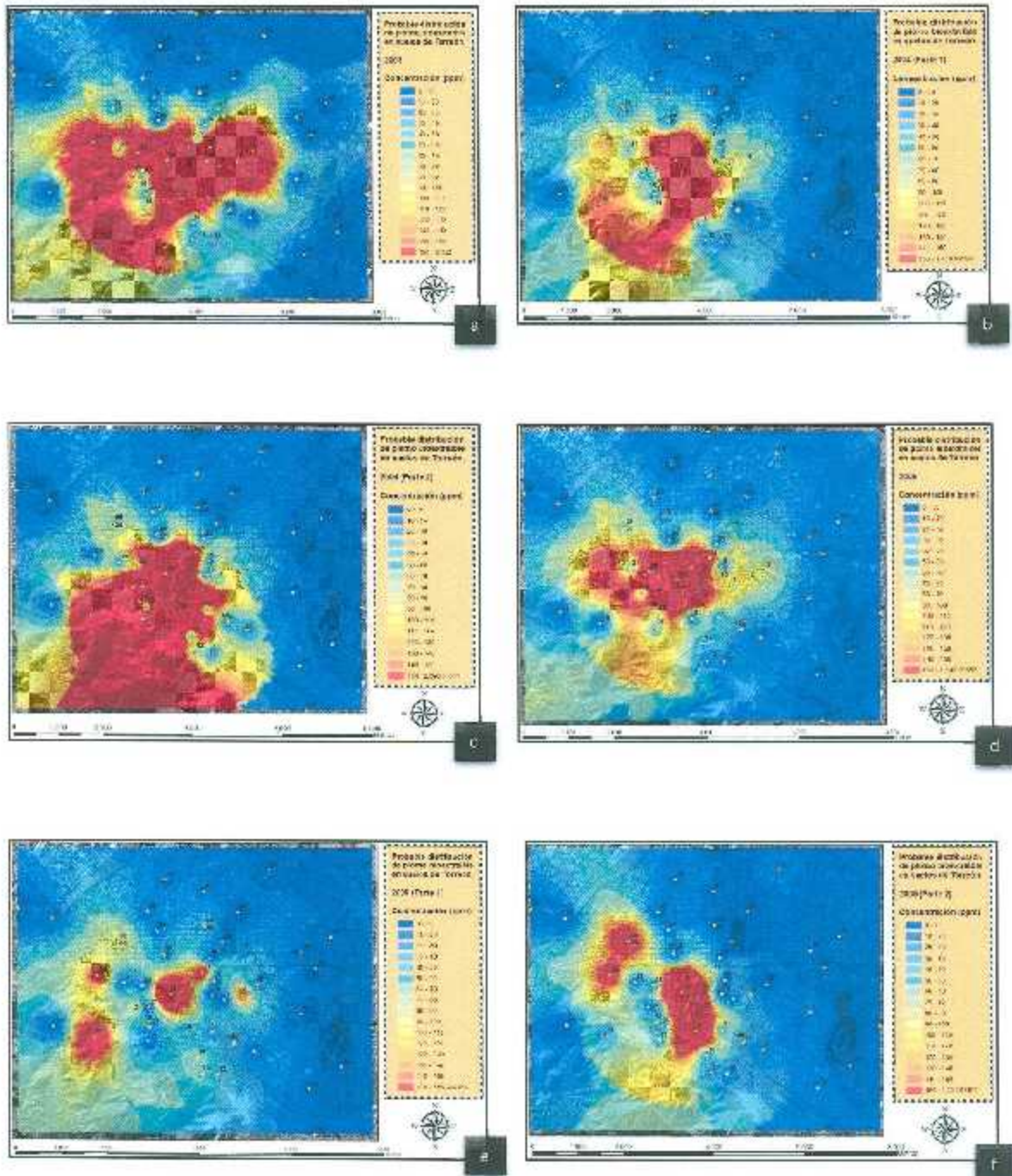
La gráfica 6.3 permite observar que nuevamente los puntos que presentan el mayor problema son los mismos (#8, #23 y #37) y el año en que subieron más las concentraciones para estos puntos fue el 2004 (primer y segundo muestreo), seguido de 2005, 2006 y 2013 donde se visualiza que el problema se vuelve a extender. En la gráfica 6.3 se logra observar que también el punto #11 y el #22 tienen altos niveles de concentración, pero en los últimos años ha disminuido en estas direcciones. En la gráfica 6.4, se permite ver el comportamiento de estas cinco ubicaciones, permitiendo ver cómo la ubicación #8 y #37 van a la alza en los últimos análisis.



Gráfica 5.4.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas tamizadas para el plomo.

a) Ubicación #8, b) Ubicación #11, c) Ubicación #22, d) Ubicación #23, e) Ubicación #37.

5.3.3 Mapas de distribución del plomo por el análisis de extractos acéticos no tamizados.



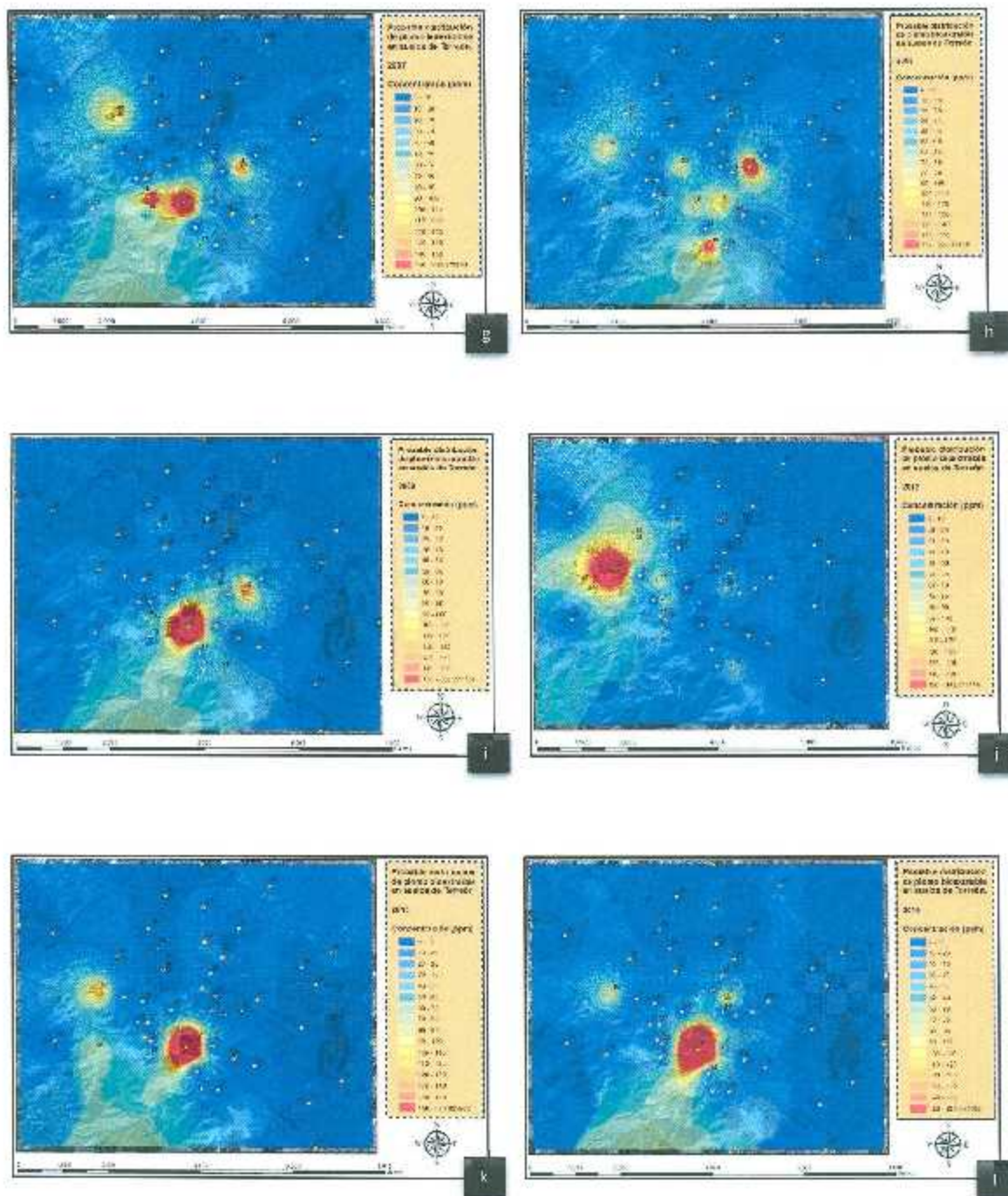


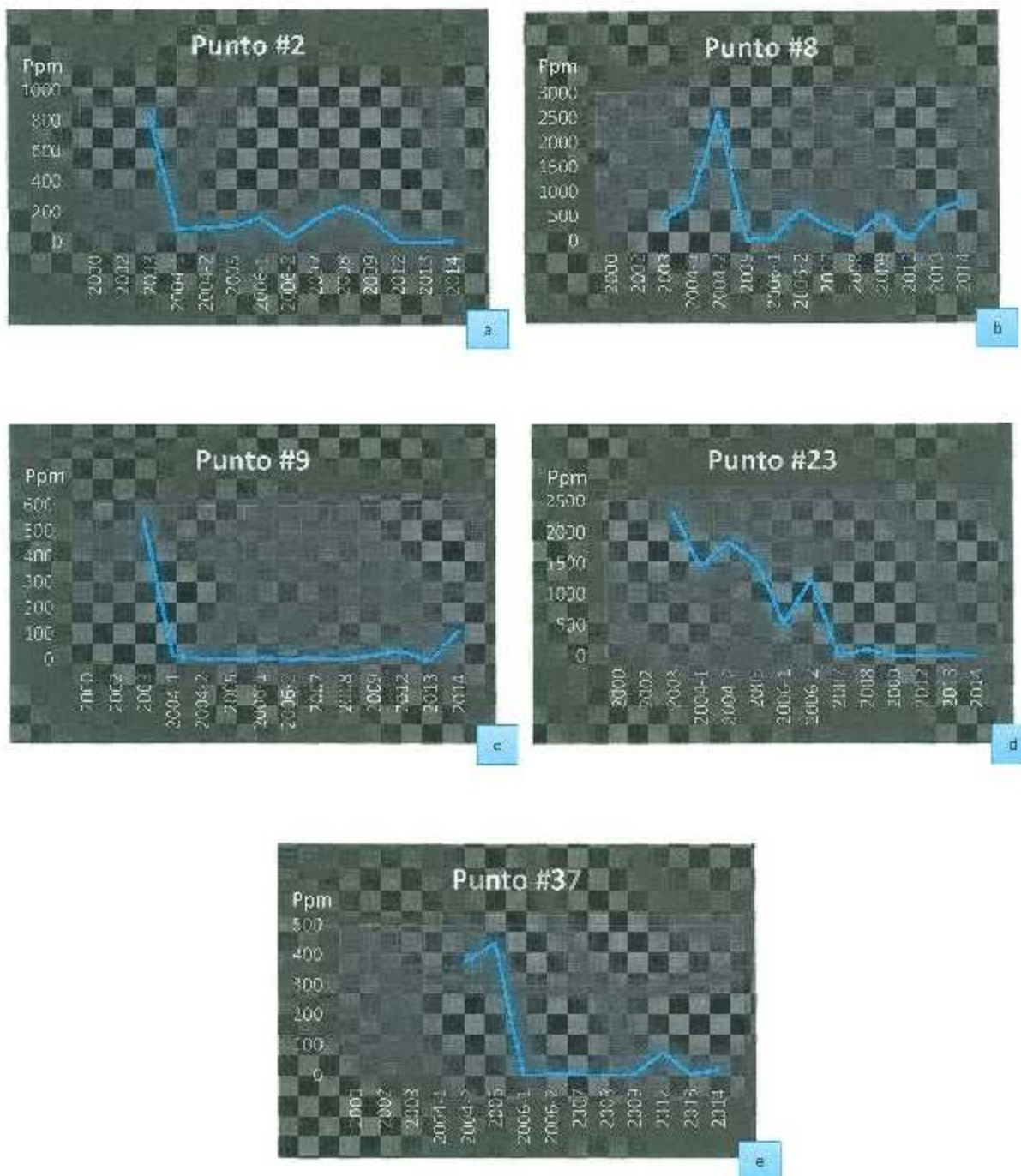
Figura 5.3.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos no tamizados para el plomo.
 a) Año 2003, b) Año 2004 (Parte 1), c) Año 2004 (Parte 2), d) Año 2005, e) Año 2006 (Parte 1), f) Año 2006 (Parte 2), g) Año 2007, h) Año 2008, i) Año 2009, j) Año 2012, k) Año 2013, l) Año 2014.



Gráfica 5.5.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos no tamizados.

Para el análisis de extractos acéticos no tamizados la mayor concentración de plomo se dio en el segundo muestreo del año 2004 con 2,598 ppm y la menor en el año 2008 con 243 ppm como la mínima concentración, demostrando que los niveles de plomo han bajado considerablemente. El comportamiento de la distribución se ha visualizado más variado que en los análisis anteriores, y es notable que a partir del año 2006 se ha agrupado especialmente en las zonas que se encuentra muy próximas a la fundidora, es notable también que existen años por ejemplo el 2005, 2006, 2008 y 2012 en que se ve agrupado en puntos cercanos a la fundidora, mas no allí. De igual forma que en los anteriores análisis se visualiza que para los últimos dos años la concentración ha vuelto a subir.

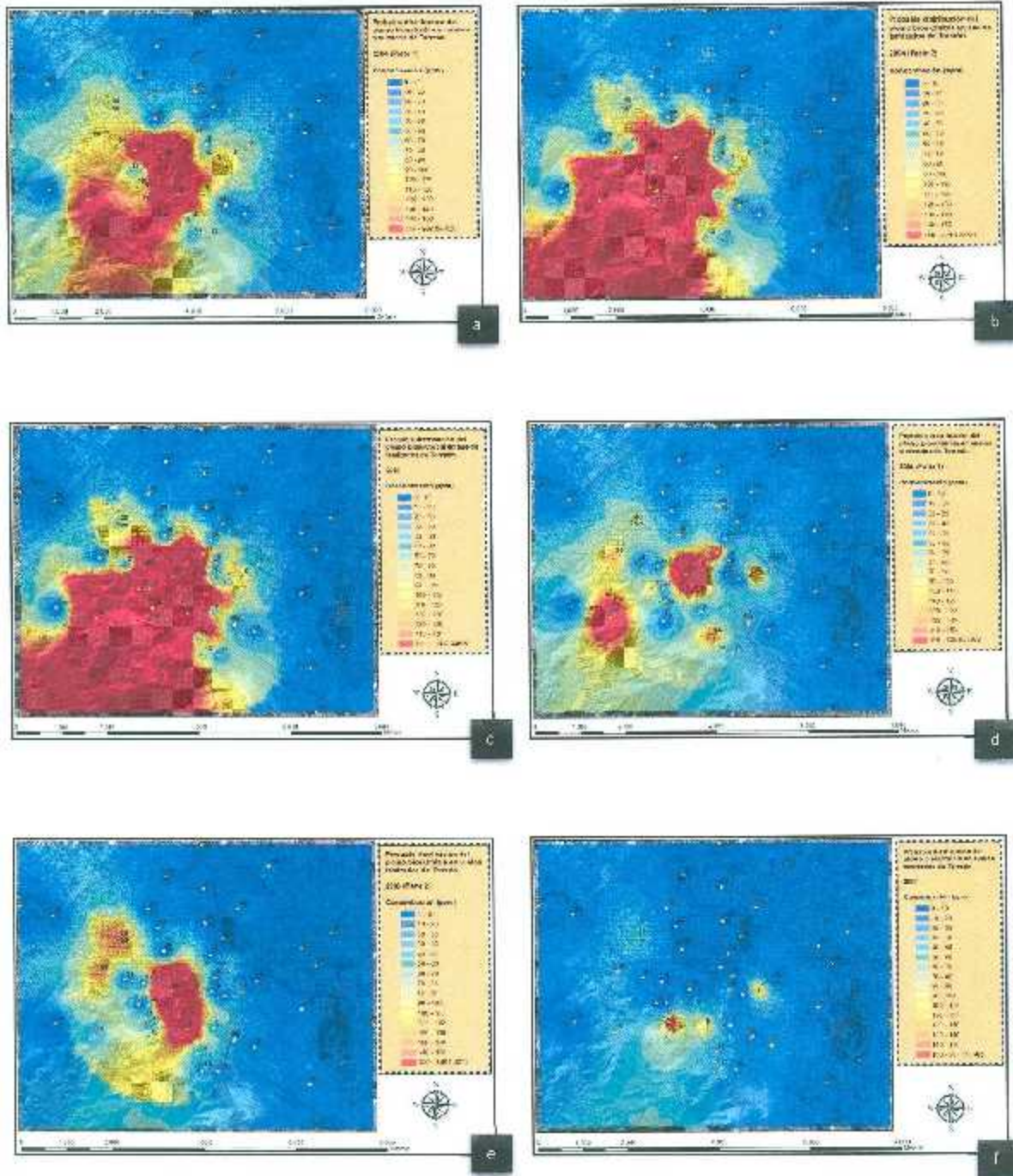
La gráfica 6.5 permite visualizar que esta vez los puntos más problemáticos resultan ser el #2, el #8 y el #23. Los puntos #2 y #23 presentaron su mayor concentración registrada en el año 2003, mientras que el punto 8 en el año 2004. Los puntos #9 y #37 también muestran altas concentraciones de plomo, pero en la actualidad estas concentraciones se han reducido considerablemente. La gráfica 6.6 permite visualizar que el punto #8 disminuyó considerablemente en comparación al año 2004 pero sus concentraciones están incrementándose nuevamente.

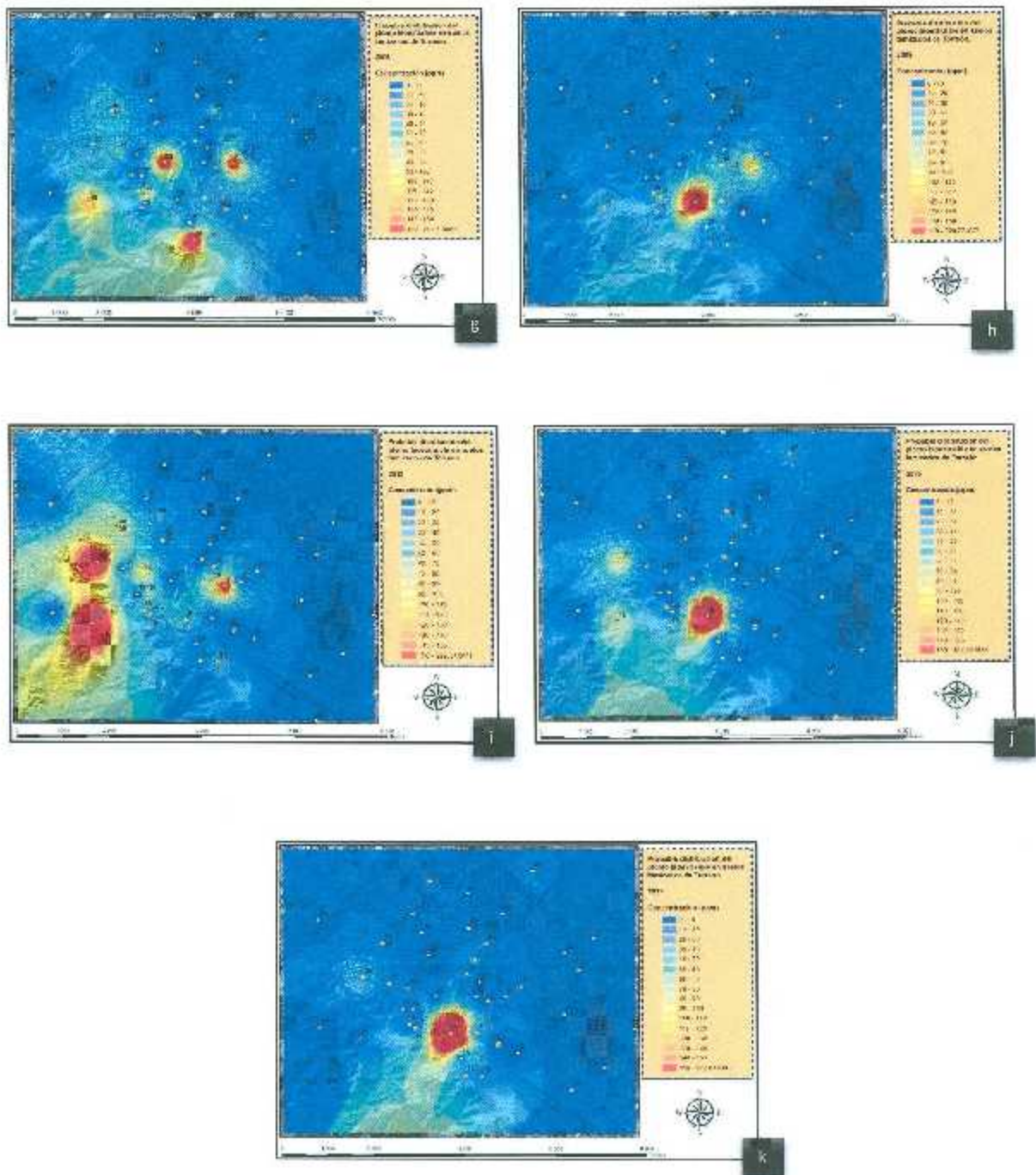


Gráfica 5.6.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos no tamizados para el plomo.

a) Ubicación #2, b) Ubicación #8, c) Ubicación #9, d) Ubicación #23, e) Ubicación #37.

5.3.4 Mapas de distribución del plomo por el análisis de extractos acéticos tamizados.



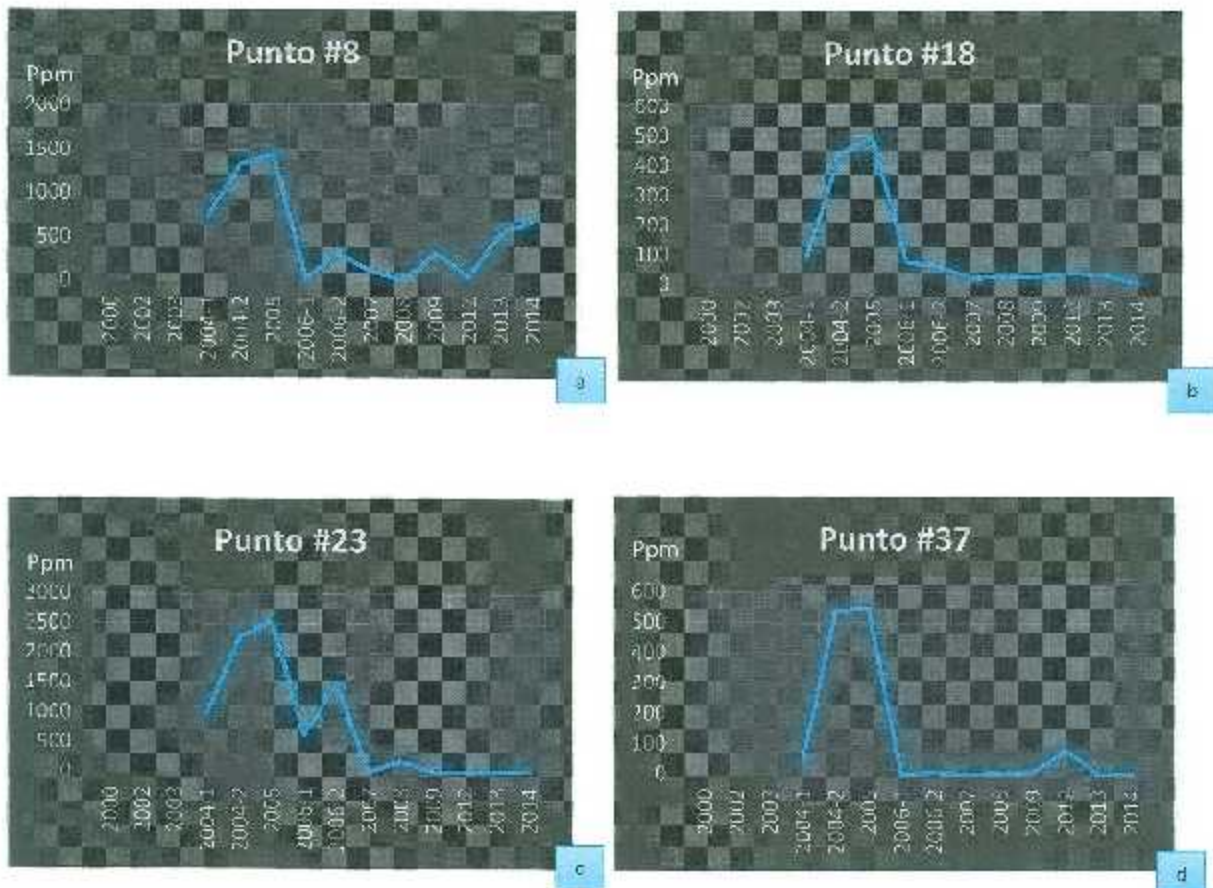




Gráfica 5.7.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos tamizados.

En el análisis de extractos acéticos tamizados la mayor concentración de plomo fue registrada en el año 2005 con 2,552 ppm, disminuyendo considerablemente en los resultados obtenidos en el muestreo del año 2007 con 233 ppm, los resultados para este tipo de análisis resultan variados pues no se manifiesta un patrón de reducción de concentración o aumento, sino que aumenta o disminuye sin un patrón a seguir, pero vuelve a mostrarse que para los últimos años la concentración está tendiendo a subir nuevamente, alcanzando para el año 2014, 676 ppm, una cantidad no tan alta como la del año 2005, pero si resultando en más del doble de concentración que se presentó para el año 2007.

La gráfica 6.7 vuelve a presentar los puntos #8, #23 y #37 como los tres con mayor problema de contaminación por plomo en suelos, puntos muy cercanos a la fundidora, siendo en el año 2005 en el que se dieron las concentraciones más altas registradas para los tres puntos. El punto #18 también representa una alta concentración de plomo, pero en los años actuales también se ha reducido la concentración en esa dirección. La gráfica 6.8 vuelve a mostrar nuevamente al punto #8 como el que ha subido considerablemente en los últimos muestreos.



Gráfica 5.8.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos tamizados para el plomo.

a) Ubicación #8, b) Ubicación #18, c) Ubicación #23, d) Ubicación #37.

