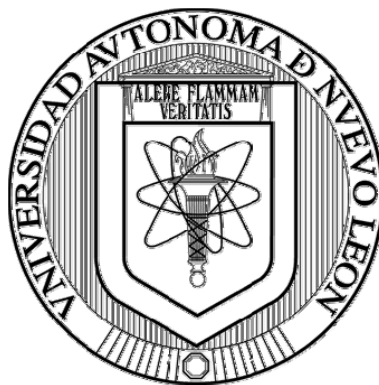


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL PLOMO PRESENTE EN EL SUELO
SUPERFICIAL, EN LA PERIFERIA DE EMPRESAS, EN EL ÁREA METROPOLITANA
DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Por

YAMILETH CAROLINA ALMAGUER CHÁVEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con orientación en Ingeniería Ambiental

Septiembre 2012

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, mi guía principal.

Gracias, Gerardo por tu amor, comprensión y compañía en este camino.
Este trabajo lo dedico con todo mi amor, a ti y a nuestro hijo.

Gracias a mi Madre por su amor incondicional, por ser mi apoyo día a día y por estar conmigo en cada etapa de mi vida.
También gracias a mi Padre, por su apoyo y por alentarme a seguir adelante.
A mis hermanas Lizeth y Alejandra por su amor, compañía y apoyo, y por cada palabra de aliento oportuna, no sólo en mi caminar por la maestría, sino en toda mi vida.
A toda mi familia, siempre presente.

Gracias a la Dra. Martha Herrejón, por su invaluable amistad y por guiarme en todo momento; También al Dr. Benjamín Limón, por brindarme su apoyo y confianza.
Gracias a ambos por su inestimable enseñanza en esta grata experiencia.

Gracias al personal del Departamento de Ingeniería Ambiental que colaboró conmigo en la realización de este proyecto.

Con Cariño

C arolina

RESUMEN

Yamileth Carolina Almaguer Chávez **Fecha de Graduación: Septiembre, 2012**

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título de Estudio: **CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL PLOMO PRESENTE EN EL SUELO SUPERFICIAL, EN LA PERIFERIA DE EMPRESAS, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

Número de Páginas: 168

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 tesis es determinar la concentración de plomo total presente en suelos superficiales en la periferia de empresas ubicadas en el Área Metropolitana de Monterrey y Municipios aledaños, para formar un inventario confiable de suelos contaminados por plomo. La determinación de las concentraciones se realizó mediante un equipo portátil de fluorescencia de rayos X (XRF) y por espectroscopía de absorción atómica (AA). Posteriormente se determinó la correlación y los coeficientes de determinación R^2 para tamaños de partícula <2,00 mm, <0,250 mm y <0,105 mm, para concluir sobre la trazabilidad de XRF a AA. También se determinaron algunas propiedades físicas y químicas de los suelos para conocer el comportamiento del plomo en los sitios contaminados.

Contribuciones y Conclusiones: El uso de equipos portátiles de XRF puede presentar algunas interferencias en los análisis relacionados con el contenido de humedad y las características físicas de éste. Se observó mayor correlación en los resultados de plomo en el suelo utilizando XRF portátil y AA cuando el tamaño de la partícula es menor que 0,105 mm, encontrando un $R^2= 0,996$. Se observó también que las mediciones en el campo son fiables y que para este estudio, los valores encontrados por AA en la mayoría de los casos fueron más altos que los encontrados por XRF. De las 24 muestras con tamaño de partícula menor que 0,105 mm, que fueron analizadas por AA, se encontró que en 17 de ellas el contenido de plomo sobrepasa la concentración de referencia total (CR_T) de 800 mg/kg, que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 para el uso de suelo industrial. Esto permite plantear la necesidad de remediación del suelo. Los resultados constituyen un aporte para la toma de decisiones al considerar los riesgos de autorización de áreas habitacionales próximas a empresas relacionadas con el uso de plomo y otros elementos potencialmente tóxicos.



