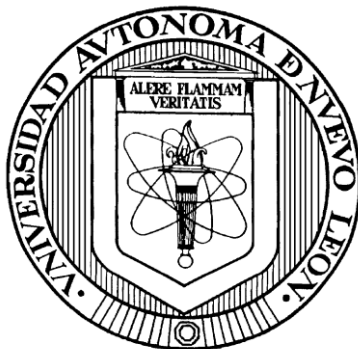


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN
SUELO SUPERFICIAL DE PARQUES Y PLAZAS PÚBLICAS, EN TRES
MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY,
NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

Por

VERÓNICA ROCÍO DE LA PEÑA CERDA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de MAESTRÍA EN
CIENCIAS con Orientación en Ingeniería Ambiental**

Noviembre de 2014



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIC

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL UANL
Presente.-

Estimado Dr. Juárez Alvarado:

Por medio de la presente le comunico que la Ing. Verónica Rocío de la Peña Cerda, pasante de la Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental, ha concluido satisfactoriamente su trabajo en tesis denominado **“Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial de parques y plazas públicas, en tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México”**, por lo que no tengo inconveniente en solicitarle que amablemente gire las instrucciones para dar paso a los trámites correspondientes y atender la solicitud del Examen de Grado de la Ing. Verónica Rocío de la Peña Cerda para cumplir con los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra institución

Agradeciendo de antemano la atención brindada a la presente me despido quedando a sus órdenes.

Atentamente,


DRA. MARTHA LETICIA HERREJÓN FIGUEROA
DIRECTORA DE TESIS




DR. BENJAMÍN LIMÓN RODRÍGUEZ
CODIRECTOR DE TESIS

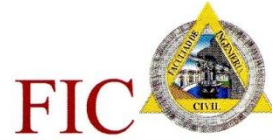
Ciudad Universitaria, 03 de Noviembre de 2014





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIC

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL UANL
Presente.-


Estimado Dr. Juárez Alvarado:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado como Evaluador de la Tesis **"Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial de parques y plazas públicas, en tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México"** que presenta la Ing. Verónica Rocío de la Peña Cerda, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental, me permito informar a usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro en particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE,
"ALERE FLAMMAM VERITATIS"

Cd. Universitaria, a 03 de noviembre del 2014


MC. ELÍAS VÁZQUEZ GODINA
EVALUADOR



c.c.p. Archivo



Ave. Universidad S/N Ciudad Universitaria
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 6645



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DR. CESAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, U.A.N.L.
Presente.-

Estimado Dr. Juárez Alvarado:

En atención a su oficio en el que me informa que fui designado Evaluador de la Tesis **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SUELO SUPERFICIAL DE PARQUES Y PLAZAS PÚBLICAS, EN TRES MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO”** que presenta el Ing. **VERÓNICA ROCÍO DE LA PEÑA CERDA**, como requisito para obtener el grado de Maestría con Orientación en Ingeniería Ambiental, me permito informar a Usted, que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, en el ámbito de competencia del suscrito dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro particular, le reitero mis distinguidas consideraciones y un afectuoso saludo.

Atentamente,

03 NOVIEMBRE DE 2014

DR. JUAN MANUEL ALFARO BARBOSA
PROFESOR-INVESTIGADOR



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: VERÓNICA ROCÍO DE LA PEÑA CERDA

Tema de la tesis: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SUELO SUPERFICIAL DE PARQUES Y PLAZAS PÚBLICAS, EN TRES MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, N.L.

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA

Del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(NINGUNA)

Nombre y firma de quien corrigió:

Ramón Longoria
Arq. Ramón Longoria Ramírez

César Antonio Juárez Alvarado

DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
Subdirector de Estudios de Posgrado

Ciudad Universitaria, a 29 de SEPTIEMBRE de 2014.



UANL



DIRECCIÓN
GENERAL DE
BIBLIOTECAS



Biblioteca Universitaria
RAÚL RANGEL FRÍAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN □ DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS □ BIBLIOTECA UNIVERSITARIA "RAÚL RANGEL FRÍAS"

**Departamento Escolar y de Archivo
Universidad Autónoma de Nuevo León**

Presente.-

La Biblioteca Universitaria "Raúl Rangel Frías" hace constar la recepción de la copia de la tesis en CD-ROM formato PDF titulada:

"Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial de parques y plazas públicas, en tres municipios del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México."

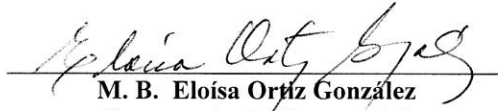
Que ha sido realizada por **Verónica Rocío de la Peña Cerda** como requisito parcial para obtener el grado de **Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental** de la **Facultad de Ingeniería Civil** de esta Universidad.

La tesis será integrada al acervo de la Biblioteca Digital UANL para su consulta. Sin más por el momento me es grato quedar a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

Atentamente.-

"Alere Flammam Veritatis"

Monterrey, Nuevo León, a 05 de noviembre de 2014.


M. B. Eloisa Ortiz González
Procesamiento Documental



·Visión·
2020
UANL

"Educación de clase mundial, un compromiso social"

Ave. Alfonso Reyes N° 4000 Nte. Col. Regina, C.P. 64290
Monterrey, Nuevo León, México.
Teléfono: (81) 8329 4090 / Fax (81) 8329 4065

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SUELO
SUPERFICIAL EN PARQUES Y PLAZAS PÚBLICAS, EN TRES MUNICIPIOS
DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**



**Dr. Martha L. Herrejón Figueroa
Directora**



**Dr. Benjamín Limón Rodríguez
Co-Director**



**Evaluador
MC. Elías Vázquez Godina**



**Evaluador Externo
Dr. Juan Manuel Alfaro Barbosa**



**Dr. César Antonio Juárez Alvarado
Subdirector de Estudios de Posgrado**

RESUMEN

Verónica Rocío de la Peña Cerda

Fecha de Graduación: Noviembre, 2014

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título de Estudio: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SUELO SUPERFICIAL DE PARQUES Y PLAZAS PÚBLICAS, EN TRES MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Número de páginas: 160

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

Área de estudio: Ingeniería Ambiental.

Propósito y Método de Estudio: El propósito de la presente investigación es determinar la concentración de plomo y cadmio en suelos superficiales de plazas y parques públicos de tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey y correlacionar las dos técnicas utilizadas: espectroscopia de absorción atómica (EAA) y espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil (XRF), para comprobar la factibilidad del uso del equipo portátil en el campo. Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson r y el coeficiente de determinación R^2 para tamaños de partícula menores que 2 mm, menor que 0.250 mm y menores que 0.105 mm. Se realizaron los siguientes análisis físicos y químicos complementarios a las muestras, la determinación de humedad, pH, cloruros, sulfatos, carbón orgánico, materia orgánica y CaCO_3 .

Contribuciones y Conclusiones: al obtener las concentraciones de plomo y cadmio de las muestras analizadas, se observó que uno de los parques públicos excedía la concentración de plomo establecida como concentración de referencia total (CR_T) en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, lo que representa un suelo contaminado. En las partículas menores que 0.105 mm se presenta la mayor correlación entre las dos técnicas utilizadas, con un valor r de 0.968 y R^2 de 0.938, indicando una correlación significativa entre las dos técnicas, haciendo factible el uso de XRF portátil en el campo, para la obtención de resultados semicuantitativos de manera preliminar. Por medio del análisis por XRF se detectó que en el 81.25% de las muestras analizadas las concentraciones de vanadio son superiores a las establecidas como CR_T , por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, por lo que se recomienda realizar investigaciones para identificar si las altas concentraciones se deben a la contaminación antropogénica o son de origen natural.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi guía.

A mi directora de tesis la Dra. Martha Leticia Herrejón Figueroa y mi co-director el Dr. Benjamín Limón Rodríguez, por su guía, sus invaluable enseñanzas y su apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A mi evaluador y profesor MC. Elías Vázquez Godina, por sus invaluable enseñanzas.

A mi evaluador Dr. Juan Manuel Alfaro Barbosa, por el apoyo, su tiempo y por compartirme sus conocimientos.

Al CONACYT por el otorgamiento de la beca para la maestría con el número de becario 503832.

Al personal del Departamento de Ingeniería Ambiental, del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL por su apoyo para la realización de este proyecto.

A mi padre Humberto y mi madre María, por su apoyo incondicional, por su fe en mí, por la paciencia, amor y consejos que siempre atesoraré, sin su apoyo, no lo hubiera logrado.

A mi hermana Claudia, a quien admiro. Gracias por los consejos, la ayuda, el amor, por creer en mí y por tu compañía durante toda mi vida.

A Guillermo, por su amor, paciencia, amistad, por no dejarme caer y compartir conmigo todo su ser.

A Lirio por su invaluable amistad, consejos y compañía.

A mis mejores amigos, Santiago, Alberto, Alejandro, Poly y Lely, cada uno de ellos que tienen una parte de mi corazón, por estar siempre, apoyarme y abrazarme cuando más lo necesito.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Humberto Apolonio de la Peña Torres y María de Jesús Cerda Gurardiola, gracias por darme su amor, comprensión y haber hecho de mí la persona que soy el día de hoy.

A mi hermana Claudía Carolina, por enseñarme, apoyarme y guiarme. Dios me bendijo al ponerte en mi vida.

A Guillermo Fuentes por acompañarme en el camino y alentarme a dar siempre lo mejor de mí.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.1.1 Justificación	6
1.1.2 Hipótesis	7
1.1.3 Objetivo general	8
1.1.4 Objetivo específico	8
1.1.5 Meta.....	9
1.2 Marco teórico	11
1.2.1 El suelo	11
1.2.2 La industria y la minería en el Estado de Nuevo León	13
1.2.3 Contaminación del suelo	16
1.2.4 El suelo y los metales pesados	19
1.2.5 El plomo.....	25
1.2.6 El cadmio	33
1.2.7 Legislación Ambiental Mexicana en materia de contaminación de suelos	35
CAPÍTULO 2 EL MÉTODO	37
2.1.1 Etapa No.1 Selección de plazas y/o parques públicos para el estudio.....	38
2.1.2 Etapa No.2 Planeación del trabajo de campo	39

2.1.3 Etapa No.3 Realización del trabajo de campo	41
2.1.4 Etapa No.4 Preparación y análisis de las muestras de suelo en laboratorio	44
2.1.5 Etapa No.5 Análisis de las muestras de suelo	46
2.1.6 Etapa No.6 Determinación de Plomo y Cadmio	49
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
Resultados	60
3.1 Características de los municipios seleccionados	61
3.2 Descripción de los sitios muestreados	63
3.3 Análisis complementarios	80
3.3.1 El pH.....	81
3.3.2 La humedad	82
3.3.3 El carbón orgánico.....	83
3.3.4 La materia orgánica	83
3.3.5 El carbonato de calcio	84
3.3.6 Los sulfatos	85
3.3.7 Los cloruros	86
3.4 Análisis de metales.....	87
3.4.1 Análisis multielemento por medio de XRF portátil.....	91
3.4.2 Determinación de concentraciones de Pb y Cd por medio de EAA.....	96
3.4.3 Correlación lineal de Pearson entre las técnicas de XRF portátil y EAA.....	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA.....	121
APÉNDICES	132
APÉNDICE A	132
APÉNDICE B	139
APÉNDICE C	141
APÉNDICE D	148

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Panorama minero del estado de Nuevo León	15
2 Concentraciones de referencia totales (CR _T) por tipo de suelo	19
3 Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la ciudad de México	20
4 Concentraciones de referencia totales por tipo de suelo en diferentes países	36
5 Identificación y ubicación de las muestras analizadas	43
6 Interpretaciones de los valores de coeficiente de correlación de Pearson	57
7 Valores de análisis complementarios realizados a las muestras de suelo de tamaño menor que 2 mm	80
8 Concentración de plomo total y cadmio total por medio de EAA y XRF en muestras de suelo en San Nicolás de los Garza, N.L.....	88
9 Concentración de plomo total y cadmio total por medio de EAA y XRF en muestras de suelo en el municipio de Monterrey, N.L.....	89
10 Concentración de plomo total y cadmio total por de EAA y XRF, en muestras de suelo en el municipio de Apodaca, N.L.....	90
11 Concentración de plomo y cadmio por medio de XRF para muestras cribadas y sin cribar, de San Nicolás de los Garza, N.L.....	92
12 Concentración de plomo y cadmio por medio de XRF muestras cribadas y sin cribar, de Monterrey, N.L.....	93

13	Concentración plomo y cadmio por medio de XRF para muestras cribadas y sin cribar, de Apodaca, N.L.....	94
14	Concentraciones máximas de Pb y tamaño de partícula analizada ..	103
15	Concentraciones máximas de Cd y tamaño de partícula analizada .	104
16	Concentraciones de plomo y cadmio en áreas públicas en diferentes ciudades del mundo	105
17	Legislación Mexicana en materia de contaminación de suelos	133
18	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras sin cribar en partes por millón ppm	140
19	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	142
20	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	142
21	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	142
22	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	143
23	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	143
24	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	143
25	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	144
26	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	144
27	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	144
28	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	145

29	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	145
30	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	145
31	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	146
32	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	146
33	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	146
34	Concentraciones promedio obtenidas por XRF portátil, para muestras cribadas en partes por millón ppm	147

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Origen y formación del suelo. Factores influyentes	12
2 Panorama minero del Estado de Nuevo León	16
3 Modelo conceptual. Potencialidad de riesgos a la salud o al ambiente en un evento de contaminación del suelo	24
4 Modelo conceptual. Potencialidad de riesgos a la salud de niños, en un evento de contaminación en suelos de plazas públicas	25
5 Diagrama de flujo de las actividades realizadas en esta investigación ..	37
6 Operación del equipo Niton XL3t-600	50
7 Mapa del Estado de Nuevo León y del Área Metropolitana de Monterrey	60
8 Parque M1. Cuauhtémoc, 3er Sector	64
9 Parque M2. Cuauhtémoc	65
10 Plaza M3. Balcones de Anáhuac	66
11 Parque M4. Balcones de Anáhuac	67
12 Parque M5. Tabachines	68
13 Parque M6. Victoria	69
14 Parque M7. Del Lago	70
15 Parque M8. Mitras	71

16	Parque M9. Arroyo Seco.....	72
17	Parque M10. Contry	73
18	Parque M11. Buenos Aires	74
19	Parque M12. Pueblo Nuevo	75
20	Parque M13. Las Palmas	76
21	Parque M14. Bosque Real II	77
22	Parque M15. Metroplex.....	78
23	Parque M16. Valle de las Palmas	79
24	Concentraciones de Pb en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 2 mm.....	97
25	Concentraciones de Cd en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 2 mm.....	98
26	Concentraciones de Pb en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 0.250 mm.....	99
27	Concentraciones de Cd en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 0.250 mm.....	99
28	Concentraciones de Pb en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 0.105 mm.....	100
29	Concentraciones de Cd en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 0.105 mm.....	100
30	Mapa con ubicación de las muestras	102
31	Correlación lineal de Person entre EAA y XRF portátil para partículas menores que 2 mm	109
32	Correlación lineal de Person entre EAA y XRF portátil para partículas menores que 0.250 mm	110
33	Correlación lineal de Person entre EAA y XRF portátil para partículas menores que 0.105 mm	111
34	Toma de muestras en plazas y parques públicos	149

35 Toma de muestras en plazas y parques públicos	149
36 Toma de muestras en plazas y parques públicos	150
37 Material usado en la toma de muestras de suelo	150
38 Cribado de las muestras por mallas #10, #20, #40, #60, #100 y #140 ..	151
39 Cribado de las muestras por mallas #10, #20, #40, #60, #100 y #140 ..	151
40 Fracciones de muestra clasificadas según el tamaño de la partícula	152
41 Fracciones de muestra clasificadas según el tamaño de la partícula	152
42 Determinación de la humedad	153
43 Determinación de la humedad	153
44 Determinación del pH	154
45 Determinación del pH	154
46 Determinación de los cloruros.....	155
47 Determinación de los cloruros.....	155
48 Determinación de los sulfatos	156
49 Determinación de los sulfatos	156
50 Determinación del carbón orgánico.....	157
51 Determinación del carbón orgánico.....	157
52 Determinación del carbonato de calcio	158
53 Determinación del carbonato de calcio	158
54 Análisis de muestras por XRF portátil	159
55 Análisis de muestras por XRF portátil	159
56 Determinación de Pb y Cd, por medio de EAA.....	160
57 Determinación de Pb y Cd, por medio de EAA.....	160

NOMENCLATURA

°C	grados Celsius
µg	microgramos
µm	micrómetros
Cd	cadmio
cm³	centímetro cúbico
g	gramos
mg/kg	miligramos por kilogramo
mg/L	miligramos por litro
mm	milímetros
ppm	partes por millón
Pb	plomo
UTM	Coordenadas de proyección universal transversa de Mercator

ACRÓNIMOS

ASTM	Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials)
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades por sus siglas en inglés (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
CR_T	Concentración de referencia total
EAA	Espectroscopia de Absorción Atómica
GPS	Sistema de Posicionamiento Global por sus siglas en inglés (Global Positioning System)
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (antes INE)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LGEPEGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGM	Servicio Geológico Mexicano
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América por sus siglas en inglés (United States Environmental Protection Agency)
XRF	Espectroscopia de fluorescencia de rayos X

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

El suelo es un componente fundamental del medio ambiente, forma parte de la superficie terrestre sobre la que se encuentra la vida vegetal y sobre la cual se implanta la mayor parte de las actividades humanas, siendo la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere la capacidad de desempeñar las funciones naturales como de su uso.

La existencia de espacios públicos como plazas y parques produce un beneficio social a la población, mejora la imagen urbana y el ambiente, así como también favorece la imagen pública. La ciudad y el espacio público son aspectos que forman parte de los derechos de la infancia y que están vinculados con el espacio urbano. Los niños tienen derecho al descanso, al esparcimiento, al juego y a las actividades recreativas; también derecho a un nivel de vida adecuada, que les brinde las mejores condiciones para su desarrollo, en los aspectos de: nutrición, vestuario y vivienda (Lugo, 2013).

Una fuente importante de contaminación por elementos potencialmente tóxicos en la Republica Mexicana es la actividad industrial. Desde el inicio de la industrialización y hasta la actualidad, estas actividades han generado diversos

tipos de residuos peligrosos que, ante la falta de regulación jurídica, que los identifique como tales, se han dispuesto en sitios inadecuados como terrenos aledaños a las plantas industriales, especialmente adquiridos para ese propósito, patios de las propias instalaciones industriales o que se han depositado en terrenos baldíos, cañadas, entre otros (Volke y colaboradores, 2005).

Metales como el plomo y cadmio han sido encontrados en el suelo y en el agua subterránea, en áreas donde las emisiones de estos metales han presentado aumento en sus concentraciones, debido al desarrollo industrial (Lamb y colaboradores, 2009).

El plomo y el cadmio se encuentran entre los elementos potencialmente tóxicos de mayor importancia ambiental, que se encuentran regulados en México y comunmente presentes en sitios contaminados, los cuales pueden encontrarse biodisponibles y movilizarse hacia las poblaciones cercanas, provocando problemas de intoxicación.

Entre los principales residuos provenientes de actividades mineras en Nuevo León se tienen las escorias de fundición, encontrando al plomo y al cadmio entre los metales contaminantes (Velasco y colaboradores, 2004).

Al mismo tiempo de la expansión de las industrias en el Área Metropolitana de Monterrey, el estado de los ecosistemas se va transformando, de manera que se ve alterada la calidad de los recursos naturales: aire, suelo, agua. Estos cambios dependen de la clase de empresas instaladas, de la capacidad de carga de los medios físicos y de las acciones emprendidas por el Estado y la sociedad para mitigar los impactos ambientales (INEGI, 2001).

La Ciudad de Monterrey y algunos municipios del Estado de Nuevo León presentan actividad industrial. Constantemente se están desarrollando pequeñas, medianas y grandes empresas dentro del Área Metropolitana de Monterrey, que contribuyen a la contaminación ambiental. En el Estado de Nuevo León, de acuerdo con las estadísticas del INEGI, para el año 2012 se contaba con el registro de 2 133 889 unidades de vehículos automotores, de las cuales, 668 523 unidades se registraron en el Municipio de Monterrey, 309 564 en el Municipio de San Nicolás de los Garza y 135 823 en el Municipio de Apodaca. Esta gran concentración de automóviles emite contaminantes a la atmósfera que pueden llegar a depositarse en los suelos. Entre estos contaminantes se puede encontrar el plomo y el cadmio, que por su larga vida (para el Cd de 15 – 1100 años y el Pb de 740 – 5900), capacidad de acumulación y los daños que pueden causar, representan una amenaza a la salud de los seres vivos.

Entre las fuentes de contaminación del cadmio se encuentra el empleo de combustibles fósiles y la incineración de residuos. Los suelos contaminados pueden encontrarse con concentraciones de cadmio entre 57 y 169 mg/kg en la periferia de empresas que procesan metales (Albert, 1997). También el cadmio se encuentra en fertilizantes fosfatados, los desechos de la fabricación de cementos, la disposición de residuos sólidos, depósitos de lodos y aguas residuales industriales (Galio y Corey, 1987).

El problema de la contaminación de los suelos con metales como plomo y cadmio se presenta a un nivel mundial. En Europa, Prokop y colaboradores (2000), señalan que alrededor de 1,5 millones de km² de los suelos se encuentran contaminados, lo cual es producto del desarrollo industrial y que la mayoría de estos sitios, están rodeados de centros urbanos.

Alrededor del mundo se han realizado investigaciones en las que se determinaron las concentraciones de plomo y otros metales en áreas públicas, parques públicos y en jardines en los que las personas pudiesen tener un contacto directo con el suelo, debido al riesgo que éstos representan para la salud.

En Monterrey, Nuevo León, se encontró que los contenidos de plomo en el suelo de un parque público fue de 492 mg/kg y en el suelo de un lote urbano se encontraron 764 mg/kg de plomo (Rodríguez y colaboradores, 2006).

Torres y colaboradores (2001), tomaron muestras de sangre de niños en el Área Metropolitana de Monterrey. El área de las viviendas no tenía avenidas de alto tráfico vehicular y no había presencia de industrias en la zona en un radio de 4,5 km. Los resultados mostraron la presencia de plomo en la sangre (promedio de 11,5 µg/dl). Como conclusión, señala que las vías y fuentes de exposición al plomo son múltiples y que el plomo ambiental representa un riesgo latente para la población infantil.

Los parques y las plazas públicas seleccionadas para esta investigación se encuentran en zonas urbanizadas, expuestas a la contaminación de metales pesados en el suelo, debido a las actividades industriales y al tráfico vehicular, pudiendo ocasionar problemas de salud, sobre todo en la población infantil, debido a las actividades que se realizan en los parques y plazas, tales como el juego con el suelo favoreciendo la ingestión de los mismos (interacción mano-boca) y la exposición dérmica.

Se utilizaron dos métodos de análisis para la determinación de plomo y cadmio en suelo: la espectroscopia de absorción atómica (EAA) y la espectroscopia de fluorescencia de rayos X, portátil (XRF).

La presente investigación tiene como objetivo determinar la concentración de plomo y cadmio en suelos superficiales en plazas y parques públicos en tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey (Monterrey,

San Nicolás de los Garza y Apodaca), para establecer la potencial exposición de los niños en lugares recreativos. También se logró obtener la correlación que presentan las concentraciones obtenidas por los dos métodos analíticos utilizados en esta investigación, la espectroscopia de absorción atómica y la espectroscopia de fluorescencia de rayos X, portátil.

Se eligieron los municipios de: Monterrey, San Nicolás de los Garza y Apodaca, debido a que, se sospecha que existe una posible contaminación en algunos parques y plazas de estos municipios, por las emisiones de algunas industrias y por el alto tráfico vehicular próximo a las áreas estudiadas.

1.1.1. Justificación.

El estado de Nuevo León es uno de los estados de México más desarrollados en el área económica. Su actividad empresarial y de infraestructura para la industria y el comercio lo han colocado en la competencia en el nivel internacional. Cuenta con 57 parques industriales. Los giros industriales localizados en el AMM son: petroquímicos, alimentos, telecomunicaciones, autopartes, cemento, plásticos, acero, bebidas, construcción, metalmecánica, vidrio, productos eléctricos, pinturas, reciclaje de baterías de automóviles, entre otros.

En el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, se carece de información sobre la calidad, las concentraciones de plomo y cadmio en los suelos superficiales presentes en los parques y las plazas públicas, donde la población infantil los utiliza como áreas de juego.

El presente estudio está enfocado a obtener datos de la concentración de plomo y cadmio en el suelo superficial de, parques y plazas públicas cercanos a escuelas de los niveles de primaria y preescolar, en tres municipios del Estado de Nuevo León (Monterrey, San Nicolás de los Garza y Apodaca), considerando las actividades industriales cercanas a los sitios de muestreo y próximos a avenidas con alto tráfico vehicular.

Los resultados obtenidos podrán compararse con la Normatividad Ambiental, y se tendrá información de la calidad de los suelos superficiales en las áreas recreativas para conocer si la población infantil y la población de las zonas residenciales cercanas a los parques y plazas públicas analizadas pudiesen presentar un riesgo potencial por la exposición al Pb y Cd.

1.1.2. Hipótesis.

El suelo de áreas recreativas como plazas y parques públicos, en este caso, de tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey (Monterrey, San Nicolás de los Garza y Apodaca), podrían estar impactados por plomo y

cadmio, como consecuencia de las diversas actividades industriales, el uso de vehículos automotores, la escasa cobertura vegetal, el clima y otros factores ambientales, lo cual podría contribuir a la contaminación de áreas recreativas para infantes.

1.1.3. Objetivo General.

Determinar la concentración de plomo y cadmio en el suelo superficial de algunas plazas y algunos parques públicos, en tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey (Monterrey, San Nicolás de los Garza y Apodaca), para establecer el riesgo potencial a la exposición de los niños en éstos lugares recreativos. Así como también, obtener la correlación que presentan los valores de concentración por los dos métodos analíticos utilizados en esta investigación: la espectroscopia de absorción atómica y la espectroscopia de fluorescencia de rayos X, portátil, para determinar el posible uso de esta técnica en el campo para la obtención de datos, de manera preliminar.

1.1.4 Objetivos específicos.

- a) Seleccionar cinco plazas y/o parques públicos en cada uno de los municipios de Monterrey, San Nicolás de los Garza y Apodaca, para realizar la toma de las muestras.

- b) Localizar las plazas y/o parques públicos por medio de Google Earth.

- c) Tomar una o dos muestras de suelo por cada plaza o parque público seleccionado, según el criterio de un experto.

- d) Obtener las concentraciones de Cd y Pb en las muestras, por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X (equipo portátil) y por espectroscopia de absorción atómica.