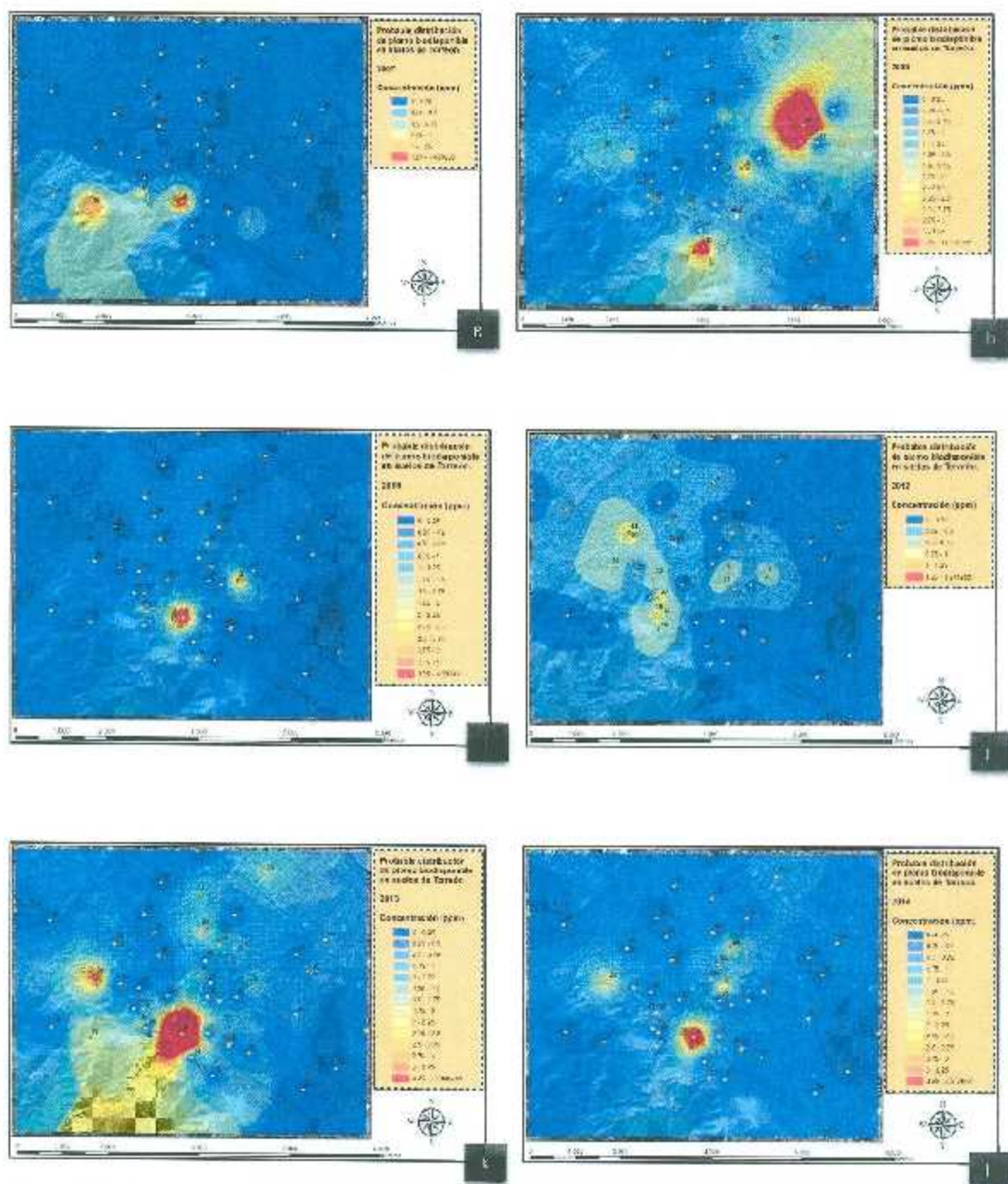


Figura 5.5.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos no tamizados para el plomo.

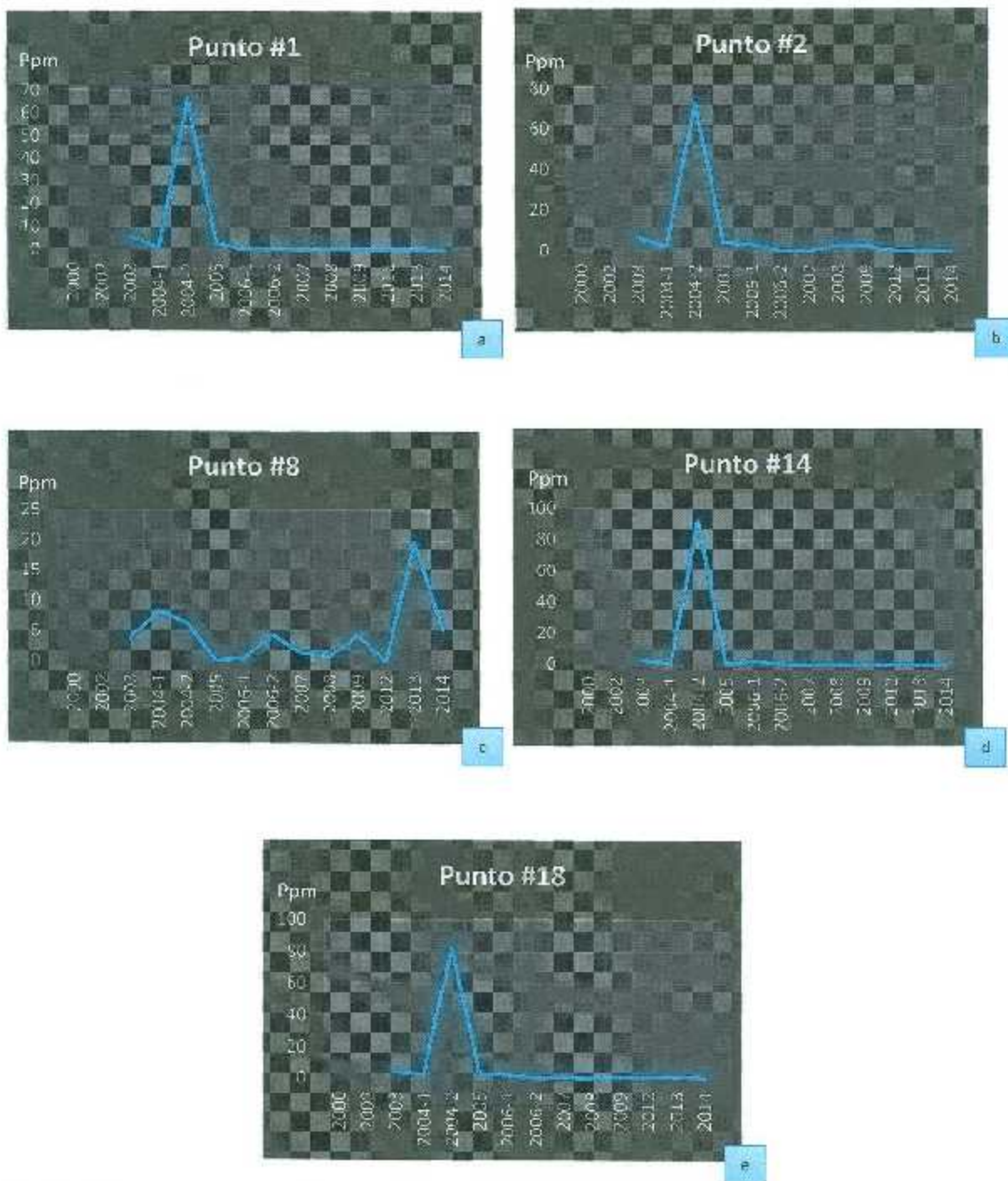
a) Año 2003, b) Año 2004 (Parte 1), c) Año 2004 (Parte 2), d) Año 2005, e) Año 2006 (Parte 1), f) Año 2006 (Parte 2), g) Año 2007, h) Año 2008, i) Año 2009, j) Año 2012, k) Año 2013, l) Año 2014.



Gráfica 5.9.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos no tamizados.

Para el análisis de extractos acuosos no tamizados el cual representa la cantidad que puede ser más peligrosa para la salud pública, se aprecia que en el año 2003 se tenía una concentración de 15.6 ppm en puntos cercanos a la fundidora, para el año siguiente, se realizaron dos muestreos, en la primera parte el muestreo indicó que esta concentración había disminuido casi a la mitad 8.3 ppm, pero la segunda parte de ese mismo año muestra un incremento exagerado llegando a 92 ppm y mostrando que toda la ciudad está en alta exposición a las concentraciones de plomo, siendo este año el que cuenta con los niveles más altos de plomo en suelo que han sido registrados a lo largo de los muestreos que se han llevado en estos 15 años. Es el año 2012 el que tiene la más baja concentración registrada con 1.29 ppm, pero ya para el muestreo del año 2013, está cantidad aumentó considerablemente en comparación al año anterior con la cantidad de 19.9 ppm, es decir aumentó más de 15 veces la concentración si se compara con el año anterior, en el muestreo 2014 la concentración disminuye nuevamente a 5.51 ppm.

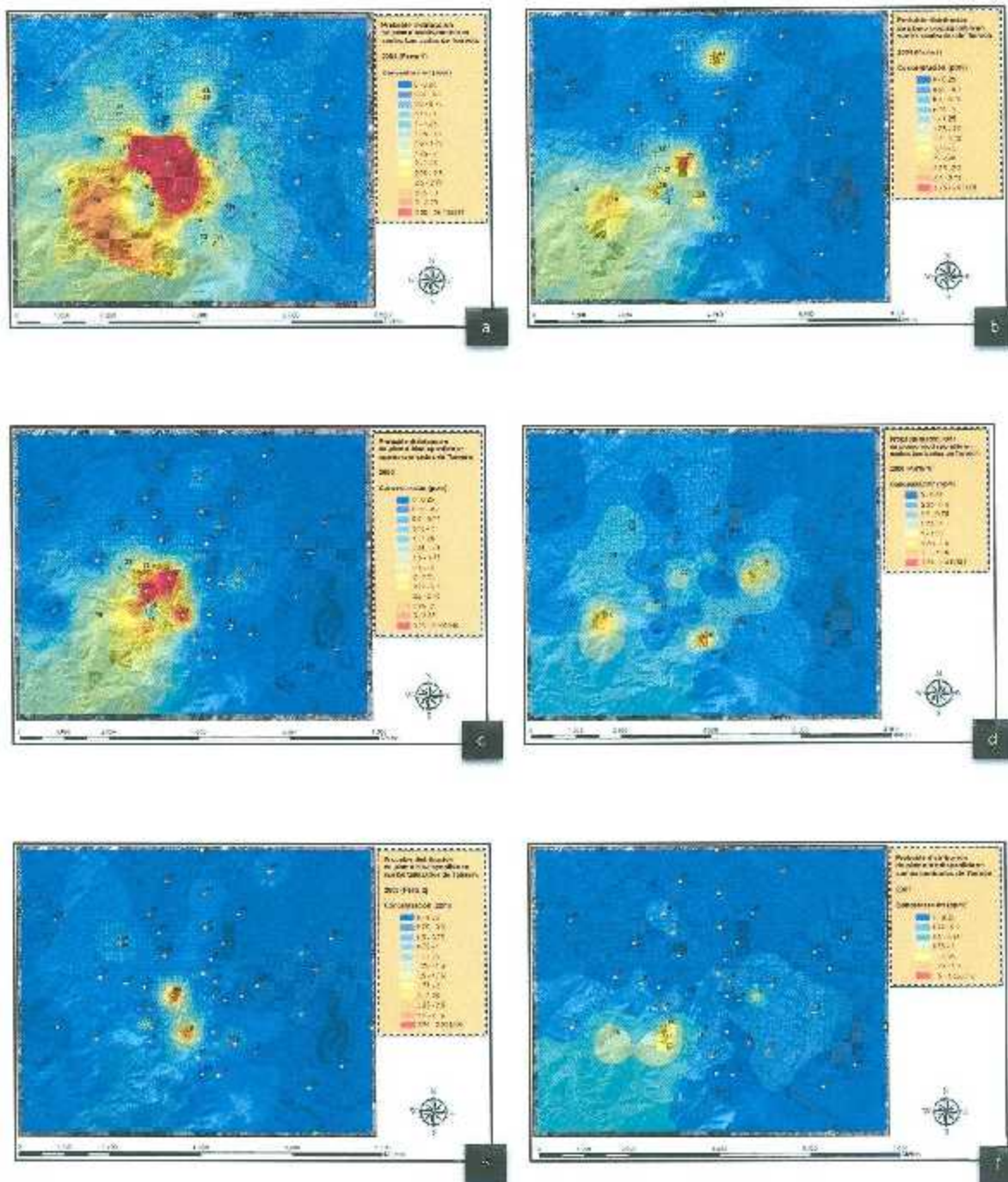
El gráfico permite apreciar que para este tipo de análisis es mayor la cantidad de sitios que suben a altas concentraciones, puntos como el #1, #2, #14, #18, entre otros presentan los niveles más altos, resultados que no se visualizan de igual manera en los análisis anteriores, como fue mencionado, los niveles más altos de concentración de plomo en suelos se dieron en el muestreo de la segunda parte del año 2004. Mostrando en este año que gran parte de los sitios muestreados tenían altos niveles de concentración. Se ha graficado el punto #8 porque si en un inicio presentaba concentraciones muy bajas, éstas han subido para los últimos análisis. Se puede ver el comportamiento de estos en la gráfica 6.10.

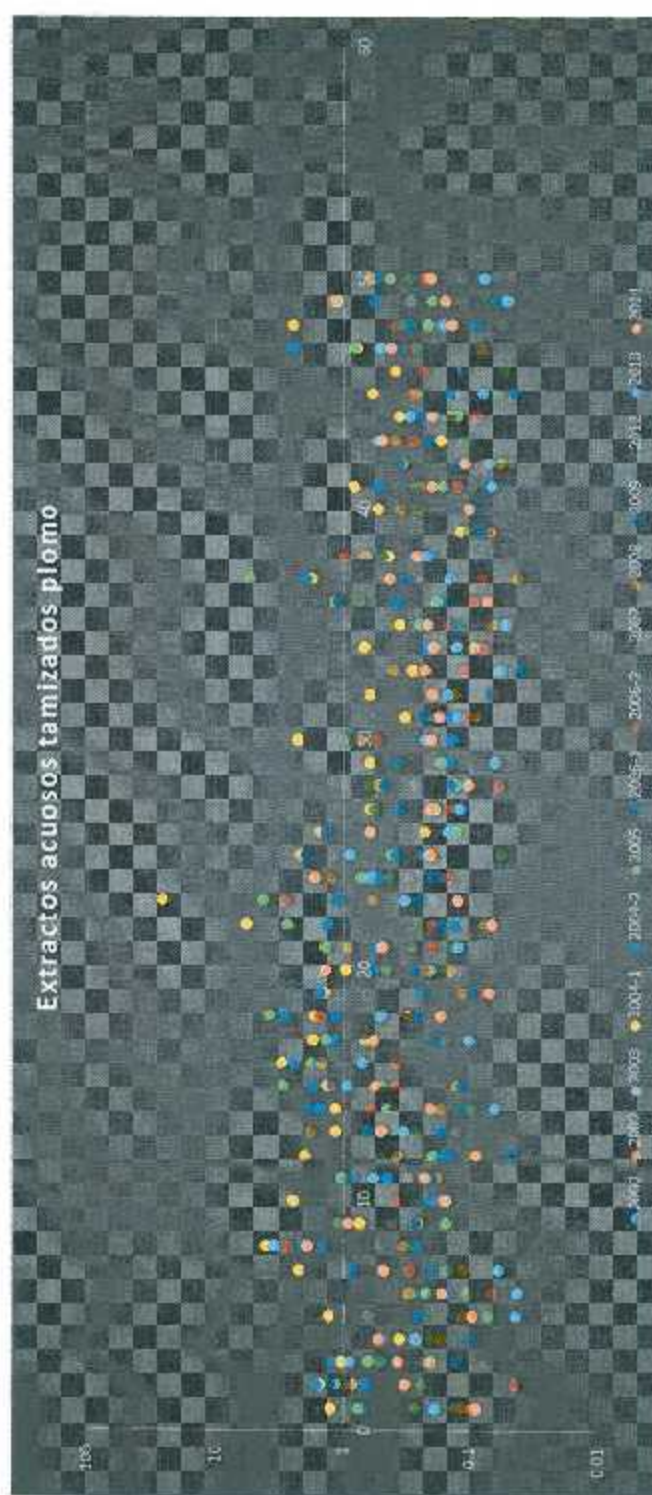


Gráfica 5.10.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos no tamizados para el plomo.

a) Ubicación #1, b) Ubicación #2, c) Ubicación #8, d) Ubicación #14, e) Ubicación #18.

5.3.6 Mapas de distribución del plomo por el análisis de extractos acuosos tamizados.



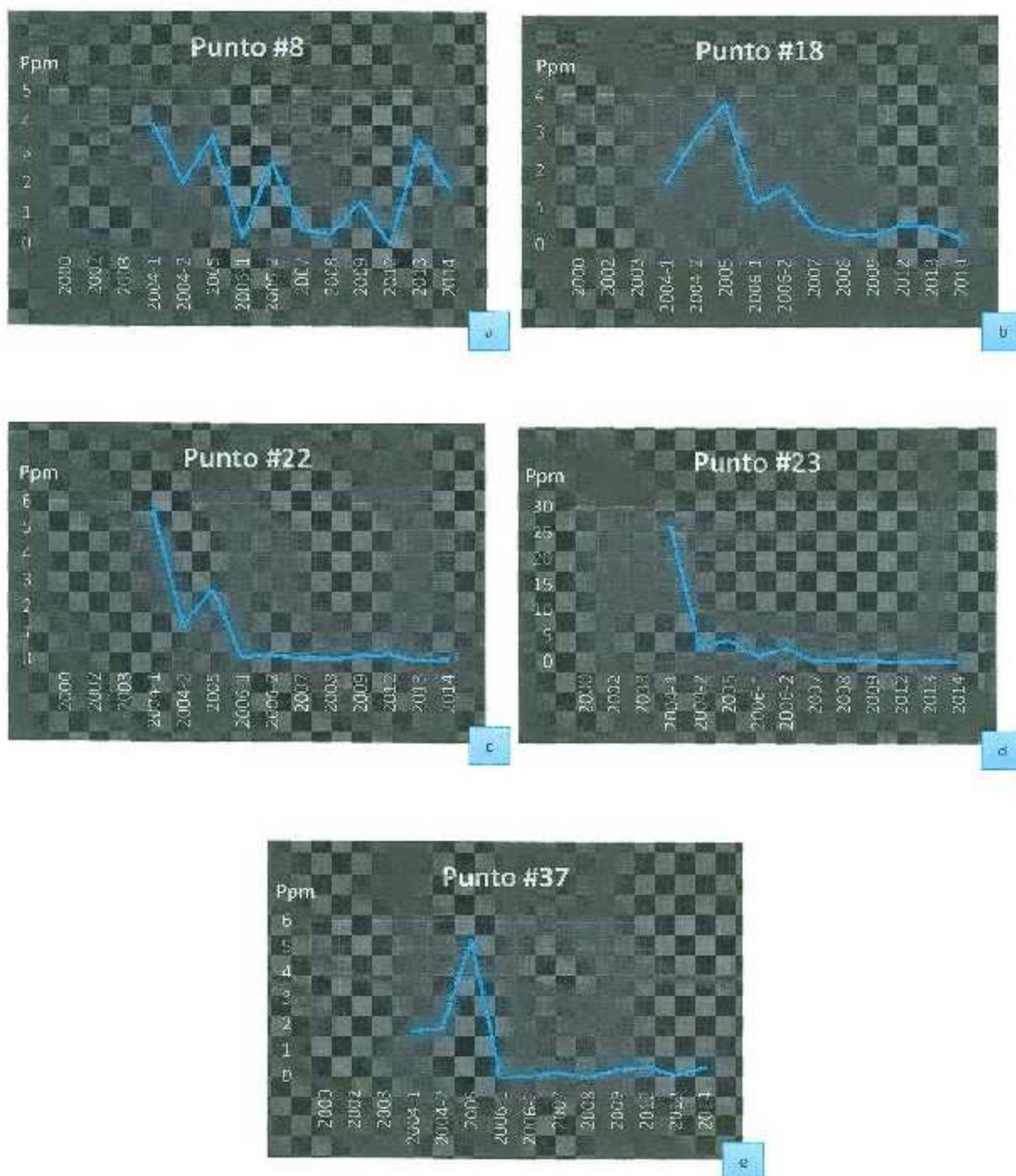


Gráfica 5.11.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de plomo en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos tamizados.

En el análisis de extractos acuosos tamizados, el año que muestra la más alta concentración es el 2004 en el primer muestreo, en este año se dio el primer análisis de este tipo con 26 ppm y para los años siguientes a éste, el patrón fue una disminución en los niveles de concentración de plomo, siendo el 2012 el que mostró la menor concentración con 1 ppm, en el año 2013 el nivel volvió a aumentar con 3.4 ppm, y en el año 2014 se redujo casi a la mitad con 1.8874 ppm. En los mapas es posible visualizar como al inicio de los muestreos la mancha roja cubría una mayor parte de Torreón pero actualmente se centra únicamente en las zonas aledañas a la fundidora.

La gráfica 6.11 muestra los puntos #8, #23 y #37 nuevamente como los que tienen los más altos niveles de concentración de metal y estos puntos han tenido sus más altas concentraciones en el año 2004.

En los seis tipos de análisis logró visualizarse que en comparación a los primeros muestreos, se refleja una disminución importante en los niveles de plomo que se encontraban en los suelos de Torreón, pero resulta preocupante que en los últimos dos años o en el último año de muestreo estos niveles están aumentando nuevamente. También los puntos #18 y #22 presentaron concentraciones elevadas en los años 2004 y 2005, pero actualmente ya no se han incrementado sino que han disminuido. El punto #8 es el más problemático de todos nuevamente y se comporta de manera no establecida, en forma de zigzag, mostrando que en los últimos años ha vuelto a subir sus niveles de plomo en el suelo.

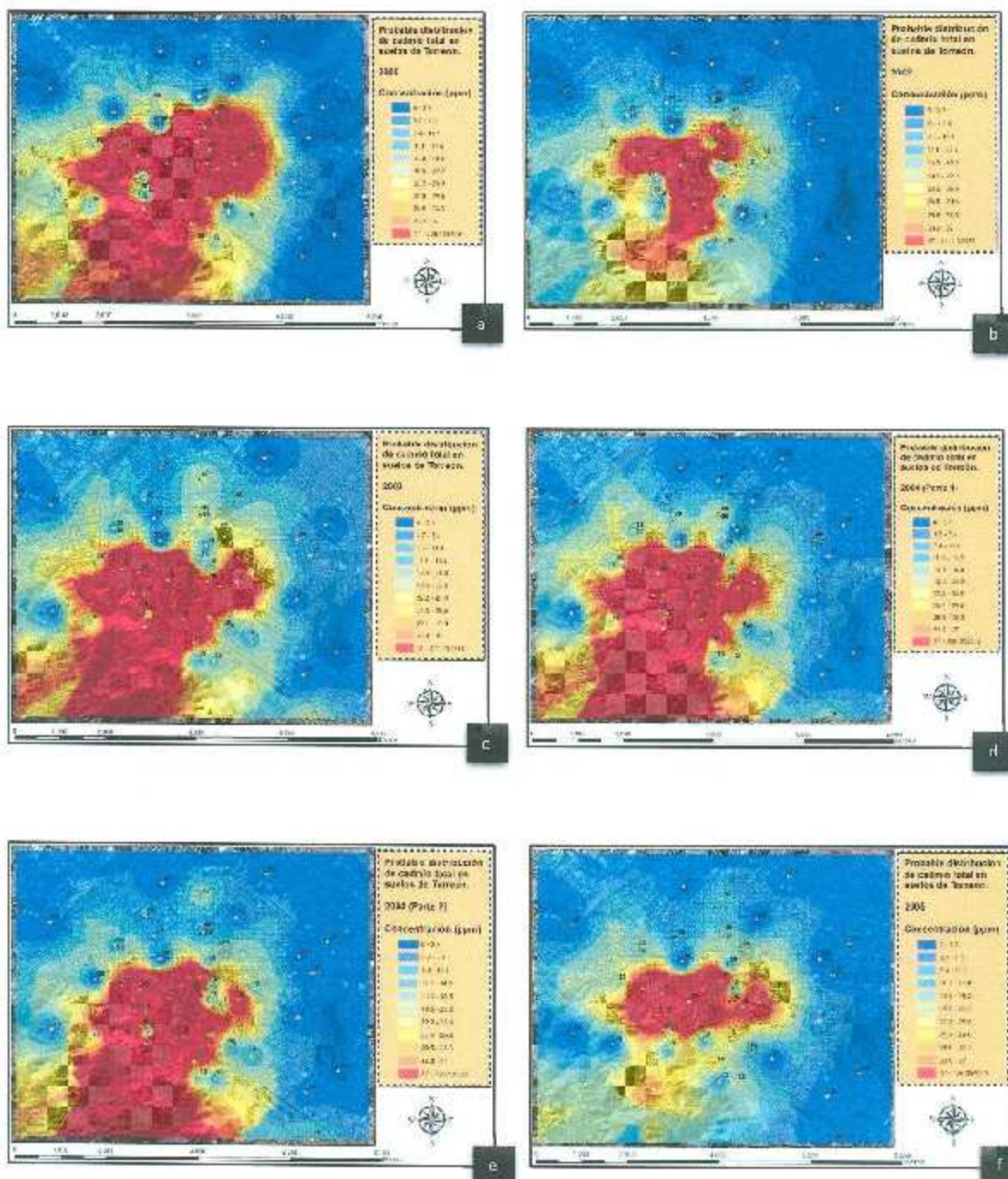


Gráfica 5.12.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos tamizados para el plomo.

a) Ubicación #8, b) Ubicación #18, c) Ubicación #22, d) Ubicación #23, e) Ubicación #37.

5.4 Análisis para el cadmio

5.4.1 Mapas de distribución del cadmio por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.



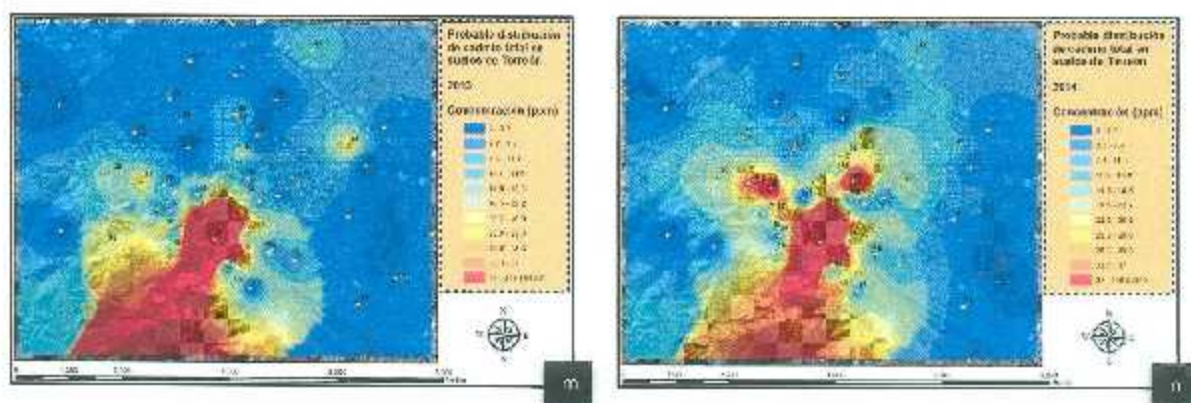


Figura 5.7.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas no tamizadas para el cadmio.