DRA. MARTHA L. HERREJÓN FIGUEROA
Directora de la Tesis



DR. BENJAMÍN LIMÓN RODRÍGUEZ
Co-Director de la Tesis

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO	Página
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES.....	7
1.2.1 El suelo	7
1.2.2 El plomo	9
1.2.2.1 Usos del plomo.....	9
1.2.2.2 Biodisponibilidad.....	11
1.2.2.3 Estudios previos	16
1.2.3 Legislación ambiental en materia de suelos.....	17
1.2.4 Tipos de contaminación: contaminación local y contaminación difusa	21
1.2.4.1 Contaminación local	21
1.2.4.2 Contaminación difusa	22
1.2.5 Fluorescencia de rayos X (XRF).....	22
1.2.6 Espectroscopía de absorción atómica	23
1.2.7 Objetivos y metas	25
1.2.7.1 Objetivo general	25
1.2.7.2 Objetivos particulares	25
1.2.7.3 Meta.....	26
1.2.7.4 Hipótesis.....	26
2. EL MÉTODO	27
2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	27
2.2 SELECCIÓN DE LAS EMPRESAS	28
2.2.1 La empresa No. 1	28
2.2.2 La empresa No. 2	30

2.2.3 La empresa No. 3	31
2.2.4 Las empresas No. 4 y No. 5	32
2.3 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MUESTREO DEL SUELO	34
2.4 TOMA DE MUESTRAS DEL SUELO	35
2.5 ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO.....	37
2.6 GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS.....	38
2.7 ANÁLISIS POR VÍA HÚMEDA A LA FRACCIÓN DE PARTÍCULAS MENORES A 2 MM	39
2.7.1 Determinación de pH	40
2.7.2 Determinación de humedad.....	40
2.7.3 Determinación de carbonato de calcio.....	40
2.7.4 Determinación de carbono orgánico	41
2.7.5 Determinación de materia orgánica	41
2.7.6 Determinación de sulfatos	41
2.7.7 Determinación de cloruros	42
2.8 ANÁLISIS INSTRUMENTAL.....	42
2.8.1 Espectroscopía por absorción atómica.....	45
2.8.1.1 Plomo lixiviable con agua en equilibrio con CO ₂ , en un suelo contaminado	47
2.8.2 Fluorescencia de Rayos X	47
2.8.3 Coeficientes de correlación como herramienta estadística	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO	54
3.1.1 La empresa No. 1	54
3.1.1.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía.....	56
Topografía.....	56
3.1.1.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo	57
Geología	57
Edafología.....	58
Uso del suelo	59

3.1.2 La empresa No. 2	60
3.1.2.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía.....	62
Topografía.....	62
3.1.2.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo	63
Geología	63
Edafología.....	64
Uso del suelo	65
3.1.3 La empresa No. 3	66
3.1.3.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía.....	68
Topografía.....	68
3.1.3.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo	69
Geología	69
Edafología.....	70
Uso del suelo	71
3.1.4 La empresa No. 4	72
3.1.4.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía.....	74
Topografía.....	74
3.1.4.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo	75
Geología	75
Edafología.....	75
Uso del suelo	76
3.1.5 La empresa No. 5	77
3.1.5.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía.....	79
Topografía.....	79
3.1.5.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del Suelo.....	80
Geología	80
Edafología.....	81
Uso del suelo	82
3.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS POR VÍA HÚMEDA.....	84
3.2.1 Granulometría	84

3.2.2 Resultados de los parámetros de las muestras de suelo por	
vía húmeda	88
3.2.2.1 El pH	89
3.2.2.2 La humedad	90
3.2.2.3 El carbonato de calcio	90
3.2.2.4 El carbono orgánico	91
3.2.2.5 La materia orgánica	91
3.2.2.6 Los sulfatos	92
3.2.2.7 Los cloruros	92
3.2.2.8 El plomo lixiviable	92
3.3 DETERMINACIONES INSTRUMENTALES	93
3.3.1 La concentración de plomo mediante XRF portátil	93
3.3.1.1 Determinación de plomo en cada fracción de la	
muestra	94
3.3.2 Concentración de plomo por absorción atómica	96
3.3.3 Correlación lineal entre XRF portátil y la absorción atómica	98
3.3.4 Correlación de plomo con otros metales	103
3.3.4.1 Correlación lineal de Pearson para las mediciones con	
el equipo XRF portátil	104
Empresa No. 1	104
Empresa No. 2	106
Empresa No. 3	107
Empresa No. 4	108
Empresa No. 5	110
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	116
APÉNDICE A	126
APÉNDICE B	138
APÉNDICE C	142
APÉNDICE D	164