- e) Correlacionar los resultados de Cd y Pb obtenidos por espectroscopia de fluorescencia de rayos X (equipo portátil) y por espectroscopia de absorción atómica.

- f) Comparar los resultados de Pb y Cd con los establecidos en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y también coparlos con normas internacionales, para establecer el grado de contaminación de los suelos.

1.1.5 Meta.

Este proyecto de investigación tiene como meta determinar la concentración de plomo y cadmio en el suelo superficial de parques o plazas públicas utilizadas como zonas recreativas, para comparar los resultados con la Legislación Ambiental Mexicana vigente y evitar el posible riesgo a la salud de la población usuaria de los sitios estudiados.

También formara parte de esa meta el consignar los resultados de esta investigación como parte del inventario de Pb y Cd del Área Metropolitana de Monterrey, que se encuentra en desarrollo en el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Autónoma de Nuevo León dado que las actividades para la realización de este trabajo fueron llevadas a cabo en las instalaciones del departamento mencionado.

1.2. Marco teórico.

1.2.1. El suelo.

Se llama suelo al sustrato en el que se desarrolla la vida vegetal y animal, y que actúa como filtro y transformador de los contaminantes.

También se puede definir como “suelo”, al cuerpo natural que se encuentra en la capa superior de la corteza terrestre y está situado sobre el lecho rocoso. El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, aire y organismos vivos. Éste se forma debido a los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se originan sobre el medio rocoso (roca madre), produciendo su meteorización y dando como resultado un suelo.

La formación de un suelo tiene como punto inicial las rocas en la superficie terrestre que, por medio de la meteorización, son desintegradas y alteradas por acción de diversos agentes como son: el clima, la topografía, el tiempo y algunos factores bióticos. En la Figura 1 se muestra un esquema de la formación de un suelo.

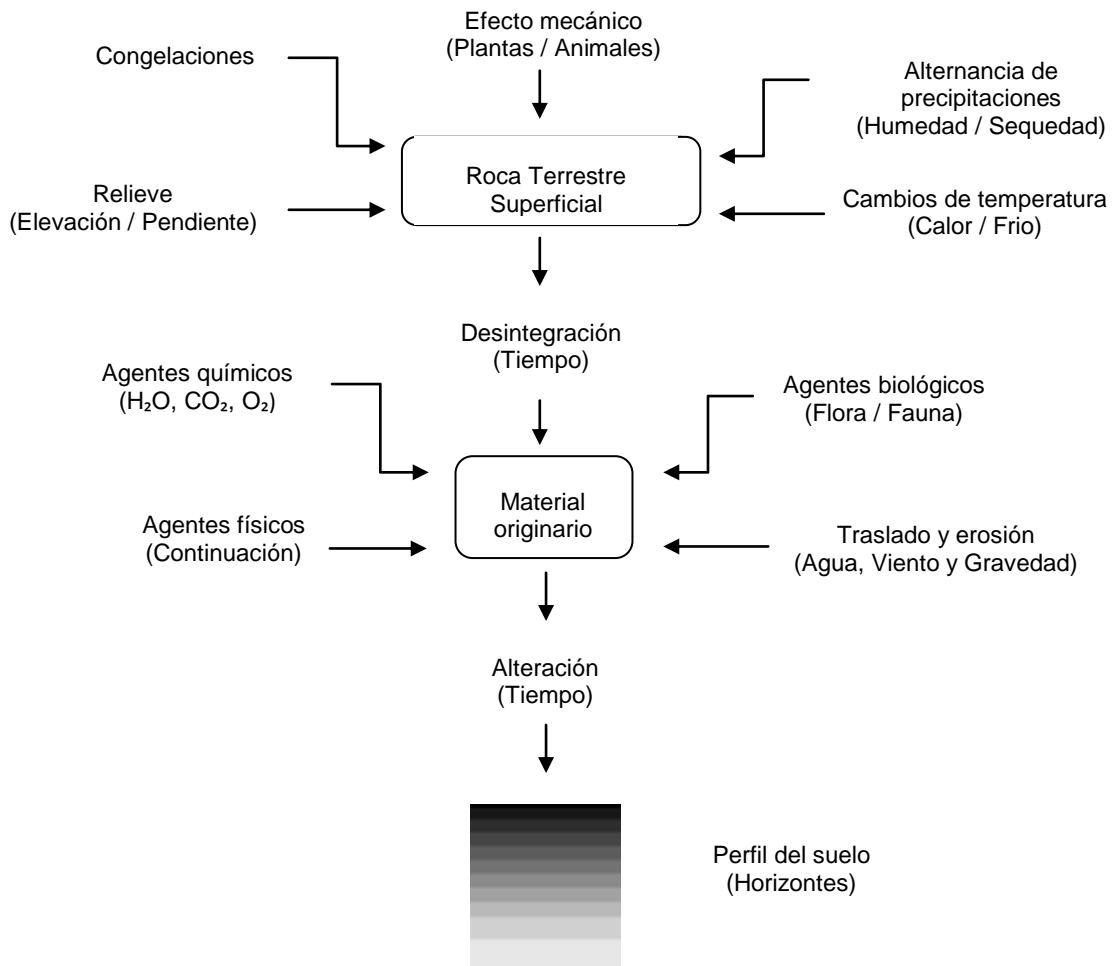


Figura 1. Origen y formación del suelo, factores influyentes (Navarro, 2003).

El suelo era considerado como un medio con capacidad prácticamente ilimitada para almacenar y ser depósito de residuos contaminantes sin originar efectos nocivos, al menos de forma inmediata (IGME, 1996); en la actualidad se considera al suelo como un recurso no renovable, ya que su degradación se presenta en forma relativamente rápida y su formación y regeneración son extremadamente lentas.

La velocidad de la formación de un suelo puede llegar a presentarse desde 1 mm/año hasta 0,001 mm/año, siendo más rápido en climas cálidos y húmedos, donde la actividad de los organismos es más intensa y la vegetación mas exuberante (Gardi y colaboradores, 2014).

1.2.2. La industria y la minería en el estado de Nuevo León.

El Estado de Nuevo León es una entidad con un gran crecimiento industrial, de infraestructura y por consecuencia, poblacional.

La industrialización de la región se remonta al año 1854, cuando se inauguró la fábrica “La Fama” dedicada a producir textiles. En 1872 se instaló la fabrica “El Porvenir” en la Villa de Santiago, y dos años más tarde la fabrica “La Leona” dedicada a hilados y tejidos.

A partir de 1890 se iniciaron algunas de las empresas más emblemáticas del Estado, como son: La Cervecería Cuauhtémoc en 1890, La Fundidora de Hierro y Acero de Monterrey en 1900, La fábrica de Cementos Hidalgo, en 1907 y La Vidriera Monterrey, en 1909. Desde entonces, el desarrollo industrial del Estado sigue creciendo con el surgimiento de pequeñas y medianas empresas dentro del Área Metropolitana.

En el aspecto minero, los primeros antecedentes de exploración se remontan a los inicios del siglo XVII, cuando fueron descubiertas minas de

plomo - zinc en Cerralvo y en San Nicolás Tolentino (hoy municipio de Hidalgo N.L.); después, en 1643 se descubrieron las Salinas de San Lorenzo y en 1757 y en 1766 las minas de plomo – zinc de La Iguana y Vallecillos, en las cercanías de Lampazos y Sabinas Hidalgo, respectivamente.

En 1890 fue cuando se estableció en Monterrey la primera metalúrgica, The Nuevo León Smelting, Refining and Manufacturing Company. Ésta se dedicaba a la compra y beneficio de los metales. En ese mismo año se constituirían la compañía Minera Fundidora y Afinadora de Monterrey (luego PEÑOLES), que era una hacienda de beneficio de metales como plata, plomo y oro, y la Gran Fundición Nacional Mexicana (después ASARCO; posteriormente Industrial Minera México S.A., IMMSA; ahora conocido como Grupo México) que también benefició metales como plata, plomo y oro (Morado, 2003).

En la Tabla 1 se muestran las principales regiones mineras del Estado de Nuevo León y en la figura 2 se presenta un mapa del panorama minero del Estado de Nuevo León.

TABLA 1
PANORAMA MINERO DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN (Servicio Geológico Mexicano SGM, 2011)

Región Minera	Metálicos	No Metálicos
Sierra del Carrizal	Hierro Cobre Molibdeno	-
Sierra Sabinas – Lampazos	Plomo Zinc Plata	-
Lomerío de Vallecillo	Plomo Zinc Plata	-
Sierra de Picachos – Mamulique	Plomo Zinc Plata	-
Cerro del Fraile	Zinc Plomo	Mármol, Yeso, Calcita Sales de sodio, Calcita óptica
Sierra de los Muertos	Zinc Plomo	-
Cuenca de Burgos	-	Arena Sílica, Carbón
Área de Galeana	-	Barita, Yeso, Fosforita, y Calcita óptica
La Ascensión – Aramberri	Cobre	Fosforita, Barita, Talco y Cuarzo
Área Zaragoza	Plomo Zinc	Fosforita
Área Dulces Nombres	Plomo Zinc Plata	-
Área San José de Raíces	-	Fosforita
Sierra de las Mazmorras	-	Fosforita
Cerro del Topo Chico	-	Fosforita
Zona Bustamante	-	Dolomita
Cuenca de Sabinas	-	Carbón
Dr. González	-	Arcillas
Parás	-	Arena Sílica
La Sierrita (La Coma)	Uranio	-
Cuenca Fuentes – Rio Escondido	-	Carbón

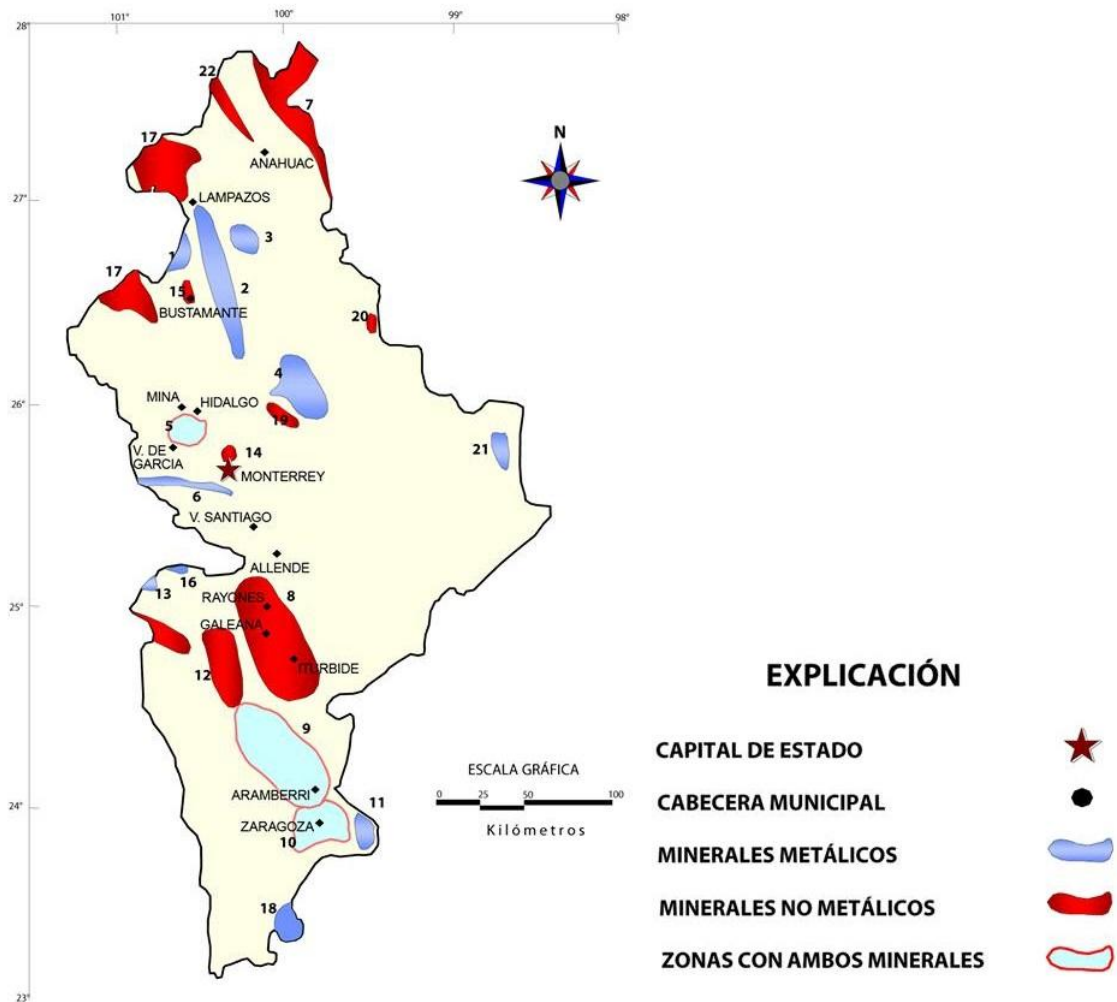


Figura 2. Panorama minero del Estado de Nuevo León (Servicio Geológico Mexicano SGM, 2011).

1.2.3. Contaminación del suelo.

La calidad de un suelo es su capacidad para desarrollar una serie de funciones, la que puede llegar a ser afectada negativamente cuando ocurre la contaminación del mismo. La contaminación de un suelo hace referencia a la

presencia de un elemento o de un compuesto químico en una concentración tal en la que se producen efectos desfavorables, que se traducen en la pérdida de las aptitudes que solía poseer el suelo para realizar una determinada función o incluso puede llegar a hacer inutilizable al suelo, a no ser que se le dé algún tratamiento previo. Esto se asocia con la entrada de sustancias de origen antropogénico que son depositadas a través de diferentes vías.

El suelo puede llegar a ser un receptor primario o secundario, según sea su deposición directa o indirecta (como la precipitación atmosférica). Los efectos sobre las funciones que cumple un suelo y su transferencia hacia los seres vivos, el agua y el aire, dependen en gran medida del tipo de suelo en el que se depositan los contaminantes, ya que los diferentes tipos de suelo difieren en su vulnerabilidad a ser degradados (Manzanares y colaboradores, 2006).

Entre los contaminantes del suelo se encuentran los metales pesados, los metaloides como el arsénico y el selenio, los cuales pueden presentar diferentes estados de oxidación en el agua, el aire y el suelo; y diferentes grados de reactividad, carga iónica y solubilidad del agua.

Una forma opcional de nombrar a este grupo es “elementos tóxicos”, los que, de acuerdo con la lista de contaminantes prioritarios de la USEPA incluye arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo (SEMARNAT, 2009).

Los metales pesados son uno de los más importantes contaminantes ambientales (Kribag y Munzuroglu, 2003). Éstos están presentes en suelo, ya sea como componentes naturales o como el resultado de la actividad humana (Manzanares y colaboradores, 2006). La contaminación atmosférica es uno de los mayores contribuyentes de la contaminación por metales pesados. Los metales pesados se pueden acumular en la capa superficial del suelo por medio de la disponibilidad atmosférica, por sedimentación de los mismos. (Kelly y colaboradores, 1996).

La norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio. En la norma mencionada se presenta una tabla con las concentraciones de referencia totales (CR_T), para superficies menores o iguales que 1000 m^2 , en la que se establecen los límites para definir a un suelo como contaminado. Esta tabla se reproduce en la Tabla 2.

TABLA 2
CONCENTRACIONES DE REFERENCIA TOTALES (CR_T) POR TIPO DE SUELO,
(NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004)

Contaminante	Uso agrícola, residencial, comercial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Bario	5400	67000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plata	390	5100
Plomo	400	800
Selenio	390	5100
Talio	52	67
Vanadio	78	1000

1.2.4. El suelo y los metales pesados.

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) es un centro de actividad humana e industrial a donde llega la mayoría de los productos que son elaborados tanto en el país como en el extranjero. Al concentrar una gran población, el AMM, además de centros de desarrollos industriales, genera una serie de problemas que repercuten en la vida económica y social, además de en la salud de la población (Cantú y Reyes, 2001).

En una revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas, en el año 2006, se publicó la nota científica: “Contenido de Metales Pesados en suelos superficiales de la Ciudad de México”, escrita por Ofelia Monton-Bermea. En este artículo se presentó la tabla de contenidos de metales pesados en suelos expuestos a diferentes intensidades de tránsito vehicular. Las muestras fueron tomadas en el año 2000 y el trabajo analítico se realizó en el laboratorio ICP-MS del Instituto de Geofísica de la UNAM.

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en la investigación mencionada: las concentraciones de Zn, Pb, Cu y Cd, que se atribuyen a la contaminación antropogénica, al tránsito ligero y al tránsito pesado. En esa investigación se les atribuye a los vehículos automotores pesados el mayor aporte de los metales analizados.

TABLA 3
CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SUELOS SUPERFICIALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO (MORTON-BERMEA, 2006)

	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg
Antropogénico	114.50	8.10	28.90	1.00
Tránsito ligero	335.50	354.10	61.70	1.40
Tránsito pesado	741.70	1188.90	98.20	1.60

En México, a partir de 1991, se introdujo el convertidor catalítico en los automóviles; a su vez, Pémex introdujo la gasolina sin plomo Magna Sin y en la actualidad las gasolinas con plomo han salido del mercado en México.

La concentración de metales pesados en el suelo depende básicamente de la forma en que estos elementos se muevan dentro del sistema natural. Los mecanismos de movilidad, transporte y distribución están íntimamente ligados con la forma química y con las interacciones fisicoquímicas que estos metales sostengan con las demás especies del medio. Estos mecanismos básicamente son: procesos de dilución, adsorción, precipitación, oclusión, migración, acomplejamiento, difusión en los minerales, unión con los constituyentes orgánicos, absorción por la microbiota y volatilización (Paradelo y colaboradores, 2011); sin embargo, los factores que tiene influencia significativa son: el pH del suelo y, en menor grado, el contenido de materia orgánica (Reyes y Avendaño, 2012).

La movilización de los metales está relacionada con las condiciones del medio, de manera que el descenso de pH, los cambios de las condiciones redox o el incremento de sales inorgánicas y agentes acomplejantes naturales o sintéticos, pueden aumentar la movilización de éstos (Bourg, 1995).

En el suelo, los metales se asocian con distintas fracciones; en solución, como iones de metal libre y complejos metálicos solubles; adsorbidos en los

sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo; ligados a la materia orgánica; precipitados como óxidos, hidróxidos y carbonatos y en forma residual en las estructuras de los minerales que contienen silicatos.

Los metales pesados se han convertido en un tema importante en el campo de la Ingeniería Ambiental como de Salud Pública: pues los daños que causan son tan severos y, en ocasiones, ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo prestan atención en minimizar la exposición de elementos tóxicos a la población; en particular, de la población infantil (Valdés y Cabrera, 1999).

El interés ambiental por los metales pesados en los suelos, está relacionado con su carácter acumulativo, no biodegradabilidad, su capacidad de acumulación en el perfil del suelo hasta concentraciones tóxicas y su interacción con diferentes propiedades del suelo que determinan su acumulación, movilidad y biodisponibilidad hacia otros componentes del ecosistema (Micó y colaboradores, 2007).

Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo. Colombo y colaboradores (1998), comentaron que la distribución de los metales pesados en los perfiles del suelo, así como su disponibilidad está controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y características de los suelos.

La naturaleza de las manifestaciones de toxicidad dependen no sólo de la magnitud de la exposición, sino también de las características de la persona expuesta; la neurotoxicidad del plomo es más crítica para el feto en desarrollo y para el niño en crecimiento (Sanin y colaboradores, 1998).

Domínguez y Hernández (1997) evaluaron las concentraciones de metales contenidos en el polvo, sometidos a diversas condiciones físico químicas en la Ciudad de México, mostrando resultados para plomo y zinc, en el que más del 50% del total de estos metales se movilizaron a un pH de 5, la lluvia normalmente presenta valores de pH de 5 o 6 mientras que la lluvia acida presenta valores de pH de hasta 4 y 3 (SEMARNAT, 2014).

La NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 indica que, cuando existe una superficie contaminada mayor que 1000 m², existe la necesidad de realizar el desarrollo de un modelo conceptual. Un modelo conceptual es la representación esquemática del sistema ambiental y de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el transporte de los contaminantes desde la fuente hacia el ambiente y sus posibles receptores. Es una herramienta indispensable para definir la extensión de la afectación, con base en el riesgo potencial a organismos vivos (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004). En la figura 3 se presenta un ejemplo de un modelo conceptual conteniendo la potencialidad de riesgos a la salud o al ambiente, en un evento de contaminación.

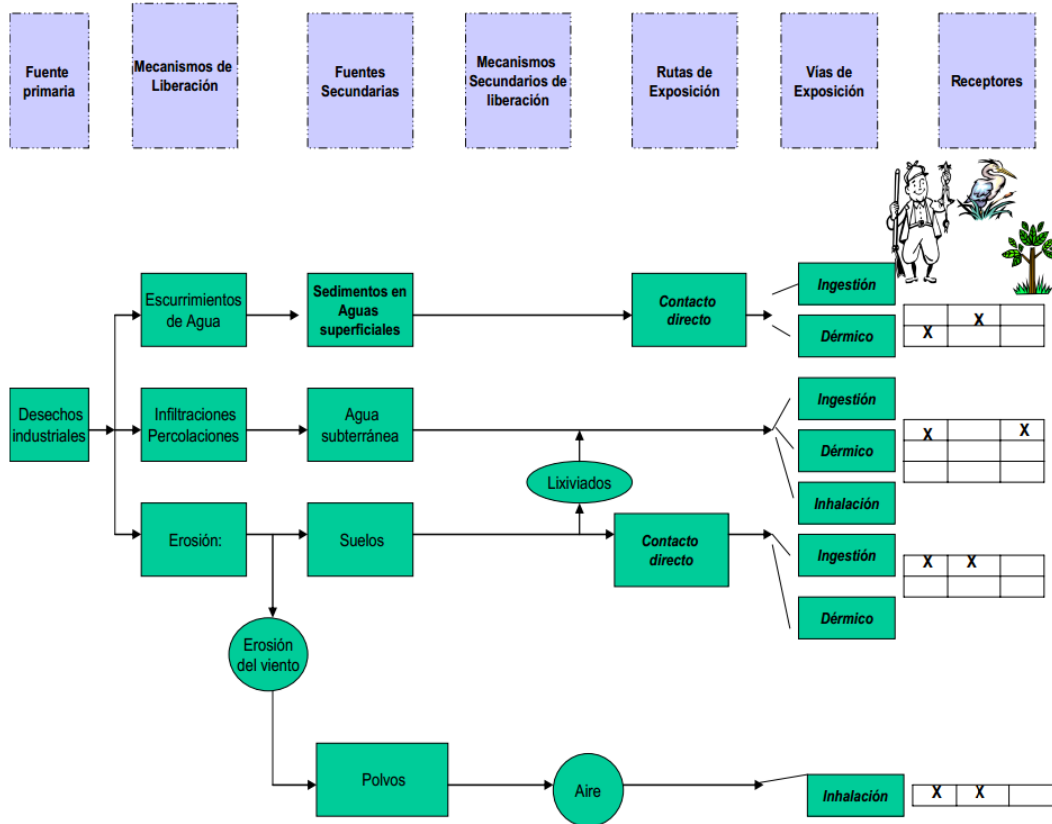


Figura 3. Modelo conceptual. Potencialidad de riesgos a la salud o al ambiente, en un evento de contaminación de suelo (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).

Desarrollando el modelo conceptual para suelos contaminados presentes en las plazas y los parques públicos, se supondría como fuente primaria a la industria, la minería, vehículos automotores y a los desechos con contenidos de plomo y cadmio; como mecanismos de liberación se supondría la combustión, descomposición de los desechos, la generación de polvos y emisiones a la atmosfera; la ruta de exposición por contacto; las vías de exposición serian el contacto dérmico, la inhalación y la ingestión del suelo o polvos contaminados y

para este caso, los receptores primarios serían los niños. Esto se demuestra esquemáticamente en la figura 4.



Figura 4. Modelo conceptual. Potencialidad de riesgos a la salud de los niños, en un evento de contaminación de suelos en parques y/o plazas públicas (Elaboración propia, 2014).

1.2.5. El Plomo.

El plomo (Pb) es un metal pesado que se encuentra extensamente distribuido en la Tierra (NOM-199-SSA1-2000). Es un elemento que no tiene ninguna función fisiológica conocida en el organismo humano.

Las principales fuentes de emisión de plomo en México son: la fundición primaria y secundaria de metales, la loza vidriada, la producción de pinturas, la elaboración de latas soldadas con plomo, la industria electrónica y de cómputo, el uso de la gasolina, acumuladores y baterías de automóviles con plomo (SEMARNAT, 2009).

El plomo proveniente de fuentes de emisiones atmosféricas, al caer al suelo, se adhiere a las partículas del mismo y permanece en su capa superior. Algunos compuestos del plomo pueden ser transformados por la luz solar, el aire o el agua, a otra especie química que contenga Pb; sin embargo, el plomo elemental no puede ser degradado (ATSDR, 2007).

El plomo es reconocido como la amenaza más significativa para la salud de los niños americanos (NRDC, 1933). El plomo puede afectar a los adultos, pero los fetos y los niños menores de 6 años, son más sensibles a la intoxicación, debido a su menor peso corporal y a que su cerebro está en constante crecimiento (ATSDR, 2007).

Aún los niños que parecen estar saludables pueden tener niveles peligrosos de plomo en su cuerpo. El plomo puede entrar en el cuerpo si las personas: a) llevan a la boca las manos u objetos cubiertos con polvo que contiene plomo, b) si comen partículas de pintura o tierra que contenga plomo, c) si respiran polvo que contenga Pb.

Por estas razones, en México y en el mundo se realizan investigaciones relacionadas con este metal y sus efectos en los seres humanos que están en contacto con él.

Benin y colaboradores (1999), determinaron la concentración de metales contenidos en muestras de polvo recolectadas alrededor de complejos industriales, encontrando en Monterrey, Nuevo León, 42 $\mu\text{g/g}$ para arsénico, 2 $\mu\text{g/g}$ para cadmio y 467 $\mu\text{g/g}$ para plomo.

En el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL, en los años 1999 y 2000 se realizaron muestreos y análisis de plomo total y plomo lixiviable en suelos, en las proximidades de algunas empresas localizadas en los municipios de Monterrey, Pesquería, García, San Nicolás de los Garza, Ciénega de Flores y Escobedo. Los valores encontrados oscilaron entre 71,23 mg/kg y 62874,1 mg/kg, para plomo total, y entre 0,17 mg/L y 350 mg/L para plomo lixiviable.