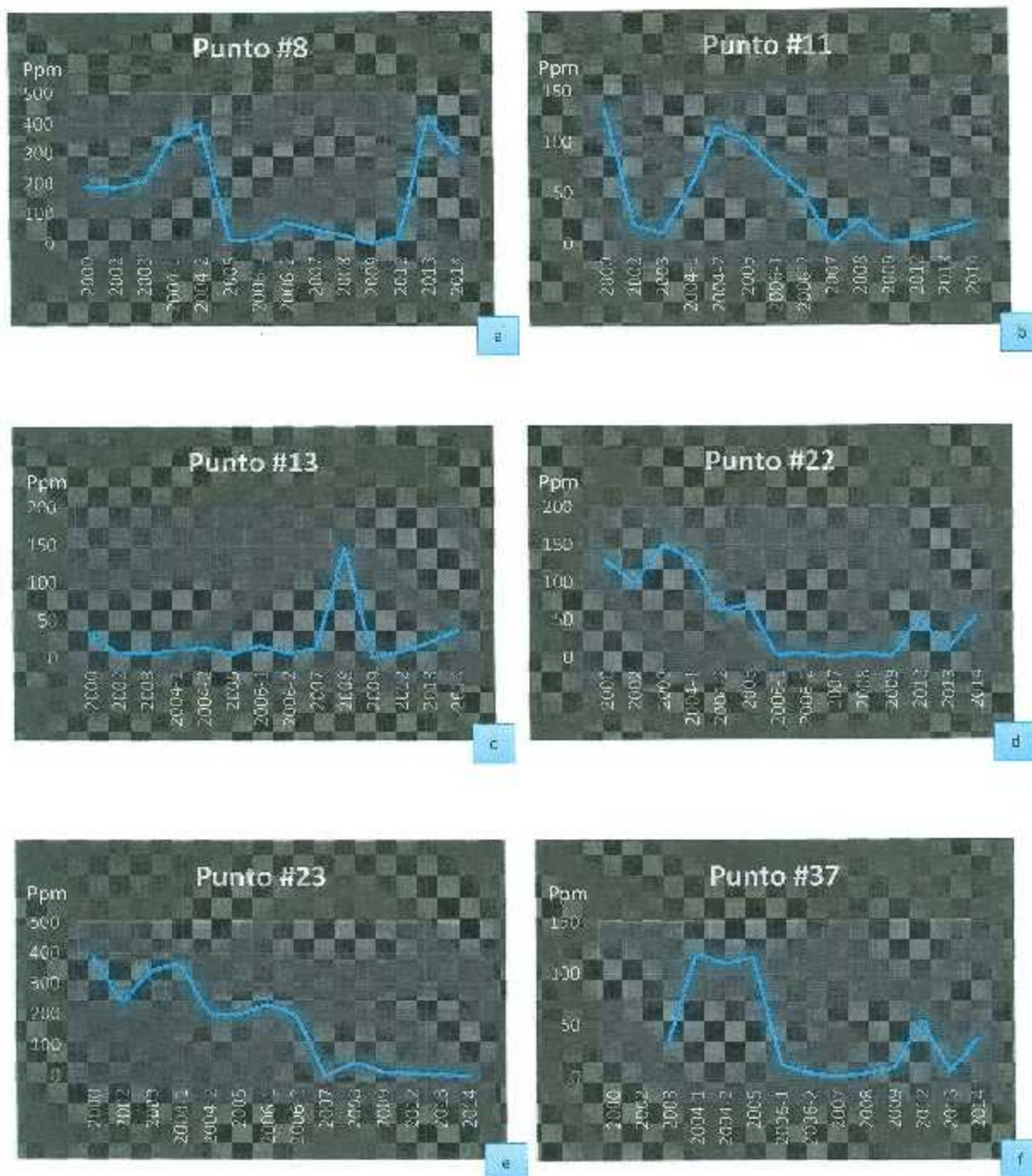
a) Año 2000, **b)** Año 2002, **c)** Año 2003, **d)** Año 2004 (Parte 1), **e)** Año 2004 (Parte 2), **f)** Año 2005, **g)** Año 2006 (Parte 1), **h)** Año 2006 (Parte 2), **i)** Año 2007, **j)** Año 2008, **k)** Año 2009, **l)** Año 2012, **m)** Año 2013, **n)** Año 2014.



Gráfica 5.13.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.

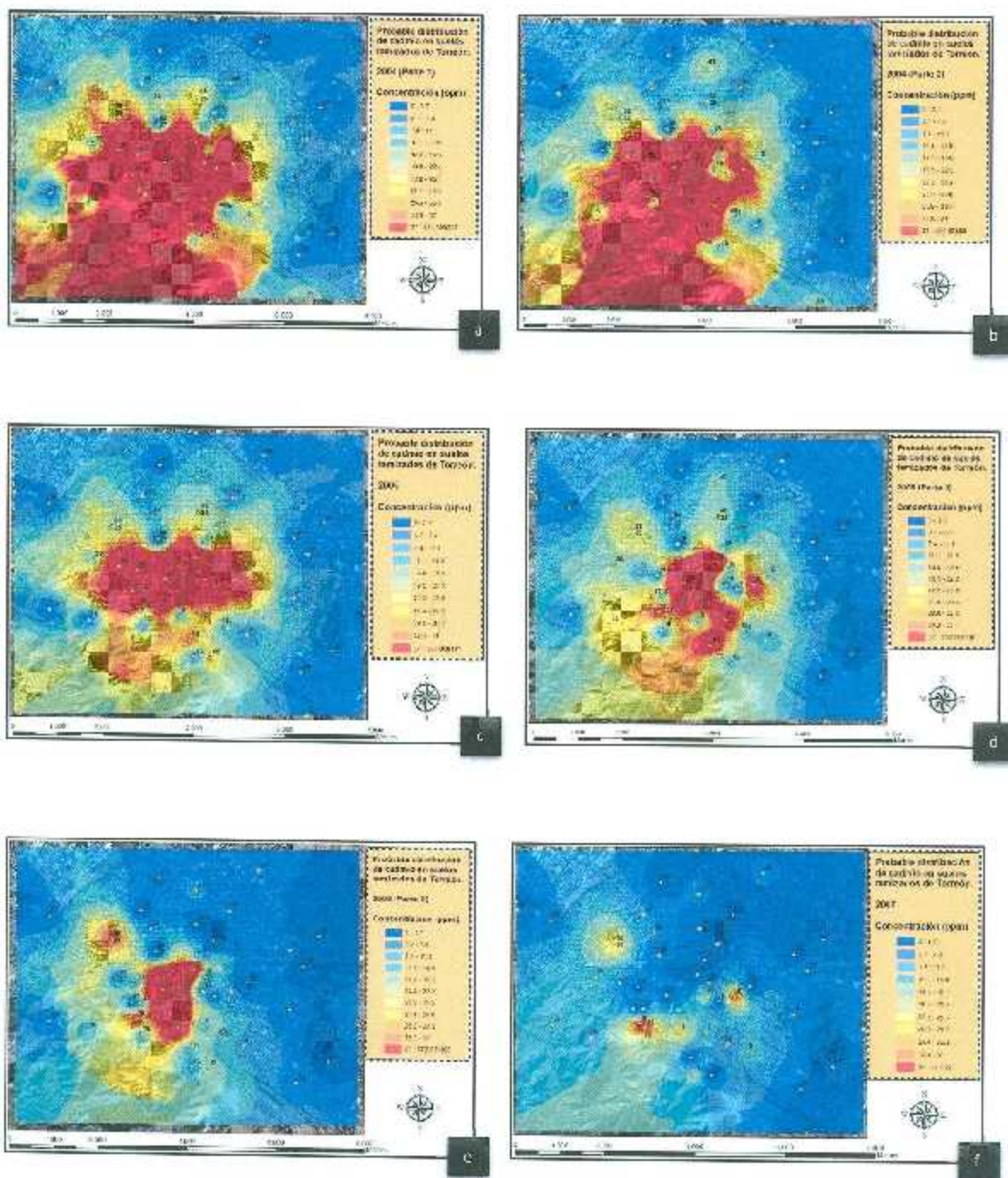
Para el análisis correspondiente a digestiones ácidas no tamizadas del cadmio el valor más alto de contaminación se ha presentado en el año 2013 con 416 ppm, el segundo más alto fue el segundo muestreo del año 2004 con 398 ppm, el año que presentó el nivel mínimo fue el año 2007 con 47 ppm en general el cadmio mostró niveles de concentración similares en los primeros años y empezó a disminuir a partir del año 2005, mostrando para el 2007 la concentración mínima, aún para el año 2012 se aprecia que el nivel no se encontraba tan alto como en el año 2013, es de preocupar que los niveles de concentración estén aumentando nuevamente a pesar de los esfuerzos por reducir las emisiones de metales pesados en los suelos.

En el gráfico se aprecia que las ubicaciones que presentan mayor problema son la #8, #23 y #37, visualizando los años 2004, 2005 y 2013 como los más problemáticos de todos los años muestreados. Los puntos #11, #13 y #22 también llegaron a niveles muy altos de concentración, actualmente no se mantienen bajos del todo pero se han reducido.



Gráfica 5.14.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas no tamizadas para el cadmio.
 a) Ubicación #8, b) Ubicación #11, c) Ubicación #13, d) Ubicación #22, e) Ubicación #23, f) Ubicación # 37.

5.4.2 Mapas de distribución del cadmio por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.



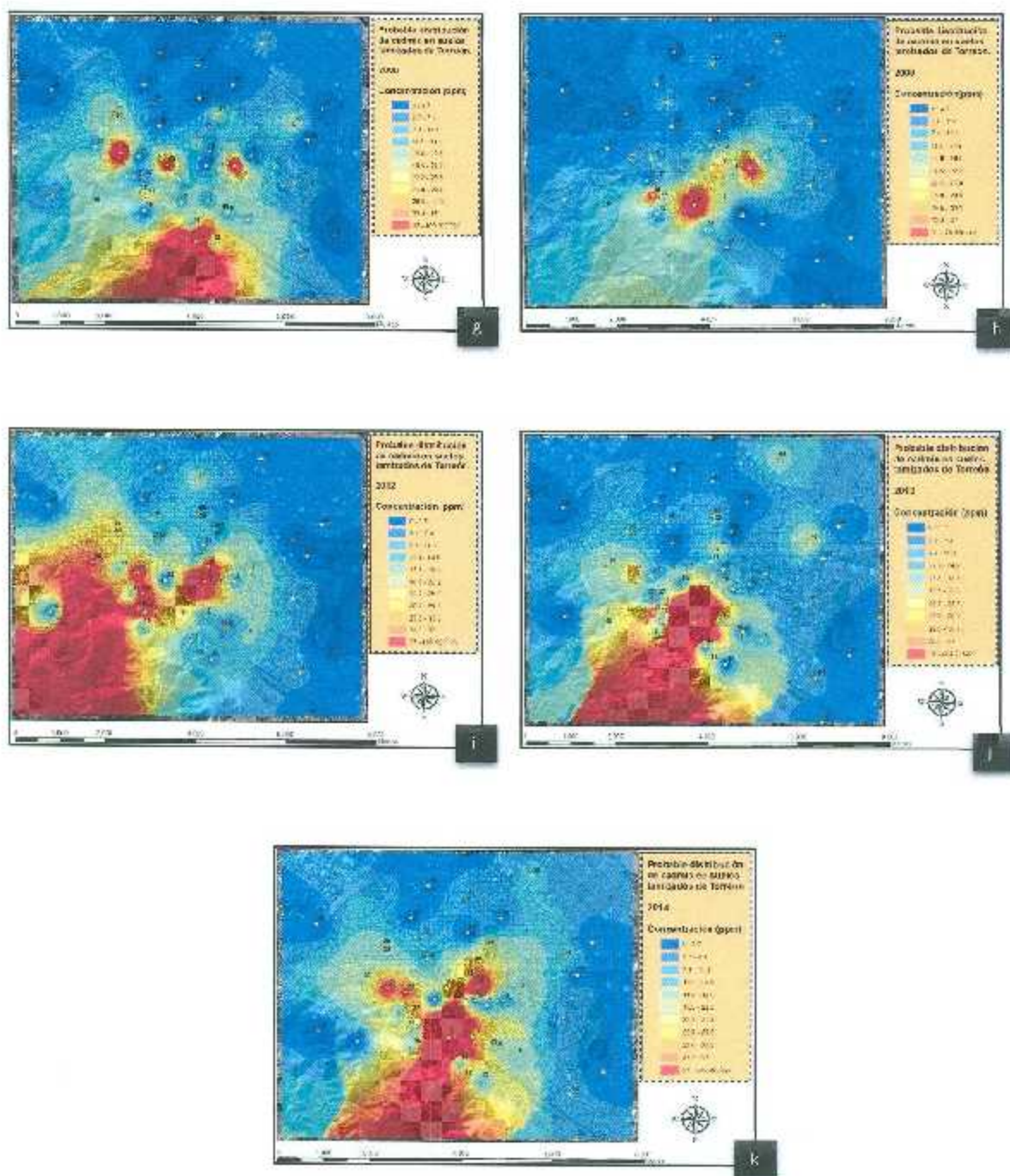


Figura 5.8.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas tamizadas para el cadmio.

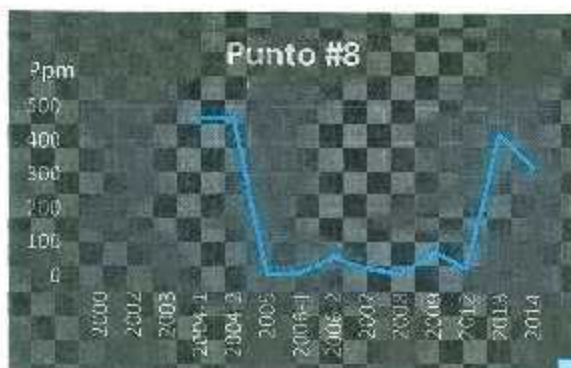
a) Año 2004 (Parte 1), b) Año 2004 (Parte 2), c) Año 2005, d) Año 2006 (Parte 1), e) Año 2006 (Parte 2), f) Año 2007, g) Año 2008, h) Año 2009, i) Año 2012, j) Año 2013, k) Año 2014.

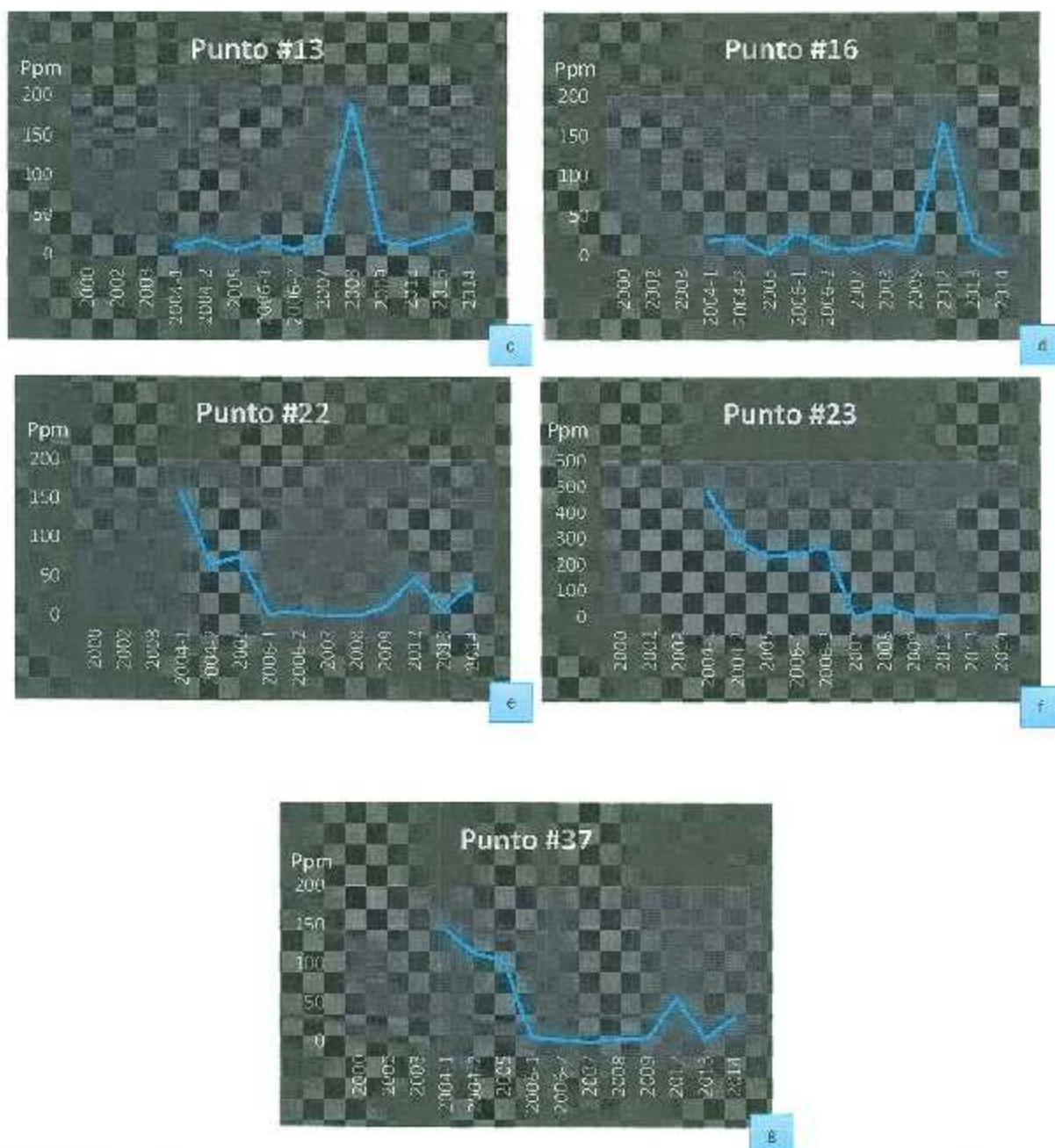


Gráfica 5.15.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.

En este análisis el año que presentan una mayor concentración de cadmio en los suelos es el 2004, con 481 ppm en el primer muestreo y 469 ppm en el segundo. Al igual que en el análisis anterior disminuye considerablemente a partir del año 2005 y corresponde al año 2007 la mínima concentración con 44 ppm, pero igual que para las muestras no tamizadas la cantidad que arroja el año 2013 es muy alta llegando casi a niveles tan altos como los que arrojaron los primeros análisis.

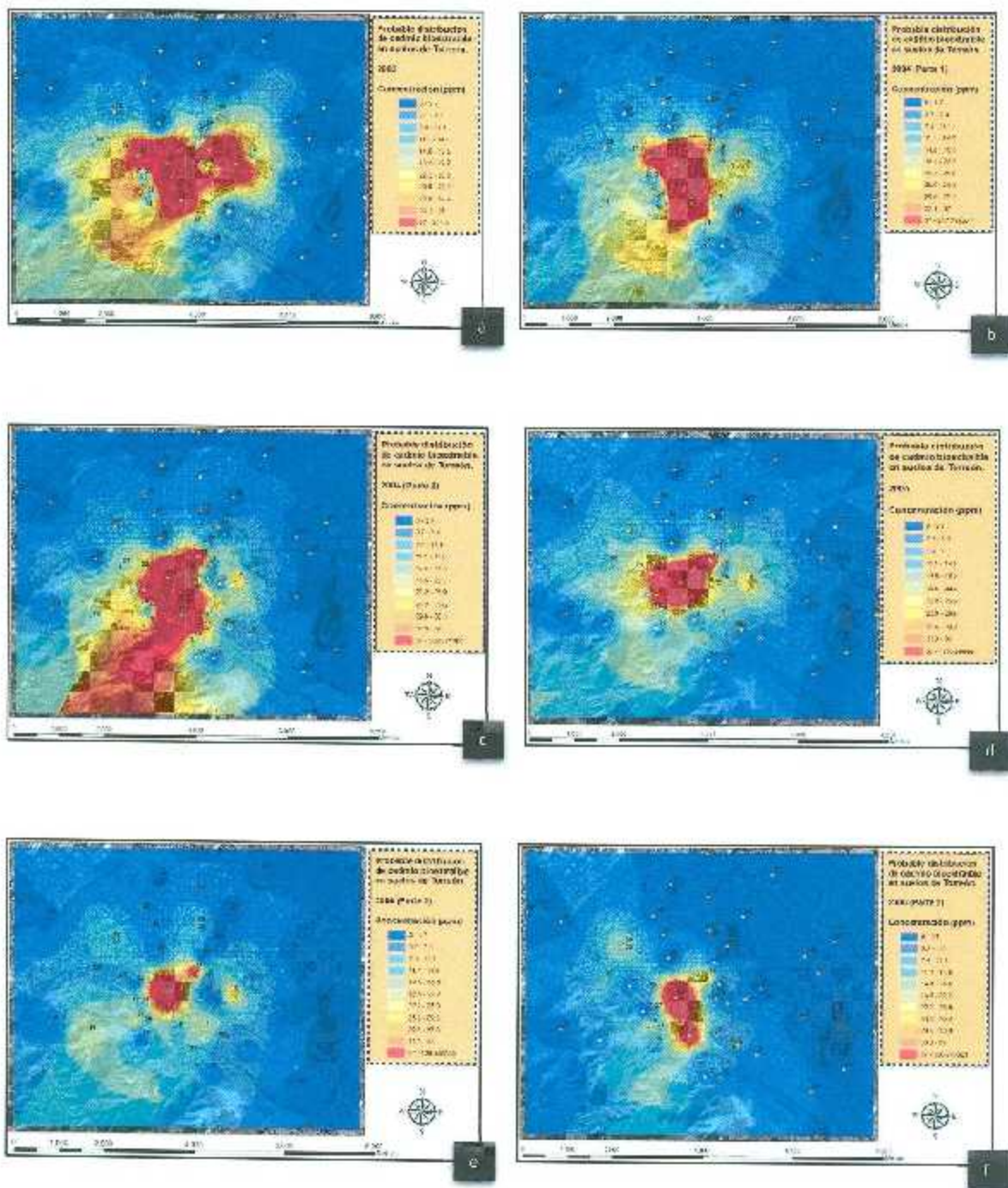
En la gráfica 6.15, las direcciones más problemáticas corresponden a los puntos #8, #23 y #37, acrecentándose en los años 2004 y 2013. Los puntos #11, #13, #16 y #22 también mostraron concentraciones de plomo altas, pero actualmente se han reducido, a excepción de la #22, que muestra un incremento en los últimos análisis. Es importante mencionar que si bien las concentraciones de los últimos años resultan tan altas como las de los primeros análisis, la mancha de contaminación que cubre la ciudad es considerablemente más pequeña que en un inicio, ésto es seguramente porque son las zonas próximas a la fundidora las que están incrementando nuevamente sus niveles de plomo, ésto puede verse en la gráfica 6.16, es el punto #8 el que se ha disparado, pero actualmente son más las ubicaciones que han disminuido sus niveles de plomo en comparación a los primeros análisis.





Gráfica 5.16.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas tamizadas para el cadmio.
 a) Ubicación #8, b) Ubicación #11, c) Ubicación #13, d) Ubicación #16, e) Ubicación #22, f) Ubicación # 23, g) Ubicación # 37.