LISTA DE TABLAS

Tabla No.		Página
1.	Exposición de los diferentes medios al plomo y sus compuestos.....	15
2.	Resumen de resultados de estudios de suelo realizados por el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL, en los años 1999 y 2000.....	17
3.	Concentraciones de referencia totales (CRT) en mg/kg, por tipo de uso de suelo.....	20
4.	Concentraciones de referencia de contaminantes solubles (CRs) en mg/L	20
5.	Elementos cuantificados en cada filtro de análisis del equipo portátil de XRF marca Niton, modelo XL3t-600	50
6.	Significado del coeficiente de correlación de Pearson.....	52
7.	Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 1	55
8.	Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 2	61
9.	Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 3	67
10.	Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 4	73
11.	Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 5	78
12.	Resultados de la determinación de las características químicas.....	88
13.	Concentración de plomo en ppm por medio del XRF Niton XL3t-600	94
14.	Concentración de plomo en ppm, determinada por XRF en las diferentes fracciones de cada muestra	95
15.	Concentración de plomo en ppm, determinada por AA en 3 diferentes fracciones de cada muestra	96
16.	Trazabilidad de XRF portátil a AA.....	102

17. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 1	105
18. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 2	106
19. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 3	108
20. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 4	110
21. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 5	112
22. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. SEMARNAT	126
23. Ley de Aguas Nacionales. Comisión Nacional del Agua	127
24. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. SEMARNAT	127
25. Ley Federal de Derechos, Congreso de la Federación	127
26. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos. SEMARNAT	128
27. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes; y se adiciona y reforma el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. SEMARNAT	129
28. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental. SEMARNAT	129
29. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Auditoría Ambiental. SEMARNAT	129
30. Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes	129
31. Reglamento Federal de Seguridad e Higiene y Medio Ambiente de Trabajo. Secretaría de Trabajo y Previsión Social	130
32. Normas de competencia federal	131

33. Concentraciones de plomo (Pb) como máximos permisibles de descargas de agua residual	134
34. Concentraciones de plomo (Pb) como máximos permisibles diversos	135

LISTA DE FIGURAS

Figura No.		Página
1.	Diagrama del proceso convencional de reciclaje de acumuladores	11
2.	Especiación química del plomo en función del pH.....	14
3.	Esquema de exposición humana al plomo y cadena de difusión.....	14
4.	Contaminación local y difusa del suelo	21
5.	Diagrama de flujo de las actividades realizadas	27
6.	Ubicación de las empresas estudiadas.....	28
7.	Ubicación del municipio de García, Nuevo León	29
8.	Ubicación del municipio de Santa Catarina, Nuevo León	31
9.	Ubicación del municipio de Ciénega de Flores, Nuevo León.....	32
10.	Ubicación del municipio de Pesquería, Nuevo León.....	33
11.	Diagrama de la transición de electrones al recibir la radiación	48
12.	Diagrama del funcionamiento del analizador portátil de XRF, modelo Niton XL3t-600	49
13.	Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 1 (Muestras M-1 a M-9).....	56
14.	Ubicación topográfica de la empresa No. 1	57
15.	Ubicación geológica de la empresa No. 1.....	58
16.	Ubicación edafológica de la empresa No. 1.....	59
17.	Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 1	60
18.	Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 2 (Muestras M-10 a M-13).....	62

19.	Ubicación topográfica de la empresa No. 2	63
20.	Ubicación geológica de la empresa No. 2.....	64
21.	Ubicación edafológica de la empresa No. 2.....	65
22.	Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 2	66
23.	Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 3 (Muestras M-14 a M-15).....	68
24.	Ubicación topográfica de la empresa No. 3	69
25.	Ubicación geológica de la empresa No. 3.....	70
26.	Ubicación edafológica de la empresa No. 3.....	71
27.	Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 3	72
28.	Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 4 (Muestras M-16 a M-21).....	73
29.	Ubicación topográfica de la empresa No. 4	74
30.	Ubicación geológica de la empresa No. 4.....	75
31.	Ubicación edafológica de la empresa No. 4.....	76
32.	Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 4	77
33.	Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 5 (Muestras M-22 a M-24).....	79
34.	Ubicación topográfica de la empresa No. 5	80
35.	Ubicación geológica de la empresa No. 5.....	81
36.	Ubicación edafológica de la empresa No. 5.....	82
37.	Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 5	83
38.	Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No.1	85
39.	Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No.2	85
40.	Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No.3	86