Valdez y colaboradores (2011) analizaron por medio de EAA 30 muestras de polvo proveniente de calles del AMM, encontrando concentraciones medias de 300 mg/kg de Pb, 7.6 mg/kg de Cd, 78 mg/kg de Cr, Zn 475 mg/kg y Ni 107 mg/kg. Basándose en métodos estadísticos clasificaron las fuentes de las cuales provienen los contaminantes concluyendo que el Cr deriva principalmente de actividades industriales, el Cd se origina de actividades relacionadas al tráfico y el Pb está asociado con las emisiones vehiculares.

Almaguer (2012) realizó muestreos y análisis de plomo total y lixiviable en suelos, en las proximidades de algunas empresas localizadas en los Municipios

de Monterrey, Pesquería, García, San Nicolás de los Garza, Ciénega de Flores y General Escobedo, dentro del estado de Nuevo León. Los valores reportados oscilan entre 42.38 mg/kg y 21101.64 mg/kg para plomo total, y entre, 0.02 mg/L y 3.34 mg/L para plomo lixiviable.

Torres y colaboradores (2001) investigaron la contaminación por metales pesados. El estudio se realizó en el Departamento de Farmacología y Toxicología de la Facultad de Medicina de la UANL, evaluando los niveles sanguíneos de plomo en poblaciones de alto riesgo (niños), como reflejo de la exposición ambiental en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Como resultado obtuvieron que del total de la población infantil evaluada (207 niños) el nivel de las concentraciones de Pb en la sangre fue de 3.5 a 20 $\mu\text{g/dL}$, con un promedio de $11.5 \mu\text{g/dL} \pm 5 \mu\text{g/dL}$.

En su investigación Torres y colaboradores (2001), mencionan que en casos en los que los niños presentan concentraciones mayores que 10 $\mu\text{g/dL}$ de Pb y hasta 44 $\mu\text{g/dL}$ de Pb, es de primordial importancia realizar una evaluación médica integral por un especialista, notificar a las autoridades de salud e investigar las fuentes que pudieron contribuir a la presencia de plomo en la sangre como: a) el área o localidad de residencia (cercanos a industrias metal mecánica, fundiciones, cerámica, vidrio, minera-extracción o de separación de metales); b) presencia de alto tráfico vehicular frente a sus casas; c) lugar de trabajo de sus padres; d) antigüedad de la pintura de la casa; e) ingesta de

alimentos o líquidos en recipientes potencialmente contaminados (cerámica vidriada o soldadura de las latas de alimentos); f) hábitos de chupar los lápices (pintura con plomo); g) ingesta de polvo que contenga plomo, que proviene de pintura en casas antiguas.

En Hong Kong, Li y colaboradores (2001) analizaron las concentraciones de metales pesados en suelos de parques urbanos y polvo presente en las avenidas. Recolectaron muestras de más de 60 parques y áreas públicas en distritos urbanos, áreas industriales y ciudades nuevas del territorio, obteniendo concentraciones medias de 2.18 mg/kg para el Cd, 24.8 mg/kg para el Cu, 93.4 mg/kg para el Pb y 168 mg/kg para el Zn, indicando que el mayor aporte de los contaminantes provenía de las emisiones de los vehículos automotores y de las actividades industriales.

Manta y colaboradores (2002) analizaron 70 muestras de suelo superficial obtenidas de parques y áreas verdes de la Ciudad de Palermo, Italia, con la finalidad de conocer la fuente de contaminación. Encontraron valores medios de 202 mg/kg para el Pb, 138 mg/kg para el Zn, 63 mg/kg de Cu y 0.68 mg/kg para Hg, concluyendo que el mayor aporte de Pb, Zn, Cu y Hg se debe a la contaminación antropogénica.

En Estados Unidos de América Howard W. Mielke (1994) ha realizado investigaciones junto con otros colaboradores (más de 120 artículos publicados)

para el estudio, principalmente de suelos contaminados con metales pesados y cómo afectan éstos la salud humana, enfocándose en niños. En 1994 publicó *“Lead in New Orleans soils: new images of an urban environment”* un estudio en los suelos de Nueva Orleans en el que generaron mapas del plomo presente en los suelos. Analizó 3704 muestras de suelos provenientes de avenidas, casas y espacios abiertos. Los resultados mostraron que las concentraciones mayores se presentaron en las avenidas al interior de la ciudad y las concentraciones fueron decreciendo en las muestras de suelo de áreas suburbanas.

La OPS (2009), menciona que en este siglo de cambios ecológicos importantes, un gran número de sustancias químicas pudieran considerarse como factores de riesgo, ya sean físicos y biológicos, que amenazan la salud y el desarrollo de los niños.

El plomo se absorbe por ingestión, inhalación o contacto dérmico. La relación entre la exposición y los niveles de plomo sanguíneo constituye un proceso dinámico en el que el plomo que se encuentra en la sangre representa el producto de exposiciones recientes, excreción y equilibrio con otros tejidos. De tal manera que las deficiencias de hierro, proteínas, calcio y/o zinc en el individuo, permiten la absorción de este metal con mayor facilidad (Schnaas, 1998).

El plomo que atraviesa la piel pasa a través de los folículos pilosos, las glándulas sebáceas y las sudoríparas, va directamente al torrente circulatorio (Goyer, 1996). El plomo que ingresa al cuerpo se distribuye principalmente en la sangre, los tejidos suaves como los riñones, la medula ósea, el hígado y el cerebro, así como en los tejidos mineralizados como los huesos y los dientes (ATSDR, 2007). En el caso de penetrar por la vía respiratoria, éste se combina con las proteínas o con el dióxido de carbono expirado, formando carbonato de plomo, que es soluble.

Por vía respiratoria, que es la vía de ingreso más importante en el medio laboral, se llega a absorber el 40% del plomo. Parte de este metal se fija en la saliva y se traga; por lo cual, la vía respiratoria está considerada como la más peligrosa. Con respecto a la absorción digestiva, los adultos pueden llegar a absorber hasta el 10% del plomo ingerido, mientras que los niños absorben hasta un 50%.

La cantidad de plomo que ingresa al cuerpo por medio de la vía digestiva depende parcialmente de cuándo fue ingerida la última comida, de la edad y de la cantidad de partículas de plomo que se disuelven por los jugos gástricos (ATSDR, 2007).

En los niños, el plomo afecta de la siguiente forma: a) daño al cerebro y al sistema nervioso, b) problemas de comportamiento y de aprendizaje, como

hiperactividad, c) crecimiento retardado, d) problemas de audición, e) dolores de cabeza.

En los adultos, el plomo puede crear problemas de salud como: a) complicaciones durante el embarazo, b) problemas reproductivos en hombres y mujeres, c) alta presión sanguínea, d) desórdenes nerviosos, e) problemas de memoria y concentración, f) dolores musculares y articulares.

El plomo inhalado o ingerido por mujeres embarazadas es absorbido en la sangre y pasa por la placenta, afectando directamente el desarrollo del feto, pudiendo causar abortos, nacimientos prematuros y bajo peso al nacer (ASTDR, 2007).

Por lo general, el plomo se deposita a una profundidad de 2 cm a 5 cm de la superficie del suelo (USEPA, 1986). Aunque en parte, ese plomo depositado, podría haberse originado en fuentes fijas a muchos kilómetros de distancia. Como resultado de los escurrimientos, los suelos contaminados pueden contribuir a contaminar cualquier sedimento cercano (Case y colaboradores, 1989).

La contaminación por metales pesados en el suelo puede llegar a persistir durante cientos y miles de años, aún después de que su incorporación se haya detenido. En el caso de metales como el cadmio, éste puede tener una vida

media en el suelo de 15 a 1100 años; el tiempo de vida media para el plomo es de 740 a 5900 años y sus concentraciones están influenciadas por el tipo de suelo y la movilidad relativa, en función de las características físico químicas del suelo, el clima y la topografía (Dantu, 2009).

1.2.6. El Cadmio.

El cadmio es un sólido blando de color blanco-azul, metal gris-negro o polvo gris o blanco. Se utiliza en la soldadura de plata, en la fabricación de baterías y metalizado, en plásticos y pigmentos, y como catalizador. Es un subproducto de la producción del zinc (New Jersey Department of Health, 2009).

Las principales fuentes de emisión de cadmio, en México, son las baterías recargables de níquel/cadmio, los fertilizantes, los pigmentos y los estabilizadores en plástico y PVC, los pigmentos en pinturas, la galvanización, los catalizadores y conservadores en la industria del plástico, y en la elaboración de pinturas y aleaciones (SEMARNAT, 2009); en las industrias minero metalúrgicas de metales no ferrosos, en la metalurgia del hierro y acero, en la fabricación de fertilizantes fosfatados, en la incineración de residuos de madera, carbón o plásticos, en la combustión de aceite y gasolina (Ramírez A., 2000).

El cadmio es virtualmente tóxico para el organismo humano, la característica de ser un elemento acumulativo, hace que sea un elemento contaminante que exige un estricto control. Según un estudio de Nogawa y

colaboradores (1989) la dosis mínima de cadmio capaz de inducir efectos adversos para la salud humana sería de 2 mg. Barrow (1998) encontró que en suelos incubados con cadmio, éste se mantiene en solución, conservando su efecto tóxico. Laegreid y colaboradores (1999) señalan que la disponibilidad y movilidad del cadmio en el suelo depende del pH, la humedad, la materia orgánica, el tipo y cantidad de arcilla; además de la cantidad y el número de años de aplicación de fertilizantes fosforados.

Las principales vías de entrada del cadmio al organismo humano son la inhalación y la ingestión. La absorción por vía inhalatoria es la más completa, la que depende de la solubilidad y el tamaño de las partículas. El 15% de las partículas de cadmio en el aire ambiental es absorbido por los humanos; la absorción de partículas del humo del cigarro se estima en un 40%. Una vez absorbido por los pulmones o el tracto gastrointestinal, el cadmio es transportado por la sangre al hígado y otras partes del cuerpo (López y Repetto, 1995).

La concentración de cadmio en el organismo está influida por la edad del individuo. El recién nacido está casi libre del metal; la cantidad total en personas de 50 años no expuestas varía entre 5 y 30 mg y disminuye bastante a los 80 años. Si la persona es fumadora, estos valores pueden aumentar entre un 10%-100% (López y Repetto, 1995).

La intoxicación por cadmio se manifiesta por una variedad de patologías que incluyen: disfunción y lesión renal, hipertensión, daños pulmonares, lesiones óseas, disfunciones sexuales, carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis (López y Repetto, 1995). El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños (Valdés y Cabrera, 1999).

Niños expuestos a niveles tóxicos de cadmio manifestarán efectos similares a los que se observan en adultos, daño a los riñones y pulmones. El cadmio que se ha detectado en la leche materna, en una pequeña cantidad, pasará al cuerpo del bebé durante la alimentación de pecho. La cantidad que puede pasar al bebé depende de la exposición que sufrió la madre (ATSDR, 2012).

1.2.7. Legislación ambiental mexicana en materia de contaminación de suelos.

Los problemas de contaminación ambiental de manera antropogénica surgen con motivo de la actividad del hombre; por esto es necesario orientar las conductas individuales y sociales para evitar las perturbaciones al medio ambiente provocadas por el mismo. Esto se pretende lograr con la promulgación de leyes y normas que regulan la calidad del ambiente, y en las que se disponen sanciones a quien se encuentre culpable de ocasionar daños al ambiente.

En el Apéndice A se presentan diferentes leyes mexicanas destinadas a la protección y/o remediación del suelo.

Dentro de los países del continente americano los límites permisibles de concentraciones de distintos metales en los suelos varían. En la Tabla 4 se presentan los límites establecidos por distintos países.

TABLA 4
CONCENTRACIONES DE REFERENCIA TOTALES PARA PLOMO Y CADMIO POR TIPO DE USO DE SUELO EN DIFERENTES PAÍSES

País	Uso residencial, comercial (Pb mg/kg)	Uso industrial (Pb mg/kg)	Uso residencial (Cd mg/kg)	Uso industrial (Cd mg/kg)
Canadá ^a	300 _{SA} - 140 _{SH}	600	10	22
Costa Rica ^b	300	900	8	20
Estados Unidos de América ^c	400	800	37	450
Hong Kong ^d	258 _{UR} - 857 _{PP}	2290	74 _{UR} - 245 _{PP}	653
Italia ^e	100	1000	2	15

SA= Salud Ambiental SH= Salud Humana UR= Urbano Residencial PP= Parques Públicos

^a Canadian Soil Quality Guidelines Lead and Cadmium (1999)

^b Reglamento sobre concentraciones máximas permisibles de sustancias contaminantes en suelos, Costa Rica

^c EPA Region 9 Superfund PRG Table (2004)

^d Environmental protection department guidance note, Guidance for contaminated land assessment and remediation, Hong Kong

^e European Commission Joint Research Center (2007)

CAPITULO 2

EL MÉTODO.

En la Figura 5 se presentan las actividades realizadas en la fase experimental de esta investigación. Se agrupan en 5 etapas.

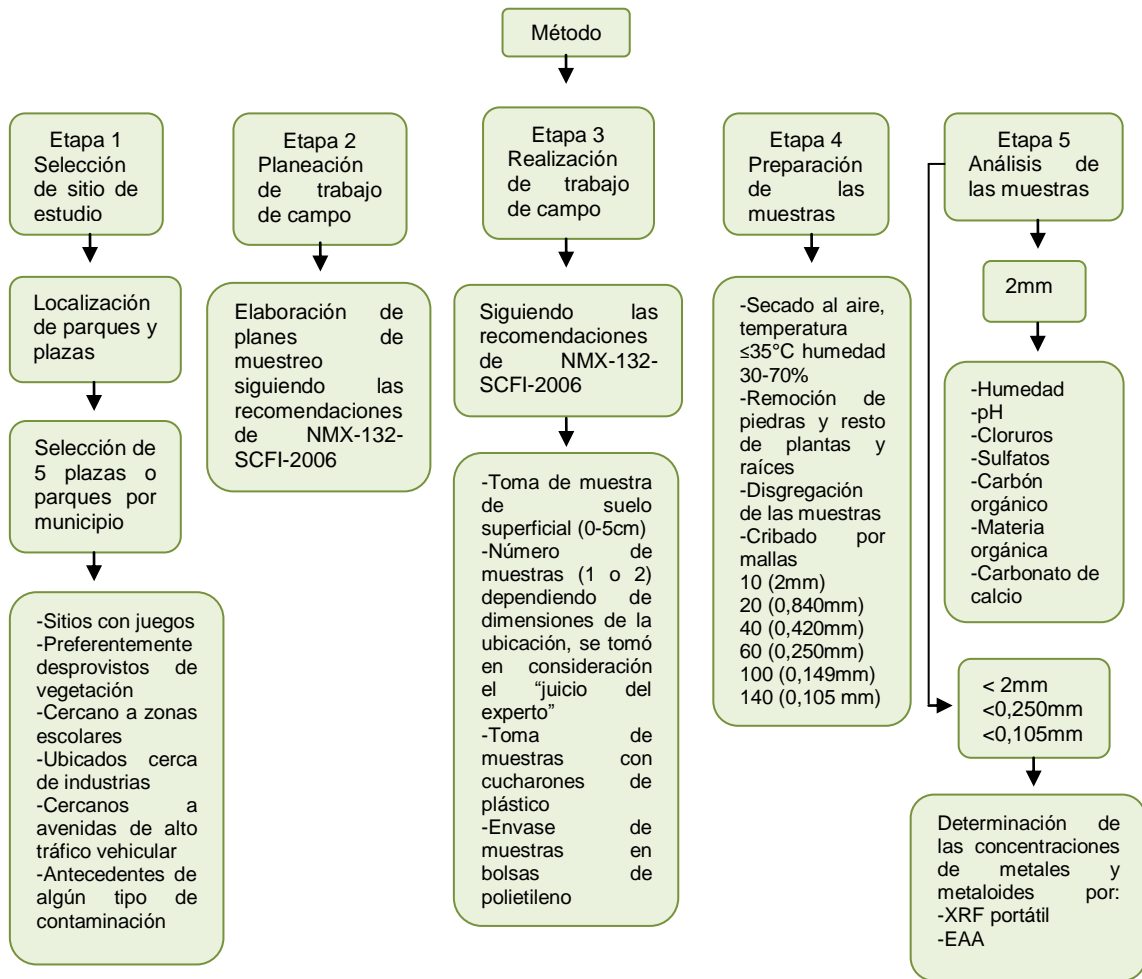


Figura No. 5 Diagrama de flujo de las actividades realizadas en esta investigación.

2.1.1 Etapa No.1. Selección del sitio de estudio.

Para esta investigación se seleccionaron tres municipios del AMM (Monterrey, San Nicolás de los Garza y Apodaca), tomando en consideración sus actividades industriales, que pudiesen contribuir a la contaminación del suelo por Pb y Cd. Se revisaron los planos de los municipios para localizar los parques y plazas públicas y utilizando el programa Google Earth (programa informático similar a un sistema de información geográfica, creado por la empresa Keyhole) se revisaron las ubicaciones de las diversas plazas y/o parques de los tres municipios.

Los criterios tomados para la selección de las plazas y/o parques públicos fueron los siguientes: a) próximos a zonas escolares de nivel primaria y/o preescolar; b) con juegos infantiles, y que de preferencia fueran para usuarios menores a los 10 años; c) sitios desprovistos de vegetación (preferentemente) donde se ubicaran las áreas de juegos; d) cercanos a empresas que pudiesen generar emisiones a las plazas; e) avenidas con alto tráfico vehicular; f) que al estudiar los antecedentes de los sitios hubiesen ocurrido eventos de algún tipo de contaminación.

Se tomaron muestras de suelo en cinco parques del Municipio de Monterrey, seis en San Nicolás de los Garza y cinco en Apodaca.

Se seleccionaron las rutas para las visitas de las plazas, para optimizar y hacer buen uso de los recursos.

2.1.2 Etapa No.2. Planeación del trabajo de campo.

2.1.2.1 Elaboración de los planes de muestreo.

Para la elaboración del plan de muestreo se siguieron las recomendaciones de la norma NMX-132-SCFI-2006 Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra, con el propósito de establecer y delimitar los procedimientos aplicables a cada sitio de muestreo, se programaron las rutas de viajes, su duración, las herramientas y materiales para la toma de las muestras, el equipo requerido y las medidas apropiadas de seguridad.

El plan de muestreo consistió en la recopilación de la información pertinente y necesaria para realizar la toma de muestras de suelo en cada sitio seleccionado, en el que se establecieron los requisitos a seguir, entre los que se destacan:

- a) El lugar y la fecha de la toma de la muestra de suelo.
- b) El muestreo fue dirigido hacia los puntos donde los infantes pudiesen tener contacto con el suelo en las manos (zonas de resbaladeros, sube y baja, columpios, pasamanos, etc.)

c) Los muestreos de suelo superficial realizados en este trabajo se pueden considerar de acuerdo con la NMX-AA-132-SCFI-2006, como a “juicio del experto”, ya que se contó con el apoyo en campo (en la toma de muestras), del personal especializado en contaminación de suelo, del Departamento de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería Civil, de la UANL, que tiene más de 25 años de experiencia en ésta área.

d) La localización de las plazas se realizó a través de Google Earth; se tomaron fotografías en los puntos de muestreo de cada sitio.

e) Se tomaron muestras de suelo superficial entre 0 cm a 5 cm de profundidad, en lugares desprovistos de vegetación y en donde se localizaron los resbaladeros y/o columpios donde los niños pudiesen tener contacto del suelo con sus manos.

f) Se tomaron muestras en cinco parques en el municipio de Monterrey, de seis parques en el municipio de San Nicolás de los Garza y de cinco parques en el municipio de Apodaca.

g) Para la toma de muestras de suelo superficial se utilizaron cucharones de plástico, bolsas de polietileno y etiquetas para el registro de cada una de las muestras tomadas.

h) Se utilizó un sistema GPS para la obtención de las coordenadas de cada punto de muestreo y se localizaron en Google Earth.

i) Se elaboró la cadena de custodia de cada muestra de suelo tomada.

2.1.3 Etapa No.3. Realización del trabajo de campo.

El trabajo de campo se realizó siguiendo las recomendaciones de la norma NMX-132-SCFI-2006 en la toma de muestras de suelo, su envasado, etiquetado, y las recomendaciones para registrar los datos en el campo

2.1.3.1 Toma de muestras de suelo.

Se tomó una o dos muestras de suelo superficial en cada uno de los sitios seleccionados, esto por decisión del experto, correspondiendo a cinco parques y/o plazas del municipio de Monterrey, en seis parques y/o plazas de San Nicolás de los Garza y en cinco plazas y/o parques en el municipio de Apodaca. En la NMX-AA-132-SCFI-2006 se presenta una tabla (Tabla 2 Muestreo exploratorio) que indica la superficie del sitio que se supone contaminado en hectáreas y en base a este presenta un número mínimo de muestras simples superficiales que se deben de tomar. En este caso las superficies de los parques y plazas varían de entre 0.2 y 1 hectárea, pero debido a que el área que se tomo en cuenta para el muestreo se limita al área recreativa

para infantes, en particular, el área donde se ubican los juegos infantiles, se tomaron un numero de muestra menor (1 o 2).

Las muestras de suelo superficial se tomaron utilizando cucharas de plástico, las que fueron lavadas con detergente para cristalería de laboratorio y enjuagadas con agua destilada. Éstas antes del muestreo, fueron cubiertas con papel limpio para protegerlas de la contaminación.

La cantidad de muestra de suelo recolectada fue aproximadamente de 500 gramos, seleccionando que fuera la mayor parte de material fino, evitando piedras, basura doméstica, raíces, etc.

2.1.3.2 Envasado y etiquetado de las muestras de suelo.

Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno evitando su contaminación.

En las bolsas se escribió con marcador de tinta permanente la identificación, la fecha y la hora del muestreo. Estos datos y otros adicionales requeridos para la trazabilidad de la toma de muestras, fueron escritos y evidenciados en la bitácora de campo, entre los que se encuentran la ubicación detallada del sitio; como calles, municipio y las coordenadas de los puntos de muestreo, mediante la información generada en el sitio, utilizando un GPS. Se utilizó un GPS marca Magellan Modelo Explorist xl con una precisión de ± 3 m.

En la Tabla 5 se muestra el municipio, la clave de identificación de la muestra y las coordenadas del punto del que se obtuvo la muestra.

TABLA 5
IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS

Municipio	Identificación de la muestra	Ubicación	
		Nombre de la colonia	Coordenadas UTM
San Nicolás de los Garza	M1	Cuauhtémoc 3er Sector	370189.00 m E 2846639.97 m N
San Nicolás de los Garza	M2	Cuauhtémoc	370062.02 m E 2846133.01 m N
San Nicolás de los Garza	M3	Balcones de Anáhuac	368109.95 m E 2849476.05 m N
San Nicolás de los Garza	M4	Balcones de Anáhuac	368074.96 m E 2849638.01 m N
San Nicolás de los Garza	M5	Tabachines	369477.96 m E 2849699.96 m N
Monterrey	M6	Victoria	369159.01 m E 2843185.95 m N
San Nicolás de los Garza	M7	Del Lago	377108.00 m E 2846087.99 m N
Monterrey	M8	Mitras	365683.98 m E 2844525.02 m N
Monterrey	M9	Arroyo Seco	370703.00 m E 2836685.95 m N
Monterrey	M10	Contry	371319.99 m E 2836728.04 m N
Monterrey	M11	Buenos Aires	370984.95 m E 2839499.01 m N
Apodaca	M12	Pueblo Nuevo	382753.96 m E 2849759.97 m N
Apodaca	M13	Las Palmas	373048.02 m E 2851492.97 m N
Apodaca	M14	Bosque Real II	375275.98 m E 2851695.05 m N
Apodaca	M15	Metroplex	374373.99 m E 2852666.05 m N
Apodaca	M16	Valle las Palmas	372882.01 m E 2852636.02 m N

2.1.4 Etapa No.4. Preparación de las muestras de suelo.

La preparación de las muestras es de vital importancia para obtener datos confiables; tomando en cuenta, en este proceso, desde el registro de las muestras en la recepción del laboratorio, el secado, el cribado, el homogeneizado, el cuarteo y el almacenamiento antes de su análisis.

En el registro de recepción, en el laboratorio, se les asignó una clave única, de acuerdo con los procedimientos internos del laboratorio del departamento de Ingeniería Ambiental.

El secado de las muestras de suelo fue al aire libre. Las muestras de suelo se colocaron en charolas, extendiéndolas y formando una capa de 2.5 cm de espesor. Se mantuvieron en el laboratorio a una temperatura no mayor que 35°C y con una humedad relativa de entre el 30% y el 70%.

Se eliminaron piedras y restos de plantas y raíces, se disgregaron las muestras, para proceder a cribarlas, se pasaron las muestras de suelo a través de una malla de abertura de 9.51 mm y, posteriormente, por una de 2 mm (malla 10). Este tamaño de partículas se utilizó para la mayoría de los análisis (pH, cloruros, carbonato de calcio, materia orgánica, contenido total de plomo y cadmio). Este tamaño es el que presenta mayor grado de finura, necesario para la mayoría de los análisis químicos realizados (NMX-AA-132-SCFI-2006).

Se tamizaron las muestras de suelo en diversas fracciones de tamaño, utilizando las siguientes mallas: 10 (2 mm), 20 (0.840 mm), 40 (0.420 mm), 60 (0.250 mm), 100 (0.149 mm) y 140 (0.105 mm). Los tamices cumplen la norma técnica internacional ASTM E-11 “Standar specification for wire cloth and sieves for testing purposes”. Las marcas usadas varían entre U.S.A. Standar testing sieve, ALSA mallas, Casa Rocas y Bunsekifurui. Toda la serie de mallas fue colocada en un equipo Ro-Tap, para que el tamizado fuera mecánico.

Las fracciones de las muestras de suelo de 2 mm, 0.250 mm y de 0.105 mm fueron analizadas para determinar Cd y Pb por XRF (portátil) y por EAA, que fueron envasadas indicando la clave de la muestra y el tamaño de la partícula. Se eligieron estos tamaños de partícula para realizar el análisis a una fracción de arena muy gruesa (2 mm – 1 mm) y a una fracción de arena fina (0.250 mm – 0.100 mm).

La NOM-021-SEMARNAT-2000 recomienda que para los análisis químicos de las muestras de suelo, el tamaño de partícula sea menor que 2 mm, tamaño considerado para determinar la concentración de plomo y cadmio por EAA y XRF portátil, y para los análisis por vía húmeda, teniendo en cuenta que los elementos con mayor influencia en las propiedades de los suelos son los incluidos en esta fracción (<2 mm).

En la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 se menciona que la fracción de tamaño < 0.250 mm es el tamaño de partícula representativo a la que se adhiere en las manos de los niños. Savat (1982) indica que las partículas de entre 0.150 mm y 0.100 mm necesitan una velocidad crítica mínima del viento de 0.15 m/s para que las partículas se desprendan y se movilicen.