5.4.3 Mapas de distribución del cadmio por el análisis de extractos acéticos no tamizados.



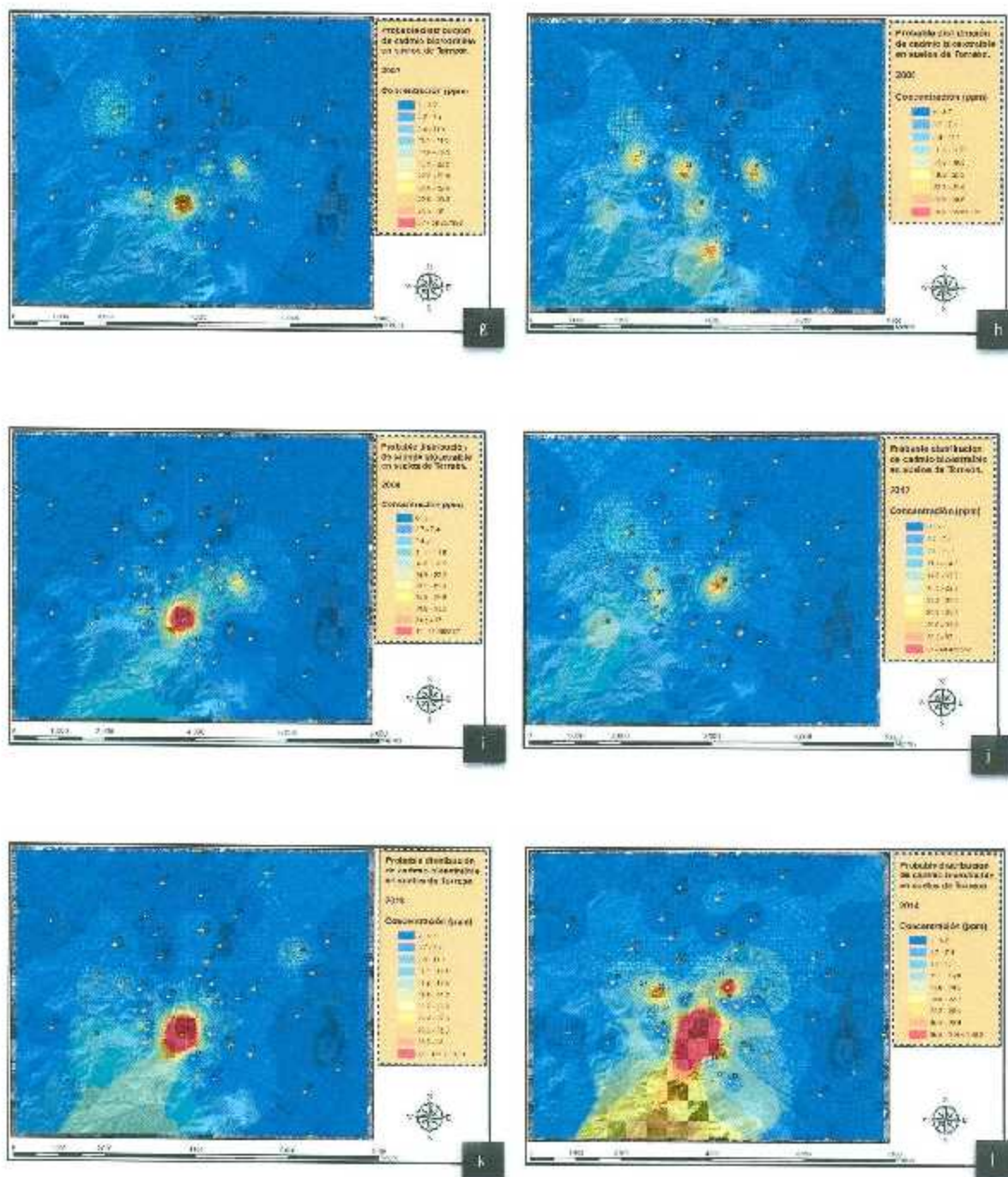
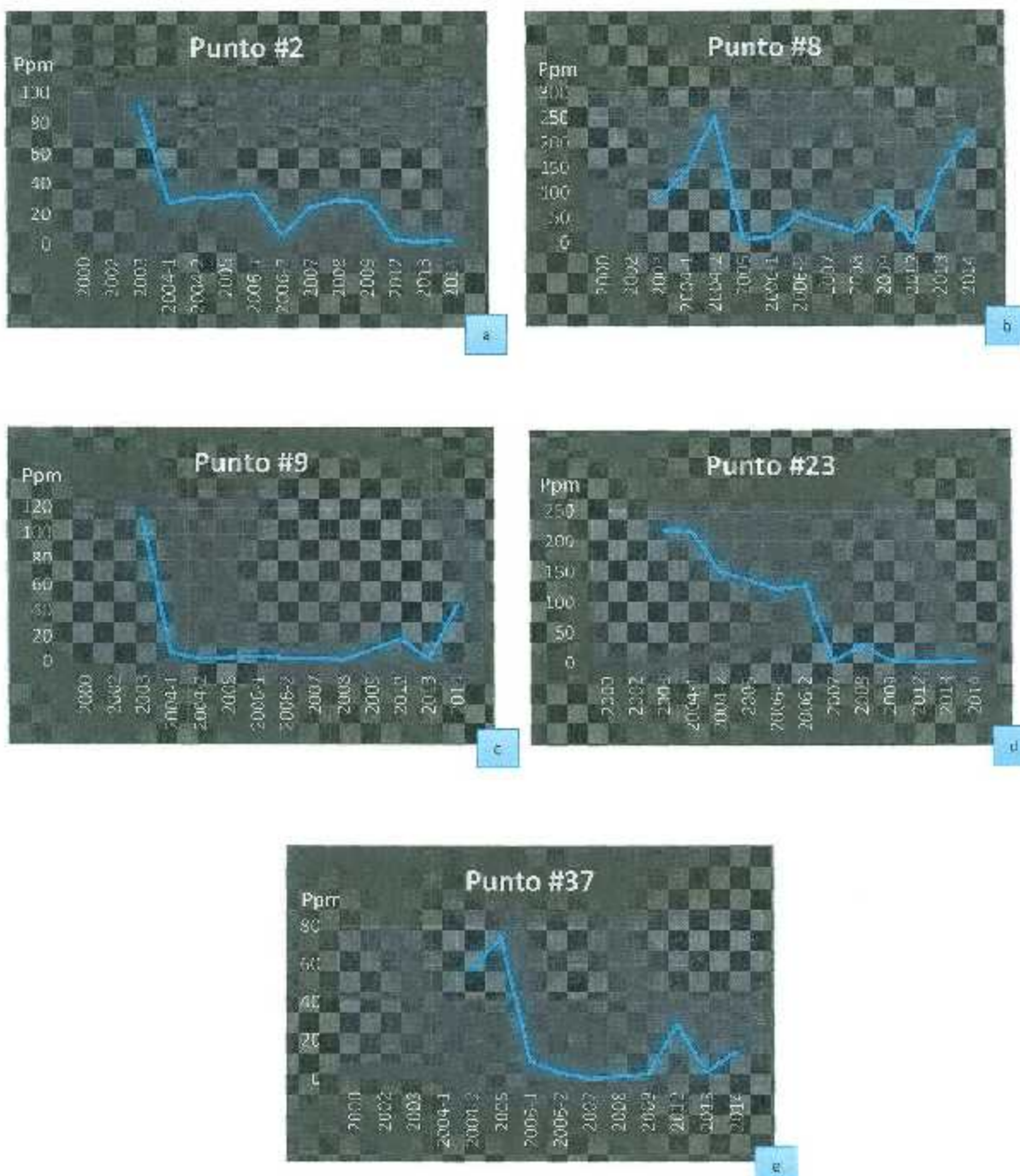


Figura 5.9.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos no tamizados para el cadmio.
 a) Año 2003, b) Año 2004 (Parte 1), c) Año 2004 (Parte 2), d) Año 2005, e) Año 2006 (Parte 1), f) Año 2006 (Parte 2), g) Año 2007, h) Año 2008, i) Año 2009, j) Año 2012, k) Año 2013, l) Año 2014.

En el análisis de extractos acéticos no tamizados para el cadmio, el año que tuvo la concentración más alta fue el 2004 en el segundo muestreo con 252.5 ppm, y la mínima se dio en el año 2008 con 33 ppm. Se aprecia que para el año 2005 la mancha roja que cubre la ciudad, empieza a hacerse más pequeña y a disminuir los niveles de concentración, ya a partir del año 2007 la disminución es bastante considerable, teniendo como puntos críticos únicamente las zonas que se localizan en la fundidora, en el año 2014 los niveles han vuelto a subir bastante en comparación a años atrás, llegando casi a niveles tan altos como los que se dieron en los primeros análisis.

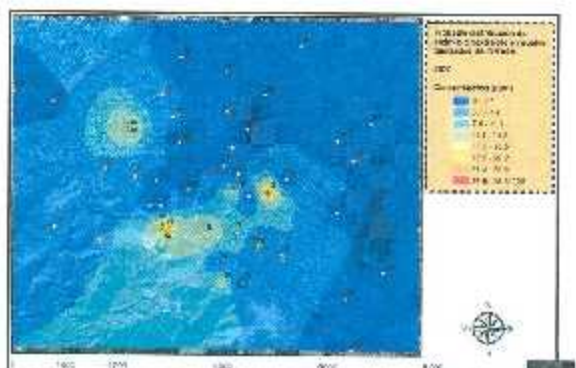
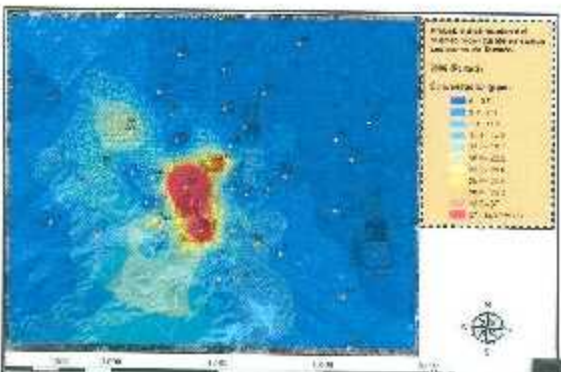
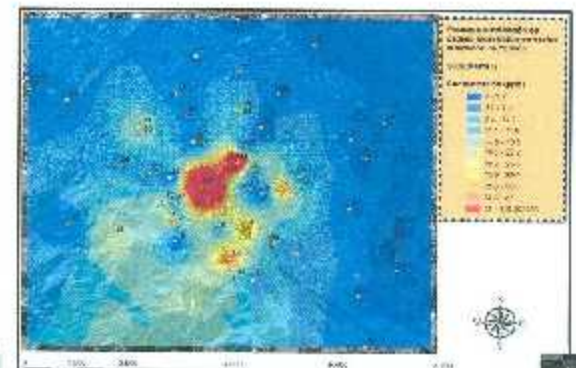
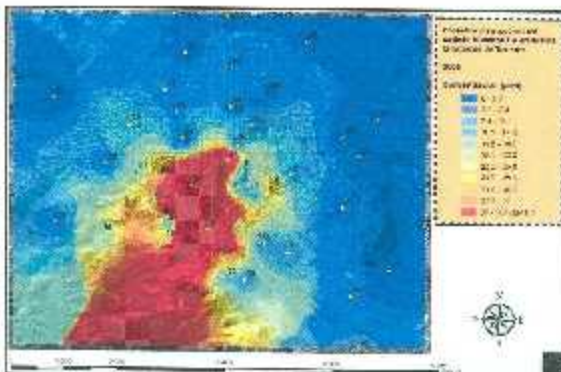
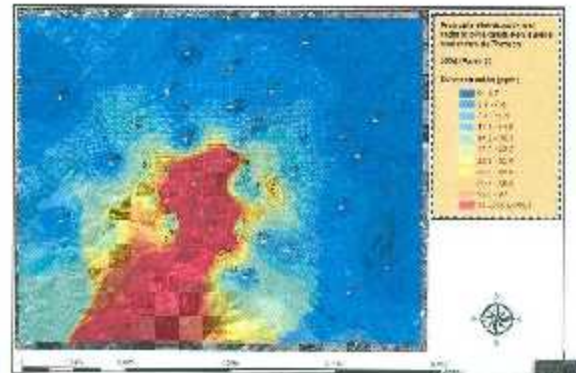
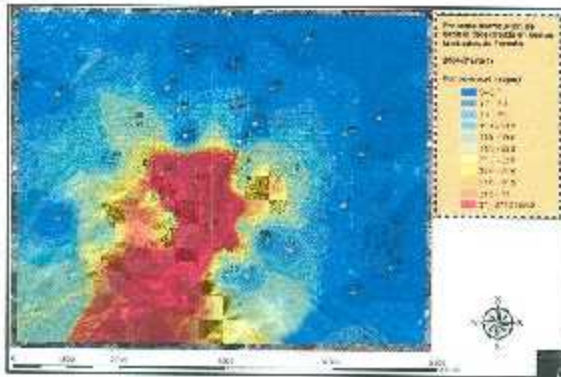
En la gráfica 6.17 los puntos con mayor problema son el #2, #8, #9, #23 y #37, las alzas en estas direcciones se dieron para el año 2003, 2004, 2005 y 2014. En la gráfica 6.18 se aprecian los puntos más problemáticos y su comportamiento los puntos #8, #9 y #37 han elevado sus concentraciones considerablemente en este último año.



Gráfica 5.18.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos no tamizados para el cadmio.

a) Ubicación #2, b) Ubicación #8, c) Ubicación #9, d) Ubicación #23, e) Ubicación #37.

5.4.4 Mapas de distribución del cadmio por el análisis de extractos acéticos tamizados.



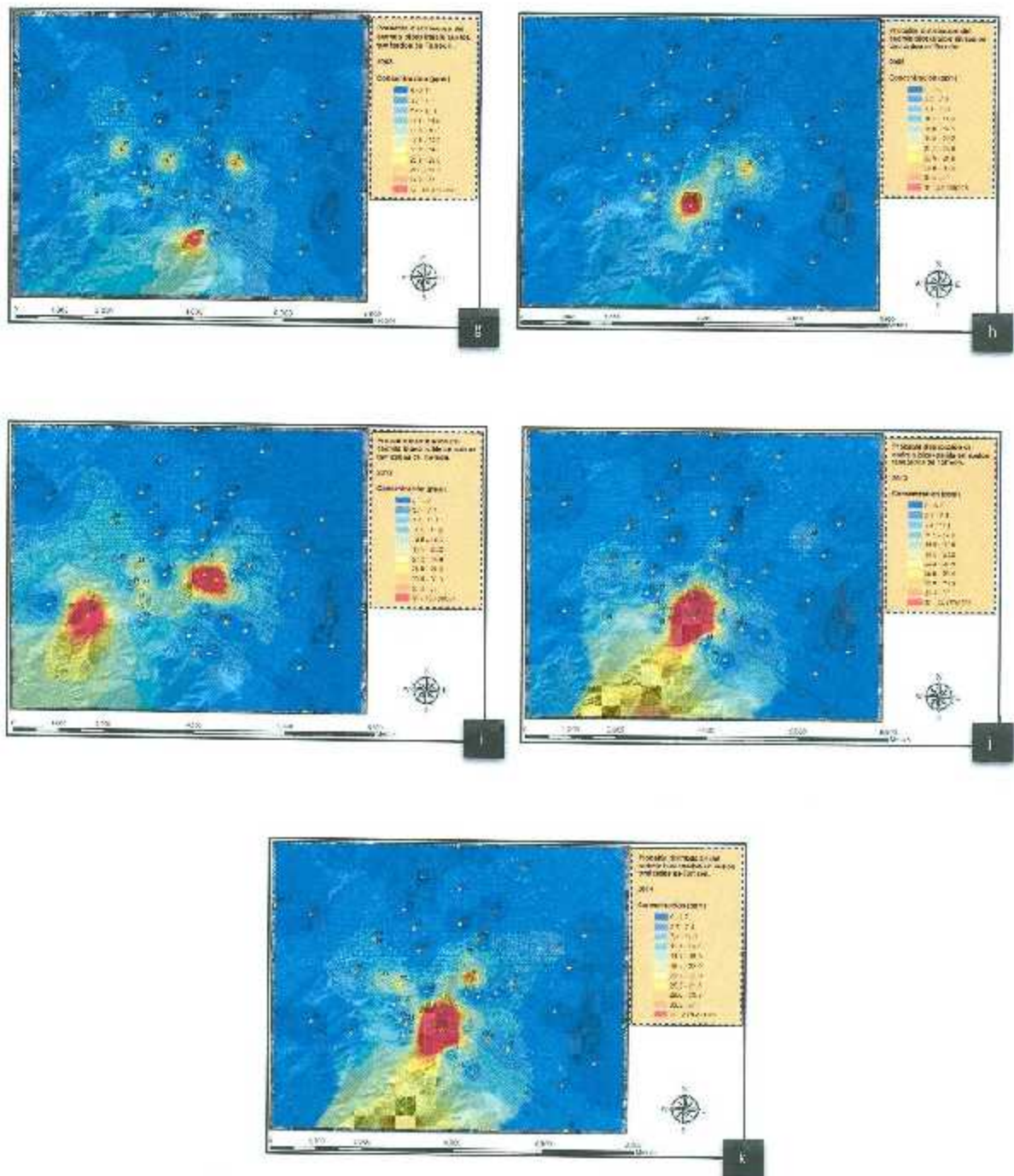
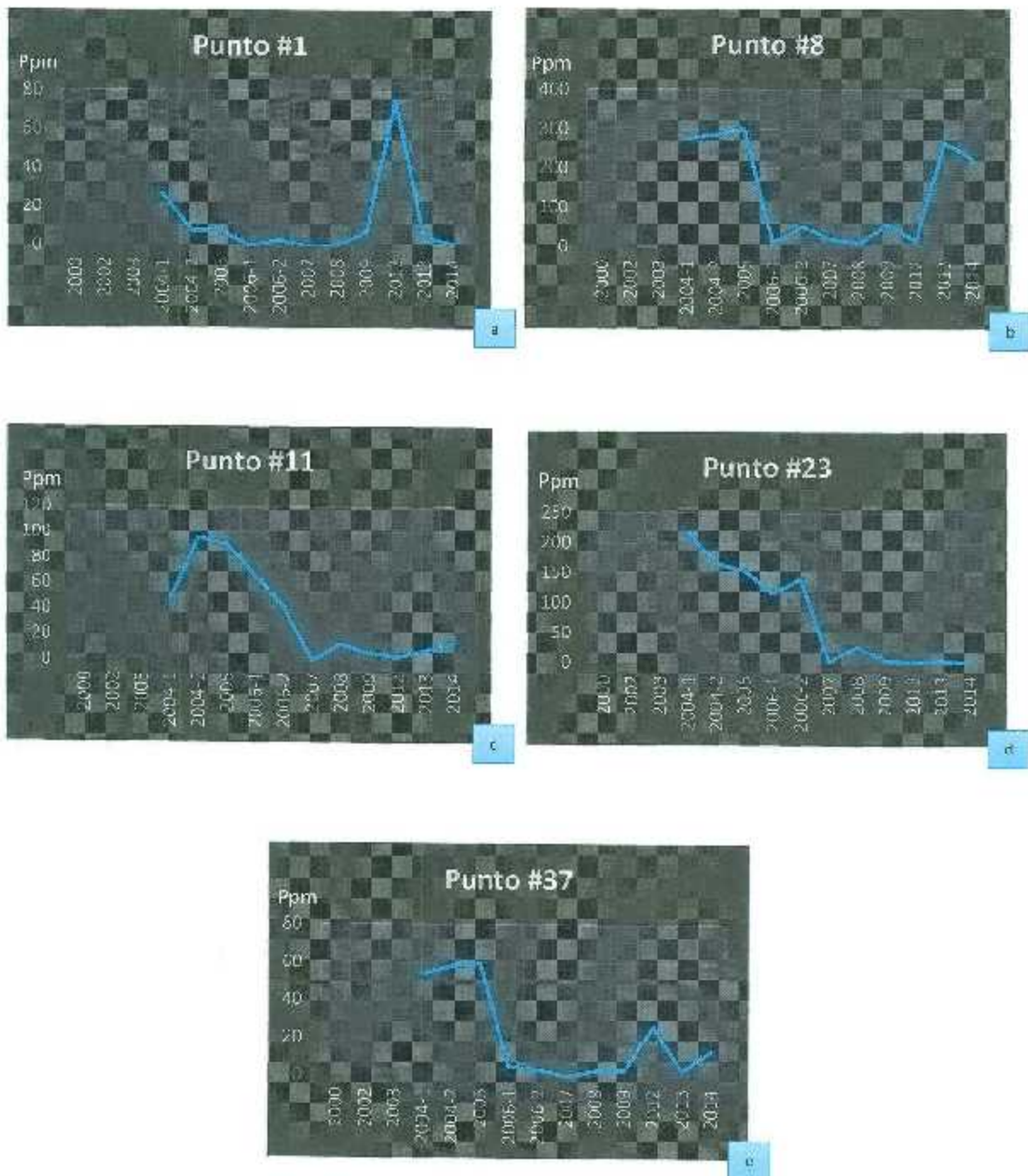


Figura 5.10.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos tamizados para el cadmio.
a) Año 2004 (Parte 1), b) Año 2004 (Parte 2), c) Año 2005, d) Año 2006 (Parte 1), e) Año 2006 (Parte 2), f) Año 2007, g) Año 2008, h) Año 2009, i) Año 2012, j) Año 2013, k) Año 2014.

Este análisis permite visualizar que durante los primeros tres muestreos, correspondientes a los años 2004 y 2005, la concentración se mantuvo, siendo 301 ppm la más alta, y a partir del año 2006 los niveles empezaron a disminuir, siendo 26 ppm la concentración mínima en el año 2007. Nuevamente el año 2013 muestra que el problema está en incremento nuevamente con una alta concentración de cadmio que llega a las 264 ppm, alrededor de la fundidora, que se extiende hacia el sur de ésta.

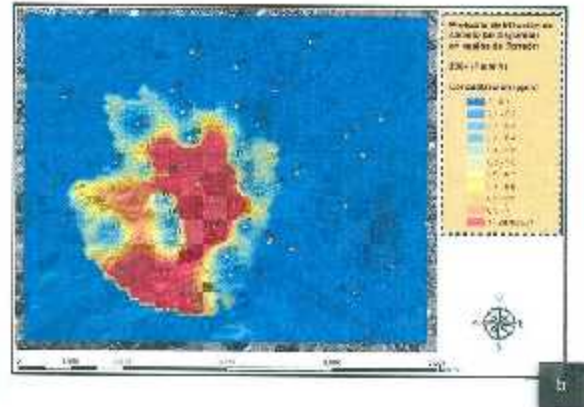
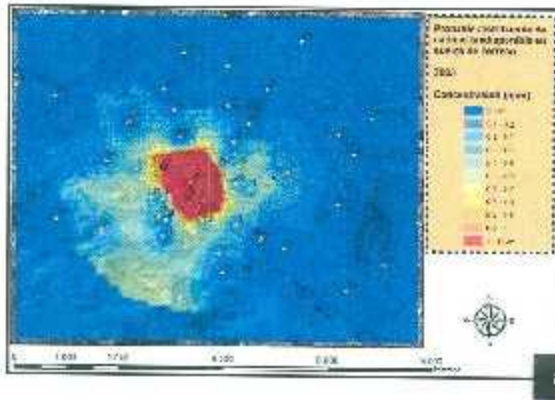
El gráfico muestra nuevamente los puntos de la fundidora como los más contaminados, (#1, #8, #23 y #37), las concentraciones más altas para éstos fueron en los años 2004, 2005, 2006 y 2013. La gráfica 6.20 permite ver que el punto #8 ha crecido mucho en los últimos muestreos, emparejándose con los muestreos iniciales, el punto #1 tuvo su mayor concentración en el año 2012, y el punto #37 subió nuevamente para el año 2014. A pesar de que las concentraciones de plomo han subido demasiado en algunas direcciones, por ejemplo el #8, la mancha roja que cubre la ciudad se centra en las direcciones que están situadas alrededor de la fundidora, y en los primeros análisis era mayor la parte contaminada que cubría la ciudad.



Gráfica 5.20.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis extractos acéticos tamizados para el cadmio.

a) Ubicación #1, b) Ubicación #8, c) Ubicación #11, d) Ubicación #23, e) Ubicación #37.

5.4.5 Mapas de distribución del cadmio por el análisis de extractos acuosos no tamizados.



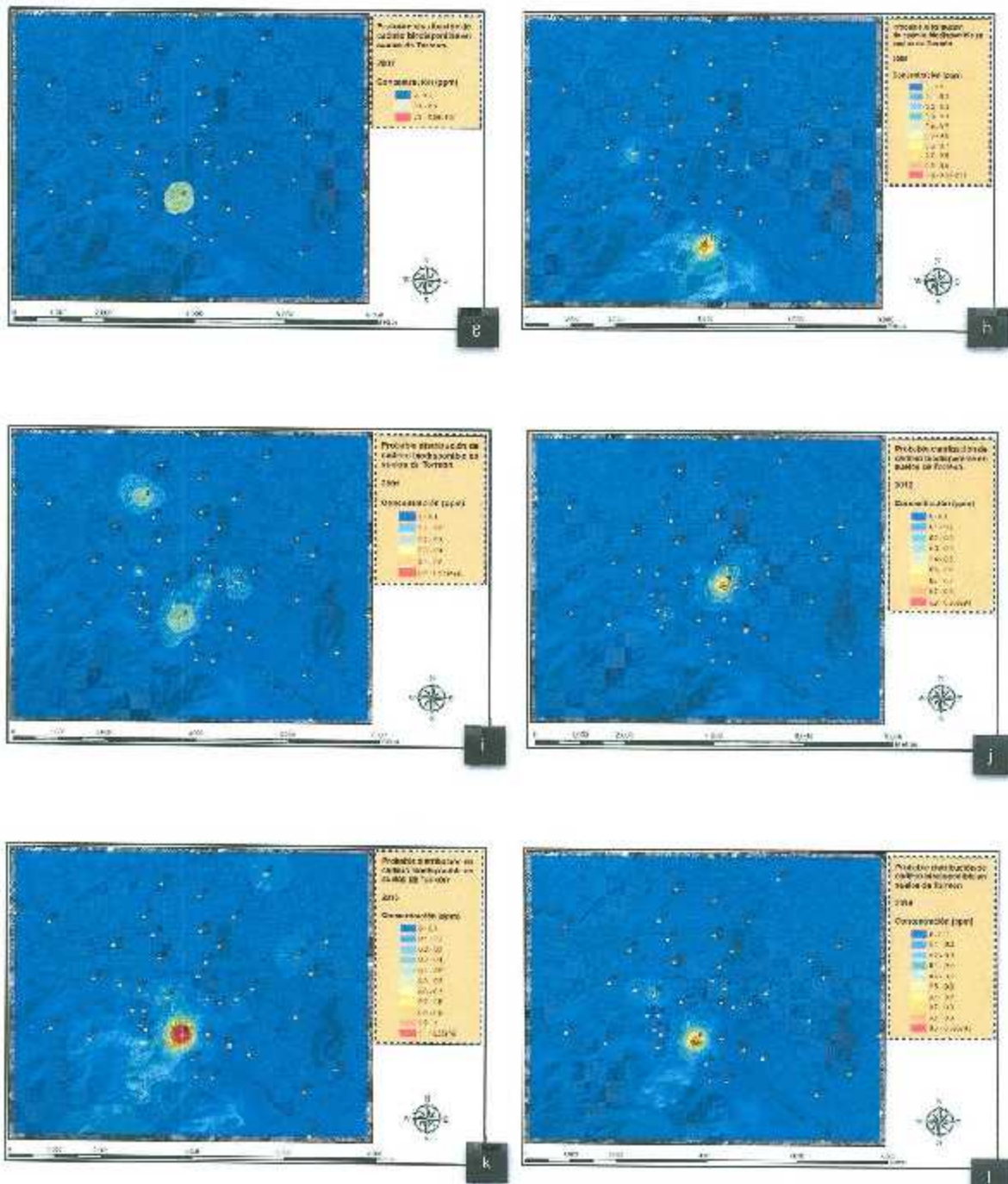
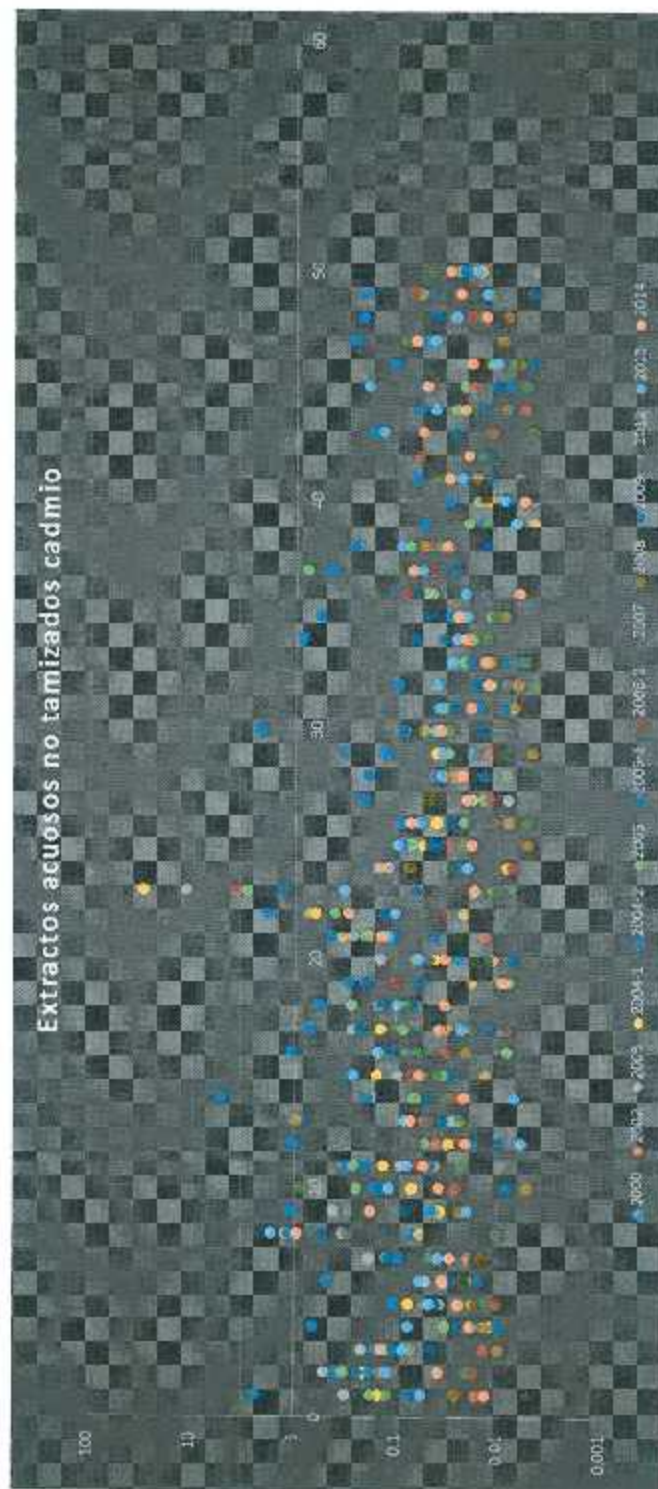


Figura 5.11.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos no tamizados para el cadmio.