41.	Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No.4	87
42.	Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No.5	87
43.	Diagrama de dispersión entre el analizador de XRF portátil y AA, para el tamaño de partícula menor que 2 mm	99
44.	Diagrama de dispersión entre el analizador de XRF portátil y AA, para el tamaño de partícula menor que 0,250 mm	101
45.	Diagrama de dispersión entre el analizador de XRF portátil y AA, para el tamaño de partícula menor que 0,105 mm	102
46.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-1	138
47.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-2	138
48.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-3	138
49.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-4	138
50.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-5	138
51.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-6	138
52.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-7	139
53.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-8	139
54.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-9	139
55.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-10	139
56.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-11	139
57.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-12	139
58.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-13	139
59.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-14	140
60.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-15	140
61.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-16	140
62.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-17	140
63.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-18	140

64.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-19	140
65.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-20	141
66.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-21	141
67.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-22	141
68.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-23	141
69.	Concentración de Pb (ppm), Muestra M-24	141
70.	Concentraciones de Mo en las muestras de la empresa No. 1	142
71.	Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 1	142
72.	Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 1	142
73.	Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 1	142
74.	Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 1	143
75.	Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 1	143
76.	Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 1	143
77.	Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 1	143
78.	Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 1	143
79.	Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 1	143
80.	Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 1	144
81.	Concentraciones de Co en las muestras de la empresa No. 1	144
82.	Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 1	144
83.	Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 1	144
84.	Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 1	144
85.	Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 1	144
86.	Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 1	145
87.	Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 1	145
88.	Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 1	145
89.	Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 1	145

90.	Concentraciones de S en las muestras de la empresa No. 1	145
91.	Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 1	145
92.	Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 1	146
93.	Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 1	146
94.	Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 1	146
95.	Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 1	146
96.	Concentraciones de Cd en las muestras de la empresa No. 1	146
97.	Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 2	147
98.	Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 2	147
99.	Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 2	147
100.	Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 2	147
101.	Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 2	147
102.	Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 2	147
103.	Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 2	148
104.	Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 2	148
105.	Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 2	148
106.	Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 2	148
107.	Concentraciones de Co en las muestras de la empresa No. 2	148
108.	Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 2	148
109.	Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 2	149
110.	Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 2	149
111.	Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 2	149
112.	Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 2	149
113.	Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 2	149
114.	Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 2	149

115.	Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 2	150
116.	Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 2	150
117.	Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 2	150
118.	Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 2	150
119.	Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 2	150
120.	Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 2	150
121.	Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 3	151
122.	Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 3	151
123.	Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 3	151
124.	Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 3	151
125.	Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 3	151
126.	Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 3	151
127.	Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 3	152
128.	Concentraciones de W en las muestras de la empresa No. 3	152
129.	Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 3	152
130.	Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 3	152
131.	Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 3	152
132.	Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 3	152
133.	Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 3	153
134.	Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 3	153
135.	Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 3	153
136.	Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 3	153
137.	Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 3	153
138.	Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 3	153
139.	Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 3	154
140.	Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 3	154

141.	Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 3	154
142.	Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 3	154
143.	Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 4	155
144.	Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 4	155
145.	Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 4	155
146.	Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 4	155
147.	Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 4	155
148.	Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 4	155
149.	Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 4	156
150.	Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 4	156
151.	Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 4	156
152.	Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 4	156
153.	Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 4	156
154.	Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 4	156
155.	Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 4	157
156.	Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 4	157
157.	Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 4	157
158.	Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 4	157
159.	Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 4	157
160.	Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 4	157
161.	Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 4	158
162.	Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 4	158
163.	Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 4	158
164.	Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 4	158
165.	Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 5	159