Las muestras fueron almacenadas en el laboratorio antes de su análisis, protegidas de la luz solar, en envase cerrado, para evitar contaminación de las muestras. Los análisis de las muestras no excedieron del mes después de tomarse, como indican las recomendaciones.

2.1.5 Etapa No.5. Análisis de las muestras de suelo.

A las muestras de suelo procesadas, como se indicó anteriormente, de tamaño de 2 mm, se les realizaron los análisis de humedad, pH, cloruros, sulfatos, carbón orgánico, materia orgánica, carbonato de calcio, plomo total y cadmio total.

2.1.5.1 Determinación de la humedad.

Para determinar la humedad del suelo se utilizó el proceso gravimétrico, del método de la NOM-021-SEMARNAT-2000: calculando la pérdida de peso de la muestra del suelo húmedo y seco, a 105 °C, por 24 horas, la diferencia de peso se reportó como humedad.

2.1.5.2 Determinación del valor del pH.

Se siguió el procedimiento del método USEPA 9045 (2000), en el que se especifica la medición del pH para suelos calcáreos, con una relación de 1:2 (suelo:agua), adicionando solución 0.01 M de CaCl_2 y agitando durante 30 min. Luego se dejó reposar por 1 hora, permitiendo que se sedimentaran las partículas del suelo y se procedió a utilizar un potenciómetro con su electrodo, el cual fue verificado con estándares de pH, antes de proceder a su determinación.

2.1.5.3 Determinación de los cloruros.

El análisis de los cloruros se realizó por el método de la norma NOM-021-SEMARNAT-2000, en el que una porción del extracto de la muestra de suelo con agua destilada, se titula con solución de nitrato de plata, utilizando como indicador, cromato de potasio. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco. En las inmediaciones del punto de equivalencia, al agotarse el ión cloruro empieza la precipitación del cromato de plata, que puede identificarse por el cambio de color de la disolución a anaranjado-rojizo. En este momento se termina la valoración.

2.1.5.4 Determinación de los sulfatos.

Este análisis se realizó de acuerdo con la norma NOM-021-SEMARNAT-2000, utilizando el método turbidimétrico; tomando un extracto del suelo con agua destilada y adicionando cloruro de bario, en un medio ácido, para formar

cristales de sulfato de bario. La concentración de los sulfatos se determinó por medio de un espectrofotómetro, a una longitud de onda de 420 nm, utilizando una celda de 5 cm de paso de luz.

2.1.5.5 Determinación del carbón orgánico.

Este análisis se realizó de acuerdo con el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Está basado en la oxidación del carbono orgánico del suelo, por medio de una disolución de dicromato de potasio y del calor de la reacción que se genera cuando se le adiciona ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera, la mezcla se diluye, adicionando ácido fosfórico, para evitar las interferencias del Fe (III). El dicromato de potasio residual se tituló con sulfato de hierro (II). Se reportó como % de carbón orgánico.

2.1.5.6 Determinación de la materia orgánica.

Se procedió a cuantificar la concentración de materia orgánica por el método de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. La materia orgánica se calculó a partir del carbón orgánico.

2.1.5.7 Determinación del carbonato de calcio.

Para la determinación del carbonato de calcio se utilizó el equivalente por neutralización ácida. A la muestra de suelo se le adicionó ácido diluido y el ácido

restante (no usado por el carbonato) se tituló. Los resultados fueron referidos como carbonato de calcio equivalente. Se siguió el procedimiento señalado en la norma NOM-021-SEMARNAT- 2000.

2.1.5.8 Determinación de plomo total y cadmio total.

Se analizaron plomo y cadmio por fluorescencia de rayos X (XRF equipo portátil) y por espectroscopia de absorción atómica de llama (EAA) en los tamaños de partículas de suelo < 2.00 mm, < 0.250 mm y < 0.105 mm, los resultados obtenidos mediante ambas técnicas fueron comparados entre sí.

2.1.6 Etapa No.6. Determinación de plomo y cadmio.

Los métodos utilizados en esta investigación (XRF y EAA) son un amplio grupo de métodos analíticos que se basan en la espectroscopia atómica. La espectrometría y los métodos espectrométricos hacen referencia a la medida de la potencia de la radiación mediante un detector fotoeléctrico (Skoog y colaboradores, 2001).

2.1.6.1 Espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF).

La fluorescencia es un proceso de emisión de importancia analítica, en el que los átomos de las moléculas se excitan mediante la absorción de un haz de

radiación electromagnética; la emisión radiante se produce cuando las especies excitadas regresan al estado fundamental (Skoog y colaboradores, 2001).

Es una técnica no destructiva que mide la composición elemental de una sustancia, al exponerla a una radiación de rayos X. Los rayos X, al incidir sobre una muestra, la ionizan haciendo que en la muestra se expulsen electrones de sus capas más internas; estos iones son altamente inestables y sus vacantes son ocupadas por electrones de capas superiores, en cascada. Estos saltos de electrón de un nivel de mayor energía a uno de menor energía desprenden una radiación característica que es la fluorescencia de rayos X. El conjunto de saltos entre capas de un elemento es el formador del espectro característico que es único para cada elemento (Gutiérrez-Ginés y Ranz, 2010).

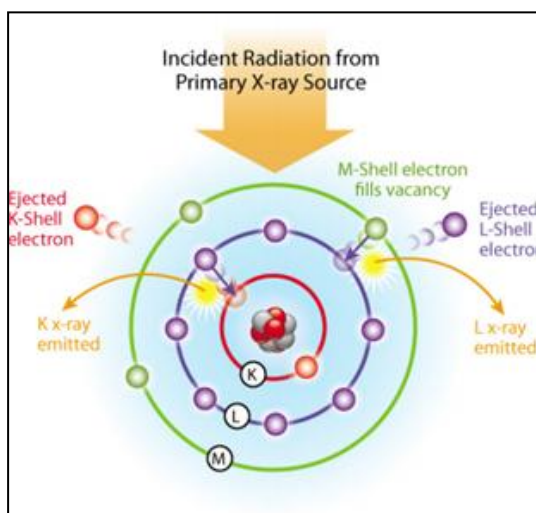


Figura 6. Operación del equipo portátil Niton XL3t-600 (Manual de operación del equipo portátil Niton XL3t-600).

El análisis cualitativo se obtiene a partir de la conversión de la energía emitida por la radiación de fluorescencia de rayos X, que logra una clara e inequívoca identificación de los elementos presentes, ya que la longitud de onda es única para cada elemento, y el análisis cuantitativo se logra con la intensidad de los rayos X, que es directamente proporcional a la concentración del elemento (Meléndez y Camacho, 2009).

El uso del equipo de fluorescencia de rayos X portátil ofrece la ventaja de realizar determinaciones de multielementos en tiempos cortos, reduciendo el tiempo de espera de los análisis tradicionales, como espectroscopia de absorción atómica o espectroscopia de emisión atómica acoplada inductivamente a un plasma, ya que las muestras de suelo no tienen que someterse a tratamiento de digestión. Sin embargo, este tipo de determinación necesita utilizar otra técnica confirmatoria (USEPA, 2007).

La técnica de fluorescencia de rayos X se usa en diversas aplicaciones industriales para realizar análisis elementales de la composición de diversos materiales. Esta técnica de análisis se utiliza para determinar metales y metaloides en suelos (International Atomic Energy Agency, 2005). Loredó (2003) menciona el uso de equipos portátiles de fluorescencia de rayos X, en investigaciones medioambientales, en las que analiza diversos elementos como: arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, selenio, plata y zinc.

Uno de los problemas que presenta el análisis por fluorescencia de rayos X es la influencia de la concentración de los diversos elementos presentes en la muestra sobre la intensidad de una determinada línea de fluorescencia. Estas interferencias se denominan efecto de matriz, inter-elementales o, más específicamente, efectos de absorción-reforzamiento (Consejería de Medio ambiente de la Junta de Andalucía, 1999), presenta interferencias físicas de efecto matriz, como el tamaño de la partícula, la uniformidad de las partículas y las condiciones superficiales de la medición. Para evitar este tipo de interferencias se recomienda realizar las mediciones en un tamaño de muestra uniforme, reduciendo de esta manera la variabilidad de las partículas de suelo. Otro de los problemas es la falta de homogeneidad en la muestra, ya que generalmente tiene un gran impacto al comparar los resultados con las pruebas confirmatorias.

Para la presente investigación se utilizó el método USEPA 6200 (2007) “Field portable x-ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment”, que es aplicable para el análisis en el sitio de 26 analitos para muestras de suelos y sedimentos. El método menciona que para realizar la medición de una muestra “in situ”, la ventana de detección del equipo debe estar en contacto con la superficie del suelo a ser analizado. Cuando se analizan muestras colectadas, éstas se deben cubrir, para proteger la ventana del equipo. Los tiempos de medición para cada muestra

analizada deberán ser mayores que 30 segundos y no mayores que 300 segundos. En este caso, se midieron por 60 segundos. No todos los elementos se pueden analizar por este método; es el caso de los que presentan un número atómico menor que 16; pero aquellos cuyo número atómico es igual o mayor que 16, pueden ser detectados y cuantificados mediante el XRF portátil. Dentro de estos elementos se encuentran el plomo y el cadmio. Al poder realizar análisis multielementales con este método se analizaron además del plomo y cadmio los siguientes elementos: arsénico, bario, cromo, mercurio, níquel, selenio y vanadio.

El método USEPA 6200 (2007) requiere un análisis confirmatorio para las mediciones realizadas por medio del XRF portátil, que es el caso de esta investigación, por lo que la técnica confirmatoria para los análisis fue la de espectroscopia de absorción atómica por flama.

La USEPA, en su documento *“XRF Technologies for measuring trace elements in soil and sediment”* (2006), reporta cuáles son los niveles de detección de diferentes equipos de XRF portátil; entre ellos, el modelo XLt 700 series y XLt 700 Series del distribuidor Niton, que es la marca del XRF portátil utilizado en esta investigación. Menciona que, para el cadmio, el límite mínimo típico de detección para equipos portátiles de XRF varía de entre 10 a 50 mg/kg y, para el plomo, los valores límite típicos de detección varían entre 10 a 20 mg/kg.

Para este estudio el análisis se realizó en dos etapas:

a) Se homogenizaron las muestras y se analizaron por medio de XRF portátil, utilizando un equipo Niton XL3t-600. Se repitió el procedimiento para obtener 2 lecturas en condiciones naturales para cada muestra, con la finalidad de promediar los resultados.

b) Después de realizar el análisis granulométrico, teniendo las muestras clasificadas según el tamaño de la partícula, se analizaron las muestras; esto con el objetivo de identificar la fracción de suelo en la que se encontraba la mayor concentración de plomo, cadmio, arsénico, bario, cromo, mercurio, níquel, selenio y vanadio.

2.1.6.2 Espectroscopia de absorción atómica (EAA).

Por este método se realizó la medición de la concentración de los metales que presentan absorción de la radiación a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, pudiendo utilizar distintos procedimientos, técnicas y accesorios, para llegar al estado fundamental del átomo. Una de las técnicas más utilizadas para realizar la atomización es la absorción atómica con flama o llama, que se describe a continuación:

En un atomizador de flama se nebuliza una solución de la muestra, mediante el flujo de un gas oxidante mezclado con un combustible también gaseoso, y se lleva hacia una llama donde ocurre la atomización. Durante la desolvatación, el disolvente se evapora y produce un aerosol molecular finamente dividido; después, éste se volatiliza para formar moléculas de gas. La disociación de la mayor parte de estas moléculas produce un gas atómico. Algunos de los átomos de este gas se ionizan y forman cationes y electrones. Una fracción de las moléculas, átomos e iones se excitan por el calor de la llama y producen espectros de emisión: atómicos, iónicos y moleculares (Skoog y colaboradores, 2001).

Los átomos neutros gaseosos, en su estado fundamental, absorben radiación a longitudes de onda específicas. La medición de la magnitud de esa absorción atómica y su aplicación y análisis cuantitativo constituyen la espectrometría de absorción atómica. La fuente primaria de radiación luminosa es generalmente una lámpara de cátodo hueco del elemento de interés.

El método de espectroscopia de llama tiene como requisito que la muestra sea introducida en disolución. En esta investigación se utilizó una digestión húmeda por medio de ácido nítrico, obteniendo extractos acuosos de cada muestra, y analizada por flama siguiendo el método de la USEPA 3051 A (1998). Se utilizó un equipo de espectroscopia de absorción atómica marca Thermo Electron Corporation Serie SOLAAR M.

La espectroscopia de absorción atómica constituye un medio sensible para la cuantificación de más de 60 elementos metálicos, incluyendo a los metaloides (Skoog y colaboradores, 2001).

2.1.6.3 El coeficiente de correlación.

Con la correlación se establece la relación o dependencia existente entre dos variables que intervienen en una distribución bidimensional; es decir, se determinan los cambios en una de las variables que influyen en los cambios de la otra. Para realizar el estudio de la relación entre dos variables continuas se utilizan los coeficientes de correlación, determinando el grado de relación entre las mismas.

El coeficiente de Pearson, es un índice que mide el grado de covariancia entre distintas variables relacionadas linealmente. Este tipo de índice estadístico puede utilizarse para medir el grado de relación entre dos variables cuantitativas, utilizando la formula:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{xi}Z_{yi}}{n}$$

Donde:

Z es cada una de las puntuaciones.

r es el coeficiente de correlación.

n es el número de datos.

Este índice estadístico refleja el grado de relación lineal que existe entre dos variables. El resultado numérico varía entre los niveles de +1 y -1. En la correlación positiva, al crecer o decrecer X, crece o decrece Y; en la correlación negativa, al crecer o decrecer X, decrece o crece Y. La Tabla 6 presenta las interpretaciones de los valores del coeficiente de correlación de Pearson.

TABLA 6
INTERPRETACIÓN DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON

Correlación de Pearson	Significado
$r=1$	Correlación Perfecta
$0.8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación baja
$0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
$r=0$	Correlación nula

Al realizar el análisis de la relación de dependencia de dos grupos de variables, el gráfico se suele acompañar de una línea de tendencia que consiste en la regresión lineal simple de mejor ajuste por mínimos cuadrados. El coeficiente de determinación R^2 es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson y expresa la cantidad de variación común entre las dos variables.

El coeficiente de determinación R^2 es el coeficiente que indica el porcentaje de ajuste que se ha conseguido con el modelo lineal, el porcentaje de variación de Y explicado a través del modelo lineal que se ha estimado a través del comportamiento de X . A mayor porcentaje, mejor será el modelo para predecir el comportamiento de la variable Y . Ésta es una medida de proximidad o de ajuste de la recta de regresión a la nube de puntos.

Una vez obtenidos los resultados del análisis de las muestras de suelo por espectroscopia de absorción atómica y por medio de XRF portátil, se procedió a realizar el análisis de la correlación de las muestras analizadas.

En este caso, la variable independiente fue la técnica de EAA, esto debido a que otorga resultados que son más certeros y reproducibles, debido al tratamiento previo que se le da a la muestra. La variable dependiente fue la técnica de XRF portátil, esto debido a que esta técnica otorga resultados preliminares que son puntuales.

Con los datos de la determinación R^2 obtenidos para cada uno de los tres tamaños de partículas analizados, se seleccionó el tamaño de partícula más representativo de las concentraciones de Pb, que puede ser utilizado en la toma de decisiones sobre el grado de contaminación del suelo con este elemento.

En el caso de esta investigación, no fue posible realizar la determinación de los coeficientes r y R^2 para el cadmio, esto debido a que por el método de XRF portátil no fue posible detectar las concentraciones de éste en las muestras.

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Resultados.

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos de los análisis efectuados a 16 muestras de suelo superficial, en las que se determinaron sus características físicas y químicas, la concentración de plomo y cadmio por XRF y EAA y su correlación. También se describen los resultados en los tres municipios en los que se recolectaron las muestras de suelo superficial. En la figura 7 se presenta la localización de los municipios en un mapa del Estado de Nuevo León.

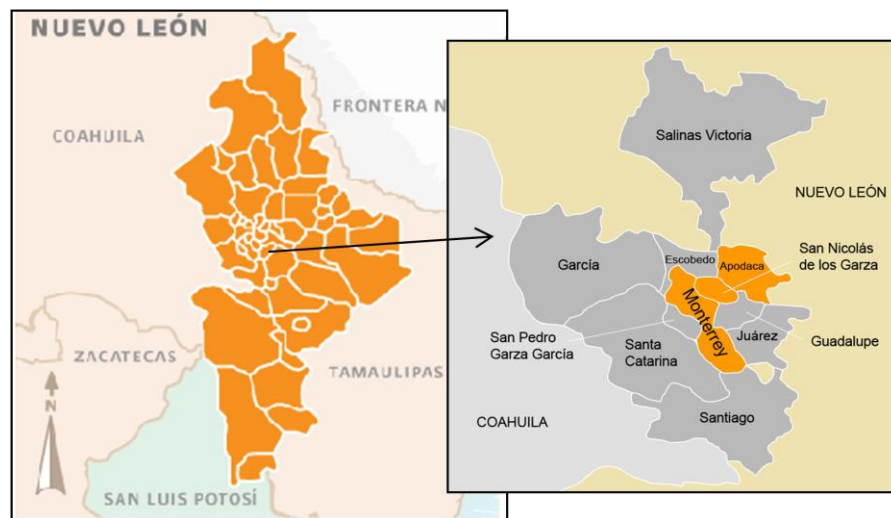


Figura 7. Mapa del Estado de Nuevo León y del Área Metropolitana de Monterrey, (Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, INAFED).

3.1 Características de los municipios seleccionados.

3.1.1 Monterrey.

Monterrey es la capital del Estado de Nuevo León. Limita al norte con los municipios de General Escobedo y San Nicolás de los Garza, al este con los municipios de Guadalupe y Benito Juárez, al sur con los municipios de Santiago y Santa Catarina y al oeste con los municipios de Santa Catarina y San Pedro Garza García.

La superficie total del municipio de Monterrey es de 781,438 km² representando el 1.2% de la superficie total del Estado de Nuevo León.

La población total reportada en 2010 por el INEGI fue de 1 135 550 personas, de las cuales, 561 656 son hombres y 573 894 son mujeres.

El clima que se presenta en el municipio de Monterrey es extremo, con temperaturas promedio mínima de 16°C y máxima de 23°C con vientos dominantes del oeste y del suroeste; pero en invierno predominan los del norte.

Las ramas industriales preponderantes en el municipio de Monterrey son las del acero, el vidrio, la cervecera, la de autopartes, el cemento, la cerámica, los textiles y la de alimentos.

3.1.2 San Nicolás de los Garza.

El municipio de San Nicolás de los Garza limita al norte con el municipio de General Escobedo y Apodaca, al sur con Guadalupe y Monterrey y al oeste con Monterrey y con el municipio de General Escobedo.

La extensión territorial de este municipio es de 86.8 km². La población total reportada en 2010 por el INEGI fue de 443 273 personas.

El clima es seco estepario cálido extremo, las lluvias son escasas y se presentan por lo general a fines del verano, principalmente en el mes de septiembre.

Las ramas industriales preponderantes en este municipio son las de acero, el aluminio, la cerámica y la industria química.

3.1.3 Apodaca.

El municipio de Apodaca limita al norte con el municipio de General Zuazua, al sur con Guadalupe, al este con Pesquería y al oeste con San Nicolás de los Garza.

Tiene una extensión de 183.5 km. La población total reportada en 2010 por el INEGI fue de 523 370 personas.

Este municipio presenta un clima extremoso, con una temperatura media anual de 18°C, la temperatura mínima registrada en invierno es de -2°C y en verano 42°C. Los vientos dominantes provienen del oeste y sureste y en invierno predominan los vientos del norte.

En este municipio se encuentran 32 parques industriales con diferentes giros entre los cuales se encuentra el alimenticio, el de autopartes, el papel y sus derivados, entre otros.

3.2 Descripción de los sitios muestreados.

A continuación se describen los sitios en los que se recolectaron las muestras para ser analizadas, se presentan figuras con los puntos muestreados en cada una de las ubicaciones, las coordenadas UTM y las calles entre las que se encuentran.

3.2.1 M1. Cuauhtémoc, 3er Sector.

Ubicación: San Nicolás de los Garza, Colonia Cuauhtémoc.

Coordenadas UTM; Zona: 14 Este: 370189.00 m Norte: 2846639.97m

Se encuentra entre las calles Rubí y Granate.

Esta muestra se tomó en un parque público, frente al cual se encuentra una escuela primaria y una escuela secundaria. La muestra se tomo en el área del resbaladero. Se encontró basura de tipo doméstico.

En las cercanías se encuentran industrias dedicadas a la producción de alimentos, papel y derivados e industria manufacturera de metal y maquinaria.



Figura 8. Parque M1. Cuauhtémoc 3er Sector, (Google Earth TM, 2013).

3.2.2 M2. Cuauhtémoc.

Ubicación: San Nicolás de los Garza, Colonia Cuauhtémoc.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 370062.02m Norte: 2846133.01m

Se encuentra entre las calles Dominico y Colibrí.

Esta muestra se tomó en un parque público, frente a la cual se encuentra una escuela primaria y una escuela de nivel preescolar. La muestra se tomó en el área de los columpios. El suelo se encontraba un poco compactado, ya que es el área donde los niños se impulsan con los pies.

En las cercanías se encuentran industrias dedicadas a la producción de alimentos, papel y derivados e industria manufacturera de metal y maquinaria.



Figura 9. Parque M2. Cuauhtémoc, (Google Earth TM, 2013).

3.2.3 M3. Balcones de Anáhuac.

Ubicación: San Nicolás de los Garza, Colonia Balcones de Anáhuac.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 368109.95m Norte: 2849476.05m

Se encuentra entre las calles Coba y la avenida Balcones de Anáhuac.

Esta muestra se tomó en una plaza pública, frente a la cual se encuentra una empresa dedicada a la fabricación de empaques alimenticios. En las cercanías de esta plaza se encuentran dos avenidas por las que transita tráfico pesado, la avenida Manuel L. Barragán y la avenida Sendero Divisorio.



Figura 10. Plaza M3. Balcones de Anáhuac, (Google Earth TM, 2013).

3.2.4 M4. Balcones de Anáhuac.

Ubicación: San Nicolás de los Garza, Colonia Balcones de Anáhuac.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 368074.96m Norte: 2849638.01m

Se encuentra entre las calles Xhel-ha y la avenida Balcones de Anáhuac.

La muestra se tomó en el área del pasamanos. Se observó poca vegetación en el área. El parque se encuentra cercano a la avenida Manuel L. Barragán y la avenida Sendero Divisorio.



Figura 11. Parque M4. Balcones de Anáhuac, (Google Earth TM, 2013).

3.2.5 M5. Tabachines.

Ubicación: San Nicolás de los Garza, Colonia Tabachines.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 369477.96m Norte: 2849699.96m

Se encuentra entre las calles Lerdo de Tejada y San Antonio.

La muestra se tomó en el área de los columpios. En esta área se observó poca vegetación y estaba libre de basura. Este parque público se encuentra cerca de una escuela de nivel preescolar y a unas calles de la avenida Universidad. En las cercanías del parque se encuentra una empresa dedicada a la logística, una tienda de auto partes y refracciones y una empresa de productos químicos.



Figura 12. Parque M5. Tabachines, (Google Earth TM, 2013).

3.2.6 M6. Victoria.

Ubicación: Monterrey, Colonia Victoria.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 369159.01m Norte: 2843185.95m

Se encuentra entre las calles M. Arista Norte y Manuel Doblado Norte.

La muestra se tomó en el área de los columpios. En esta área no se presentaba cobertura vegetal y había basura de tipo doméstico. Este parque público está ubicado frente a una escuela primaria. En las cercanías se encuentra la avenida José Ángel Conchello y la Avenida Ruiz Cortines por las cuales circula tráfico pesado, una industria cementera y una cromadora.



Figura 13. Parque M6. Victoria, (Google Earth TM, 2013).

3.2.7 M7. Del Lago.

Ubicación: San Nicolás de los Garza, Colonia Del Lago.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 377108.00m Norte: 2846087.99m

Se encuentra entre las calles Las Torres y Tule.

La muestra se tomó en el área de los columpios. En esta área se observó poca vegetación. Este parque público se encuentra localizado a un costado de una empresa dedicada al armado y soldado de vigas y perfiles estructurales.



Figura 14. Parque M7. Del Lago, (Google Earth TM, 2013).

3.2.8 M8. Mitras.

Ubicación: Monterrey, Colonia Mitras.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 365683.98m Norte: 2844525.02m

Se encuentra entre las calles Río Lerma y Río Tamesis.

La muestra se tomó en el área del resbaladero. En este parque público, una parte del área destinada a los juegos infantiles se encontraba cubierta por alfombra de pasto sintético; esto en el área de juegos para niños más pequeños (de 0-5 años aproximadamente). Se encuentra cerca a la avenida Alfonso Reyes.



Figura 15. Parque M8. Mitras, (Google Earth TM, 2013).

3.2.9 M9. Arroyo Seco.

Ubicación: Monterrey, Colonia Arroyo Seco.

Coordenadas UTM; Zona: 14 Este: 370703.00m Norte: 2836685.95m

Se encuentra entre las calles Arroyo Seco y la avenida Garza Sada.

La muestra se tomó en el área de los resbaladeros. En las cercanías de este parque público se encuentra una escuela primaria y una escuela de nivel preescolar. En las cercanías también se encuentra la avenida Garza Sada de alto tráfico vehicular y un terreno desprovisto de vegetación, en el que se solía encontrar una fábrica de baterías y acumuladores.



Figura 16. Parque M9. Arroyo Seco, (Google Earth TM, 2013).

3.2.10 M10. Contry.

Ubicación: Monterrey, Colonia Contry Lux.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 371319.99m Norte: 2836728.04m

Se encuentra entre las calles Estrellas y Alfa.

La muestra se tomó en el área de los juegos, cerca de los sube y baja. En este parque público el suelo era fino y suelto, se presentó escasa cobertura vegetal. El parque público se encuentra a un costado de un terreno en el que se solía encontrar una fábrica de baterías y acumuladores para automóviles.



Figura 17. Parque M10. Contry, (Google Earth TM, 2013).

3.2.11 M11. Bueno Aires.

Ubicación: Monterrey, Colonia Buenos Aires.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 370984.95m Norte: 2839499.01m

Se encuentra entre las calles Chapultepec y Ramón Oviedo Martínez.

La muestra se tomó en el área de las jardineras. La plaza se localiza en las cercanías de la avenida Revolución, que presenta un alto tráfico vehicular pesado. Frente a la plaza se encuentra una empresa de señalización y logística industrial.