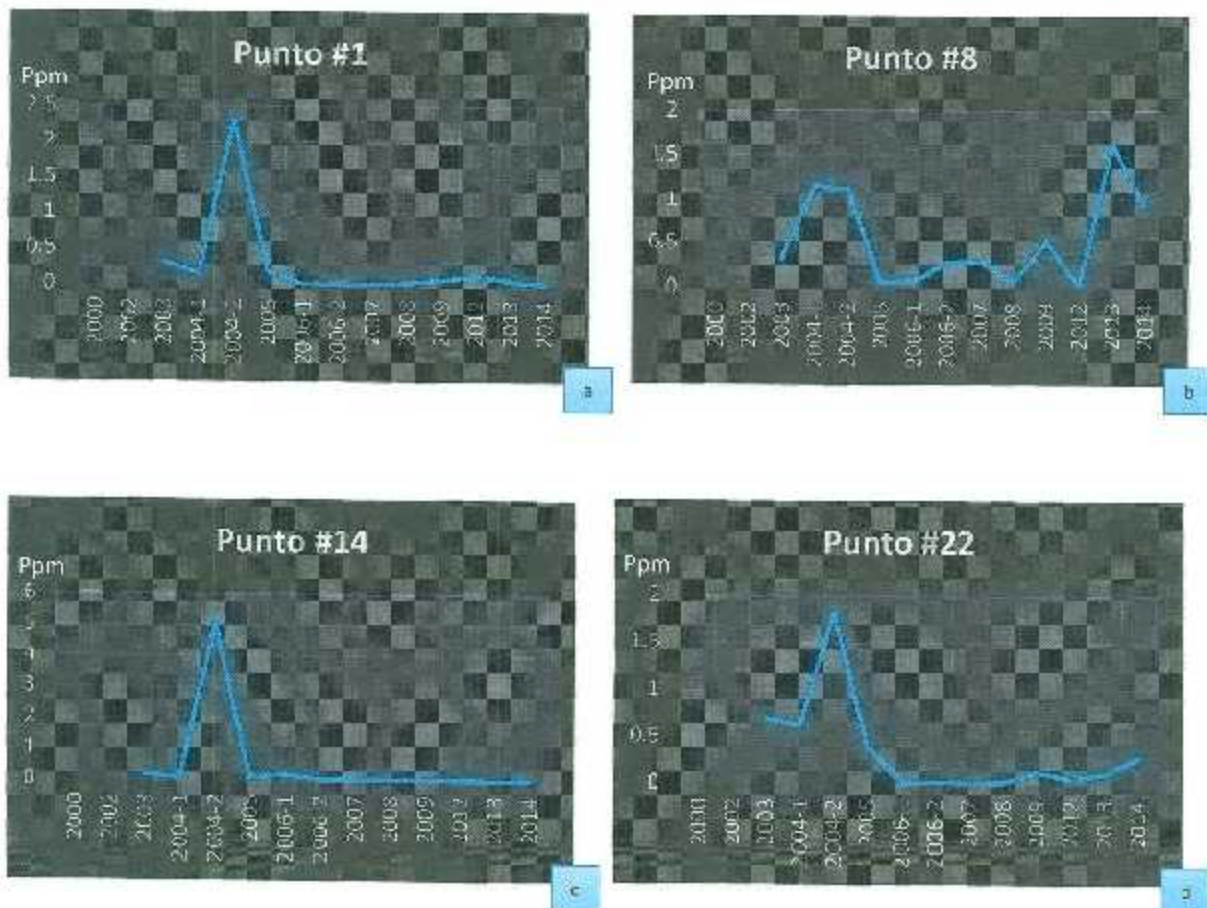
a) Año 2003, b) Año 2004 (Parte 1), c) Año 2004 (Parte 2), d) Año 2005, e) Año 2006 (Parte 1), f) Año 2006 (Parte 2), g) Año 2007, h) Año 2008, i) Año 2009, j) Año 2012, k) Año 2013, l) Año 2014.



Gráfica 5.21.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el período total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos no tamizados.

En el análisis de extractos acuosos no tamizados el nivel de concentración de cadmio en suelos se elevó hasta 29 ppm en el año 2004 en el primer muestreo, pero los demás años presentaron niveles muy por debajo, siendo el mínimo de 0.29 ppm en el año 2007, pero al igual que en el resto de los análisis anteriores el nivel se incrementa con respecto a sus anteriores para el año 2013.

La gráfica 6.21 nos permite ver que los puntos problema corresponden al #1, #8, #23 y #30, siendo el punto #23 el que ha presentado el mayor problema registrado en la investigación, los puntos #14, #22 y #37 también han registrado concentraciones altas, pero actualmente la concentración en estas direcciones han disminuido, las mayores concentraciones se han presentado en los años 2004, 2013 y 2014.





e



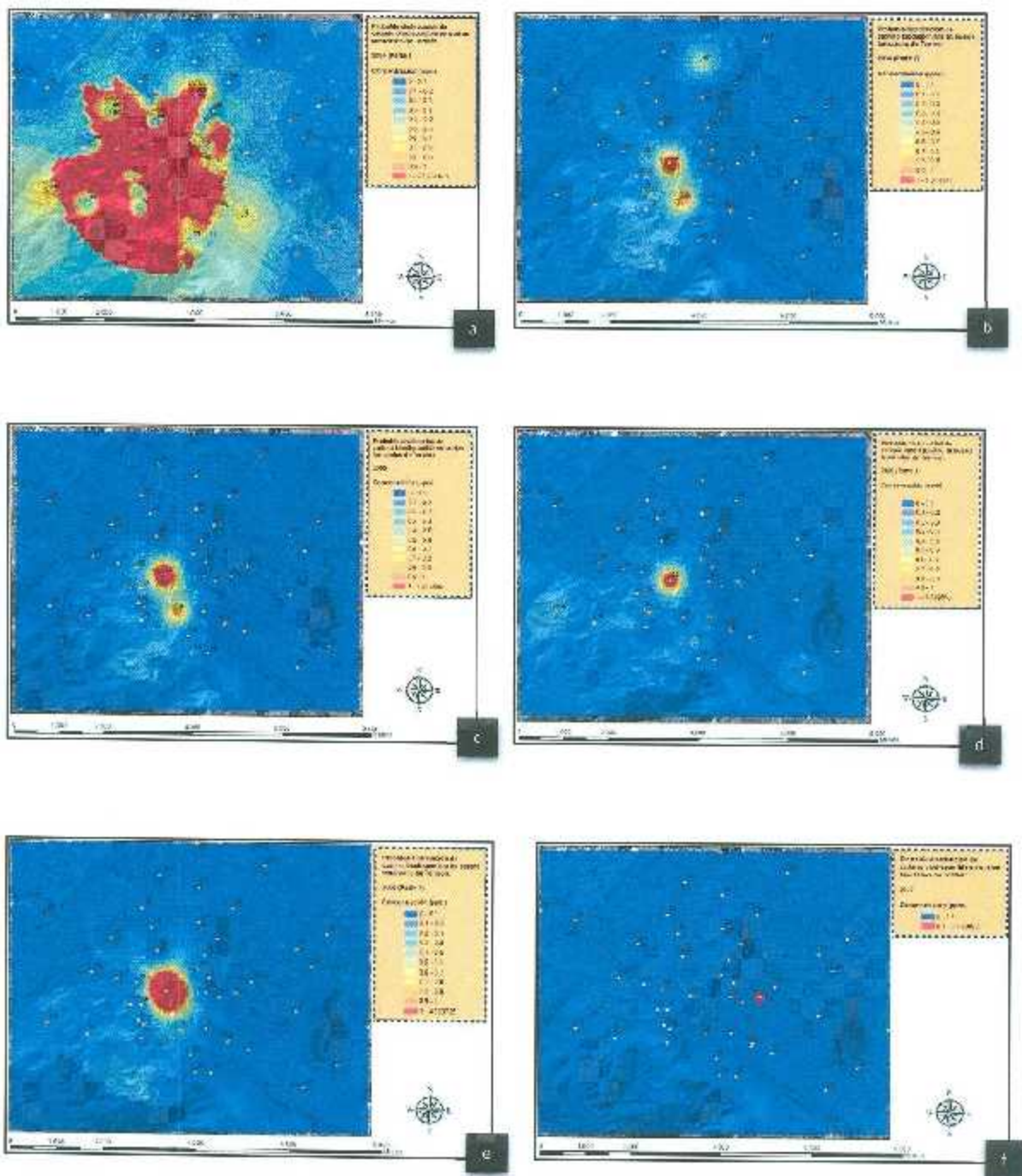
f



g

Gráfica 5.22.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis extractos acuosos no tamizados para el cadmio. a) Ubicación #1, b) Ubicación #8, c) Ubicación #14, d) Ubicación #22, e) Ubicación #23, f) Ubicación #30, g) Ubicación #37.

5.4.6 Mapas de distribución del cadmio por el análisis de extractos acuosos tamizados.



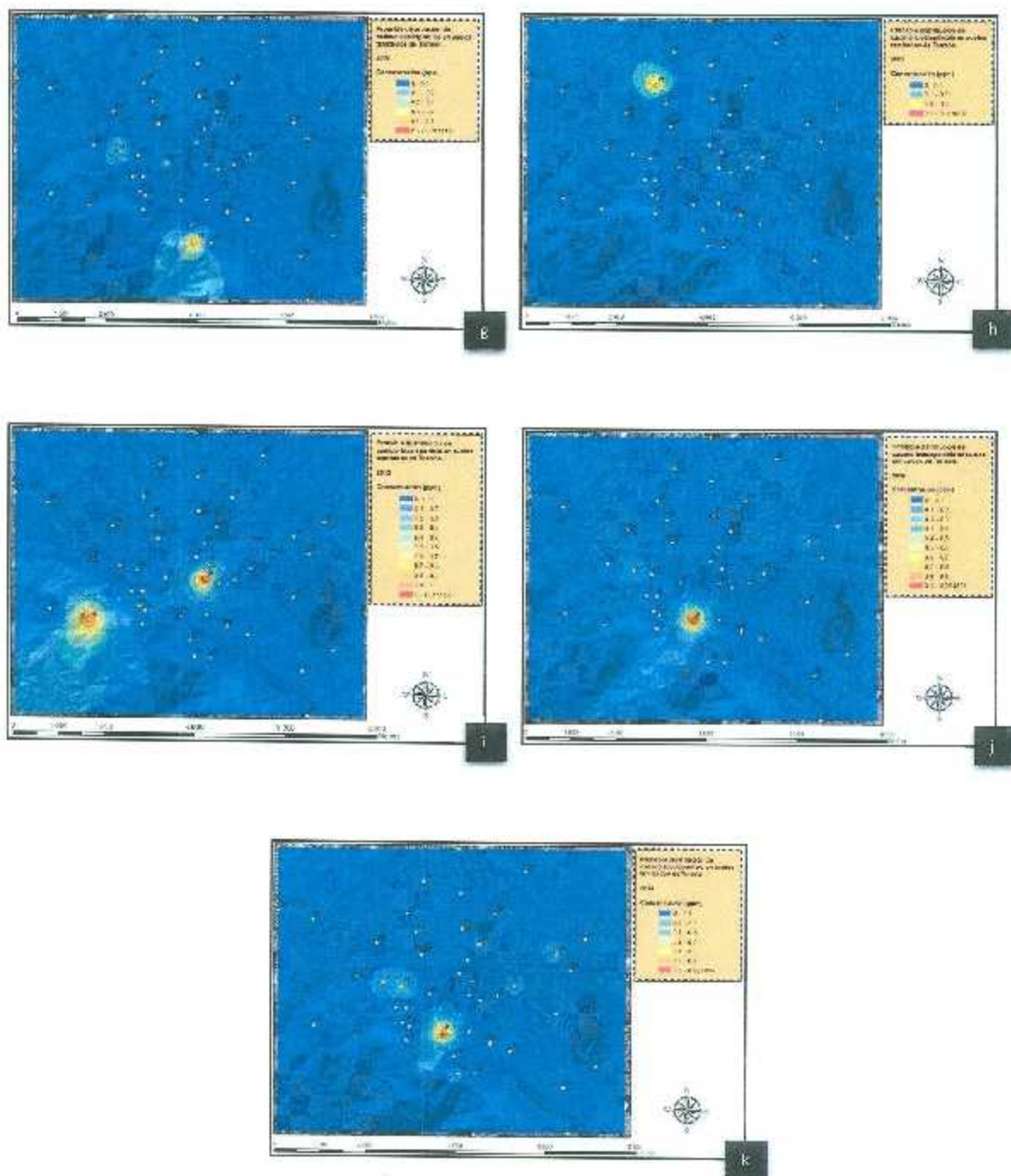


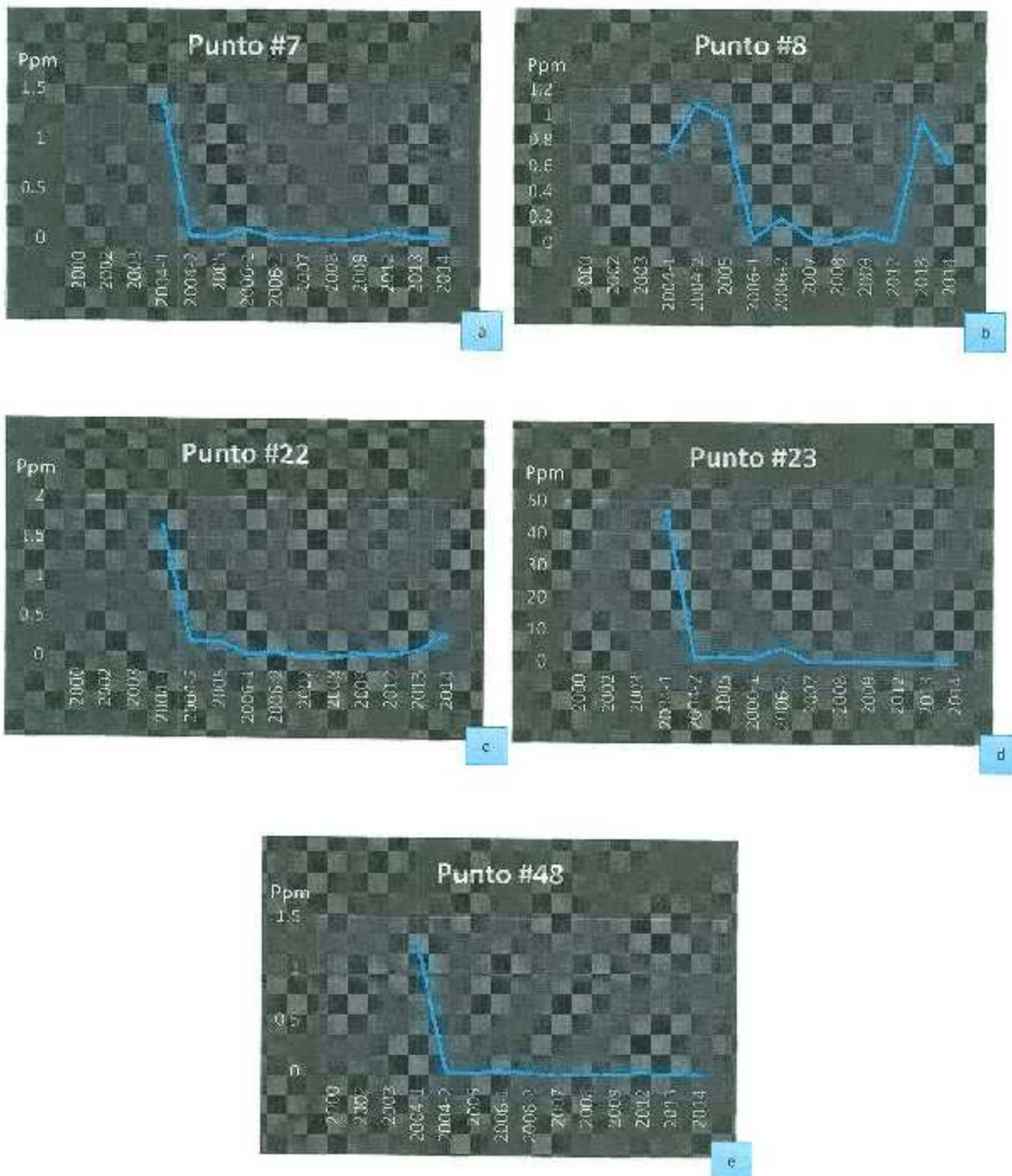
Figura 5.12.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos tamizados para el cadmio.
a) Año 2004 (Parte 1), **b)** Año 2004 (Parte 2), **c)** Año 2005, **d)** Año 2006 (Parte 1), **e)** Año 2006 (Parte 2), **f)** Año 2007, **g)** Año 2008, **h)** Año 2009, **i)** Año 2012, **j)** Año 2013, **k)** Año 2014.



Gráfica 5.23.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de cadmio en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos tamizados.

En el análisis para extractos acuosos tamizados el primer análisis realizado (2004 muestreo 1), contrasta mucho con los posteriores, pues es el que tiene la mayor concentración llegando hasta 47 ppm, mientras que los siguientes caen a concentraciones pequeñas, la mínima concentración fue de 0.1 ppm para el 2007.

En el gráfico, se aprecia que el punto con mayor problema es el #23 que sobresale considerablemente de todas las demás direcciones, los puntos #7, #8, #22 y #48 también representan un problema pero en menor concentración, todos éstos presentaron la mayor concentración de cadmio en el año 2004, en el primer muestreo. La gráfica 6.24, permite visualizar el comportamiento de estos puntos, haciendo notar todos han reducido los niveles de concentración actualmente, excepto la ubicación #8 que ha incrementado los índices de concentración actualmente. Si se observa el mapa para este análisis, la reducción del área contaminada es bastante considerable, de cubrir gran parte de la ciudad, se ha reducido únicamente a los alrededores de la planta.

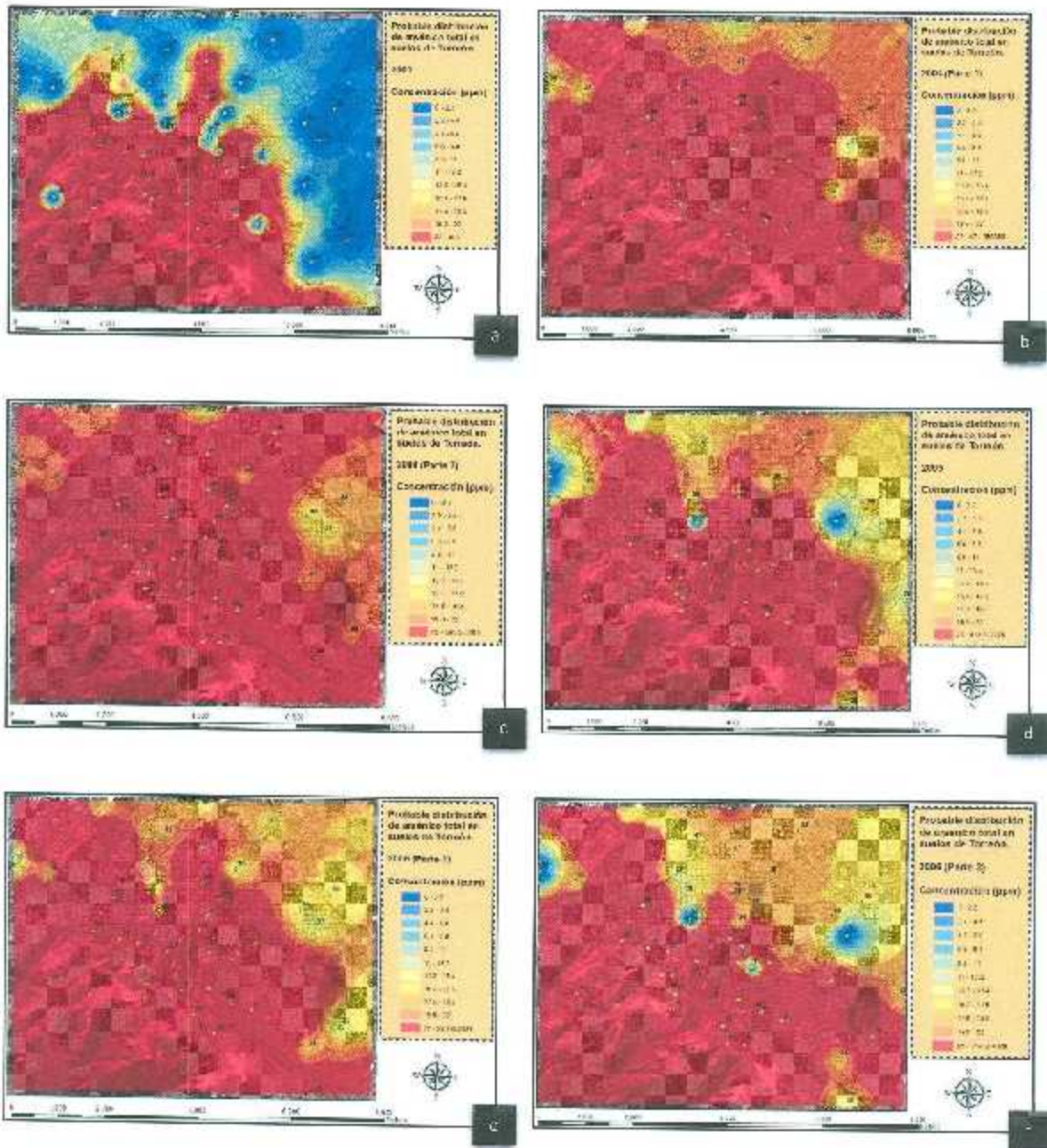


Gráfica 5.24.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis extractos acuosos tamizados para el cadmio.

a) Ubicación #7, b) Ubicación #8, c) Ubicación #22, d) Ubicación #23, e) Ubicación #48.