166.	Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 5	159
167.	Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 5	159
168.	Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 5	159
169.	Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 5	159
170.	Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 5	159
171.	Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 5	160
172.	Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 5	160
173.	Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 5	160
174.	Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 5	160
175.	Concentraciones de Co en las muestras de la empresa No. 5	160
176.	Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 5	160
177.	Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 5	161
178.	Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 5	161
179.	Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 5	161
180.	Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 5	161
181.	Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 5	161
182.	Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 5	161
183.	Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 5	162
184.	Concentraciones de S en las muestras de la empresa No. 5	162
185.	Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 5	162
186.	Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 5	162
187.	Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 5	162
188.	Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 5	162
189.	Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 5	163
190.	Periferia de la empresa No. 1, punto de muestreo M-7	164
191.	Periferia de la empresa No. 1, punto de muestreo M-9	164

192.	Periferia de la empresa No. 1	165
193.	Periferia de la empresa No. 2, punto de muestreo M-13	165
194.	Pesaje de 1 kilogramo de muestra para el análisis granulométrico	166
195.	Equipo de cribado mecánico Ro-Tap	166
196.	Fracciones de muestra clasificadas según el tamaño de partícula.....	167
197.	Pesaje de cada fracción de la muestra	167
198.	Muestras para los análisis vía húmeda que se realizaron a la fracción de partículas menor a 2 mm.....	168

NOMENCLATURA

°C	grados Celsius
µg	microgramos
µm	micrómetros
cm³	centímetro cúbicos
g	gramos
km	kilómetros
km²	kilómetros cuadrados
M	mol
mg/kg	miligramos por kilogramo
mg/L	miligramos por litro
mm	milímetros
msnm	metros sobre el nivel del mar
nm	nanómetros
ppb	partes por billón
ppm	partes por millón
RPM	revoluciones por minuto
UTM	coordenadas de Proyección Universal Transversa de Mercator

ACRÓNIMOS

AA	Espectroscopía de Absorción Atómica
AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CR_T	Concentraciones de Referencia totales
CR_S	Concentraciones de Referencia de contaminantes solubles
GPS	Global Positioning System
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
USEPA	United States Environmental Protection Agency
XRF	Fluorescencia de Rayos X portátil

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

El suelo es un elemento filtrante, amortiguador y transformador, que regula los ciclos del agua y los biogeoquímicos; además, tiene la propiedad de retener sustancias en forma mecánica, física o química o puede fijarlas por adsorción, contribuyendo a la protección de la contaminación del agua subterránea y del agua superficial por agentes nocivos.

El suelo es un componente de la biosfera, que actúa como amortiguador natural, definiendo el transporte de elementos y sustancias químicas a la atmósfera, la hidrosfera y la biota. Por lo tanto, el mantenimiento de las funciones ecológicas del suelo es responsabilidad de la humanidad (Kabata y Pendias, 1992). Además se considera un recurso vital y como el soporte físico sobre el que se asientan todos los seres vivos (Seoáñez, 1999).

El suelo es también una fuente primordial de materias primas y constituye uno de los elementos básicos del medio natural. Desde hace siglos, la humanidad ha utilizado el suelo para desarrollarse y mejorar sus condiciones de vida.

Los problemas de contaminación que ocurren en la superficie son consecuencia de malas prácticas de operación en instalaciones industriales que se

dieron en el pasado, y que siguen sin ser atendidos (Saval, 1999). El impacto en el suelo por metales pesados de origen antropogénico ha sido causa de que se hayan desarrollado diversas investigaciones tendientes a determinar su concentración (Khan y colaboradores (2001).

Una de las principales actividades industriales, a nivel mundial, es la extracción de minerales a través de la minería, y uno de los metales que más se extrae es el plomo (Machado y colaboradores, 2008). La tendencia al incremento en la producción y el consumo de plomo en América Latina ha aumentado el riesgo de exposición y de daños a la salud de la población (Corey y Galvao, 1989). Actualmente México ocupa el quinto lugar mundial en producción de plomo, con 137 mil toneladas (INEGI, 2009).

En México, como consecuencia del desarrollo industrial, se registra una creciente y preocupante contaminación ambiental; sobre todo debido a varios siglos de actividad minera, la que corresponde a una actividad económica de mayor tradición en México, y es mayoritariamente metálica que se dedica principalmente a la producción de cobre, zinc, plata y plomo. México es uno de los principales países productores de plomo en el mundo. Durante la década de los noventa, del siglo XX, la producción de plomo en el país ocupó el sexto lugar, dentro del grupo de países productores a escala mundial, después de Australia, China, los Estados Unidos, Perú y Canadá (INE, 2001).