Figura 18. Parque M11. Buenos Aires, (Google Earth TM, 2013).

3.2.12 M12. Pueblo Nuevo.

Ubicación: Apodaca, Colonia Pueblo Nuevo

Coordenadas UTM; Zona: 14 Este: 382753.96m Norte: 2849759.97m

Se encuentra entre las calles de Rio Guadiana y Rio Iguazú.

La muestra se tomó en el área de los juegos, debajo de los columpios. El área no presentaba vegetación y el suelo estaba suelto. Este parque público se ubica al costado de una escuela primaria. En las cercanas se encuentra un parque industrial.



Figura 19. Parque M12. Pueblo Nuevo, (Google Earth TM, 2013).

3.2.13 M13. Las Palmas.

Ubicación: Apodaca, Colonia Las palmas.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 373048.02m Norte: 2851492.97m

Se encuentra entre las calles Calabacillas y avenida las Palmas.

La muestra se tomó en el área debajo de los columpios; el suelo presentaba escasa vegetación.



Figura 20. Parque M13. Las Palmas, (Google Earth TM, 2013).

3.2.14 M14. Bosque Real II.

Ubicación: Apodaca, Colonia Bosque Real II.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 375275.98m Norte: 2851695.05m

Se encuentra entre las calles Chainis y la avenida Alcanfor.

La muestra se tomó en el área de los sube y baja. La muestra se encuentra detrás de una estación de gasolina.



Figura 21. Parque M14. Bosque Real II, (Google Earth TM, 2013).

3.2.15 M15. Metroplex.

Ubicación: Apodaca, Colonia Metroplex.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 374373.99m Norte: 2852666.05m

Se encuentra entre las calles Galaxia y la avenida Metroplex.

La muestra se tomó en el área de los resbaladeros. Frente a este parque público se encuentra una escuela primaria.



Figura 22. Parque M15. Metroplex, (Google Earth TM, 2013).

3.2.16 M16. Valle de las Palmas.

Ubicación: Apodaca, Valle de las Palmas.

Coordenadas UTM; Zona: 14R Este: 372882.01m Norte: 2852636.02m

Se encuentra entre las calles Valle de los Eucaliptos y Bugambilia.

La muestra se tomó en el área de los resbaladeros. Frente a este parque público se encuentra una escuela primaria y una escuela de nivel preescolar. La avenida Concordia, de alto tráfico vehicular, se ubica cercana a la zona.



Figura 23. Parque M16. Valle de las Palmas, (Google Earth TM, 2013).

3.3 Análisis complementarios.

Para la caracterización de las muestras de suelo estudiadas se realizaron las determinaciones del pH, la humedad, el carbón orgánico, la materia orgánica, los carbonatos de calcio, los sulfatos y los cloruros, los que se presentan en la Tabla 7.

TABLA 7
VALORES DE LOS ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS DE SUELO DE TAMAÑO MENOR QUE 2 mm

Municipio	Muestra	pH	Humedad %	Carbón orgánico %	Materia orgánica %	Carbonatos de calcio CaCO ₃ %	Sulfatos SO ₄ ²⁻ mg/kg	Cloruros Cl ¹⁻ mg/kg
San Nicolás de los Garza	M1	8.0	3.8	1.5	2.6	43.5	2480.8	71.3
	M2	8.0	2.6	3.7	6.3	37.9	95.1	15.1
	M3	8.1	4.8	2.6	4.5	30.9	42.2	N.D.
	M4	8.0	4.8	1.3	2.3	43.0	118.7	97.8
	M5	8.0	3.7	2.6	4.4	73.2	85.1	60.8
	M7	7.7	5.4	1.8	3.0	54.1	654.4	227.8
Monterrey	M6	8.2	3.3	2.5	4.3	63.5	72.4	N.D.
	M8	7.9	3.8	2.6	4.5	53.5	72.4	N.D.
	M9	8.1	4.5	1.4	2.4	9.3	37.6	N.D.
	M10	7.8	4.5	1.6	2.7	11.5	92.1	N.D.
	M11	7.9	4.1	1.5	2.6	30.8	54.3	N.D.
Apodaca	M12	8.1	5.2	1.8	3.1	70.3	281.5	66.9
	M13	7.9	3.5	2.6	4.5	70.4	587.9	106.5
	M14	8.1	4.4	2.1	3.6	47.9	106.8	N.D.
	M15	8.0	3.1	1.3	2.3	71.6	280.5	171.5
	M16	7.9	5.2	2.5	4.3	54.8	245.7	67.3

N.D. No Detectable

3.3.1 El pH.

Según McBride y colaboradores (1997), el pH del suelo sería el factor más importante que afecta la biodisponibilidad de los metales. Al aumentar el valor del pH, los metales pesados son removidos de la solución del suelo y son absorbidos por los coloides que se encuentran en el suelo, disminuyendo su biodisponibilidad (Lasat, 2001).

Los valores de pH encontrados en el municipio de San Nicolás de los Garza varían entre 7.7 (para la muestra M7) y 8.1 (para la muestra M3); en Monterrey varían entre 7.8 (para la muestra M10) y 8.2 (para la muestra M6); en Apodaca varían entre 7.9 (para la muestra M13) y 8.1(para la muestra M14), el valor mínimo fue de 7.7 (municipio de San Nicolás de los Garza M7) y el máximo fue de 8.2 (municipio de Monterrey M6). El equipo con el que se realizó la medición, cuenta con una precisión de ± 0.0004 unidades de pH. La NOM-021-SEMARNAT-2000, clasifica como suelos medianamente alcalinos a los que presentan un pH entre 7.4-8.5. Naidu y colaboradores (2006), mencionan que en todos los suelos la adsorción del Cd tiende a aumentar con el incremento del pH; sin embargo los valores del cadmio presentados fueron relativamente bajos.

Un aumento en el pH aumenta la sorción del metal, pero varía dependiendo de los metales, mayor para el Pb que para el Cd (Echeverría y

colaboradores, 1998). Los valores de pH se mantienen altos debido a la presencia de carbonatos. (Martínez y Motto, 2000)

3.3.2 La humedad.

La humedad de las muestras obtenidas del municipio de San Nicolás de los Garza varía entre 2.6% (para la muestra M2) y 5.4% (para la muestra M7); en las muestras obtenidas en el municipio de Monterrey, la humedad varía entre 3.3 % (para la muestra M6) y 4.1% (para la muestra M11); la humedad de las muestras obtenidas en el municipio de Apodaca varía entre 3.1 % (para la muestra M15) y 5.2% (para la muestra M16), el valor mínimo de humedad obtenido fue de 2.6% (municipio de San Nicolás de los Garza M2) y el máximo valor de humedad fue de 5.4 % (municipio de San Nicolás de los Garza M7). La USEPA, en su método 6200 menciona que el contenido de humedad puede causar afectaciones en la precisión de los análisis de muestras de suelo por medio de XRF portátil. En dicho método se indica que cuando el contenido de humedad se encuentra dentro del 5% al 20%, el error provocado por la humedad es mínimo, por lo que los resultados de humedad de las muestras de suelo tomadas se encuentran en los niveles recomendados por el método para el uso directo de las mediciones por XRF portátil, sin necesidad de secar las muestras. Los resultados de los análisis de las muestras de suelo fueron calculados en base seca, secando las muestras en estufa a 105°C, con excepción del pH.

3.3.3 El carbón orgánico.

El carbón orgánico se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo. Éste tiende a aumentar la solubilidad de los nutrientes al presentar valores de pH cercanos a la neutralidad. El carbón orgánico asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico (Martínez y colaboradores, 2008) y participa en la inmovilización de los metales presentes en los suelos contaminados.

Los porcentajes de carbón orgánico en las muestras de suelo obtenidas en el municipio de San Nicolás de los Garza varían entre 1.3% (para la muestra M4) y 3.7 % (para la muestra M2); en la muestras obtenidas en el municipio de Monterrey, el contenido de carbón orgánico varía entre 1.4% (para la muestra M9) y 2.6% (para la muestra M8); en las muestras obtenidas en el municipio de Apodaca, los contenidos de carbón orgánico varían entre 1.3% (para la muestra M15) y 2.6% (para la muestra M13). Los porcentajes mínimos y máximos de carbón orgánico se encontraron en el municipio de San Nicolás de los Garza siendo 1.3% y 3.7% para las muestras M4 y M2, respectivamente.

3.3.4 La materia orgánica.

La materia orgánica a menudo actúa a través de la formación de los compuestos organometálicos como trampa inmovilizadora de metales pesados.

En este estudio los porcentajes de materia orgánica presentes en las muestras obtenidas en el municipio de San Nicolás de los Garza variaron de 2.3% (para la muestra M4) y 6.3 % (para la muestra M2); para las muestras obtenidas en el municipio de Monterrey, las concentraciones variaron entre 2.4% (para la muestra M9) y 4.3% (para la muestra M6); para las muestras obtenidas en el municipio de Apodaca las concentraciones variaron entre 2.3% (para la muestra M15) y 4.5% (para la muestra M13). Los porcentajes mínimos y máximos de materia orgánica se encontraron en muestras del municipio de San Nicolás de los Garza con porcentajes de 2.3% y 6.3% para las muestras M4 y M2 respectivamente. El método presenta una desviación estándar de ± 0.066 y un coeficiente de variación de 0.132%. La NOM-021-SEMARNAT-2000 clasifica los valores de referencia del contenido de materia orgánica de entre 1.6 – 3.5 % como medio y 3.6 – 6.0% como alto, por lo que las concentraciones de materia orgánica varían entre medio y alto para las muestras analizadas. La materia orgánica es una de las propiedades que más influye en la capacidad de intercambio catiónico entre el Pb y el suelo (Rodríguez y colaboradores, 2009).

3.3.5 El carbonato de calcio.

Los carbonatos elevan el pH de los suelos, pudiendo interferir en la solubilidad de los metales en forma directa, por interacciones metal – superficie y de forma indirecta, a través del pH (Martínez y Motto, 2000).

Madrid y Díaz (1992), señalan que el cadmio tiende a quedar adsorbido por los carbonatos, ya que cuando se eliminan los carbonatos del suelo, la capacidad de sorción del mismo disminuye.

Las concentraciones de carbonato de calcio obtenidas para las muestras analizadas del municipio de San Nicolás de los Garza varían entre 30.9% (para la muestra M3) y 73.2% (para la muestra M5); para las muestras obtenidas en el municipio de Monterrey, los valores varían entre 9.3% (para la muestra M9) y 63.5% (para la muestra M6); para las muestras obtenidas en el municipio de Apodaca, los valores varían entre 47.9% (para la muestra M14) y 71.6% (para la muestra M15). Los porcentajes mínimos y máximos de carbonato de calcio se encuentran en los municipios de Monterrey (M9) y San Nicolás de los Garza (M5) con porcentajes de 9.3% y 73.2% respectivamente. El método presenta una desviación estándar de ± 0.066 y un coeficiente de variación de 0.132%, la NOM-021-SEMARNAT-2000 menciona que para valores de entre 2.1% - 15%, el carbonato se clasifica como mediano y para porcentajes mayores a 40% se clasifica como muy alto, por lo que los porcentajes de CaCO_3 van desde medianos a muy altos.

3.3.6 Los sulfatos.

Los sulfatos son minerales con una unidad estructural fundamental de los grupos SO_4^{2-} pudiendo estar enlazados entre sí por cationes de aluminio, sodio,

calcio, potasio, magnesio y hierro. Los sulfatos son compuestos de solubilidad relativamente alta y su acumulación se produce en condiciones muy determinadas, como la abundancia de sulfatos en el entorno inmediato y un clima árido o semiárido (Moreno y colaboradores, 2011).

Las concentraciones de sulfatos obtenidas en las muestras analizadas del municipio de San Nicolás de los Garza varían entre 42.2 mg/kg (para la muestra M3) y 2480.8 mg/kg (para la muestra M1); las concentraciones de sulfatos para las muestras obtenidas en el municipio de Monterrey varían entre 37.6 mg/kg (para la muestra M9) y 92.1 mg/kg (para la muestra M10); las concentraciones de sulfatos para las muestras obtenidas en el municipio de Apodaca varían de entre 106.8 mg/kg (para la muestra M14) y 587.9 mg/kg (para la muestra M13). Las concentraciones mínimas y máximas de sulfatos se encontraron en los municipios de Monterrey (M9) y San Nicolás de los Garza (M13) con valores de 37.6 mg/kg y 2480.8 mg/kg, respectivamente. El método presenta una desviación estándar de ± 0.192 y un coeficiente de variación de 0.075%.

3.3.7 Los cloruros.

Los compuestos de cloruro son los que contienen un átomo de cloro como un anión cargado negativamente. Son compuestos altamente solubles en el agua.

Las concentraciones de cloruros obtenidas en las muestras analizadas del municipio de San Nicolás de los Garza varían entre 15.1 mg/kg (para la muestra M2) y 227.8 mg/kg (para la muestra M7), para la muestra M3 la concentración de cloruros no fue detectable; las muestras obtenidas en el municipio de Monterrey presentaron concentraciones de cloruros que no fueron detectadas y para las muestras obtenidas en el municipio de Apodaca, las concentraciones variaron entre 66.9 mg/kg (para la muestra M12) y 171.5 mg/kg (para la muestra M15), las concentraciones de cloruros de la muestra M14 no fueron detectadas. Las concentraciones de cloruros mínimas y máximas se encontraron en el municipio de San Nicolás de los Garza, con concentraciones de 15.1 mg/kg (M2) y 227.8 mg/kg (M7), respectivamente. El método presenta una desviación estándar de ± 0.066 y un coeficiente de variación de 0.132%.

3.4 Análisis de metales.

Para la determinación del plomo total y cadmio total se analizaron las muestras por medio de espectroscopia de absorción atómica y por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X. En la tabla 8, 9 y 10 se presentan los resultados obtenidos por medio de estas técnicas para los tres municipios.

TABLA 8

CONCENTRACIÓN DE PLOMO TOTAL Y CADMIO TOTAL POR MEDIO DE EAA Y XRF, EN MUESTRAS DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L.

Muestra	Fracción	Plomo total mg/kg		Cadmio total mg/kg	
		EAA	XRF	EAA	XRF
M1	Menor que 2 mm	69.21	56.74	1.84	N.D.
	Menor que 0.250 mm	150.43	82.43	1.90	N.D.
	Menor que 0.105 mm	97.52	85.36	1.91	N.D.
M2	Menor que 2 mm	362.29	238.89	2.07	N.D.
	Menor que 0.250 mm	81.59	103.52	1.72	N.D.
	Menor que 0.105 mm	103.89	87.61	1.84	N.D.
M3	Menor que 2 mm	168.75	187.60	2.62	N.D.
	Menor que 0.250 mm	161.81	162.70	2.25	N.D.
	Menor que 0.105 mm	204.98	173.20	2.63	N.D.
M4	Menor que 2 mm	58.19	44.39	1.43	N.D.
	Menor que 0.250 mm	71.58	51.67	1.69	N.D.
	Menor que 0.105 mm	66.00	58.07	2.55	N.D.
M5	Menor que 2 mm	156.03	90.52	2.14	N.D.
	Menor que 0.250 mm	123.30	92.37	2.33	N.D.
	Menor que 0.105 mm	108.00	93.37	2.18	N.D.
M7	Menor que 2 mm	60.85	44.10	1.83	N.D.
	Menor que 0.250 mm	85.33	60.90	2.03	N.D.
	Menor que 0.105 mm	59.83	63.15	1.84	N.D.

N.D. No Detectable

TABLA 9
CONCENTRACIÓN DE PLOMO TOTAL Y CADMIO TOTAL POR MEDIO DE EAA Y XRF,
EN MUESTRAS DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE MONTERREY, N.L.

Muestra	Fracción	Plomo total mg/kg		Cadmio total mg/kg	
		EAA	XRF	EAA	XRF
M6	Menor que 2 mm	916.10	321.15	4.39	N.D.
	Menor que 0.250 mm	409.92	375.85	5.73	N.D.
	Menor que 0.105 mm	380.18	394.65	5.99	N.D.
M8	Menor que 2 mm	72.45	57.77	3.07	N.D.
	Menor que 0.250 mm	85.72	64.30	3.01	N.D.
	Menor que 0.105 mm	83.56	66.65	2.98	N.D.
M9	Menor que 2 mm	35.99	27.62	1.19	N.D.
	Menor que 0.250 mm	52.95	34.72	1.13	N.D.
	Menor que 0.105 mm	43.68	33.85	1.20	N.D.
M10	Menor que 2 mm	107.12	88.20	1.45	N.D.
	Menor que 0.250 mm	156.46	86.70	1.26	N.D.
	Menor que 0.105 mm	91.45	72.90	1.18	N.D.
M11	Menor que 2 mm	78.81	61.70	1.32	N.D.
	Menor que 0,250 mm	300.62	204.00	1.73	N.D.
	Menor que 0.105 mm	347.89	239.00	1.88	N.D.

N.D. No Detectable

TABLA 10
CONCENTRACIÓN DE PLOMO TOTAL Y CADMIO TOTAL POR MEDIO DE EAA Y XRF,
EN MUESTRAS DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE APODACA, N.L.

Muestra	Fracción	Plomo total mg/kg		Cadmio total mg/kg	
		EAA	XRF	EAA	XRF
M12	Menor que 2 mm	29.43	31.00	1.44	N.D.
	Menor que 0.250 mm	44.44	32.10	1.65	N.D.
	Menor que 0.105 mm	46.65	32.70	1.45	N.D.
M13	Menor que 2 mm	264.88	62.32	1.99	N.D.
	Menor que 0.250 mm	82.03	90.42	1.99	N.D.
	Menor que 0.105 mm	68.38	51.15	2.04	N.D.
M14	Menor que 2 mm	121.43	71.72	2.40	N.D.
	Menor que 0.250 mm	107.28	74.72	2.39	N.D.
	Menor que 0.105 mm	91.70	69.20	2.41	N.D.
M15	Menor que 2 mm	51.31	121.92	1.77	N.D.
	Menor que 0.250 mm	29.39	27.67	1.73	N.D.
	Menor que 0.105 mm	23.42	18.03	1.88	N.D.
M16	Menor que 2 mm	76.06	46.75	2.74	N.D.
	Menor que 0.250 mm	74.37	52.92	2.61	N.D.
	Menor que 0.105 mm	72.27	55.07	2.61	N.D.

N.D. No Detectable

3.4.1 Análisis multielemento por medio de XRF portátil.

Para el análisis por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X, se utilizó el equipo portátil Niton XL3t-600. Se realizó la lectura por duplicado: primero a la muestra sin cribar y después a las muestras cribadas por las mallas de 2 mm, 0.840 mm, 0.420 mm, 0.250 mm, 0.149 mm y 0.105 mm (mallas numero 10, 20, 40, 60, 100 y 140, respectivamente). Las tablas con los resultados promedio de cada fracción se encuentran en el apéndice C.

Se observan variaciones entre los resultados obtenidos entre la muestra sin cribar y las muestras cribadas, esto se debe a que las mediciones realizadas por medio de XRF portátil son puntuales. Los resultados de las muestras analizadas por medio del XRF portátil, en muestras sin cribar y cribadas, se muestran a continuación en las tabla 11, 12 y 13, para cada una de las muestras obtenidas en los distintos municipios. Estas tablas se presentan con la intención de realizar una comparativa entre las mediciones en muestras sin cribar (para simular su uso en campo) y las muestras cribadas.

TABLA 11

CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO POR MEDIO DE XRF PARA MUESTRAS CRIBADAS Y SIN CRIBAR, DEL MUNICIPIO DE SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L.

Muestra	Fracción	Plomo ppm		Cadmio ppm	
		Sin cribar	Cribada	Sin cribar	Cribada
M1	Menor que 2 mm	64.65	56.74	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		82.43		N.D.
	Menor que 0.105 mm		85.36		N.D.
M2	Menor que 2 mm	140.18	238.89	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		103.52		N.D.
	Menor que 0.105 mm		87.61		N.D.
M3	Menor que 2 mm	137.50	187.60	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		162.70		N.D.
	Menor que 0.105 mm		173.20		N.D.
M4	Menor que 2 mm	56.25	44.39	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		51.67		N.D.
	Menor que 0.105 mm		58.07		N.D.
M5	Menor que 2 mm	91.61	90.52	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		92.37		N.D.
	Menor que 0.105 mm		93.37		N.D.
M7	Menor que 2 mm	60.93	44.10	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		60.90		N.D.
	Menor que 0.105 mm		63.15		N.D.

N.D. No Detectable

TABLA 12

CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO POR MEDIO DE XRF PARA MUESTRAS CRIBADAS Y SIN CRIBAR, DEL MUNICIPIO DE MONTERREY, N.L.

Muestra	Fracción	Plomo ppm		Cadmio ppm	
		Sin cribar	Cribada	Sin cribar	Cribada
M6	Menor que 2 mm	321.13	321.15	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		375.85		N.D.
	Menor que 0.105 mm		394.65		N.D.
M8	Menor que 2 mm	54.57	57.77	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		64.30		N.D.
	Menor que 0.105 mm		66.65		N.D.
M9	Menor que 2 mm	32.62	27.62	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		34.72		N.D.
	Menor que 0.105 mm		33.85		N.D.
M10	Menor que 2 mm	77.24	88.20	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		86.70		N.D.
	Menor que 0.105 mm		72.90		N.D.
M11	Menor que 2 mm	93.16	61.70	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		204.00		N.D.
	Menor que 0.105 mm		239.00		N.D.

N.D. No Detectable

TABLA 13
CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y CADMIO POR MEDIO DE XRF PARA MUESTRAS
CRIBADAS Y SIN CRIBAR, DEL MUNICIPIO DE APODACA, N.L.

Muestra	Fracción	Plomo ppm		Cadmio ppm	
		Sin cribar	Cribada	Sin cribar	Cribada
M12	Menor que 2 mm	23.06	31.00	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		32.10		N.D.
	Menor que 0.105 mm		32.70		N.D.
M13	Menor que 2 mm	95.18	62.32	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		90.42		N.D.
	Menor que 0.105 mm		51.15		N.D.
M14	Menor que 2 mm	58.07	71.75	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		74.72		N.D.
	Menor que 0.105 mm		69.20		N.D.
M15	Menor que 2 mm	14.29	121.92	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		27.67		N.D.
	Menor que 0.105 mm		18.03		N.D.
M16	Menor que 2 mm	61.87	46.75	N.D.	N.D.
	Menor que 0.250 mm		52.92		N.D.
	Menor que 0.105 mm		55.07		N.D.

N.D. No Detectable

En las mediciones realizadas a las muestras cribadas, presentadas en el Apéndice C, se observó que, para el caso del plomo y el cromo, la mayor concentración se encontró en las partículas menores que 0.105 mm (en un 31.2% de las muestras para Pb y en un 43.7% de las muestras para Cr), para el

bario, el mercurio y el níquel se encontró en la partículas de tamaño menor que 2 mm.

Las concentraciones de vanadio en las muestras analizadas sin cribar por medio de XRF portátil, presentadas en el Apéndice B, M2- 78.2 mg/kg, M6- 102.6 mg/kg, M8- 84.6, M9- 90.6 mg/kg, M10- 118.6 mg/kg, M11- 101.6 mg/kg y M12- 78.6 mg/kg están por encima de las establecidas como límite en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (78 mg/kg). En las muestras M6- 67.5 mg/kg, M11- 24.5 mg/kg y M14- 22.4 mg/kg se encontró arsénico por encima del límite establecido (22 mg/kg). Y en la muestra M6- 516.1 mg/kg también sobrepasó la concentración de cromo establecida como límite (280 mg/kg).

La muestra M6 excedió las concentraciones de referencia establecidas para plomo, vanadio y cromo, analizado por medio de XRF portátil; por lo que se puede decir que es la muestra más contaminada de las analizadas y se atribuye la presencia de estos metales a que en las cercanías del parque se encuentra una cementera, una cromadora y una avenida donde circulan vehículos pesados.

3.4.2 Determinación de concentraciones de Pb y Cd por medio de EAA.

En la determinación de las concentraciones de cadmio por medio de EAA se obtuvieron concentraciones por debajo de lo establecido por la norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. La concentración de referencia total CR_T es de 37 mg/kg, en la muestra M6, en la fracción menor que 0.105 mm, se presentó la mayor concentración de cadmio de 5.99 mg/kg, estando por debajo de lo establecido por la norma. Las concentraciones más altas de cadmio se presentaron en un 56.2% de las muestras en la partícula más pequeña analizada, en la fracción menor que 0.105 mm. Los valores obtenidos por medio de EAA se presentan en las Tablas 8, 9 y 10 VALORES DE LOS ANÁLISIS DE PLOMO TOTAL Y CADMIO TOTAL, POR MEDIO DE EAA y XRF para los distintos municipios.

En el caso del plomo, en la muestra M6, se obtuvieron resultados que rebasaban la concentración de referencia total CR_T establecida por la norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que es de 400 mg/kg, encontrando en la fracciones menores que 2 mm y 0.250 mm concentraciones de 916.00 mg/kg y 409.9 mg/kg respectivamente. Las concentraciones más altas de plomo que van de 51.3 mg/kg a 916.1 mg/kg se encontraron en un 43.7% de las muestras, en las partículas de mayor tamaño analizado que son las menores que 2 mm.

Se atribuye la presencia de estos metales a que en las cercanías del parque se encuentra una cementera, una cromadora y una avenida donde circulan vehículos pesados.

En las figuras 24 y 25 se presentan las concentraciones en mg/ kg de plomo y cadmio, respectivamente, obtenidas por medio de EAA en partículas menores que 2 mm y se comparan con lo establecido como concentraciones de referencia por la normatividad nacional e internacional.