5.5 Análisis para el arsénico

5.5.1 Mapas de distribución del arsénico por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.



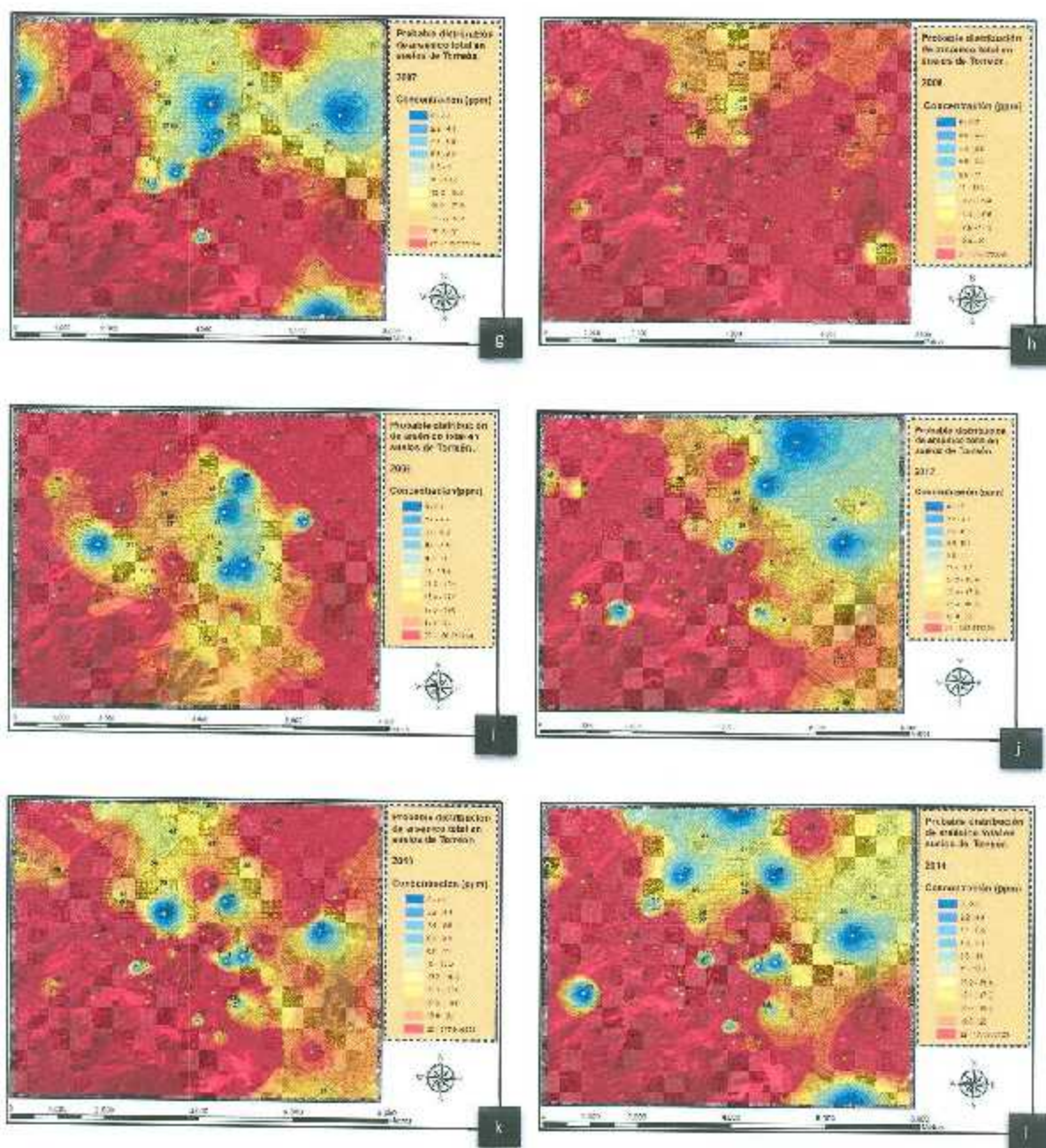
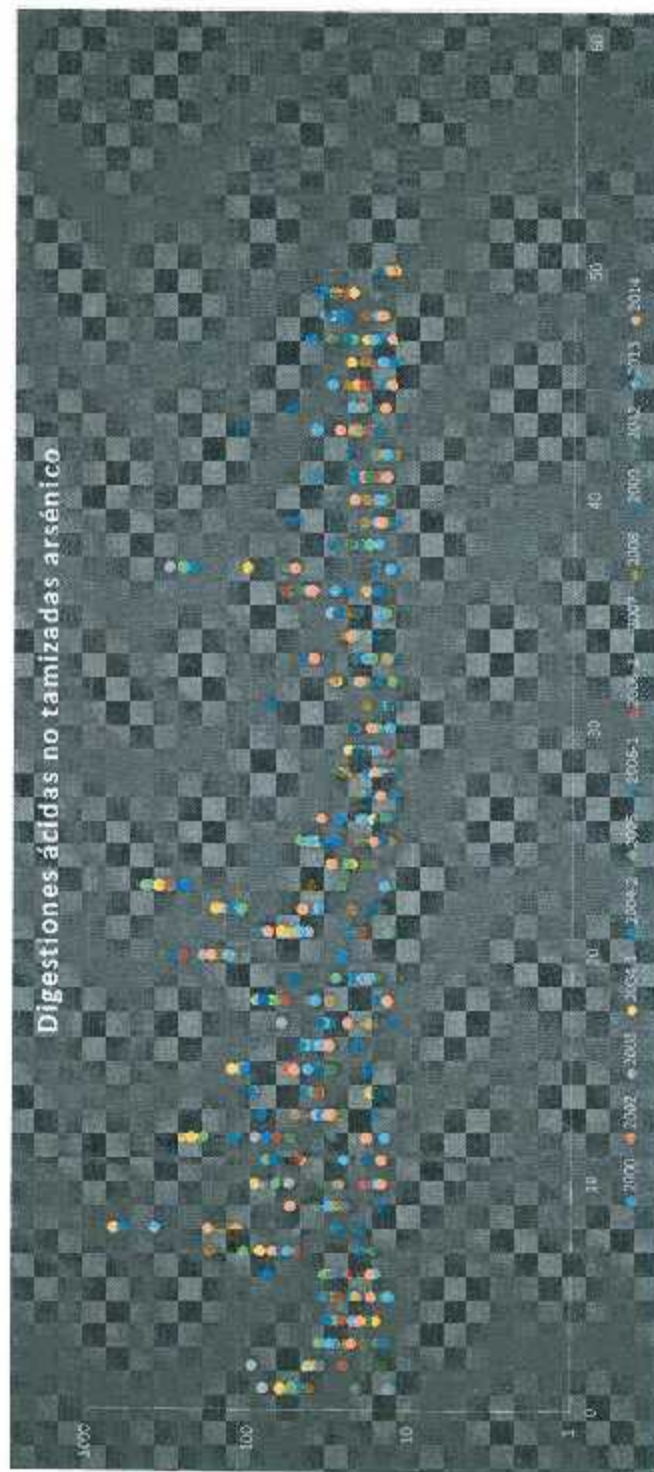


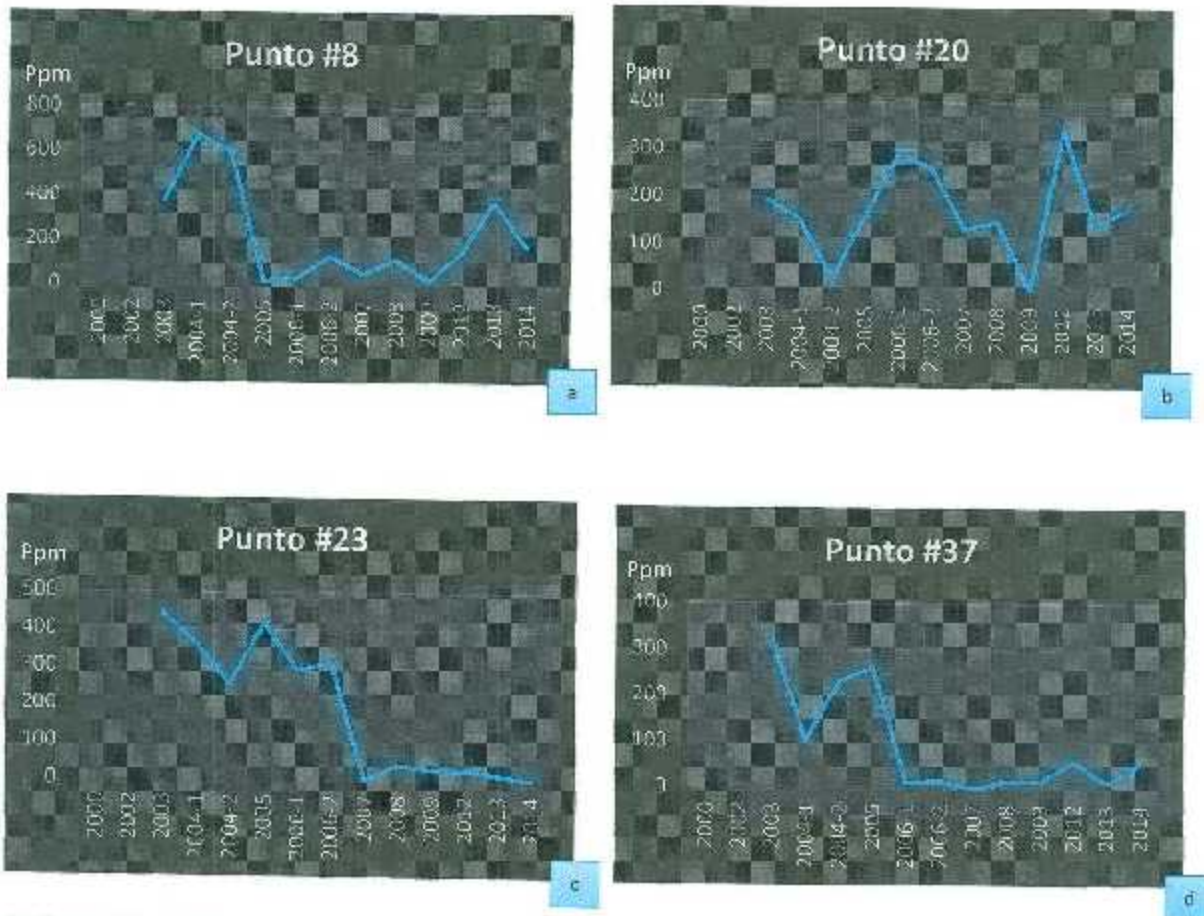
Figura 5.13.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas no tamizadas para el arsénico.
 a) Año 2003, b) Año 2004 (Parte 1), c) Año 2004 (Parte 2), d) Año 2005, e) Año 2006 (Parte 1), f) Año 2006 (Parte 2), g) Año 2007, h) Año 2008, i) Año 2009, j) Año 2012, k) Año 2013, l) Año 2014.



Gráfica 5.25.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas no tamizadas.

Los resultados de la concentración de arsénico que arrojó el análisis por digestiones ácidas para la fracción no tamizada se han mantenido muy altos en todos los años, sombreando Torreón con una gran mancha roja, que representa que toda la ciudad está muy por encima del límite permitido según la NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 [70]. El año que tuvo la mayor concentración fue el 2004 con 674 ppm, mencionando que la norma indica que el límite permitido es 22 ppm, es decir más de 30 veces el límite indicado por la norma, la concentración mínima registrada se dio en el año 2009 con 120 ppm, aun así un límite demasiado alto.

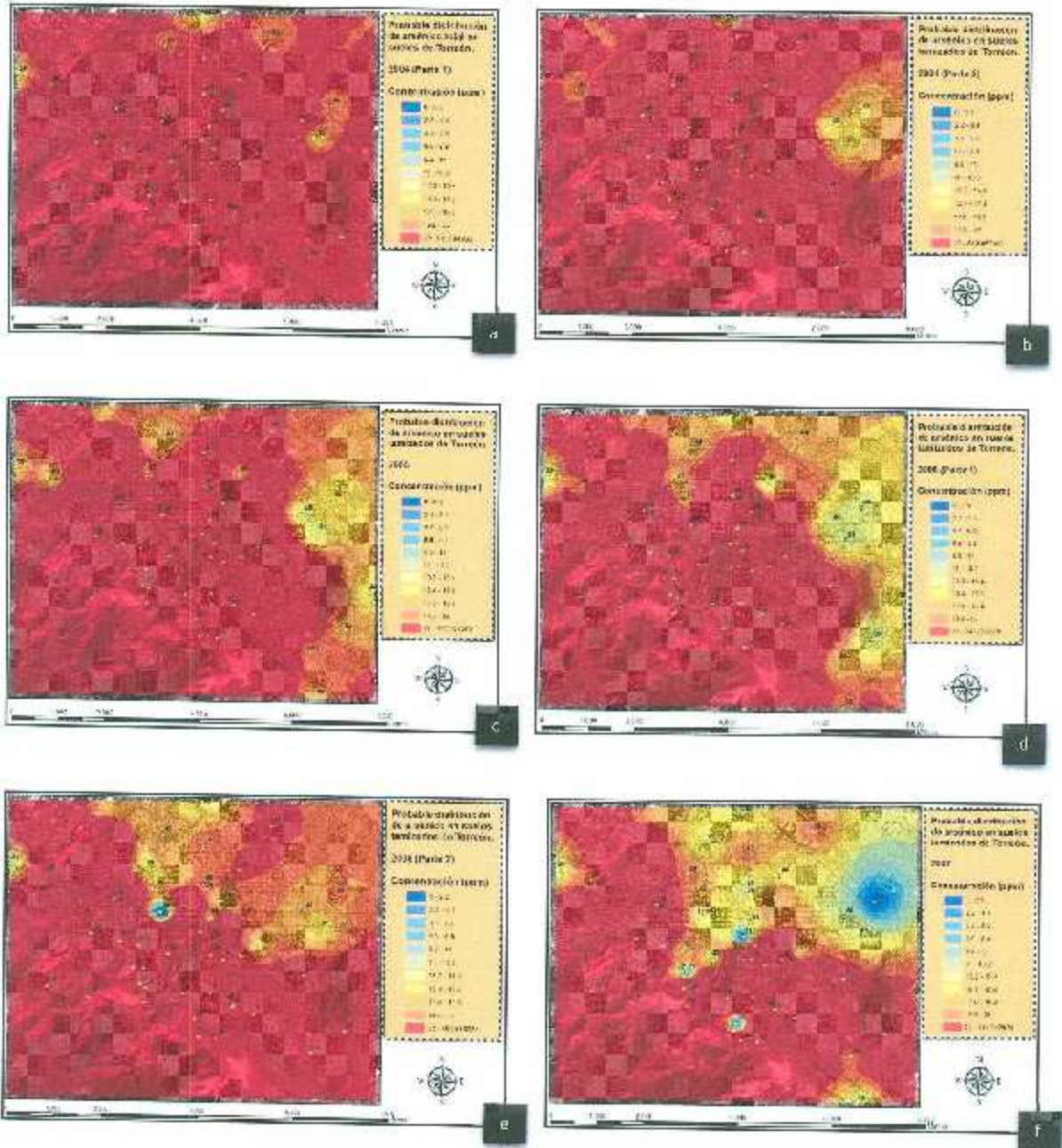
En el gráfico se aprecian varios puntos con una alta concentración de arsénico, como el #8, #20, #23 y #37. Pero son seguidos por un tanto más, los años representativos para tan altos índices de contaminación son variados, puesto que el comportamiento de la contaminación por arsénico se vio muy similar para todos los años, aun así el año que presentó el mayor problema como se mencionó antes fue el 2004 en el primer muestreo. En la gráfica 6.26 es posible observar el comportamiento de las cuatro ubicaciones con mayor problema, demostrando que para la ubicación #20 se disparó el problema de concentración de arsénico en los últimos años. De igual forma el punto #8 se estabilizó de los años 2005 a 2009, pero los muestreos finales han demostrado que los niveles de concentración están ascendiendo.



Gráfica 5.26.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas no tamizadas para el arsénico.

a) Ubicación #8, b) Ubicación #20, c) Ubicación #23, d) Ubicación #37.

5.5.2 Mapas de distribución del arsénico por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.



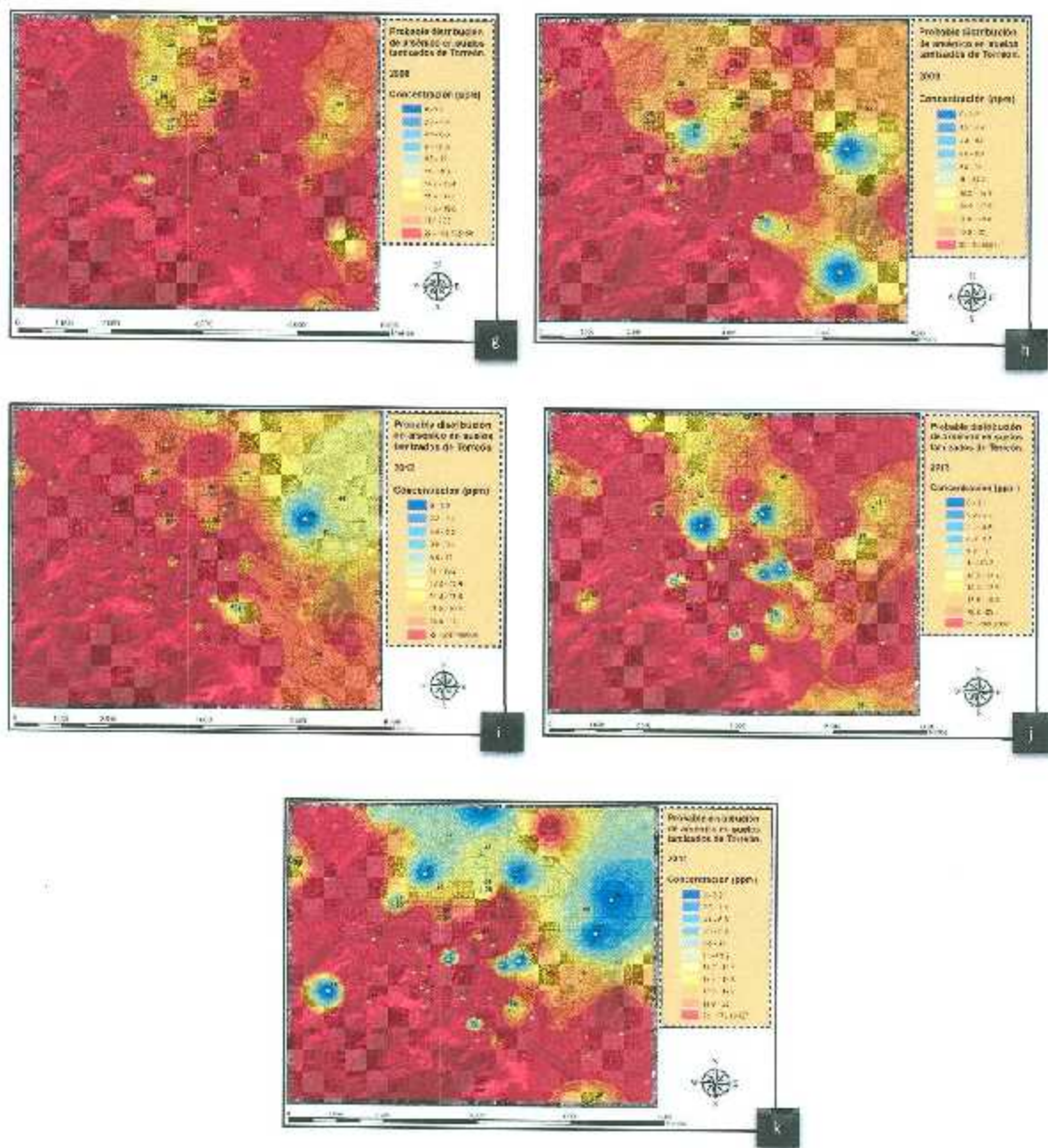


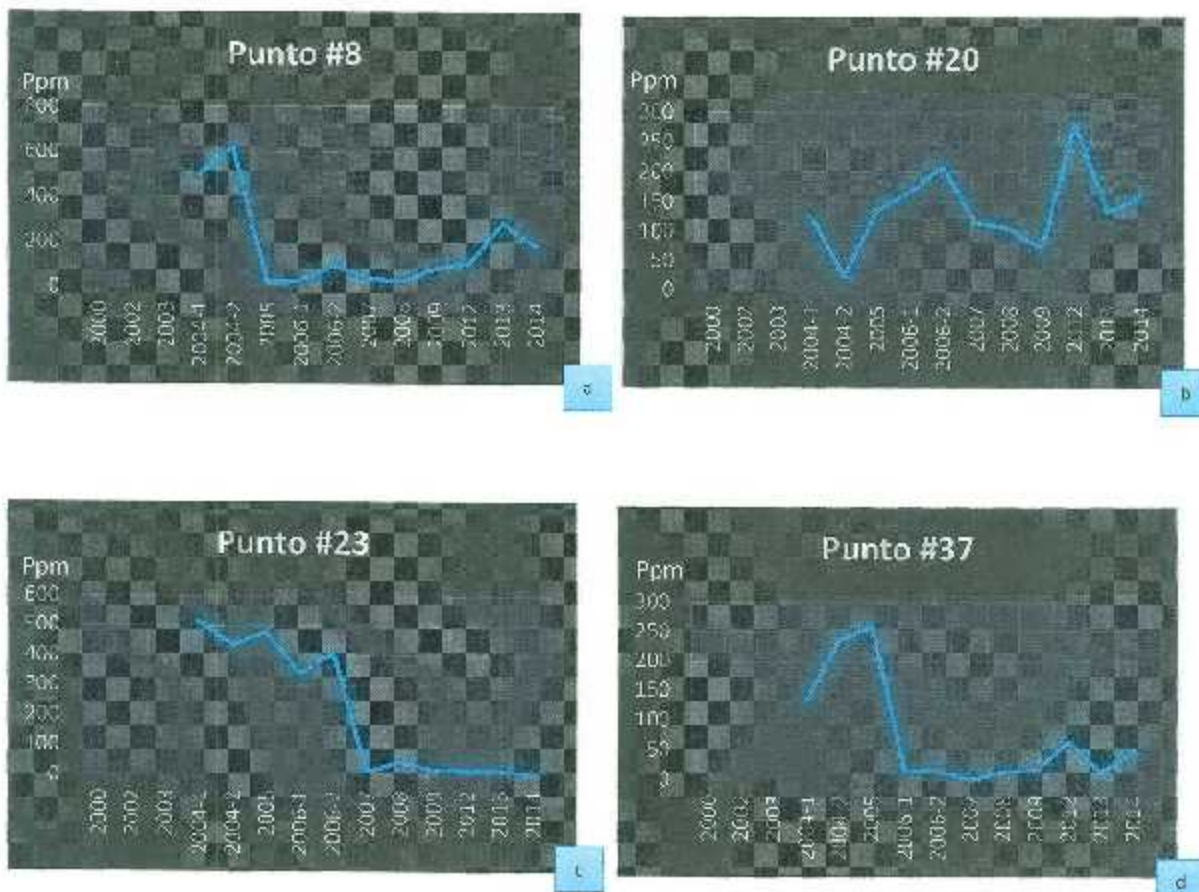
Figura 5.14.- Figuras correspondientes al análisis por digestiones ácidas tamizadas para el arsénico.
 a) Año 2004 (Parte 1), b) Año 2004 (Parte 2), c) Año 2005, d) Año 2006 (Parte 1), e) Año 2006 (Parte 2), f) Año 2007, g) Año 2008, h) Año 2009, i) Año 2012, j) Año 2013, k) Año 2014.



Gráfica 5.27.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de digestiones ácidas tamizadas.

En el análisis de digestiones ácidas tamizadas todos los años sobrepasan por mucho el límite, pero es en el segundo muestreo del 2004 que se ha presentado la mayor concentración de arsénico con 619 ppm es a partir del año 2007, donde la concentración muestra un decremento considerable siendo el año 2009 el que presenta la concentración mínima de todos los muestreos con 81 ppm, pero a partir del 2012 los números vuelven a ascender como ha sido el caso de los análisis anteriores,

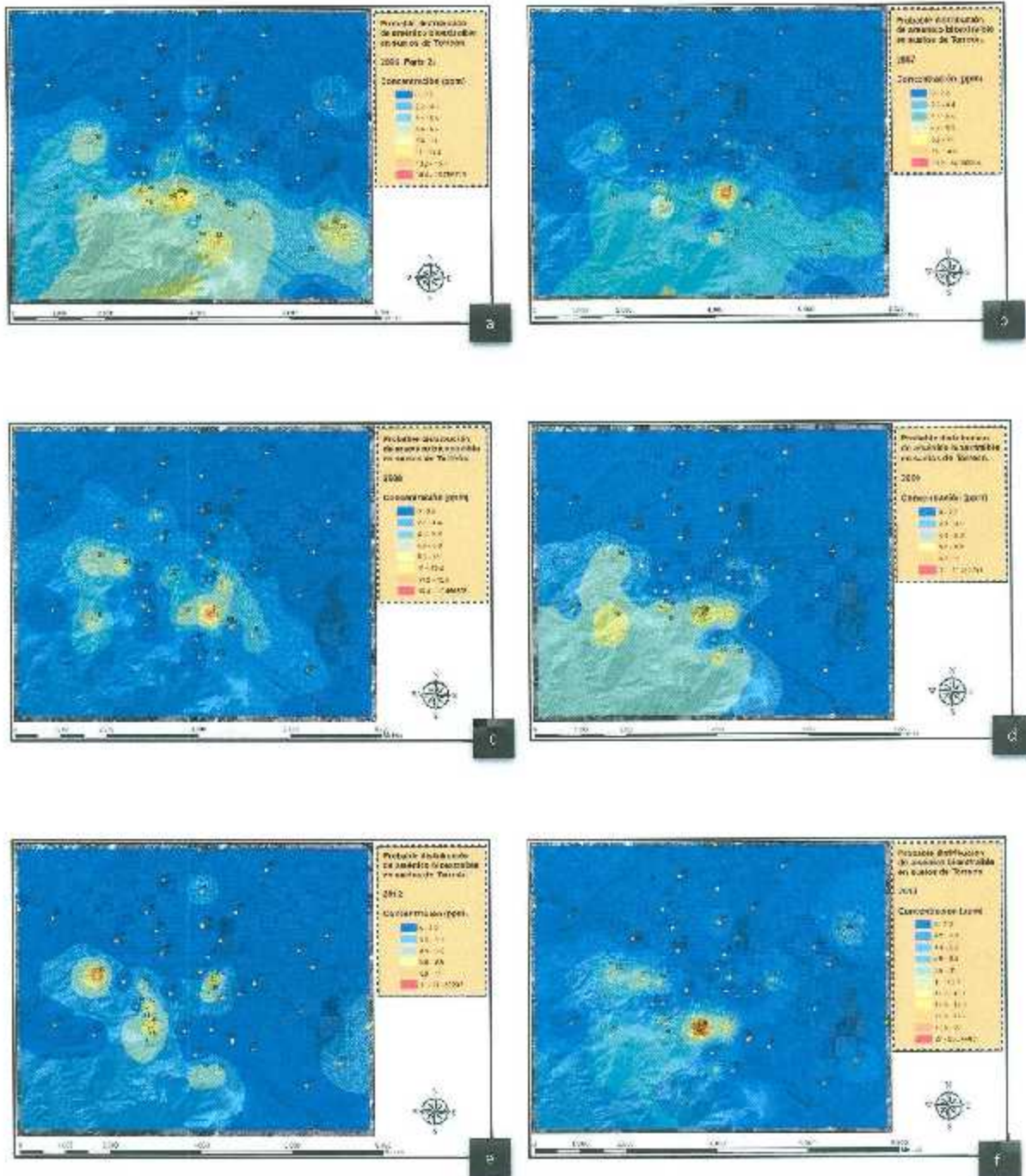
En la gráfica 6.27 se observa que los puntos que presentan el mayor problema son el #8, #20, #23 y #37 y se logra observar que los años en que se vio el mayor problema han sido 2004, 2005 y 2006. En la gráfica 6.28 es posible visualizar el comportamiento del punto #20 y como ha incrementado sus niveles en los últimos muestreos



Gráfica 5.28.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de digestiones ácidas tamizadas para el arsénico.

a) Ubicación #8, b) Ubicación #20, c) Ubicación #23, d) Ubicación #37.

5.5.3 Mapas de distribución del arsénico por el análisis de extractos acéticos no tamizados





Gráfica 5.29.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total de proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos no tamizados.

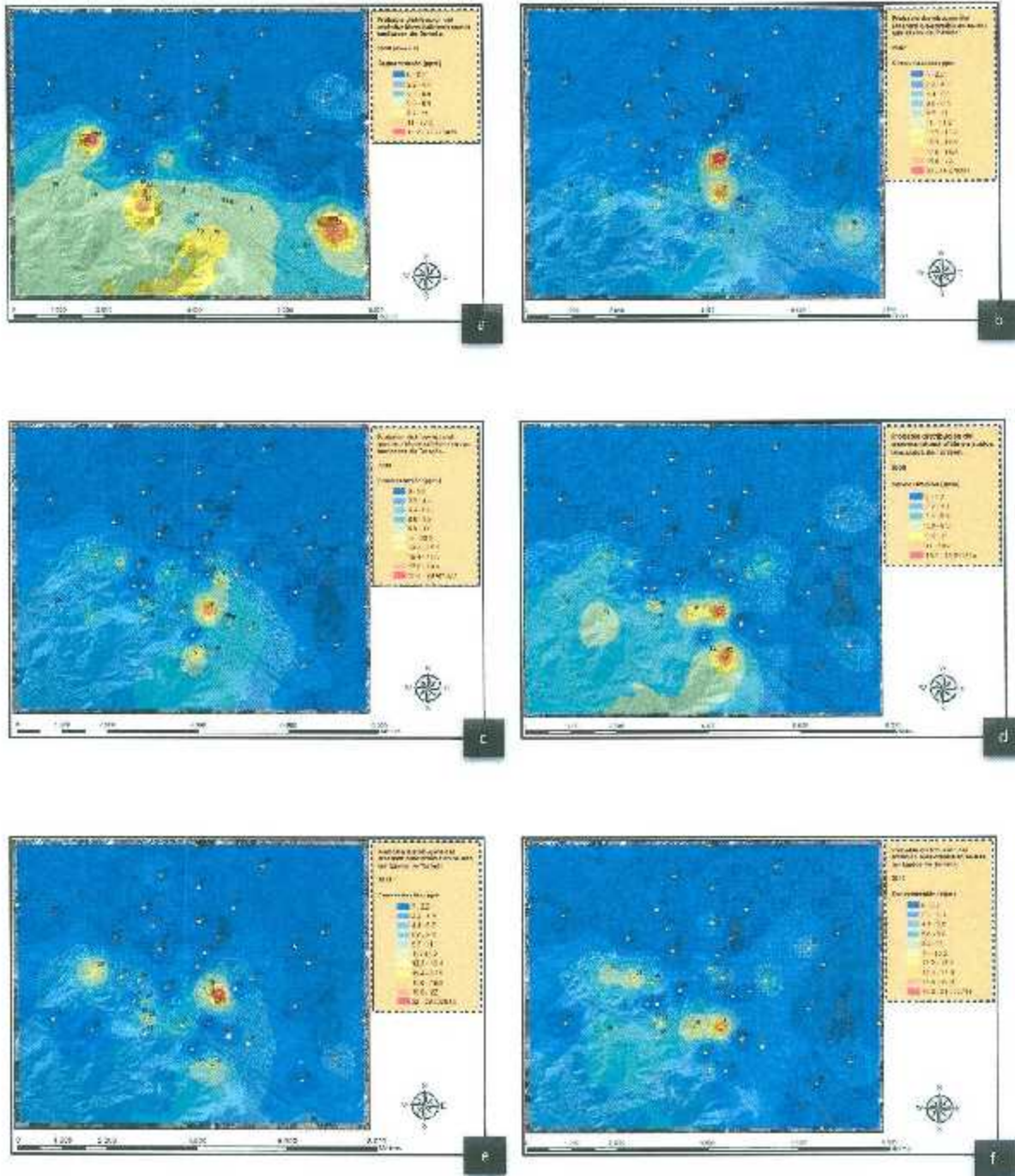
En este análisis, el año que presenta la mayor concentración de arsénico es el 2013 con 22 ppm, haciendo notar que los niveles de contaminación han aumentado, aunque es claro que sólo se cuenta con datos a partir del año 2006, puesto que en los años anteriores no se realizaba este tipo de análisis para el arsénico. El año que presenta la mínima concentración fue el 2007 con 11 ppm.

La gráfica 6.29 presenta al punto #8 como el más problemático seguido del punto #7 y #22 (los años 2006, 2008 y 2013 son los que presentaron mayor problema). Al apreciar bien esta gráfica, se nota que a pesar de que el año 2013 tiene la concentración de arsénico más alta, es también uno de los años que presenta gran parte de sus puntos en límites cercanos a cero, esto porque la concentración problemática está en el punto ubicado en la fundidora, y las zonas a medida que se alejan de ese punto resultan más limpias. En la gráfica 6.30, se aprecia que para las ubicaciones con mayor problema las concentraciones se han incrementado en los últimos análisis.



Gráfica 5.30.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos no tamizados para el arsénico.
 a) Ubicación #7, b) Ubicación #8, c) Ubicación #22.

5.5.4 Mapas de distribución del arsénico por el análisis de extractos acéticos tamizados



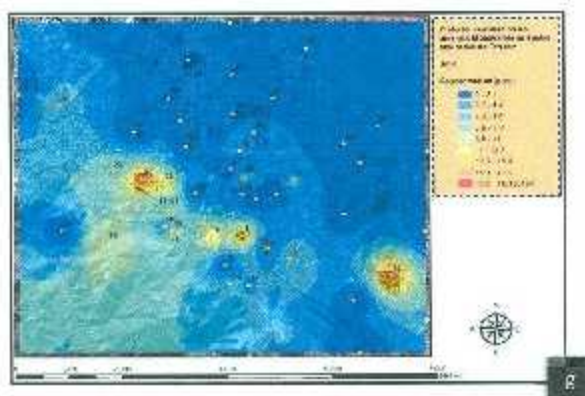
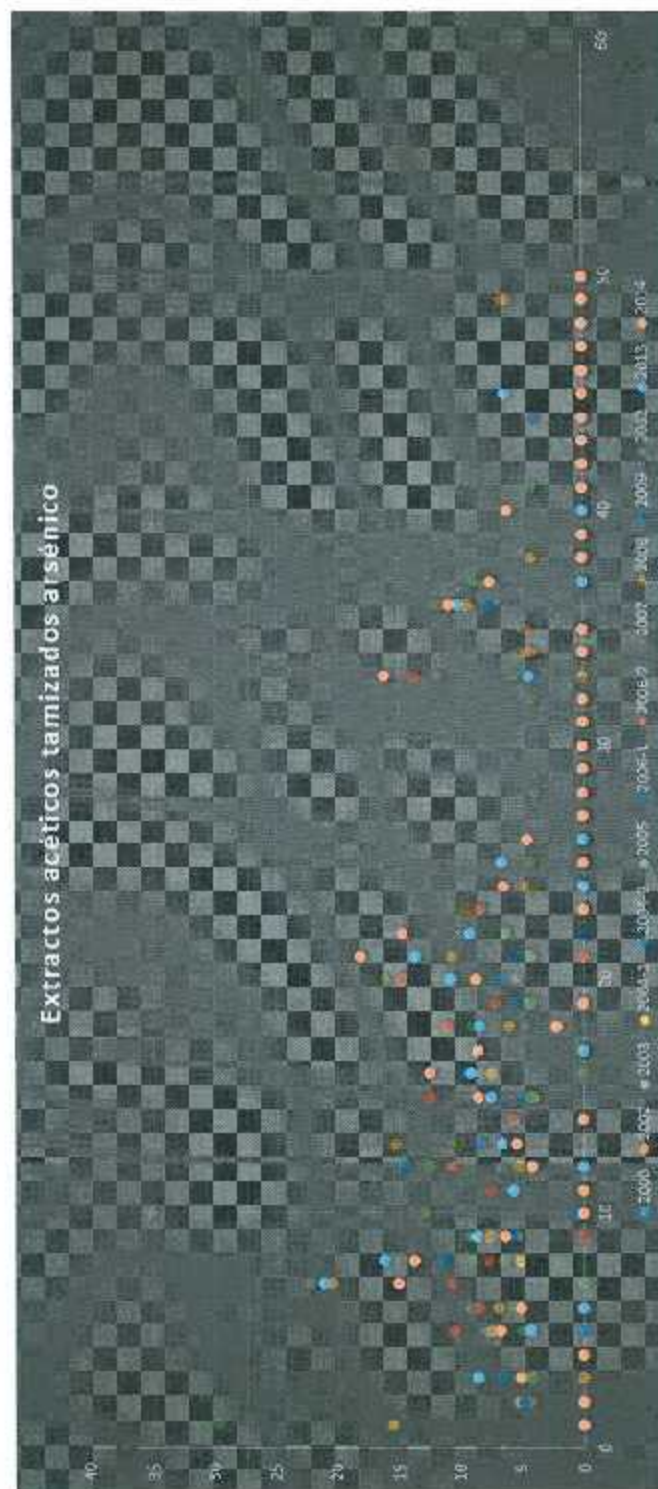


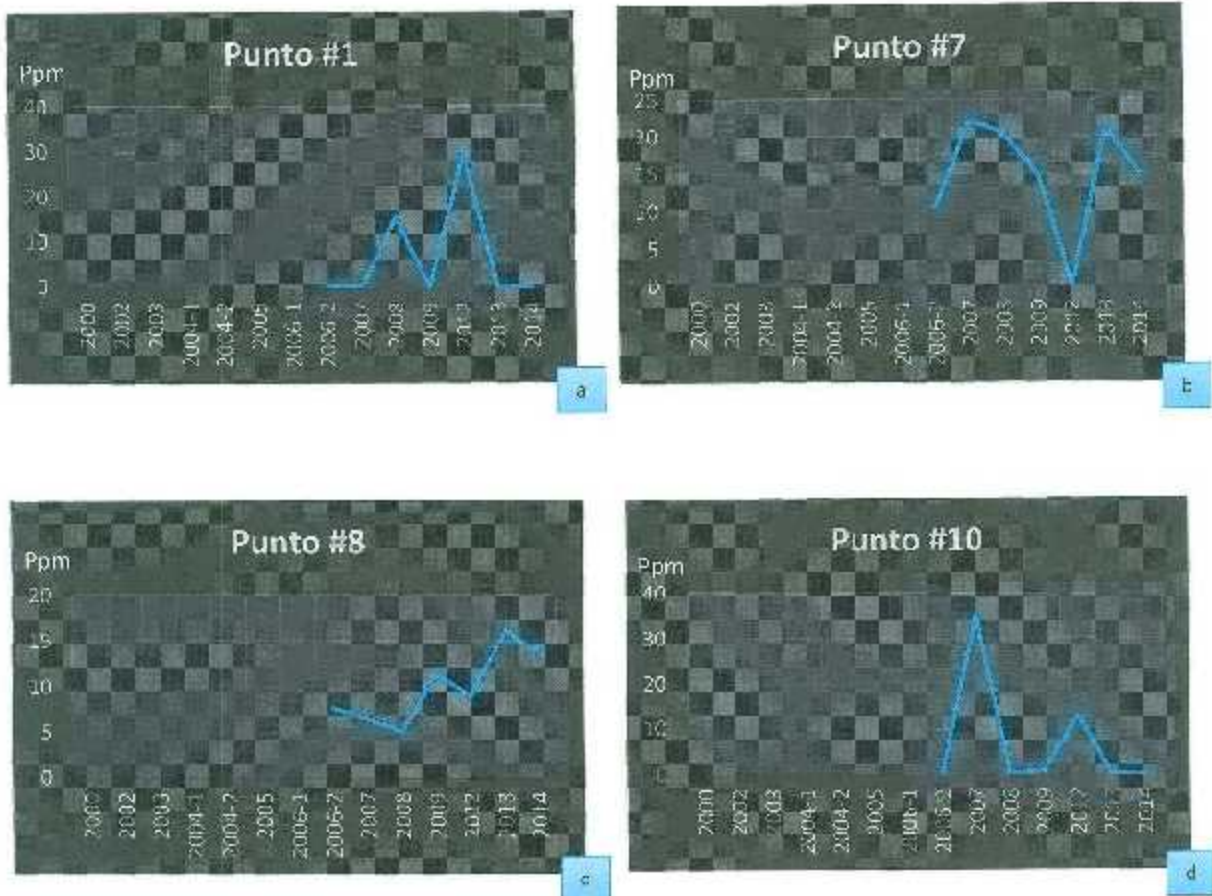
Figura 5.16.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acéticos tamizados para el arsénico.
a) Año 2006 (Parte 2), b) Año 2007, c) Año 2008, d) Año 2009, e) Año 2012, f) Año 2013, g) Año 2014.



Gráfica 5.31.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acéticos tamizados.

En este análisis, el año que muestra la mayor concentración de arsénico es el 2007 con 35 ppm, mientras que el año con la mínima concentración fue en el que se realizó el primer análisis de este tipo (2006 segundo muestreo), con 14 ppm.

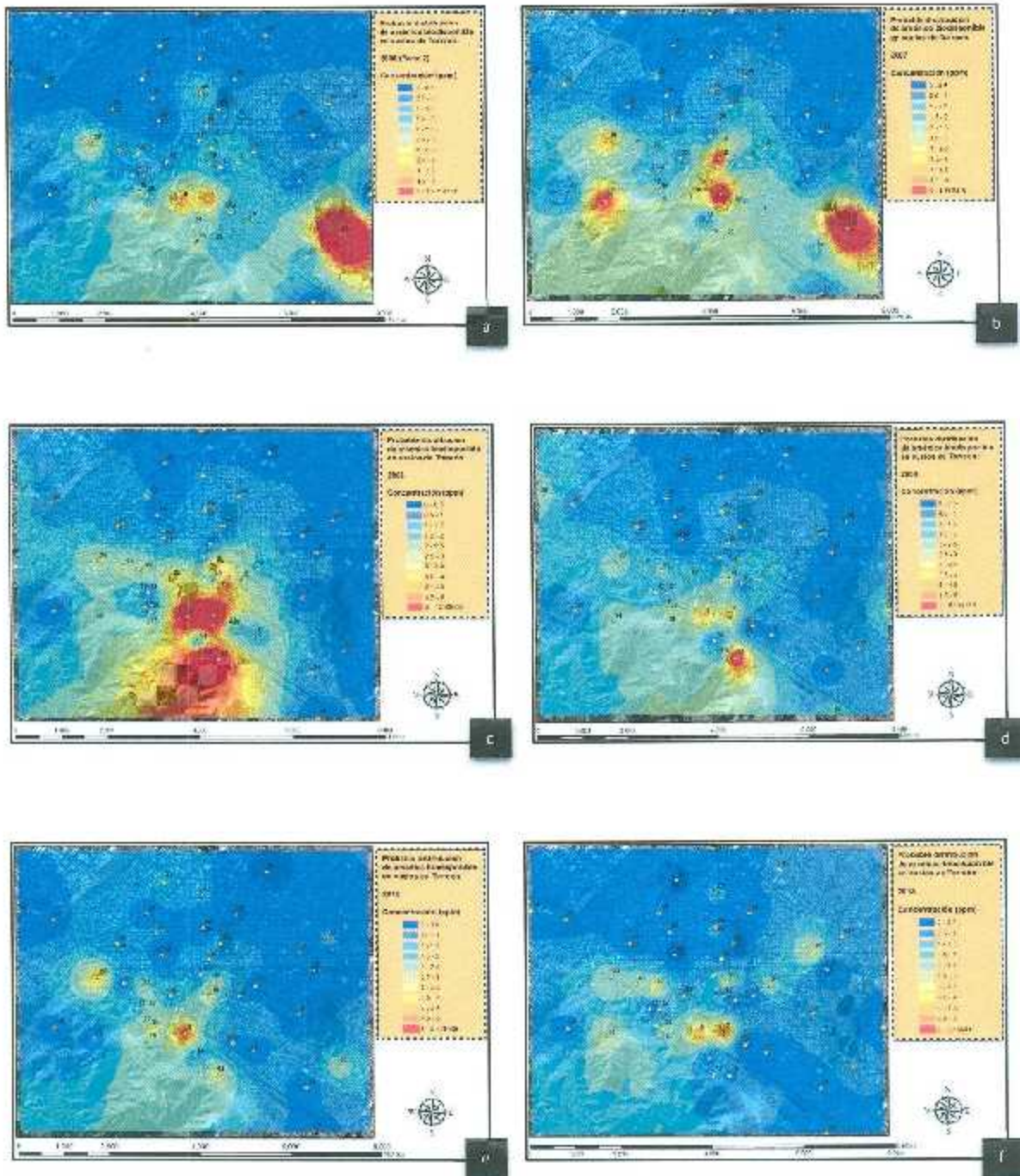
El gráfico muestra que el punto que presentó el más alto nivel fue el #10 en el 2007, pero solamente en ese año se excedió tanto, los demás años no pasó de las 13 ppm. Otros puntos que presentaron altos niveles de contaminación son el #1, #7 y el #8 en los años 2007, 2008, 2012 y 2013. En la gráfica 6.32, se logra ver que los puntos #7 y #8 han subido sus concentraciones durante los últimos muestreos, los demás puntos problemas las han reducido.



Gráfica 5.32.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acéticos tamizados para el arsénico.

a) Ubicación #1, b) Ubicación #7, c) Ubicación #8, d) Ubicación #10, e) Ubicación # 23, f) Ubicación #37.

5.5.5 Mapas de distribución del arsénico por el análisis de extractos acuosos no tamizados



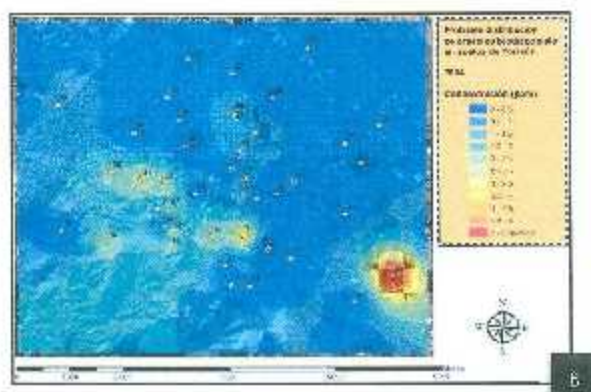
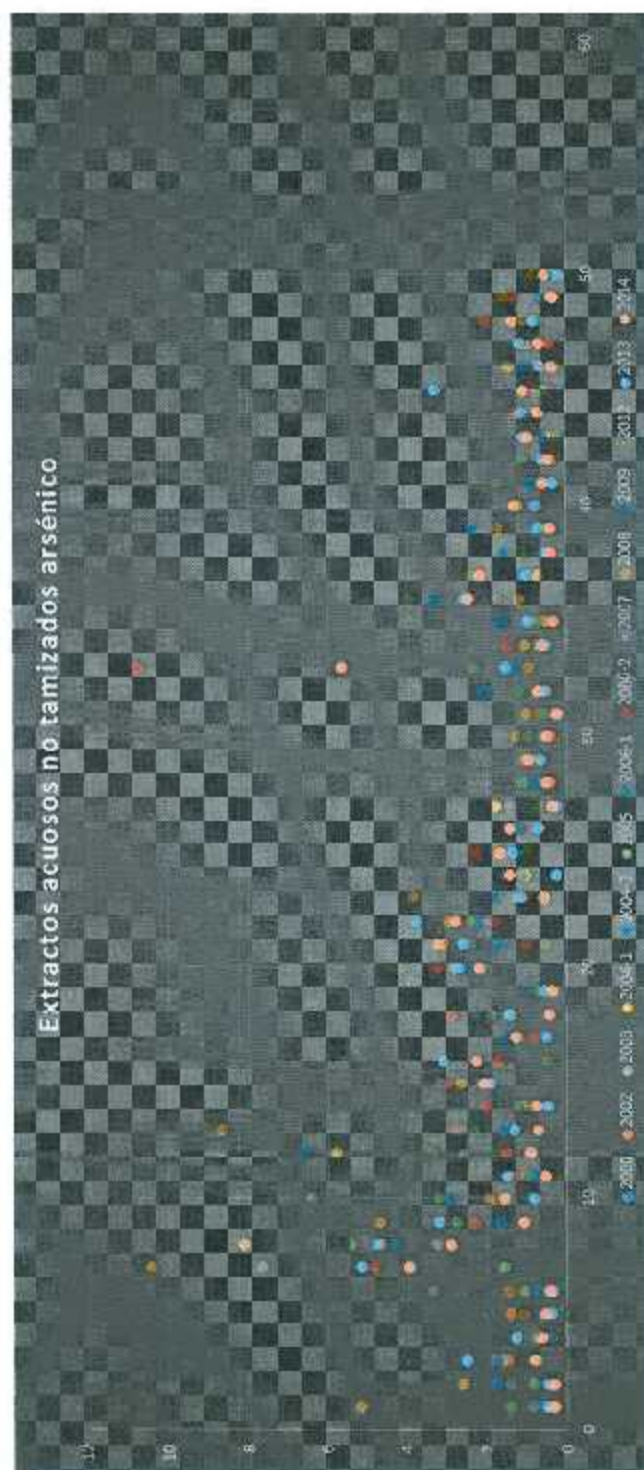


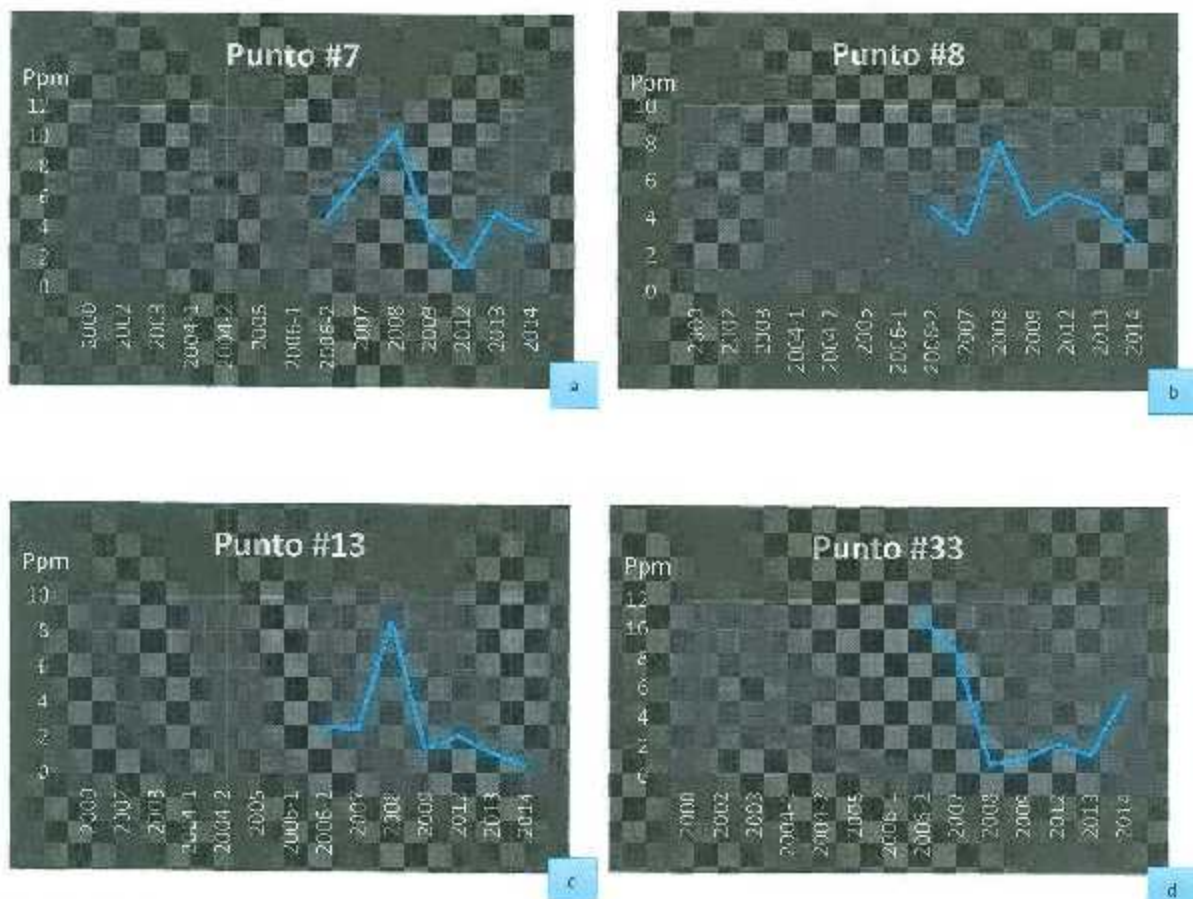
Figura 5.17.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos no tamizados para el arsénico.
a) Año 2006 (Parte 2), b) Año 2007, c) Año 2008, d) Año 2009, e) Año 2012, f) Año 2013, g) Año 2014.



Gráfica 5.33.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por el análisis de extractos acuosos no tamizados.

El análisis de extractos acuosos no tamizados que representa la concentración que resulta más peligrosa para la población, permite ver que la contaminación ha disminuido, el año con la concentración más alta es el año 2006 (segundo muestreo), con 10.79 ppm, mientras que la mínima concentración fue en el año 2013 con 5.16 ppm, reduciéndose a la mitad. Es posible ver que las manchas rojas que cubren la ciudad se han reducido notablemente, únicamente ocupando las direcciones en las que se encuentra la fundidora, pero inclusive allí la contaminación se ha reducido a la mitad, comparándose con los primeros resultados obtenidos al inicio del proyecto.

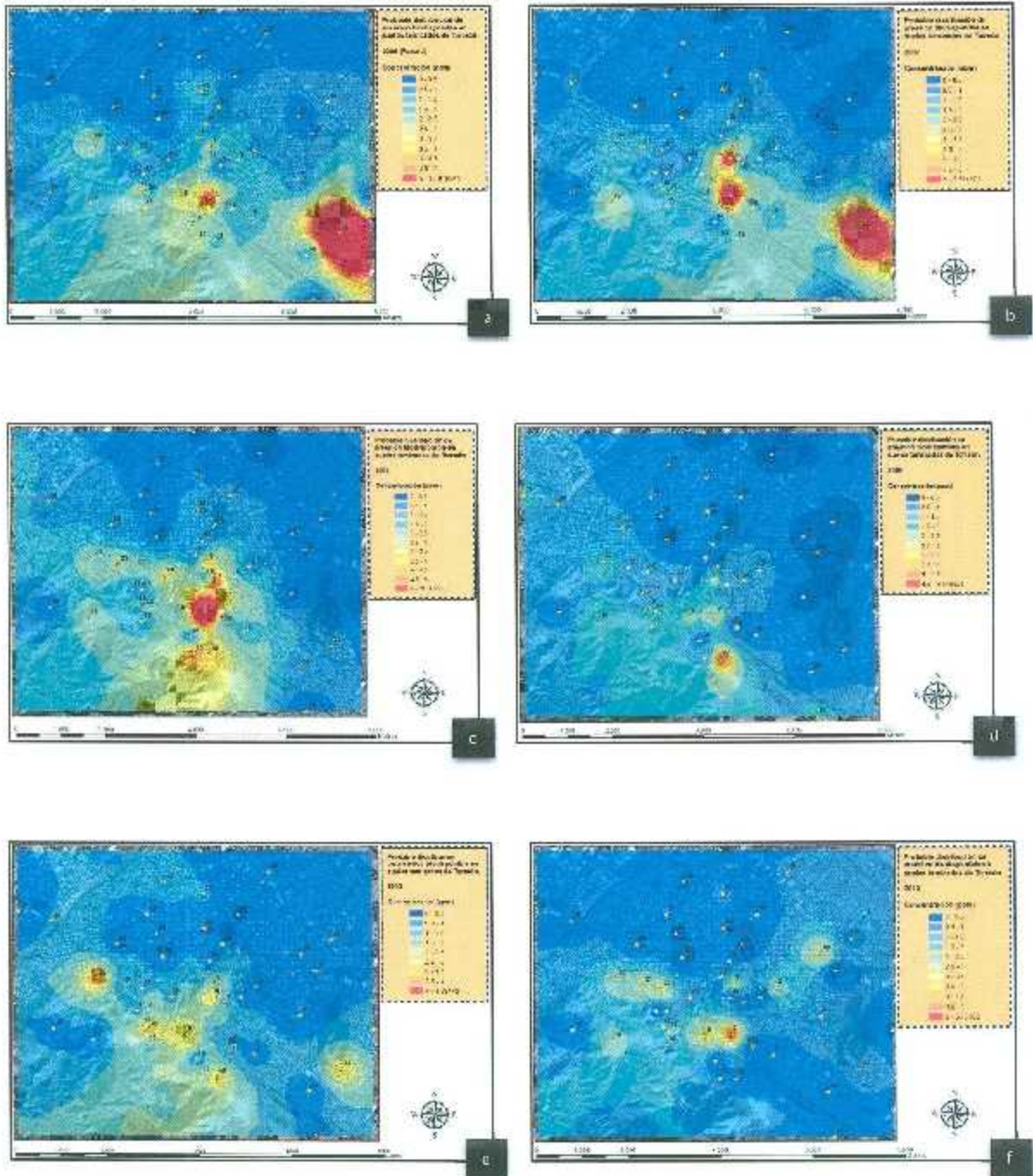
En la gráfica 6.33 se logra ver que los puntos con una concentración más alta de metal fueron el #7, #8, #13 y #33 y los años en que más se acercaron estos puntos fueron en el 2006, 2007 y 2008. En la gráfica 6.34 se aprecia como la dirección #33 ha incrementado su concentración de arsénico en el último análisis.