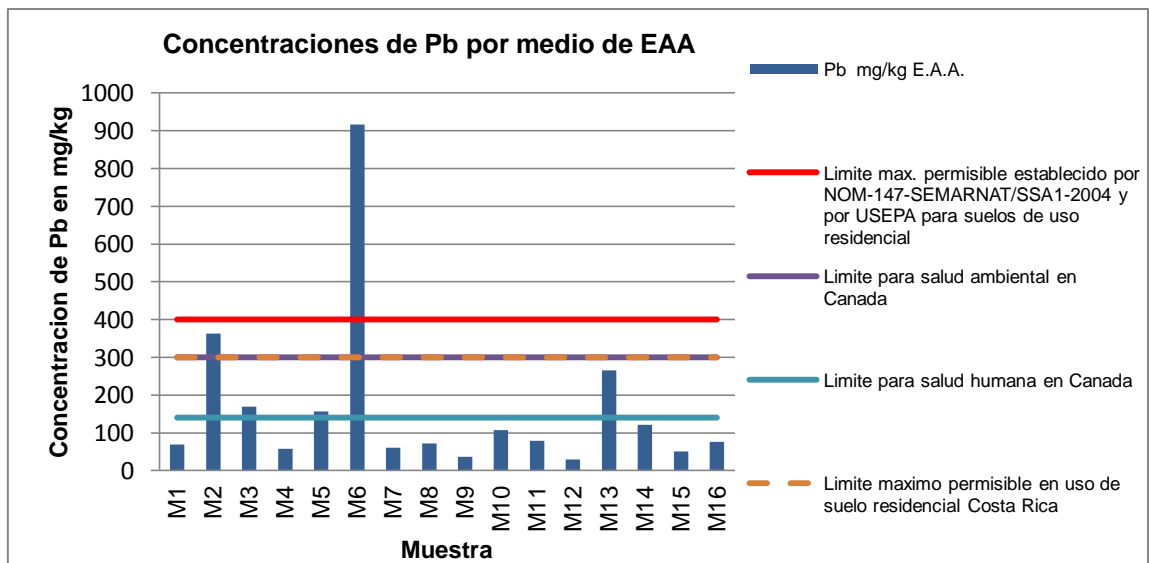


Figura 24. Concentraciones de Pb en mg/kg obtenidas por medio de EAA, para partículas menores que 2 mm.

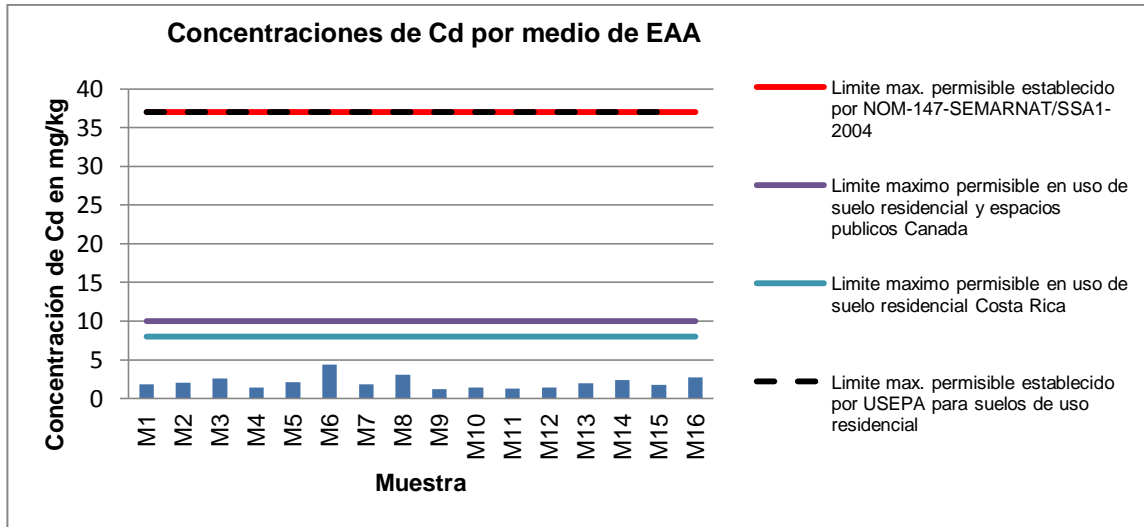


Figura 25. Concentraciones de Cd en mg/kg obtenidas por medio de EAA, para partículas menores que 2 mm.

En las figuras 26 y 27 se presentan las concentraciones en mg/ kg de plomo y cadmio, respectivamente, obtenidas por medio de EAA, en partículas menores que 0.250 mm y se comparan con lo establecido como límite permisible por la normatividad nacional e internacional.

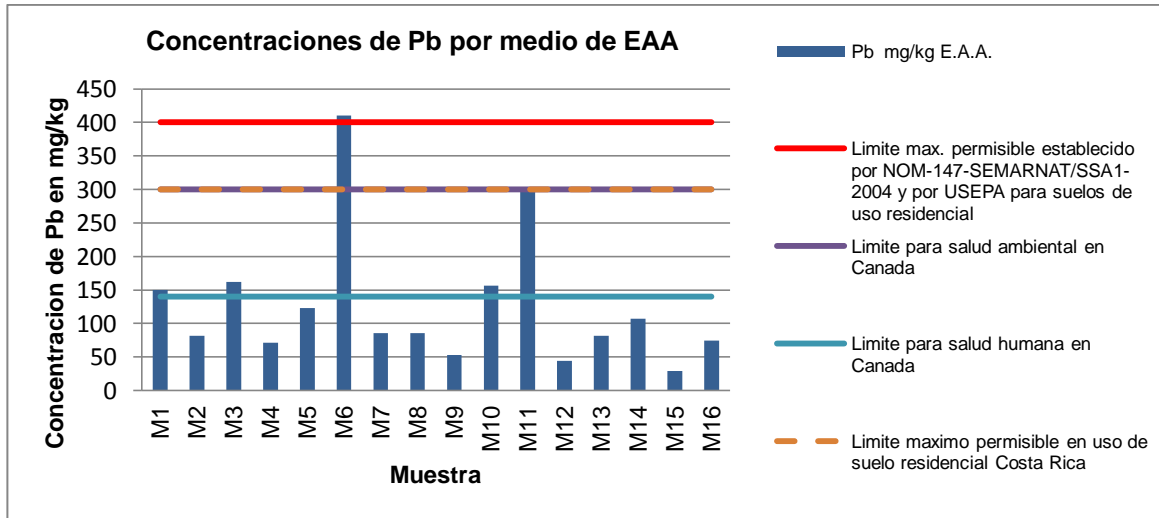


Figura 26. Concentraciones de Pb en mg/kg obtenidas por medio de EAA, para partículas menores que 0.250 mm.

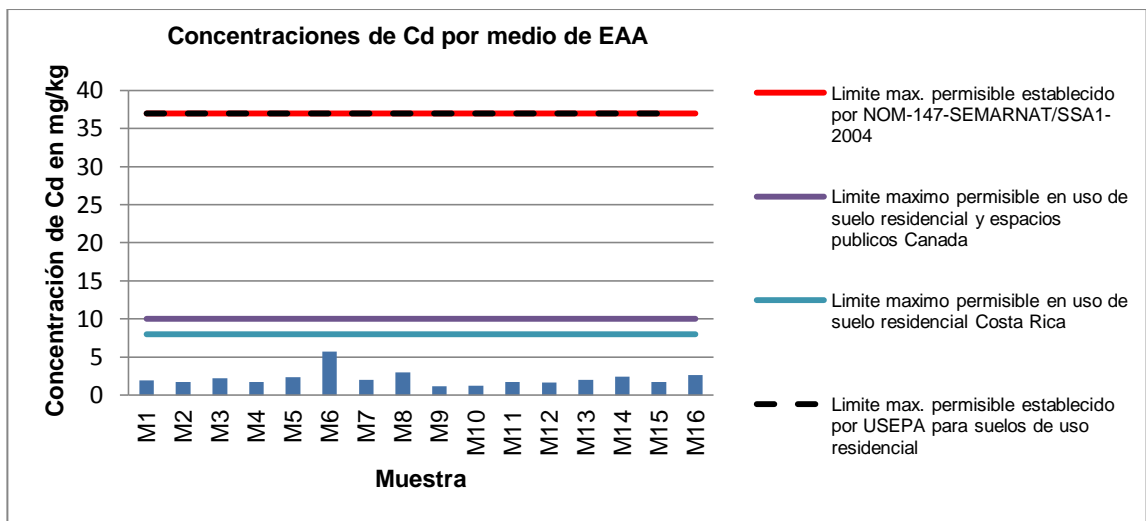


Figura 27. Concentraciones de Cd en mg/kg obtenidas por medio de EAA, para partículas menores que 0.250 mm.

En las figuras 28 y 29 se presentan las concentraciones en mg/ kg de plomo y cadmio, respectivamente, obtenidas por medio de EAA, en partículas

menores que 0.105 mm y se comparan con lo establecido como límite permisible por la normatividad nacional e internacional.

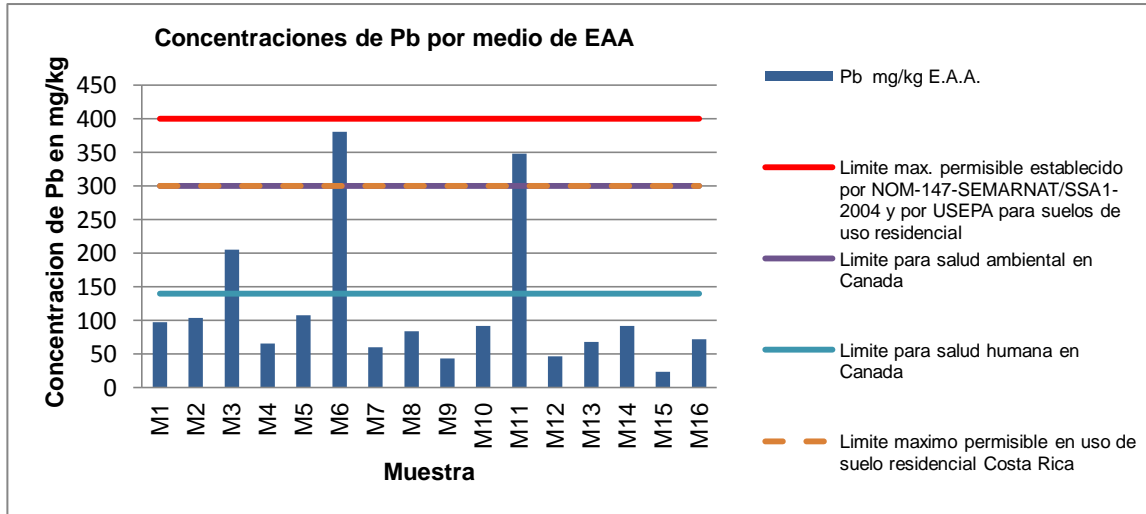


Figura 28. Concentraciones de Pb en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 0.105 mm.

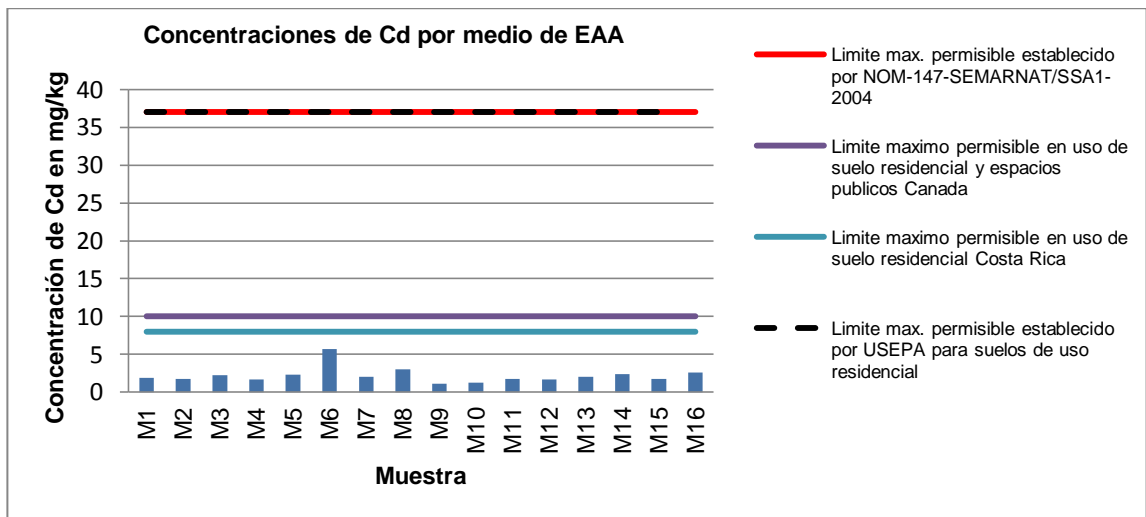


Figura 29. Concentraciones de Cd en mg/kg obtenidas por medio de EAA para partículas menores que 0.105 mm.

En las figuras 24 y 26 se observa que la muestra M6 excede las concentraciones de plomo establecidas como CR_T por la norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, cuyo límite máximo establecido es de 400 mg/kg, así mismo, excede lo establecido por la normatividad Canadiense (Canadian Soil Quality Guidelines) que establece como límite máximo permisible para la salud humana en suelos de uso residencial, una concentración de 140 mg/kg de plomo, y para la salud ambiental 300 mg/kg. El Reglamento sobre concentraciones máximas permisibles de sustancias contaminantes en suelos de Costa Rica establece como límite máximo permisible 300 mg/kg y la EPA, Region 9, Superfund PGR Table, establece como límite máximo permisible 400 mg/kg.

Se anexa un mapa en la figura 30 en el que se indica la ubicación los puntos de muestreo en cada municipio y en la tabla 14 se presentan las concentraciones más altas de Pb obtenidas por medio de EAA, en los distintos tamaños de partículas analizados.

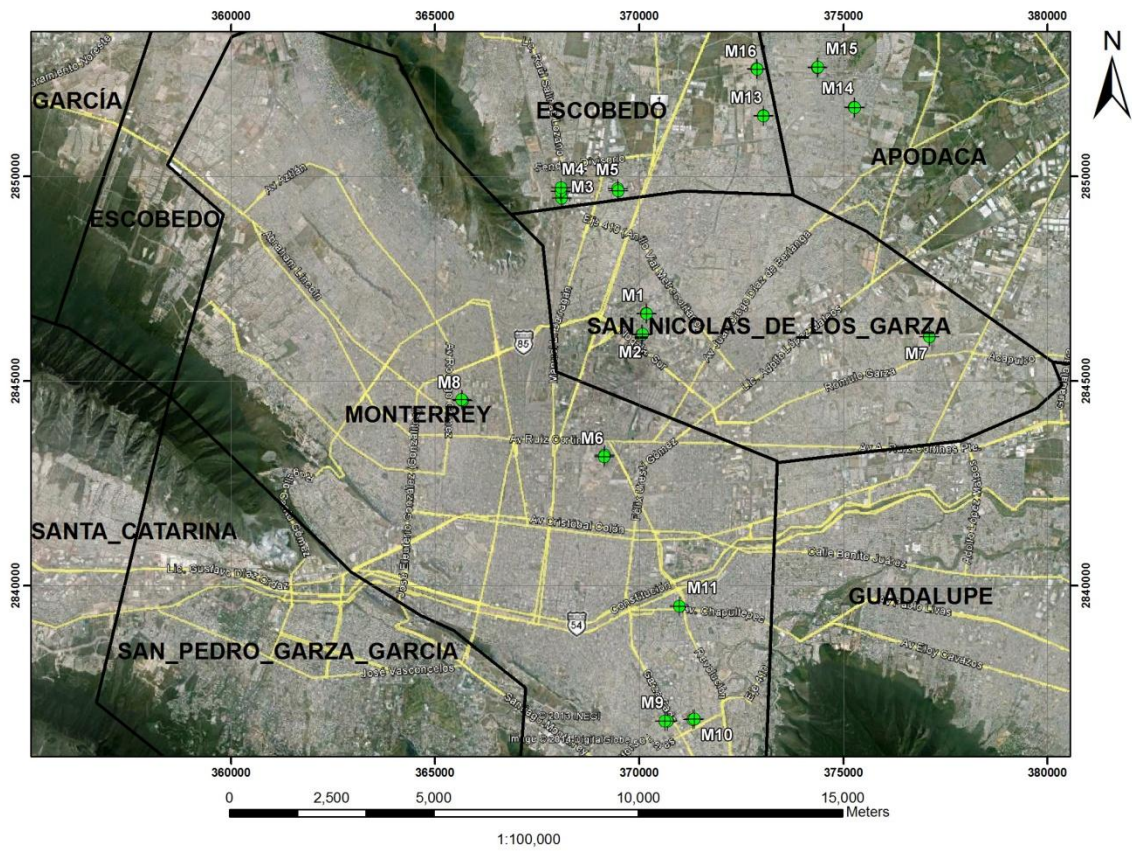


Figura 30. Mapa con ubicación de las muestras.

TABLA 14
CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE Pb Y TAMAÑO DE PARTÍCULA
ANALIZADA

Muestra	Concentración Máx.	Tamaño de partícula analizada
M1	150.43 mg/kg	< 0.250 mm
M2	362.29 mg/kg	< 2 mm
M3	204.98 mg/kg	< 0.105 mm
M4	71.58 mg/kg	< 0.250 mm
M5	156.02 mg/kg	< 2 mm
M6	916.10 mg/kg	< 2 mm
M7	85.33 mg/kg	< 0.250 mm
M8	85.72 mg/kg	< 0.250 mm
M9	52.95 mg/kg	< 0.250 mm
M10	156.46 mg/kg	< 0.250 mm
M11	347.82 mg/kg	< 0.105 mm
M12	46.65 mg/kg	< 0.105 mm
M13	264.88 mg/kg	< 2 mm
M14	121.43 mg/kg	< 2mm
M15	51.31 mg/kg	< 2 mm
M16	76.07 mg/kg	< 2mm

Para el cadmio, la norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece como CR_T 37 mg/kg; la normatividad Canadiense (Canadian Soil Quality Guidelines) establece como límite máximo permisible en uso de suelo residencial y para espacios públicos 10 mg/kg. El Reglamento sobre concentraciones máximas permisibles de sustancias contaminantes en suelos de Costa Rica establece como límite máximo permisible 8 mg/kg y la EPA,

Region 9, Superfund, PGR Table, establece como límite máximo permisible 37 mg/kg. Ninguna de las muestras excedió los límites establecidos nacional e internacionalmente, para el cadmio.

En la tabla 15 se presentan las concentraciones más altas de Cd obtenidas por medio de EAA, en los distintos tamaños de partículas analizados.

TABLA 15
CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE Cd Y TAMAÑO DE PARTÍCULA
ANALIZADA

Muestra	Concentración Máx.	Tamaño de partícula analizada
M1	1.91 mg/kg	< 0.105 mm
M2	2.07 mg/kg	< 2 mm
M3	2.62 mg/kg	< 0.105 mm
M4	2.55 mg/kg	< 0.105 mm
M5	2.33 mg/kg	< 0.250 mm
M6	5.99 mg/kg	< 0.105 mm
M7	2.03 mg/kg	< 0.250 mm
M8	3.07 mg/kg	< 2 mm
M9	1.20 mg/kg	< 0.105 mm
M10	1.45 mg/kg	< 2 mm
M11	1.88 mg/kg	< 0.105 mm
M12	1.65 mg/kg	< 0.250 mm
M13	2.05 mg/kg	< 0.105 mm
M14	2.41 mg/kg	< 0.105 mm
M15	1.88 mg/kg	< 0.105 mm
M16	2.61 mg/kg	< 0.105mm

La tabla 16 presenta una comparación de distintos estudios realizados en diferentes ciudades del mundo, en la que se analizaron las concentraciones de Pb y Cd, en parques y áreas verdes públicas. Los resultados muestran la media obtenida para partículas de 2 mm.

TABLA 16
CONCENTRACIONES DE Pb Y Cd EN ÁREAS PÚBLICAS DIFERENTES
CIUDADES DEL MUNDO

	Parques urbanos en Hong Kong ^a	Áreas urbanas en Palermo ^b	Áreas de juegos infantiles en Nueva Orleans ^c	Polvo en calles de zonas residenciales en Monterrey ^d	Polvo en calles del Área Metropolitana de Monterrey ^e
Pb media en mg/kg	93.4	253	1051	467	300
Cd media en mg/kg	2.18	0.84	N.D.	2	7.5

^a Li y colaboradores (2001)

^b Manta y colaboradores (2002)

^c Mielke y colaboradores (2007)

^d Benin y colaboradores (1999)

^e Valdez y colaboradores (2011)

N.D. No Datos

Li y colaboradores (2001) analizaron 594 muestras de 65 parques urbanos en Hong Kong, China. Utilizaron como método de análisis la espectroscopia de emisión por plasma de acoplamiento inductivo.

Manta y colaboradores (2002) analizaron 70 muestras provenientes de parques y áreas verdes públicas en Palermo, Italia. Utilizaron como método de análisis la espectroscopia de absorción atómica, al igual que en el presente estudio.

Mielke y colaboradores (2007) analizaron 67 muestras provenientes de áreas de juegos infantiles en zonas residenciales de Nueva Orleans, Estados Unidos. Utilizaron como método de análisis la espectroscopia de emisión por plasma de acoplamiento inductivo.

Benin y colaboradores (1999) analizaron 23 muestras de polvo proveniente de las calles en zonas residenciales cercanas a zonas industriales de la ciudad de Monterrey, México. Utilizaron como método de análisis la espectroscopia de absorción atómica.

Valdez y colaboradores (2011) analizaron 30 muestras de polvo proveniente de calles del AMM. Para la recolección de las muestras siguieron un patrón de muestreo radial (aproximadamente cada 60°) partiendo del centro de Monterrey. Utilizaron como método de análisis la espectroscopia de absorción atómica.

Estos dos métodos son métodos usados por la USEPA para el análisis elemental de extractos de suelo debido a su utilidad y su alta fiabilidad. Estos

métodos están bien caracterizados y son ampliamente utilizados para establecer los valores de referencia analíticos para muestras de suelo.

3.4.3 Correlación lineal entre la técnica de XRF portátil y EAA.

Para determinar la correlación existente entre las dos técnicas utilizadas en esta investigación, se graficaron las concentraciones obtenidas por espectroscopia de absorción atómica y por XRF portátil, de cada una de las muestras en las fracciones menores que 2 mm, 0.250 mm y 0.105 mm comparándolos entre sí.

La correlación entre XRF y EAA para cadmio no pudo realizarse debido a que el equipo de XRF no detectó valores cuantificables para este elemento en las muestras de suelo analizadas, como se mencionó anteriormente, los límites típicos de detección de este metal en equipos portátiles de XRF varía entre 10 y 50 mg/kg.

Al realizarse los diagramas de dispersión para mostrar las concentraciones de plomo obtenidas por ambos métodos (XRF y EAA) se calculó el coeficiente de correlación lineal (r), el coeficiente de determinación (R^2) y la ecuación de la línea de tendencia para cada una de las tres fracciones de partículas de suelo analizadas.

En la figura 31 se observa el diagrama de dispersión con las concentraciones de plomo de las 16 muestras de suelo analizadas, encontrando que para la fracción de suelo menor que 2 mm un valor de $r = 0.86$ y $R^2 = 0.75$ que representan una alta correlación positiva entre las dos diferentes técnicas.

Para las partículas menores que 2 mm se observó que el 81.25% de las concentraciones obtenidas por medio de espectroscopia de absorción atómica presentó valores de concentración de plomo más altos que los obtenidos por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil; esto se debe a que la técnica analítica por EAA es más precisa y exacta, ya que se utiliza un proceso de extracción de metales por medio de la digestión ácida para su análisis, en comparación con la técnica de XRF, que se ve afectada por el efecto de la matriz física, debido a la composición heterogénea del suelo, ya que sólo analiza un área superficial limitada, que es, el área que tiene contacto directo con el equipo.

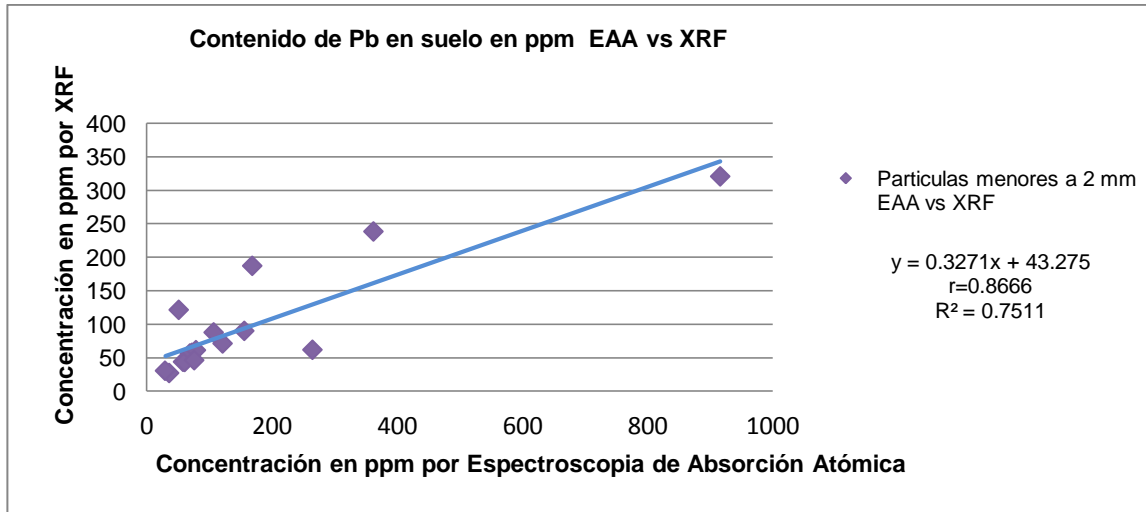


Figura 31. Correlación lineal entre EAA y XRF portátil para partículas menores que 2 mm.

Al realizar el diagrama de dispersión para las partículas menores que 0.250 mm, presentado en la figura 32, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal $r=0.95$ lo que indica que existe una muy alta correlación entre estas dos técnicas y una $R^2= 0.91$ lo que indica una muy buena predicción de la variable Y (XRF).

En un 81.25% de las muestras analizadas por medio de espectroscopia de absorción atómica se obtuvieron concentraciones de plomo más altas que las obtenidas por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil.

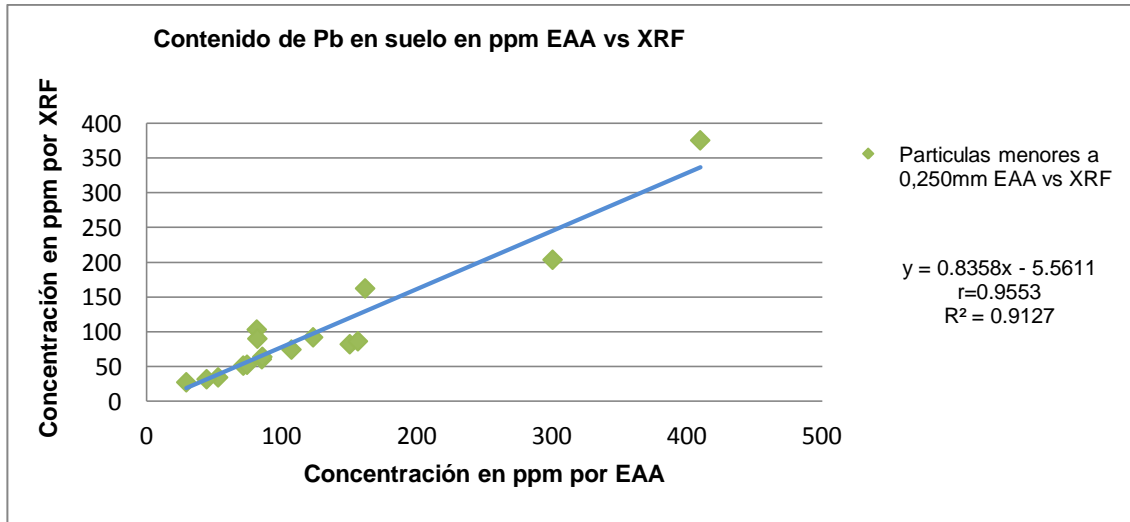


Figura 32. Correlación lineal entre EAA y XRF portátil para partículas menores que 0.250 mm.