Gráfica 5.34.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos no tamizados para el arsénico.

a) Ubicación #7, b) Ubicación #8, c) Ubicación #13, d) Ubicación #33.

5.5.6 Mapas de distribución del arsénico por el análisis de extractos acuosos tamizados



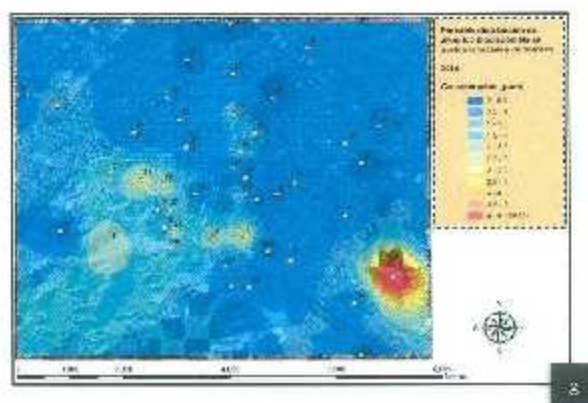
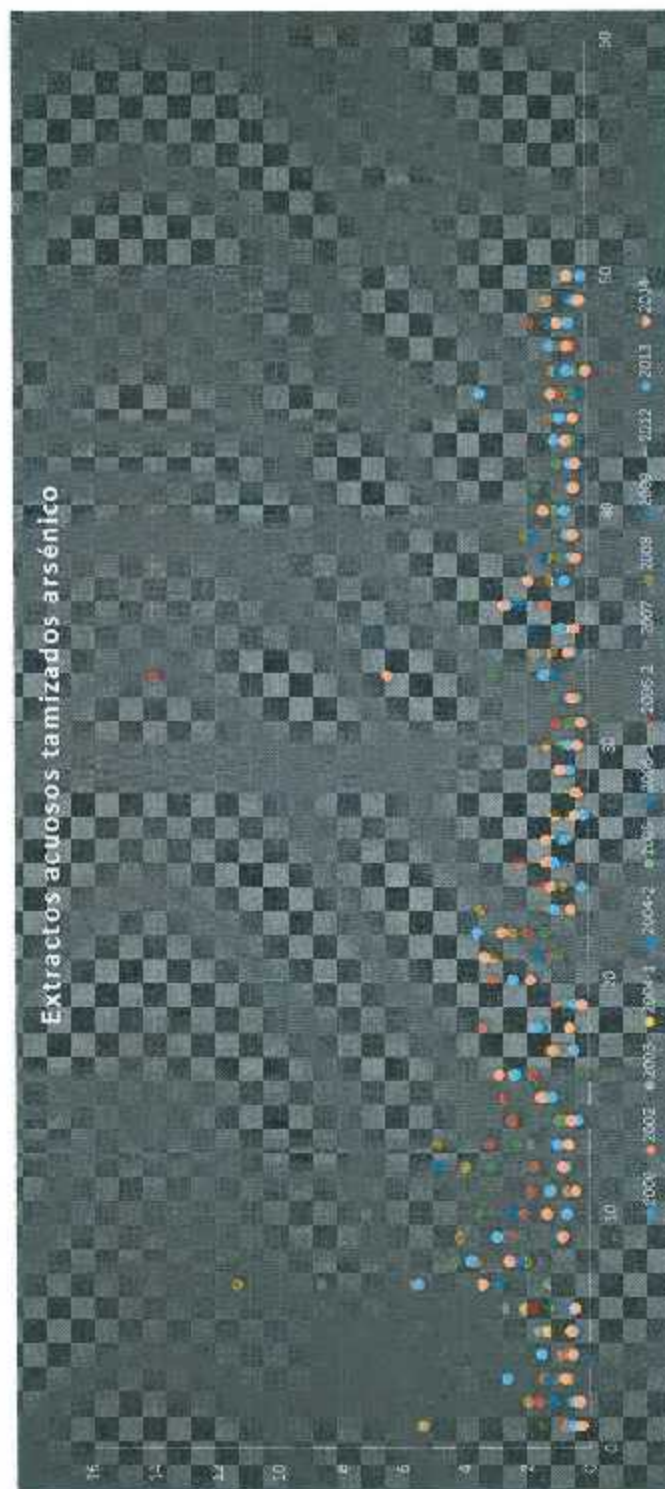


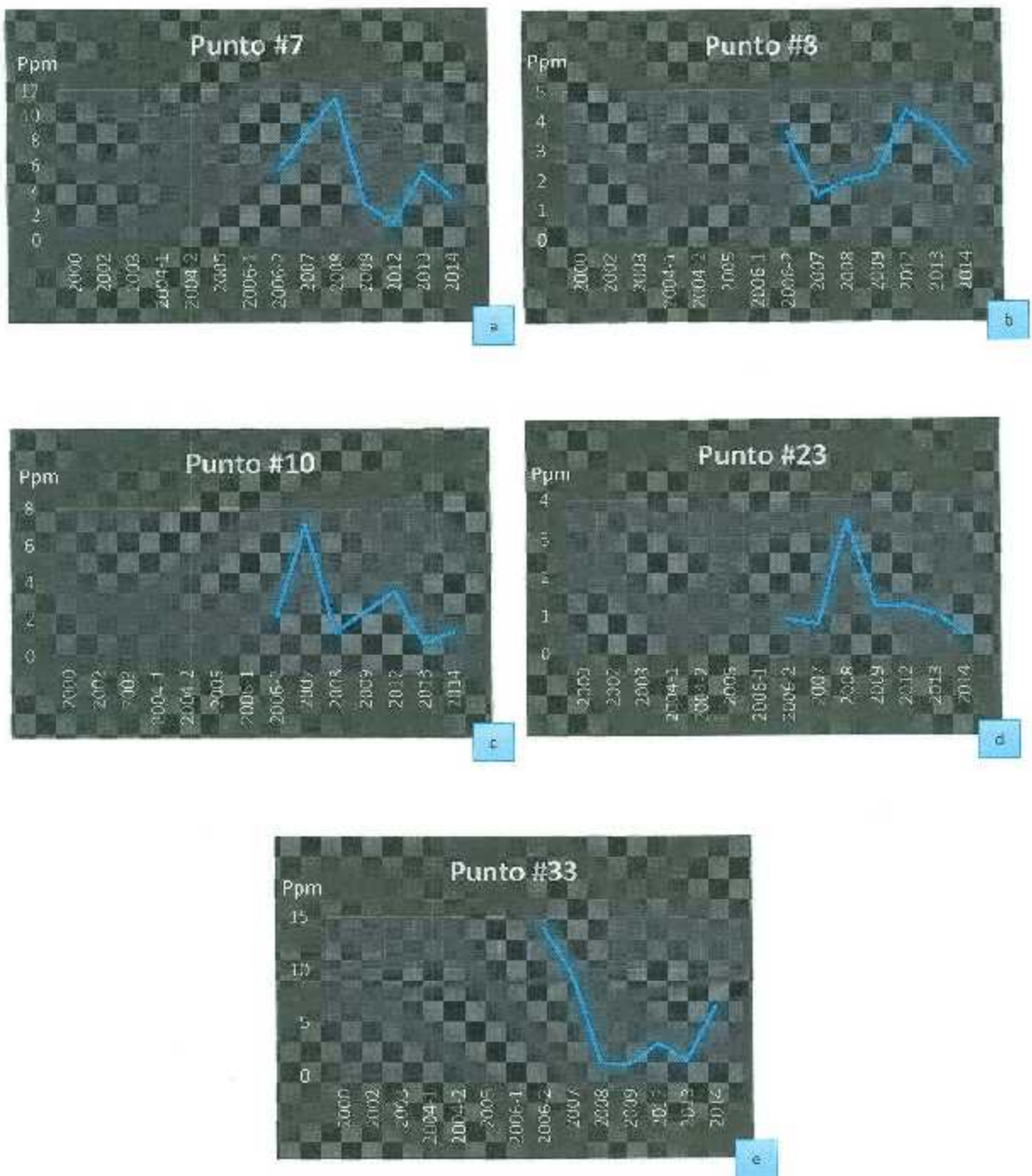
Figura 5.18.- Figuras correspondientes al análisis por extractos acuosos tamizados para el arsénico.
a) Año 2006 (Parte 2), b) Año 2007, c) Año 2008, d) Año 2009, e) Año 2012, f) Año 2013, g) Año 2014.



Gráfica 5.35.- Gráfica representativa de la evolución de las concentraciones de arsénico en el suelo de la Comarca Lagunera en el periodo total del proyecto (2000-2014), por e. análisis de extractos acuosos tamizados.

En el análisis de extractos acuosos tamizados el año con mayor problema de contaminación fue el 2006 con 13.97 ppm, mientras que la mínima concentración fue en el 2012 con 4.29 ppm. En seis años, la contaminación se redujo casi a una tercera parte, en los mapas se logra ver que uno de los puntos que estaba considerado como uno de los más contaminados (Punto #33), ha reducido sus niveles de contaminación, centrándose principalmente a las áreas colindantes a la fundidora.

En el gráfico se puede ver que los puntos con mayor problema son el #7 y el #33, y los años donde se dieron los mayores problemas son en 2006, 2007 y 2008. Otros puntos que presentaron problemas de contaminación son el #8, #10 y #23. La gráfica 6.36, permite ver el comportamiento a través del periodo del proyecto, haciendo notar que el punto #33 se ha incrementado en el último muestreo.



Gráfica 5.36.- Gráficas que visualizan el comportamiento de las ubicaciones con mayor problema en la Comarca Lagunera, de los años 2000-2014 para el análisis de extractos acuosos tamizados para el arsénico.

a) Ubicación #7, b) Ubicación #8, c) Ubicación #10, d) Ubicación #23, e) Ubicación #33.

Capítulo VI

Conclusiones

Al estudiar la manera en que se ha comportado el problema de la contaminación de suelos por metales pesados en la ciudad de Torreón, se logra ver que éste ha disminuido. Los esfuerzos realizados por diversas dependencias y ciudadanos han logrado que la distribución de la contaminación, se reduzca en casi toda la ciudad.

En el principio del proyecto los resultados obtenidos de la concentración acumulada de plomo, cadmio y arsénico en el suelo de la ciudad eran demasiado altos, hoy en día esta concentración sobrepasa lo establecido por las normas mexicanas en algunos puntos, aunque se han ido reduciendo en el tiempo, por ejemplo en el caso del plomo, para el análisis de digestiones ácidas no tamizadas, la concentración ascendía a 16,216.69 ppm, actualmente se encuentra en 4,163.88 ppm, es decir se ha reducido un 74 %. Los diferentes análisis realizados en las muestras de suelo han permitido observar desde diferentes puntos de vista el comportamiento de los metales pesados en el suelo, esto resulta importante pues se logra medir la concentración total acumulada en el suelo, la concentración que resulta más peligrosa para la población en un corto plazo y la fracción que el cuerpo podría asimilar.

Es posible que sea debido a las propiedades que tiene el suelo de la ciudad de Torreón, que los análisis que representan la fracción bioaccesible resulten bajos. Analizando las características físicas y químicas del suelo de la comarca, en general presenta suelos calcáreos, de origen sedimentario, con endurecimiento en la capa superficial, esto generado por las condiciones climáticas de la región que permite la eluviación de las sales, [21]. Son las propiedades presentes en el suelo, las que han permitido una adhesión de las partículas

contaminantes que han ayudado a que la fracción que resulta más perjudicial para la salud de la población, tengan concentraciones más bajas.

De igual manera, resulta importante resaltar la sobre explotación del suelo, la calidad de éste resulta de regular a baja, y las grandes limitantes que tiene son la escasez de agua, profundidad, pedregosidad y erosión severa. Con todas estas condiciones, la Comarca Lagunera es caracterizada por tener las zonas agrícolas más importantes de las Cuencas Centrales del Norte, cientos de toneladas de fertilizantes, pesticidas, estiércol, herbicidas, han sido utilizados para mantener estas actividades a lo largo de los últimos cien años, trayendo consecuencias graves al medio ambiente, todos los químicos depositados a causa de estas actividades, han llevado al suelo gran cantidad de metales pesados, como el arsénico, plomo y cadmio, haciéndose ésto de manera irracional y sin control.

En los análisis realizados en el proyecto, en los que se mide la concentración total acumulada en el suelo, puede verse reflejado el impacto que ha ocasionado toda esta explotación del suelo, éstos son graves problemas de contaminación, que causan que las personas mueran antes de tiempo, padezcan enfermedades que dañan su mente y su cuerpo, y destruye a quienes no pueden alejarse del problema, lastima a las personas más necesitadas, en las que deteriora su salud, impidiendo su habilidad de trabajar y proveer a sus familias.

Pero no es necesario tener éste panorama, todo ésto puede cambiar, porque se ha hecho, los niveles de contaminación han disminuido. Citando como ejemplos a los países más ricos, que han realizado constantes esfuerzos, y han logrado controlar estos problemas, al igual que ha sido posible en ciertos países, puede afirmarse que en la comarca también es posible, pero se requiere adoptar una cultura de responsabilidad por todas las dependencias y corporaciones pertinentes, así como de la población en general, es necesario establecer más regulaciones ambientales, que sí cumplan con las reglamentaciones necesarias para la

erradicación del problema, o el control del mismo y finalmente establecer programas de remediación de suelos, controles para las industrias y minas, etc.

Existe la oportunidad de realizar esto, algo del trabajo ha sido desarrollado, pero hace falta mucho más, necesitamos hacer más con la industrialización, con la sobreexplotación de los recursos, con el enriquecimiento ilícito y la mala administración pública. Las inversiones de la comunidad servirían para resolver el problema y salvar vidas, sabemos cómo resolver el problema, es simplemente un problema de concientizar y proveer a las comunidades y Gobiernos las herramientas necesarias para realizar el trabajo ahora.

Referencias:

- [1] E. Bell. (2015). *Causas principales de la contaminación del suelo*. Available: <http://blogecologista.com/causas-principales-de-la-contaminacion-del-suelo/>
- [2] C. M. M. d. Frías, "Apuntes para trabajadores sobre ECOTOXICOS. Identificación, efectos sobre el medio ambiente y la salud, e intervención.,¹ UGT Castilla y León, vol. Secretaría de Salud Laboral y Medio Ambiente, 2011.
- [3] Hesperian, *Guía comunitaria para la salud ambiental* vol. Capítulo 17. Envenenamiento por plomo. U.S.A., 2014.
- [4] J. C. Alvarez. (2002). *Elementos de la tabla periódica y sus propiedades*. Available: <http://elementos.org.es>.
- [5] Lenntech. *Water Treatment Solutions*. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/index.htm>
- [6] V. M. C. M. Francisco Valdés Perezgasga, "La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México," *Texas Center for Policy Studies*, vol. Primera Edición, 1999.
- [7] I. I. L. Association, "Lead Action 21. La evolución de un elemento," p. 3.
- [8] *Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente.*, E. U. Mexicanos., 2002.
- [9] P. A. Poma, "Lead effects on humans," *University of Illinois at Chicago*, 2008.
- [10] SESMA. *Intoxicación por metales pesados*. Available: http://www.paritarios.cl/especial_intoxicaciones_metales_pesados.htm
- [11] C. C. f. O. H. a. Safety. (1998). *Plomo. Efectos en la Salud* Available: http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/lead/health_lead.html
- [12] M. M.-A. Concepción Nava-Ruiz, "Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)," *Neurociencia (Mex)*, vol. 16, pp. 140-147, 2011.
- [13] A. f. T. S. a. D. Registry, "Plomo," *División de Toxicología y Medicina Ambiental ToxFAQs*, 2007.
- [14] F. D. Barriga. (1999). *Evaluación del riesgo por la exposición al plomo*. Available: <http://www.bvsde.paho.org/tutorial3/e/casos/caso2/plom.html>
- [15] Etodasguias.com. (2015). *Cadmio*. Available: <http://etodasguias.com/c/cadmio.php>
- [16] B. E. Barrera. (2014). *Toxicidad del Cadmio*. Available: http://enciclopedia.us.es/index.php/Toxicidad_del_cadmio
- [17] M. I. A. C. Perla Esmeralda Pérez García, "Los efectos del cadmio en la salud," *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, vol. 17, pp. 199-205, 2012.
- [18] C. M. Lorena Gieco. (2003). *Cadmio, un tóxico encubierto*. Available: <http://www.monografias.com/trabajos78/cadmio-toxico-encubierto/cadmio-toxico-encubierto.shtml>
- [19] A. J. O. Alanuza. (2014). *Cadmio e Intoxicación*. Available: <https://sites.google.com/site/todosobrelosmetales toxicos/cadmio>
- [20] E. R. Rosas, "El arsénico: historia de una pócima natural," *CIENCIORAMA*.
- [21] *El arsénico en la lengua, en la historia y en la sociedad*. Available: <http://www.heurema.com/Origenes/Origenes2-As/ARS%C9NICO.pdf>
- [22] Miliarium. (2001). *Aplicaciones del arsénico*. Available: <http://www.miliarium.com/Monografias/Arsenico/Aplicaciones/aplicaciones.asp>

- [23] O. G. Maldonado, "Sistemas de información geográfica para el estudio de la evolución de la presencia de plomo en los suelos de Torreón.," Maestría, Instrumentación Electrónica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila., Diciembre 2009.
- [24] D. Química. *Efectos del arsénico sobre la salud*. Available: <http://dequimica.com/site/tabla-periodica/arsenico/>
- [25] C. d. E. Andalucía. (2010). *Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales*. Available: <http://sig.cea.es/ventajas>
- [26] R. Tinoco. (Febrero 2004). *Definición y Algunas Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica*. Available: <http://www.monografias.com/trabajos14/informageogra/informageogra.shtml>
- [27] A. U. A. Muñoz, "Efectos estacionales en los niveles de arsénico de pozos urbanos de la Comarca Lagunera.," Maestro en Ciencias, Ingeniería Eléctrica, Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, 2012.
- [28] G. V. J. Cerda, "John Snow, la epidemia de cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna.," *Chil Infect*, vol. 24(4), pp. 331-334, 2007.
- [29] S. Johnson, *The Ghost Map: The Story of London's Most Terrifying Epidemic and How It Changed Science, Cities, and the Modern World*, Octubre, 2007.
- [30] e. a. E. De Elia, "Epidemiología Panorámica: Introducción al uso de herramientas geospaciales aplicadas a la salud pública.," *CONAE, Ministerio de Salud de la Nación, Buenos Aires, Argentina.*, 2014.
- [31] A. R. Center. (Noviembre 2012). *Desktop 10*. Available: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0>
- [32] O. M. d. I. Salud. (Octubre 2014). *Intoxicación por plomo y salud*. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>
- [33] P. dominicanas. (2015). *Efectos de la contaminación por plomo crean alerta mundial*. Available: <http://www.provinciasdominicanas.org/index.php/nacionales/11085>.
- [34] G. C. Blacksmith Institute, GAHP, "TOP TEN COUNTRIES TURNING THE CORNER ON TOXIC POLLUTION," 2014.
- [35] E. H. Perspectives, "Lead-Based Decorative Paints. ¿Where are they still sold- and why?," *Focus*, vol. 122, 2014.
- [36] P. d. M. A. y. Ecología. (Enero 2009). *Los 10 lugares más contaminados del mundo*. Available: <http://www.eco-sitio.com.ar/node/887>
- [37] A. p. S. T. y. R. d. Enfermedades. (2007). *La toxicidad del plomo ¿Cuáles son las normas de niveles de plomo en Estados Unidos?* Available: http://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/plomo/es_pb_normas.html
- [38] I. N. d. E. y. Geografía, "La minería en México 2012," E. Sectoriales, Ed., ed. Aguascalientes, Ags., 2012.
- [39] A. G. G. Irma Gavilán García, José Castro Díaz, "Organometales," *Instituto Nacional de Ecología*, 2007.
- [40] I. Restrepo. (Enero 2005). *Efectos de la contaminación por plomo*. Available: <http://www.ornada.unam.mx/2005/01/31/020a2pol.php>
- [41] Wikipedia. (Julio 2015). *La Laguna (Comarca Lagunera)*. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/La_Laguna_\(Comarca_Lagunera\)](https://es.wikipedia.org/wiki/La_Laguna_(Comarca_Lagunera))
- [42] F. V. Perezgasga. (Abril 2001). *El caso Peñoles: contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila*. Available: <http://www.ornada.unam.mx/2001/04/30/eco-valdez.html>

- [43] J. L. González. (2011). *Lala, Peñoles, el Santos, el arsénico, la contaminación ambiental, los medios de comunicación y la inmovilidad de la sociedad lagunera*. Available: <https://kioscomodios.wordpress.com/2011/02/01/lala-penoles-el-santos-el-arsenico-la-contaminacion-ambiental-los-medios-de-comunicacion-y-la-inmovilidad-de-la-sociedad-lagunera/>
- [44] J. M. López. (Abril 2009). *Peñoles, envenena a Torreón*. Available: http://democratanortedemexico.com/coahuila/penoles_envenena_torreon.html
- [45] S. Q. p. e. D. Sostenible. (2006). *Preocupaciones en materia de salud y medio ambiente asociadas con los metales pesados*. Available: http://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/abstract_sp.pdf?ua=1
- [46] A. T. T. Liliana Saldivar Osorio, Teresa Fortoul van der Goes, "Cadmio," *UNAM*, vol. Capítulo 13.
- [47] (1998). *Cadmio. Acumulación, Toxicidad en Humanos*. Available: <http://html.rincondelvago.com/cadmio.html>
- [48] ARLECO, "Rudnaya Pristán, el imperio fantasma de Rusia," Marzo 2009.
- [49] I. N. d. F. y. C. Climático, "Metales Pesados," ed. México, D.F.: SEMARNAT, Agosto 2009.
- [50] O. M. d. I. Salud, "Grupo de Estudio de la OMS sobre reglamentación de los productos de tabaco," *Serie de Informes Técnicos*, vol. 4, 2012.
- [51] J. M. R. Rodolfo Zibell. (2013). *Arsénico, un tóxico que se expande en la agricultura argentina*. Available: http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=arsenico_un_toxico_que_se_expande_en_la_agricultura_argentina&id=1893
- [52] (Abril 2007). *Arsénico en agua potable en todo el mundo*. Available: <http://dw.com/p/AJ0R>
- [53] N. A. o. Ciencias. (2007). *El agua potable segura es esencial*. Available: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Household-Arsenic-Filter.html>
- [54] P. S. D. G. Kinniburgh., *Arsenic in Groundwater and the Environment*.
- [55] J. Lillo, "Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas," *Grupo de Estudios de Minería y Medio Ambiente*, p. 7, 2003.
- [56] H. B. a. K. R. Peter Ravenscroft, *Arsenic pollution a global synthesis*. Reino Unido, Inglaterra., 2009.
- [57] D. A. Ahsan, "Contaminación por arsénico y metales traza en suelos inundables de Bangladesh," Doctoral, Química -Física, Universidad de Cádiz, Cádiz, 2008.
- [58] R. C. G. P. R. S. N. F.I. Arreguín Cortés, "Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea de México," *Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)*.
- [59] J. L. P. Ramírez, "Remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano mediante diferentes materiales de adsorción.," Maestría, Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Campus Morelos, México, 2012.
- [60] F. M. B. C. A.A. Carbonell Barrachina, J.J. Mataix Beneyto., "Arsénico en el sistema Suelo-Planta, significado ambiental.," *Universidad de Alicante*, 1995.
- [61] Vanguardia. (2011). *La Laguna: los sobrevivientes del arsénico*. Available: <http://www.vanguardia.com.mx/lalapunalosobrevivientesdelarsenico-1064277.html>
- [62] C. d. P. T. d. México, "Turismo de Reuniones en Torreón.," Explore Mexico.
- [63] A. V. Jáuregui, "Predicción del riesgo a la salud infantil en una zona contaminada por plomo," *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, vol. XXVII, pp. 8-15, Junio 2006 2006.

- [64] A. V. Jáuregui, "Diseño de sensores para metales pesados," Doctorado, Ingeniería Eléctrica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, Junio 2006.
- [65] *Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.*, P. F. d. P. a. Ambiente, 2015.
- [66] S. T. Héctor M. Coraspc. (Diciembre 1996). *Procedimiento para la toma de muestras de suelos*. Available:
http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd54/suelos.htm
- [67] *Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*, February 2007.
- [68] M. M. María Rosende, "Trends in Analytical Chemistry," vol. 45, pp. 67-78, April 2013.
- [69] N. G.-I. Agency. (Abril 2012). *World Geodetic System*. Available:
<http://web.archive.org/web/20120402143802/https://www1.nga.mil/ProductsServices/GeodesyandGeophysics/WorldGeodeticSystem/Pages/default.aspx>
- [70] S. D. M. A. Y. R. NATURALES, 'NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004,' p. 69, 2 de Marzo de 2007 MARZO, 2007.
- [71] M. C. C. R. Álvaro López, Angélica M. Franco González., "Diagnóstico ambiental de la Comarca Lagunera," *Instituto de Geografía de la UNAM*.