Al realizar el diagrama de dispersión para las partículas menores que 0.105 mm, presentado en la figura 33, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal $r=0.96$, lo que indica una muy alta correlación positiva entre estas dos técnicas y una $R^2=0.93$ lo que indica una muy alta predicción de la variable Y (XRF), es el coeficiente de correlación y de determinación más alto que se presentó entre los diferentes tamaños de partículas que fueron analizados, un 87.5% de las muestras presentaron mayores concentraciones de Pb por medio de espectroscopia de absorción atómica que por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil.

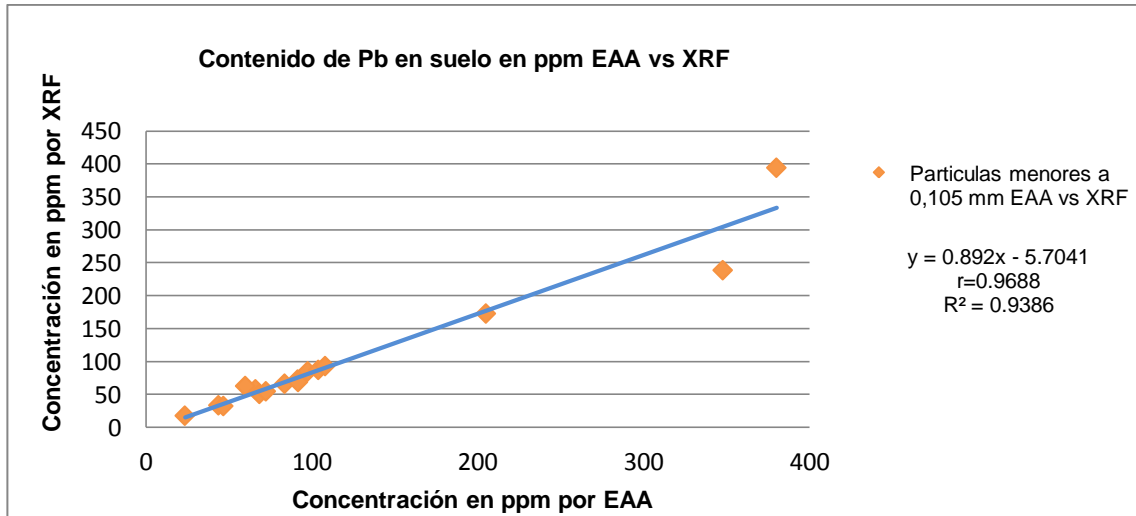


Figura 33. Correlación lineal entre EAA y XRF portátil para partículas menores que 0.105 mm.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

1.- Al realizar el análisis por medio de XRF portátil en las muestras sin cribar, se tomaron dos lecturas para cada una de las muestras, se observaron variaciones entre las lecturas, esto se debe a que el equipo realiza lecturas superficiales y puntuales de la muestra. Las lecturas de las muestras sin cribar y las muestras cribadas por medio de XRF portátil son muy parecidas, por lo que el uso de esta técnica en el campo es factible, sin necesidad de realizar un tratamiento previo de la muestra.

2.- Al analizar las muestras de suelo por medio de espectroscopia de absorción atómica se detectó que en la muestra M6, dos de las fracciones de suelo, la menor que 2 mm y la menor que 0.250 mm, presentaron concentraciones de plomo superiores a las establecidas como CR_T en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (400mg/kg), la normatividad Canadiense (140 mg/kg y 300 mg/kg, Canadian Soil Quality Guidelines), la normatividad de Costa Rica (300 mg/kg, Reglamento sobre concentraciones máximas permisibles de sustancias contaminantes en suelos) y Estadunidense (400 mg/kg, EPA Region 9 Superfund PGR Table) presentando 916.10 mg/kg y 409.92 mg/kg de plomo respectivamente. En el área circundante al parque público en el que se tomó la muestra M6 se encuentra una avenida por la que circula tráfico pesado, una

cementera y una cromadora, por lo que se asume que es de estos lugares de donde proviene la contaminación.

3.- Por medio del análisis por XRF portátil (Apéndice B y C) se detectó que los niveles de cromo, arsénico y vanadio de la muestra M6 también sobrepasaron los límites establecidos como concentraciones de referencia (CR_T) por la normatividad mexicana, los valores más altos para vanadio se presentaron en el tamaño de partícula menor que 0.420 mm, con una concentración de 119 mg/kg, la mayor concentración de cromo se presentó en el tamaño de partícula menor que 0.105 mm, con una concentración de 1098.11 mg/kg y para el arsénico la concentración más alta se presentó en el tamaño de partícula de 0.105 mm con una concentración de 109.10 mg/kg . Al oeste del parque público se encuentra una escuela primaria, los vientos predominantes en el Área Metropolitana de Monterrey son con dirección este - oeste por lo que existe la posibilidad de que las partículas más finas del suelo se movilicen y lleguen a depositarse en la escuela primaria es alta.

4.- Las concentraciones de cadmio obtenidas por medio de espectroscopia de absorción atómica estuvieron por debajo de lo establecido por la normatividad de Canadá (10 mg/kg), Costa Rica (8 mg/kg) y Estados Unidos de América (37 mg/kg) incluyendo la normatividad mexicana (37 mg/kg). La mayor concentración de este metal se encontró en la muestra M6 en el

tamaño de partícula menor que 0.105 mm con una concentración de 5.99 mg/kg.

5.- Debido a la alta correlación que se presentó entre las técnicas de espectroscopia de absorción atómica y la espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil para el análisis de Pb, es posible hacer uso en el campo del equipo de XRF portátil, para la obtención de las concentraciones en un suelo de manera preliminar. Se observaron variaciones en las concentraciones obtenidas por estas dos técnicas, siendo en un 83.33% de las veces mayores las lecturas obtenidas por medio de espectroscopia de absorción atómica (en 40 de las 48 fracciones de muestras cribadas analizadas).

El uso del equipo portátil de XRF en los análisis de suelos es un método semicuantitativo que permite la obtención de concentraciones de distintos metales de manera preliminar. El análisis por medio de XRF portátil es muy rápido, confiable y de bajo costo. Otra de las ventajas que presenta el análisis por medio de XRF portátil es que debido a que realiza las mediciones de forma directa en el suelo, no es necesario tratar a la muestra, como en el caso de la EAA, con ácido nítrico y calor, que produce residuos contaminantes. Dentro de las desventajas de este tipo de análisis se observó que, debido a los altos niveles de detección para realizar la cuantificación de los elementos el equipo, este no fue capaz de detectar las bajas concentraciones de cadmio presentes en las muestras.

Al hacer uso de este tipo de análisis se debe de tener siempre en cuenta que presenta interferencias que están relacionadas con el contenido de humedad del suelo y las características físicas del mismo. El método USEPA 6200 menciona que si la humedad se encuentra entre el 5% y el 20%, el error provocado por esta es mínimo.

RECOMENDACIONES.

1.- Por medio del análisis por XRF portátil de las muestras cribadas por las distintas mallas, se detectó que en el 81.25% (en 13 de las 16 muestras) de las muestras analizadas se presentaron concentraciones de vanadio por encima de las establecidas como CR_T por la norma mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, por lo que se recomienda un estudio enfocado a este metal, para analizar la procedencia y presencia de éste en más parques y plazas públicas, así como un posible estudio de fondo para revisar la posible presencia natural de este metal en el suelo.

2.- Complementar la Normatividad dado que actualmente no existe en los reglamentos de construcción, en la ley ambiental del estado de Nuevo León, en el Reglamento de protección ambiental e imagen urbana de Monterrey, algún artículo en el que se trate el tema de concentraciones de metales en los suelos presentes en las áreas públicas, ni de la calidad de los bancos de material cuando es necesario utilizar suelo para rellenos.

3.- En caso de que se presente contaminación en el suelo presente en las plazas y los parques públicos se podría realizar el recubrimiento de los suelos en las áreas de los juegos para niños. En Estados Unidos de América se cuenta con un manual de seguridad para parques infantiles públicos, emitido por la comisión para la seguridad de los productos de consumo de EUA, dentro

del cual habla sobre el revestimiento con distintos materiales en el área de juegos de los niños, pero no indica la posibilidad de encontrar, en los suelos de estas áreas, cantidades de metales, como el plomo, que pongan en riesgo la salud, sino que se proponen revestimientos para reducir el impacto en caso de caídas.

La Sociedad de Ciencias del Suelo de América (Soil Science Society of América (SSSA)) es una sociedad científica internacional que fomenta la transferencia de conocimientos y prácticas para mantener controlados la calidad de los suelos mundiales, hace mención del Dr. Howard Mielke, que ha colectado cientos de muestras de suelo en áreas urbanas en Estados Unidos de América y realiza pruebas para conocer los contenidos de plomo en las muestras, tras lo cual ha elaborado un mapeo con las concentraciones que se presentan en estas áreas. En una investigación realizada en Nuevo Orleans se informó que utilizaron sedimentos del río Mississippi, con material que contenía 5 mg/kg de plomo, para recubrir suelos urbanos con concentraciones de más de 100 mg/kg de plomo. Se recubrieron con telas geotextiles los suelos contaminados por plomo en las áreas de juego destinadas a los niños, evitando así, que estos tuvieran contacto directo con el suelo. La ciudad de Nuevo Orleans ha cubierto ya 13 parques públicos con estos sedimentos.

4.- Se recomienda vigilar la importación de materiales usados en espacios públicos. En nuestro país no se cuenta con legislación específica

acerca de la calidad de los suelos usados en áreas de juegos de los niños, ni de la calidad necesaria para los suelos que serán utilizados en espacios públicos, ni de requerimientos para los suelos provenientes de bancos de materiales. Se recomienda ampliar los estudios de la calidad de los suelos presentes en las áreas urbanas de acceso público, y de la calidad de los suelos usados para relleno.

5.- Se recomienda legislar la calidad de los suelos que servirán en espacios públicos. Hay que recordar que, en 1988, la PROFEPA estableció criterios interinos para llenar un vacío que existió en materia de suelos para llevar a cabo la remediación de un sitio, para después crear las distintas normas existentes que regulan estas actividades en México. Se recomienda realizar un proyecto parecido, para tener un mayor control sobre la calidad de los suelos en áreas de parques que servirán como espacios públicos, para estar seguros de la calidad del suelo superficial en esos sitios y disponer de criterios o normas ambientales aplicables a este tipo de espacios públicos.

6.- Se recomienda también el uso de flora remedial, pues se ha demostrado que la reducción de niveles de contaminantes en los suelos es posible, con el uso de diferentes especies de plantas. La fitoremediación se basa en el uso de plantas metalofitas, que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con concentraciones altas de metales. Ortega-Ortiz y colaboradores presentan en su investigación

“*fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados*” el uso de algunas de las plantas hiperacumuladoras de metales pesados dentro de las cuales se encuentra la “*thlaspi caerulescens*”, para el Cd, “*Thlaspi rotundifolium*” para el Pb, “*H. katangense*” para el Cu, entre otras. Rodríguez y colaboradores realizaron una investigación usando 6 distintas especies de árboles comunes en el estado de Nuevo León dentro de las que se encontraban las especies “*Cenchrus ciliaris*”, “*Helinathus annuus*” y “*Ricinus communis*”, siendo esta última la que presentó una mayor concentración de Pb. La opción de la fitoremediación para la remoción de los metales en los suelos es una opción viable de bajo costo, que no utiliza reactivos químicos y que no afecta negativamente la estructura del suelo.

7.- Se recomienda el uso de la espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil para la obtención de concentraciones de metales presentes en el suelo de manera preliminar, ya que al realizar los diagramas de dispersión para obtener la correlación existente entre los resultados obtenidos por medio de espectroscopia de absorción atómica y por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil, se observó que la mayor correlación y mayor predicción de la variable Y (XRF) se da en las partículas de tamaño menor que 0.105 mm, obteniendo para este tamaño de partícula un coeficiente r de 0.96 y un coeficiente de determinación R^2 de 0.93, lo que indica una muy alta

correlación entre estas dos técnicas y una muy alta predicción de la variable Y (XRF).

BIBLIOGRAFIA

Albert, A. L., (1997), *Introducción a la Toxicología Ambiental*, Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México.

Almaguer Y., (2012), *Caracterización de los niveles de plomo presentes en el suelo superficial, en la periferia de empresas, en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México.*

ASTM E11, *Standar specification for wire cloth and sieves for testing purposes* (2001)

ATSDR, (2007), *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Public Health Statement for Lead*, Agust.

ATSDR, (2012), *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, , Public Health Statement for Cadmium*, Dicember.

Barrow N., (1998), *Effects of time and temperature on the sorption of cadmium, zinc, cobalt and nickel by an soil*, Australian Journal of Soil Reserch, Melbourne, V. 36, pp 941-950.

Benin, A., Sargent, J., Dalton, M. y Roda, S., (1999), *High concentrations of heavy metals in neighborhoods near ore smelters in northern Mexico*. J. Environmental Health Perspectives, 107:239-248.

Bourg, A., (1995), *Speciation of Heavy metals in soils and groundwater and implications for their natural and provoked mobility*. En: *Heavy Metals, Problems and Solutions*, Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 414 pp.

Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health, 1999.

Cantú, M. P. C. y Reyes,S. R., (2001), *Determinación de niveles de plomo en sangre en mujeres potencialmente gestantes residentes, del Área Metropolitana de Monterrey (Nuevo León, México)*, Revista Salud Pública y Nutrición, Vol. 2. No. 4, Octubre – Diciembre.

Case, J.M., Reif, C. B. y Timko, A.,(1989), Lead in the bottom sediments of Lake Nuangola and fourteen other bodies of water in Luzerne County, Pennsylvania, *Journal of the Pennsylvania Academy of Science*, 63:67-72.

Colombo, L., Mangione, S. y Figlioglia, A., (1998), Soil profile distribution of heavy metals in soil attended with sewage sludge for eight years, *Agr. Med. Inter. J. of Agric. Sci*, 128:273-283.

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, (1999), Estado y calidad de los recursos naturales, *Caracterización analítica*

Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos; Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917; Última reforma publicada DOF 07-07-2014 (2014)

Dantu, X., (2009), Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, *Serie Medio Ambiente. J. Environmental Monitoring and Assessment*, 149:213-222.

Domínguez, J. y Hernández, M., (1997), Toxic metals in urban dust of Mexico City, *Abstracts of the 90th Annual Meeting and Exhibition, AWMA, Toronto Canadá*, pp 14-15.

Echeverría, J.C., Morera, M.T., Mazkiarán, C., Garrido., J.J., (1998), Competitive sorption of heavy metals by soils, Isotherms and fractional factorial experiments, *Environ, Pollution* pp 275-284.

Environmental protection department guidance note, *Guidance for contaminated land assessment and remediation, Hong Kong*

EPA Region 9 Superfund PGR Table (2004)

European Commission Joint Research Center (2007), Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization, pp 284.

Galio, G. y Corey G., 1987, Cadmio, Serie de vigilancia 1, OPS, OMS, México.

Gardi C., Angelini M., Barceló S., Comerma J., Cruz C., Encina A., Jones A., Krasilnikov P., Medoça M., Montanarella L., Muñiz O., Schad P., Vara M., Vargas R., (2014), Atlas de los suelos de America Latina y el Caribe, Comision Europea – Oficina de Publicaciones de la Comision Europea, L-2995 Luxemburg, pp 176.

Goyer, R. A., (1996), Toxic effects of metals, In Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, Ed. C. D. Klaassen, Mc Graw Hill, New York.

Guidelines for Open Space Development and Taking in Charge, (2009), Parks & Landscape Service division Dublin City Council.

Gutierrez – Ginés M. y Ranz I., (2010), Utilización de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X para el estudio de metales pesados en suelos: puesta a punto y aplicación a vertederos, Universidad de Alcala, Madrid.

IGME, (1996), La investigación de suelos contaminado en el IGME, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España, pp 2-7.

INEGI, (2001), Estadísticas del medio ambiente de la Zona Metropolitana de Monterrey.

INEGI, (2010), Estadísticas de población total de la Zona Metropolitana de Monterrey.

Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal INAFED, (2005), Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México.

International Atomic Energy Agency, In situ applications of X ray fluorescence techniques, (2003), Final report of a coordinate research project, 2000-2003. 258 pp.

Kelly J., Thornton I., Simpson P.R., (1996), Urban Geochemistry: a study of influence of anthropogenic activity on heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain, *Appl. Geochem*, 11: 363-370.

Kirbag ZF., Munzuroglu O., (2003), Effects of cadmium (Cd⁺⁺) and mercury (Hg⁺⁺) on the growth of root, shoot and leaf of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings, *Cukurova University J. Sci.* 24 (1): 64-75.

Laegreid M., Bockman O., Kozak L., (1999), Sorption and desorption of cadmium for soils: influence of phosphate, *Soil Science*, Baltimore, v. 164, pp 888-898.

Lamb D., Ming H., Megahara M., y Nadu R., (2009), Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) partitioning bioaccessibility in uncontaminated and long-term contaminated soils *Journal of Hazardous Materials*, pp 1150-1158.

Lara Mireles J.L., (2006), Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados, *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol.29.

Lasat M., (2001), The uses of plants for removal of toxic metal from contaminated soil, USEPA.

Ley Ambiental del estado de Nuevo León (2014), Decretada por el Honorable Congreso del Estado de Nuevo León.

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente; Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988; Última reforma publicada DOF 16-01-2014 (2014)

Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos: Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003; Última reforma publicada DOF 04-06-2014 (2014)

Li X., Poon C., Liu P., (2001), Heavy metal contamination of urban soils and street dust in Hong Kong, *Applied Geochemistry* 16: 1361-1368.

Lombardero, J. L., (2009), Manual para la formación en medio ambiente, Editorial Lex Nova. España, 808 pp.

Lopez-Artiguez M., Repetto M., (1995), Estado actual de la toxicología del cadmio, Toxicología avanzada, Capítulo 10, Ediciones Diaz de Santos S.A., Madrid España, pp 393-405.

Loredo, J., (2003), Instrumentación de campo para la detección y cuantificación de metales en suelos, Operatividad de la instrumentación en las aguas subterráneas, suelos contaminados y riesgos ecológicos, IGME Madrid, ISBN: 54-7840-485-6.

Lugo L., (2013), Derecho de los niños y espacios jugables. La reconceptualización del juego y el niño como estrategia para la definición de un nuevo paradigma de espacios públicos abiertos a escala vecinal para la ciudad de Puebla. Tesis para obtener el grado de Doctor en Procesos Territoriales, Universidad Autónoma de Puebla.

Madrid L., Diaz-Barrientos E., (1992), Influence of carbonate on the reaction of heavy metals in soils, Journal of Soils Science, pp 709 – 7021.

Manual para la formación en medio ambiente, 1° edición, editorial Lex Nova, P.p 380, Noviembre del (2008)

Manual de seguridad para Parques Infantiles Públicos, Comisión para la Seguridad de los Productos de Consumo de EE.UU., Publicación #325s, Noviembre (2010)

Manta D., Angelone M., Bellanca A., Neri R., Sprovieri M., (2002), Heavy metals in urban soils: a case of study from the city of Palermo (Sicily), Italy, The Science of the environment 300: 229-243.

Manzanares, E., Vega, H., Salas, M., Hernández, V., Letechipia de León, C. y Bañuelos, R., (2006), Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo, Zacatecas, México, Salud pública de México, 48:212-219.

Martínez, C. E. y Motto, H.L., (2000), “Solubility of lead, zinc and copper to mineral soils”, *Environ, Pollut*, 107:153.

Martínez H. E., Fuentes E. J., Acevedo H. E., (2008), Carbón orgánico y propiedades del suelo, *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, R.C. Suelo Nutr. Veg. V.8, N.1.

Markey, A., Clark, C., Succop, P. y Roda, S., (2008), Determination of the feasibility of using a portable X-ray fluorescence (XRF) analyzer in the field for measurement of lead content of sived soil, *National Environmental Health Association (NEHA)*.

Matte, T., (2003), Efectos del plomo en la salud de la niñez, *Salud Publica de México*, V. 45, No.2, 2003, p.p. 220 – 224.

McBride M., Sauve S., Hendershot W., (1997), Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils, *European Journal of Soil Science* Vol 48.

Meléndez, C. y Camacho, A., (2009), Espectrometría de fluorescencia de rayos X, *Facultad de ciencias químicas/Universidad Autónoma de Chihuahua, Aventuras del pensamiento*, Enero-Marzo pp.,1 – 4.

Micó, C., Peris, M., Recatalá, L. y Sánchez, J., (2007), Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region, *J. Science of the Total Environment* 378:13-17.

Mielke H., (1994), Lead in New Orleans soils: new images of an urban environment, *Environmental geochemistry and Health*, Xavier Institute of Bioenvironmental Toxicology, Xavier University, pg 123-128.

Mielke H., Powell E., Gonzales C., Mielke P., (2007), Potential lead on play surfaces: Evaluation of the “PLOPS” sampler as a new tool for primary lead prevention, *Enviromental Research*, Vol.103, Issue 2, pg 154-159.

Morado M. C., (2003), Empresas mineras y metalúrgicas en Monterrey, México. Parte II., *Ingenierías de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, Vol. VI No. 20, Julio-Septiembre.

Moreno R.H., Gisbert B. J., Ibañez A. S., (2011), Sulfatos, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.

Morton-Brenea O., (2006), Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la ciudad de México, Revista especializada en ciencias Químico-Biológicas, Instituto de geofisix de la UNAM, pg. 45 – 47.

Naidu R., Bolan N.S., Kookana R.S., (2006), Tiller K.G. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils, European Journal of Soil Science, Vol. 45.

Navarro S., Navarro G., (2003), Química Agrícola, Madrid, Ediciones Mundi-Prensa.

New Jersey departmen of healt, Hoja informativa sobre sustancias peligrosas, p.p. 1-6, (2009)

Nogawa, K., Honda, R., Kido, T., Tsuritani, Y., Yamada, Y., Ishizak, M. y Yamaya, H., (1989), A dose response analysis of cadmium in general environment with special reference to total cadmium intake limit. J. Environ, Res. 78:7-16.

NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. Publicada en el Diario Oficial de la Federación, México, Secretaría de Economía, Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, el 5 de septiembre de (2006)

NOM-021-SEMARNAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, México, Secretaría de Economía, Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, 31 de diciembre de (2012)

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 Criterios para determinar concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, Secretaría de

Economía. Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, México, el 2 de marzo de (2007)

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, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, México, Secretaría de Economía, Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas el 18 de octubre de (2002)

NRDC, Natural Resources Defence Council, (1993), Our children at risk, Chapter 3 <http://www.nrdc.org/health/kids/ocar/chap3.asp>

OPS, Gobierno de Chile, y Ministerio de Salud Presidencia de la Nación, Manual de Salud Ambiental Infantil, para enseñanza de grado en Escuelas de Medicina, Santiago de Chile, pg 155, (2009)

Paradelo, R., Villada A., Barral, M.T., (2011), Reduction of the short-term availability of copper, lead and zinc in a contaminated soil amended with municipal solid waste compost, Journal of Hazardous Materials 188 98–104.

Prokop, G, Edelgaard, I, Schamann, M. y Bonilla A., (2000), Management of contaminated sites in Western Europe, European Environment Agency, Topic Report, 123/1999.

Ramírez A., (2000), Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos, Anales de la Facultad de Medicina, Vol. 63, No. 001, pg 51-64.

Reglamento de la Ley ambiental del Estado de Nuevo León, (2008)

Reglamento de Protección Ambiental e Imagen Urbana de Monterrey

Reglamento sobre concentraciones máximas permisibles de substancias contaminantes en suelos de Costa Rica

Remediation goals for soil, Environmental Protection Department Guidance Note, Guidance for contaminated land assessment and remediation www.edp.gov.hk

Revitt, D. M.; Hamilton, R. S. y Warren, R. S., (1990), The transport of heavy metals within a small urban catchment, *J. The Science of the Total Environment*, 93: 359-373.

Reyes M., Avendaño G., (2012), Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo, *Rev. Esc. Adm. Neg.*, No. 72, enero - junio, pg 66-75.

Rodríguez M. J., Lopez A. M., Grau C. J., Metales pesados, (2009), *Materia Orgánica y otros Parámetros de los suelos Agrícolas y Pastos de España*, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Pp. 53- 182.

Rodríguez Ortiz J.C., Rodríguez Fuentes H., de Lira Reyes G., Martínez de la Cerda J.M., (2006), Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados, *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 29 núm. 3, pg. 239-245, julio-septiembre

Sanin, L.H., González, C. T., Romieu, I. y Hernández, A. M., (1998), Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud, *Revista Salud Pública de México*, 40:359-368.

Savat, J., (1982), Common and uncommon selectivity in the process of fluid transportation: field observations and laboratory experiments on bare surfaces. *Catena supplement 1*: 139-160.

Schnaas, M. De L., (1998), Plomo y nutrición, *Cuadernos de Nutrición*, Ene-Feb. Vol. 21: No. 1: 9-12.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Metales Pesados, Agosto (2009), <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Mayo (2014), Lluvia acida, <http://www.inecc.gob.mx/calibre-informacion-basica/554-calibre-lluvia-acida>

Servicio Geológico Mexicano (SGM). Panorama Minero del estado de Nuevo León, Septiembre (2011), www.sgm.gob.mx
<http://www.sgm.gob.mx/pdfs/NUEVOLEON.pdf>

Skoog D. A., Holler F.J., Crouch S. R., (2001), Principios de análisis instrumental, 6ta edición, Cengage Learning, México.

Soil Science Society of America (2013) www.soils.org

Torres, A. O., Garza, O. L., Abrego, M. V., Bernal, H. M y Piñero, L. A., (2001), Contaminación ambiental y salud, Parte I. Plomo: Exposición en niños y la importancia de su detección, Revista Ciencia UANL IV(1): 76-81.

USEPA, Air quality criteria for lead, Research Triangle Park, NC: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office. EPA 600-08-83-028F, (1986)

USEPA, XRF Technologies for measuring trace elements in soil and sediment, USEPA Superfund innovative technology evaluation program, Office of research on development, Washington D.C., February (2006)

USEPA 3051 A., Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils, (1998)

USEPA 9045, Method pH in liquid and soil, Third update to the third edition of SW 846, Fed. Regis. 60, 37977, (2000)

USEPA, Method 6200, Field portable X-Ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment, (2007)

Valdés, P. F y Cabrera, M., (1999), La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila México, en Defensa del Ambiente, A. C. Texas Center for Policy Studies y CILADHAC, pp 50.

Valdez C. E., Hinojosa R. L., Alfaro B. J., Elizondo M. P., Acuña A. K., (2011) Contamination and chemical fractionation of heavy metals in street dust from the Metropolitan Area of Monterrey, México., Environmental Technology, Volumen 32, Issue 10, pp 1163 - 1172

Velasco T., de la Rosa P., Solórzano O., y Volke S., 2004, Primer informe del Proyecto: Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales, SEMARNAT.

Vila, A., Sedano, M., Lopez, A., Juan, A., Correlación lineal y análisis de regresión, Universidad oberta de Catalunya, pp 10-11, <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/RegresionLineal.pdf>

Volke, S. T., Velasco Trejo A., de la Rosa, P. D., 2005, Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación, Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., pp 31-35.

APENDICE A

LEGISLACIÓN MEXICANA EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS

TABLA 17

LEGISLACIÓN MEXICANA EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS

Legislación aplicable	
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	
Artículo 25.-	Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución. Bajo criterios de equidad social, productividad y sustentabilidad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.
Artículo 27.-	La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad.
Artículo 73.-	El congreso tiene facultad: XXIX.- Para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente, preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Tabla 17 (Continúa)

Artículo 115.-	Los estados adoptarán, para su régimen interior, la forma de gobierno republicano, representativo, democrático, laico y popular, teniendo como base de su división territorial y de su organización política y administrativa, el municipio libre, conforme a las bases siguientes: V.- Los Municipios, en los términos de las leyes federales y Estatales relativas, estarán facultados para: Formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal; Participar en la creación y administración de sus reservas territoriales; Autorizar, controlar y vigilar la utilización del suelo, en el ámbito de su competencia, en sus jurisdicciones territoriales; Intervenir en la regularización de la tenencia de la tierra urbana; Participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas y en la elaboración y aplicación de programas de ordenamiento en esta materia;
LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS	
Artículo 1.-	Sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para: X. Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetara su remediación
Artículo 6.-	La federación, entidades federativas y los municipios, ejercerán sus atribuciones e materia de prevención de la generación, aprovechamiento, gestión integral de los residuos, de prevención de la contaminación de sitios y su remediación, de conformidad con la distribución de competencias prevista en la Ley y en otros ordenamientos legales
Artículo 7.-	II. Son facultades de la federación expedir reglamentos, normas oficiales mexicanas y demás disposiciones jurídicas para regular el manejo integral de los residuos peligrosos, su clasificación, prevenir la contaminación de sitios o llevar a cabo su remediación cuando ello ocurra

Tabla 17 (Continúa)

Artículo 17.-	Los residuos de la industria minera-metalúrgica provenientes del minado y tratamiento de minerales tales como jales, residuos de los patios de lixiviación abandonados, así como los metalúrgicos provenientes de los procesos de fundición, refinación y transformación de metales, que se definirán en forma genérica en el reglamento según lo estipulado el artículo 7 fracción III de esta Ley, son de regulación y competencia federal. Podrán disponerse finalmente en el sitio de su generación; su peligrosidad y manejo integral, se determinará conforme a las normas oficiales mexicanas aplicables, y estarán sujetos a los planes de manejo previstos en esta Ley.
Artículo 31.-	Estarán sujetos a un plan de manejo: IV.- Acumuladores de vehículos automotores conteniendo plomo V.- Baterías eléctricas a base de mercurio o de níquel-cadmio VII.- Aditamentos que contengan mercurio, cadmio o plomo
Artículo 68.-	Quienes resulten responsables de la contaminación de un sitio, así como de daños a la salud como consecuencia de ésta, estarán obligados a reparar el daño causado, conforme a las disposiciones legales correspondientes. Toda persona física o moral que, directa o indirectamente, contamine un sitio u ocasione un daño o afectación al ambiente como resultado de la generación, manejo o liberación, descarga, infiltración o incorporación de materiales o residuos peligrosos al ambiente, será responsable y estará obligada a su reparación
Artículo 69.-	Las personas responsables de actividades relacionadas con la generación y manejo de materiales y residuos peligrosos que hayan ocasionado la contaminación de sitios con éstos, están obligadas a llevar a cabo las acciones de remediación conforme a lo dispuesto en la presente Ley y demás disposiciones aplicables.
Artículo 71.-	No podrá transferirse la propiedad de sitios contaminados con residuos peligrosos, salvo autorización expresada de la Secretaría.
Artículo 77.-	Las acciones en materia de remediación de sitios, y de reparación y compensación de daños ocasionados al ambiente, previstas en este capítulo, se llevarán a cabo de conformidad con lo que señale el reglamento y a lo previsto por la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.

Tabla 17 (Continúa)

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE	
Artículo 5.-	Son facultades de la Federación: XIV.- La regulación de las actividades relacionadas con la exploración, explotación y beneficio de los minerales, substancias y demás recursos del subsuelo que corresponden a la nación, en lo relativo a los efectos que dichas actividades pueden generar sobre el equilibrio ecológico y el ambiente
Artículo 8.-	Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades: V.- La creación y administración de zonas de preservación ecológica de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos y demás áreas análogas previstas por la legislación local
Artículo 11.-	La Federación, por conducto de la Secretaría, podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación, con el objeto de que los gobiernos del DF o de los Estados, con la participación, en su caso, de sus Municipios, asuman las siguientes facultades, en el ámbito de su jurisdicción territorial: IV.- La protección y preservación del suelo, la flora y la fauna silvestres, terrestre y los recursos forestales
Artículo 134.-	Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios: I.- Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo; II.- Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos; III.- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reusó y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes; IV.- La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar, y V.- En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable.

Tabla 17 (Continúa)

Artículo 135.-	Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran en los siguientes casos: I.- La ordenación y regulación del desarrollo urbano; II.- La operación de los sistemas de limita y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios; III.- la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen; IV.- El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.
Artículo 139.-	Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.
Artículo 140.-	La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Economía.
Artículo 152 BIS.-	Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el periodo o zona respectiva.
NORMAS MEXICANAS	
NMX-AA-132-SCFI-2006	Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides y manejo de la muestra
NORMAS OFICIALES MEXICANAS	
NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004	Establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelo contaminados por As, Ba, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Ti y V

Tabla 17 (Continua)

REGLAMENTO DE LA LEY AMBIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN 02/2008	
Artículo 188.-	La Agencia integrará y mantendrá actualizado el inventario de sitios contaminados por residuos, que contendrá al menos los datos siguientes: I. Área geográfico; II. Vías de comunicación; III. Geología e hidrografía; IV. Áreas de protección o restricción legal; V. Localización de pozos de abastecimiento de agua, mapas de profundidad del nivel de agua subterránea y perímetros de protección de los pozos; VI. Mapas de uso y localizaciones de los sitios contaminados o parcialmente contaminados; y, VII. Localización de cuerpos de agua o captación de aguas superficiales
LEY AMBIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN 06/2014	
Artículo 122.-	Para el aprovechamiento sustentable del suelo y su vegetación se considerarán los siguientes criterios; II. El uso del suelo debe hacerse de manera en que éste mantenga su integridad física y su capacidad productiva;
LEY AMBIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN 06/2014	
Artículo 167.-	Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios: II.- En los suelos contaminados por la presencia de minerales o residuos de competencia estatal, así como por el aprovechamiento de minerales y sustancias no reservadas a la Federación, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones originales, de tal manera que puedan ser utilizadas cualquier tipo de actividad prevista en los planes de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulten aplicables, sujetándose en todo caso a las recomendaciones que dicte la Secretaría.

APENDICE B

CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL PARA MUESTRAS SIN CRIBAR EN PARTES POR MILLÓN PPM

TABLA 18

CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL, PARA MUESTRAS SIN CRIBAR EN PARTES POR MILLÓN PPM

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M1	N.D.	131	N.D.	78.2	15.20	N.D.	N.D.	64.7	N.D.	61.8
M2	N.D.	98.21	N.D.	94.7	N.D.	N.D.	N.D.	140.2	N.D.	78.2
M3	N.D.	N.D.	N.D.	124.7	11.50	N.D.	N.D.	137.5	N.D.	77.8
M4	N.D.	151.26	N.D.	103.7	N.D.	82.5	N.D.	56.3	N.D.	58.4
M5	N.D.	157.57	N.D.	88.2	N.D.	N.D.	N.D.	91.6	N.D.	76.1
M6	67.48	148.84	N.D.	516.1	12.40	76.7	N.D.	321.1	5.4	102.6
M7	15.37	108.37	N.D.	88.4	N.D.	52.1	N.D.	60.9	4.5	70.2
M8	10.69	176.85	N.D.	92.5	N.D.	59.2	N.D.	54.6	N.D.	84.6
M9	10.31	131.1	N.D.	101.1	N.D.	N.D.	N.D.	32.6	N.D.	90.6
M10	11.68	116.03	N.D.	113	N.D.	N.D.	N.D.	77.2	N.D.	118.6
M11	24.51	160.33	N.D.	80.4	N.D.	54.8	N.D.	93.2	N.D.	101.6
M12	11.39	107.83	N.D.	72.5	N.D.	59.6	N.D.	23.1	4.53	78.6
M13	11.22	186.15	N.D.	125.5	N.D.	64.6	N.D.	95.2	N.D.	63.3
M14	22.45	208.52	N.D.	187.9	N.D.	57	N.D.	58.1	N.D.	62.4
M15	11.37	133.88	N.D.	73.5	N.D.	62.4	N.D.	14.3	N.D.	54
M16	N.D.	79.87	N.D.	195.7	N.D.	N.D.	N.D.	61.9	N.D.	59.5

APENDICE C

CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL PARA MUESTRAS CRIBADAS POR LAS MALLAS #20 (0,840 mm), #40 (0,420 mm), #60 (0,250 mm), #100 (0,149 mm), #140 (0,105 mm) Y LO QUE PASA LA MALLA #140 EN PARTES POR MILLÓN PPM

**CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL, PARA
MUESTRAS CRIBADAS EN PARTES POR MILLÓN PPM**

TABLA 19

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M1 R. #20	16.81	162.82	N.D.	75.86	11.2	55.08	N.D.	56.74	N.D.	65.01
M1 R. #40	10.15	149.75	N.D.	91.48	11.52	58.56	N.D.	88.12	N.D.	69.80
M1 R. #60	13.36	103.15	N.D.	82.65	N.D.	N.D.	N.D.	75.78	N.D.	75.21
M1 R. #100	15.06	98.52	N.D.	70.86	N.D.	70.8	N.D.	82.43	N.D.	89.92
M1 R. #140	13.1	102.58	N.D.	80.02	11.97	58.57	N.D.	76.49	N.D.	80.66
M1 P. #140	N.D.	225.7	N.D.	83.94	N.D.	61.1	N.D.	85.36	N.D.	73.37

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 20

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M2 R. #20	N.D.	245.7	N.D.	71.09	N.D.	54.22	N.D.	238.89	N.D.	79.09
M2 R. #40	20.20	196	N.D.	86.44	N.D.	66.20	N.D.	189.62	N.D.	78.56
M2 R. #60	10.90	203.51	N.D.	88.46	11.40	78.54	N.D.	147.76	N.D.	91.45
M2 R. #100	9.80	233.26	N.D.	71.70	11.59	60.50	N.D.	103.52	N.D.	52.37
M2 R. #140	11.30	250.27	N.D.	66.32	11.80	65.65	N.D.	102.58	N.D.	117.37
M2 P.#140	13.40	217.30	N.D.	69.70	N.D.	65.20	N.D.	87.61	N.D.	100.28

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 21

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M3 R. #20	N.D.	142.20	N.D.	110.70	N.D.	57.90	N.D.	187.60	N.D.	100.10
M3 R. #40	20.10	69.60	N.D.	103.10	N.D.	N.D.	20.10	148.70	N.D.	67.10
M3 R. #60	N.D.	N.D.	N.D.	126.00	N.D.	N.D.	N.D.	159.00	N.D.	76.01
M3 R. #100	N.D.	73.50	N.D.	146.60	N.D.	N.D.	N.D.	162.70	N.D.	75.40
M3 R. #140	N.D.	105.40	N.D.	136.80	N.D.	N.D.	N.D.	175.40	N.D.	91.60
M3 P. #140	N.D.	211.90	N.D.	109.40	N.D.	59.97	N.D.	173.20	N.D.	94.00

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

**CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL, PARA
MUESTRAS CRIBADAS EN PARTES POR MILLÓN PPM**

TABLA 22

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M4 R. #20	14.90	428.90	N.D.	59.08	17.20	65.55	N.D.	44.39	N.D.	61.70
M4 R. #40	9.40	258.53	N.D.	72.99	10.90	56.25	N.D.	52.33	N.D.	76.39
M4 R. #60	N.D.	217.55	N.D.	73.02	10.50	28.50	N.D.	48.90	N.D.	84.30
M4 R. #100	13.20	173.85	N.D.	71.03	9.90	57.17	N.D.	51.68	N.D.	78.32
M4 R. #140	12.40	184.10	N.D.	68.33	N.D.	67.24	N.D.	51.40	4.13	83.06
M4 P. #140	10.90	254.50	N.D.	75.72	12.90	56.44	N.D.	58.08	N.D.	92.13

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa # = Numero de malla

TABLA 23

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M5 R. #20	15.8	332.60	N.D.	102.08	14.10	57.22	N.D.	90.53	N.D.	62.00
M5 R. #40	N.D.	199.50	N.D.	93.09	N.D.	60.64	N.D.	99.03	N.D.	81.10
M5 R. #60	N.D.	185.88	N.D.	74.35	N.D.	58.04	N.D.	109.75	4.96	78.33
M5 R. #100	18.2	178.70	N.D.	73.63	N.D.	66.15	N.D.	92.38	N.D.	76.10
M5 R. #140	N.D.	201.13	N.D.	82.90	11.30	58.38	N.D.	83.88	N.D.	88.03
M5 P. #140	N.D.	190.40	N.D.	62.40	N.D.	59.58	N.D.	93.38	N.D.	96.85

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa # = Numero de malla

TABLA 24

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M6 R. #20	64.10	215.35	N.D.	626.10	N.D.	72.05	N.D.	321.15	3.43	103.28
M6 R. #40	77.90	308.15	N.D.	798.80	N.D.	89.60	N.D.	394.33	1.46	119.25
M6 R. #60	64.25	205.73	N.D.	858.28	13.20	81.35	N.D.	352.83	4.64	116.78
M6 R. #100	68.75	262.13	N.D.	1038.30	N.D.	90.98	N.D.	375.85	5.46	112.63
M6 R. #140	109.10	302.30	N.D.	788.73	12.70	72.39	N.D.	384.38	1.27	100.50
M6 P. #140	74.75	222.30	N.D.	1098.10	15.20	89.73	N.D.	394.65	5.81	99.68

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa # = Numero de malla

**CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL, PARA
MUESTRAS CRIBADAS EN PARTES POR MILLÓN PPM**

TABLA 25

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M7 R. #20	11.90	170.08	N.D.	78.60	N.D.	58.52	N.D.	44.10	N.D.	54.40
M7 R. #40	11.80	165.40	N.D.	85.98	11.90	70.2	N.D.	76.20	N.D.	68.90
M7 R. #60	15.30	148.60	N.D.	80.53	N.D.	N.D.	N.D.	62.95	4.30	62.20
M7 R. #100	N.D.	290.00	N.D.	48.98	10.40	61.40	N.D.	60.90	N.D.	78.30
M7 R. #140	9.30	268.60	N.D.	73.78	N.D.	N.D.	N.D.	46.48	4.54	94.50
M7 P. #140	16.80	234.00	N.D.	88.98	N.D.	53.50	N.D.	63.15	N.D.	91.20

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 26

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M8 R. #20	16.70	271.03	N.D.	52.27	16.50	68.36	N.D.	57.78	N.D.	103.10
M8 R. #40	18.30	269.30	N.D.	57.60	N.D.	70.43	N.D.	53.10	4.61	105.55
M8 R. #60	15.60	276.08	N.D.	71.34	12.00	59.29	N.D.	61.08	N.D.	111.48
M8 R. #100	7.10	213.30	N.D.	67.55	8.30	56.97	N.D.	64.30	N.D.	131.78
M8 R. #140	15.10	232.55	N.D.	84.92	N.D.	64.86	N.D.	65.95	N.D.	123.53
M8 P. #140	15.30	232.73	N.D.	66.73	13.10	26.99	N.D.	66.65	N.D.	109.30

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 27

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M9 R. #20	12.80	247.08	N.D.	52.61	10.00	74.19	N.D.	27.63	N.D.	136.90
M9 R. #40	9.70	236.40	N.D.	79.90	9.90	64.60	N.D.	32.08	4.40	148.80
M9 R. #60	10.90	252.80	N.D.	55.45	N.D.	60.26	N.D.	33.10	4.06	152.70
M9 R. #100	16.50	228.78	N.D.	62.20	N.D.	N.D.	N.D.	34.73	N.D.	128.00
M9 R. #140	11.60	166.08	N.D.	77.80	10.20	59.59	N.D.	31.53	N.D.	147.90
M9 P. #140	N.D.	176.80	N.D.	89.45	N.D.	59.13	N.D.	33.85	N.D.	142.10

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

**CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL, PARA
MUESTRAS CRIBADAS EN PARTES POR MILLÓN PPM**

TABLA 28

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M10 R. #20	19.30	218.45	N.D.	82.10	14.00	56.43	N.D.	88.20	N.D.	126.13
M10 R. #40	14.10	208.43	N.D.	61.28	N.D.	67.50	N.D.	90.00	N.D.	141.85
M10 R. #60	12.50	186.63	N.D.	61.59	N.D.	63.95	N.D.	88.20	N.D.	134.45
M10 R. #100	13.70	172.95	N.D.	66.50	N.D.	68.31	N.D.	86.70	N.D.	157.23
M10 R. #140	9.70	182.88	N.D.	66.38	N.D.	58.46	N.D.	84.55	N.D.	141.60
M10 P. #140	10.70	181.58	N.D.	69.28	11.10	64.60	N.D.	72.90	N.D.	148.95

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 29

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M11 R. #20	27.00	145.65	N.D.	53.85	N.D.	54.10	N.D.	61.70	N.D.	97.10
M11 R. #40	20.00	170.90	N.D.	62.85	N.D.	34.90	N.D.	86.80	N.D.	82.50
M11 R. #60	28.50	149.90	N.D.	55.30	N.D.	26.40	N.D.	190.00	2.89	99.00
M11 R. #100	35.00	180.85	N.D.	46.85	N.D.	N.D.	N.D.	204.00	N.D.	102.00
M11R. #140	13.00	138.10	N.D.	156.25	N.D.	N.D.	N.D.	213.00	N.D.	101.00
M11 P. #140	11.00	133.55	N.D.	137.65	N.D.	N.D.	N.D.	239.00	N.D.	77.20

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 30

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M12 R. #20	N.D.	78.10	N.D.	88.78	N.D.	N.D.	N.D.	31.00	N.D.	57.80
M12 R. #40	10.40	127.90	N.D.	85.98	N.D.	61.88	N.D.	31.30	4.31	71.90
M12 R. #60	14.80	76.83	N.D.	93.43	N.D.	N.D.	N.D.	31.40	N.D.	59.60
M12 R. #100	N.D.	102.00	N.D.	84.43	14.30	55.10	N.D.	32.10	N.D.	64.50
M12 R. #140	13.60	161.75	N.D.	78.48	N.D.	52.00	N.D.	32.00	4.90	73.30
M12 P. #140	10.00	101.68	N.D.	97.45	11.20	N.D.	N.D.	32.70	N.D.	77.00

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

**CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL, PARA
MUESTRAS CRIBADAS EN PARTES POR MILLÓN PPM**

TABLA 31

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M13 R. #20	10.60	115.30	N.D.	104.60	N.D.	57.50	N.D.	62.32	N.D.	67.40
M13 R. #40	8.70	228.90	N.D.	98.88	6.30	51.10	N.D.	58.93	N.D.	76.70
M13 R. #60	22.80	66.60	N.D.	122.93	8.75	N.D.	N.D.	128.83	N.D.	72.70
M13 R. #100	N.D.	145.80	N.D.	127.93	13.30	50.70	N.D.	90.43	N.D.	92.18
M13 R. #140	N.D.	106.50	N.D.	132.45	13.10	55.00	N.D.	74.13	N.D.	89.23
M13 P. #140	N.D.	215.30	N.D.	115.90	7.30	54.80	N.D.	51.15	3.92	82.20

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 32

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M14 R. #20	N.D.	201.80	N.D.	157.30	13.40	64.20	N.D.	71.73	N.D.	65.70
M14 R. #40	11.00	86.30	N.D.	186.68	12.90	N.D.	N.D.	67.78	N.D.	69.45
M14 R. #60	18.60	137.10	N.D.	187.70	N.D.	N.D.	N.D.	97.28	N.D.	69.20
M14 R. #100	12.60	87.10	N.D.	173.55	11.70	N.D.	N.D.	74.73	N.D.	73.83
M14 R. #140	13.60	155.53	N.D.	192.18	10.90	49.80	N.D.	72.20	5.17	74.50
M14 P. #140	12.40	159.20	N.D.	204.40	N.D.	N.D.	N.D.	69.20	N.D.	28.80

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 33

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M15 R. #20	N.D.	140.50	N.D.	76.93	13.70	N.D.	N.D.	121.93	N.D.	45.48
M15 R. #40	N.D.	96.50	N.D.	56.50	N.D.	N.D.	N.D.	52.67	N.D.	51.30
M15 R. #60	18.30	103.50	N.D.	77.15	N.D.	52.60	N.D.	52.75	N.D.	65.30
M15 R. #100	11.20	102.70	N.D.	55.70	12.60	N.D.	N.D.	27.68	N.D.	66.20
M15 R. #140	10.40	90.60	N.D.	67.43	N.D.	65.60	N.D.	16.63	N.D.	59.50
M15 P. #140	10.90	68.90	N.D.	76.58	N.D.	N.D.	N.D.	18.04	N.D.	36.60

N.D.= No Detectable R. = Retenido P.= Pasa #= Numero de malla

TABLA 34
CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS POR XRF PORTÁTIL, PARA
MUESTRAS CRIBADAS EN PARTES POR MILLÓN PPM

Muestra	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Ag	Pb	Se	V
M16 R. #20	10.10	220.73	N.D.	104.88	N.D.	68.50	N.D.	46.75	N.D.	76.50
M16 R. #40	12.20	231.20	N.D.	114.88	N.D.	74.60	N.D.	47.35	4.54	32.40
M16 R. #60	11.40	262.45	N.D.	123.80	N.D.	55.60	N.D.	57.53	N.D.	86.10
M16 R. #100	10.40	294.53	N.D.	115.48	N.D.	66.30	N.D.	52.93	4.59	40.70
M16 R. #140	12.40	252.00	N.D.	125.70	N.D.	70.30	N.D.	59.31	N.D.	101.80
M16 P. #140	11.60	175.00	N.D.	125.50	N.D.	78.00	N.D.	55.08	N.D.	94.50

APENDICE D

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Figura 34. Toma de muestras en plazas y parques públicos.

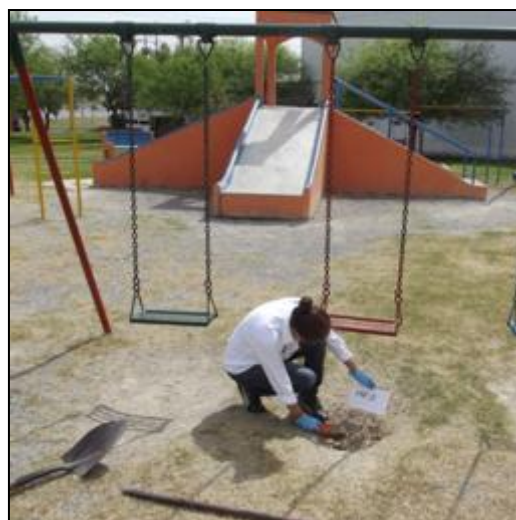


Figura 35. Toma de muestras en plazas y parques públicos.



Figura 36. Toma de muestras en plazas y parques públicos.



Figura 37. Material utilizado en la toma de muestras de suelo.



Figuras 38 y 39. Cribado de las muestras por mallas #10, #20, #40, #60, #100 y #140.



Figuras 40 y 41. Fracciones de muestra clasificadas según el tamaño de la partícula.



Figuras 42 y 43. Determinación de la humedad.



Figuras 44 y 45. Determinación del pH.



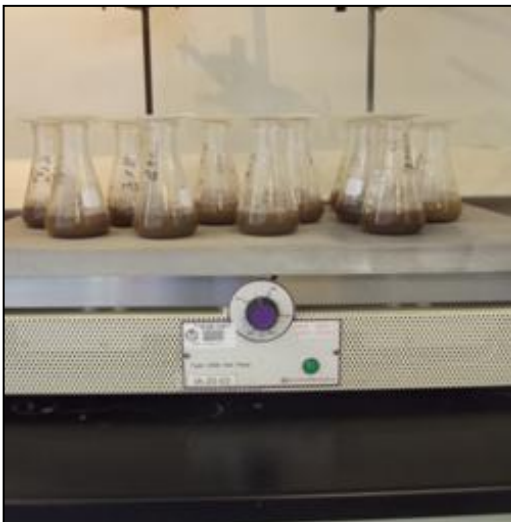
Figuras 46 y 47. Determinación de los cloruros.



Figuras 48 y 49. Determinación de los sulfatos.



Figuras 50 y 51. Determinación del carbón orgánico.



Figuras 52 y 53. Determinación del carbonato de calcio.



Figuras 54 y 55. Análisis de muestras por XRF portátil.



Figuras 56 y 57. Determinación de Pb y Cd, por medio de EAA.



VERÓNICA ROCÍO DE LA PEÑA CERDA

INGENIERO CIVIL

Universidad Autónoma de Nuevo León

DATOS PERSONALES:

Fecha de Nacimiento :

26 de Enero de 1989.

Lugar de Nacimiento:

**Monterrey, Nuevo León,
México.**

Contacto:

veronica.dlp@hotmail.com

FORMACIÓN PROFESIONAL:

Licenciatura :

Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Maestría:

**Maestría en Ciencias con orientación en Ingeniería
Ambiental, Universidad Autónoma de Nuevo León.**

Becas para formación profesional:

**Beca CONACYT para maestría con el número
de becario 503832.**