En Nuevo León, las fundiciones de metales como el hierro y el acero no se explican sin considerar la existencia de una base minera que les diera sustento. Por ello es importante mencionar la tradición minera nuevoleonesa (Rojas, 1998).

El capitán Alonso de León escribió, en el capítulo quinto del discurso segundo que en el Nuevo Reino de León existían muchos minerales de plata y plomo, en particular, destacaba la gran abundancia de este último metal, en donde la región minera abarcaba los Estados de Nuevo León, Coahuila y Zacatecas, lo cual fomentó el desarrollo de la industria minero-metalúrgica nuevoleonesa (Rojas, 1998). De 1891 a 1892, los mineros mostraban sólo interés por la explotación de metales preciosos; sin embargo, después de este periodo comenzó una explotación más intensa de metales como hierro, plomo y cobre, que sobrepasó a la de oro y plata, a partir de 1905 (Rojas, 1998).

El término fundición hace referencia a diferentes tipos de fábricas; se les llamaba así a las haciendas de beneficio de metales preciosos como la plata y el oro; entonces el plomo estaba asociado con la plata y en las fundiciones de plata también procesaban el plomo (Rojas, 1998).

La contaminación por metales pesados es un tema vigente en el campo de las ciencias ambientales, así como en el terreno de la salud pública (Escobar y colaboradores, 2005). Son diversos los medios del ambiente que se ven impactados por metales: el aire, el suelo, el polvo residencial, las fuentes de agua potable e inclusive en algunas zonas, los alimentos. Aunque es difícil cuantificar la acumulación de metales pesados en la naturaleza, se sabe que se dispersan en el suelo a través de partículas o polvos provenientes de la actividad humana (Hutton, 1987).

Walter y colaboradores (2003) fundamentan que la determinación de metales pesados totales en el suelo puede ser una variable útil para estimar su grado de contaminación; apoyándose en esto, Mejía y colaboradores (1999) mencionan que el

conocimiento de la concentración de los metales en los diferentes medios se realiza a través del muestreo y análisis, siendo esto un gran avance que servirá de base para definir el riesgo que representan para la salud.

Las concentraciones de plomo en el suelo están sujetas a la dinámica de los metales, ya que una vez que se encuentran presentes en el suelo, donde tienden a acumularse en la parte superficial (Machado y colaboradores, 2008); se van reduciendo lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas y la erosión (Puga y colaboradores, 2006); sin embargo, su persistencia en los suelos es mucho mayor que en cualquier otro medio de la biosfera, la que resulta virtualmente permanente (Méndez y colaboradores, 2000).

El plomo puede seguir diferentes vías, como quedar retenido en el suelo, ya sea disuelto en la solución del suelo, o bien fijado por procesos de adsorción, complejación y precipitación; éste puede ser adsorbido por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas, pasar a la atmósfera por volatilización o finalmente movilizarse a los diferentes cuerpos de agua (Baran, 1995), dependiendo del pH del suelo y de los compuestos que puedan formarse.

Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo; Cala y Kunimine (2003) argumentan que no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado de movilidad o biodisponibilidad. Colombo y colaboradores (1998) comentan que la distribución de los metales pesados en los perfiles del suelo, así como su disponibilidad está controlada por parámetros como las propiedades intrínsecas del metal y las características de los suelos.

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).

Ruby y colaboradores (1996) mostraron que las diferencias encontradas en la bioaccesibilidad del plomo en los humanos y en los animales se relaciona con la especiación química del plomo en los suelos y en los materiales residuales a los que fueron expuestos. En México existen antecedentes bibliográficos sobre contaminación ambiental por plomo que conlleva al ostensible deterioro de la salud de la población expuesta (Hernández, 1995).

La biodisponibilidad del plomo es un problema de salud, su principal vía son el suelo y el polvo donde se concentra; Carrasquero-Durán (2006) indican que cuando se presentan elevadas concentraciones de Pb en el polvo, aumenta el riesgo de exposición a la contaminación, ya que éste puede ser arrastrado por el viento, dispersando así al agente contaminante; de tal manera que se facilita el ingreso al organismo, ya sea por ingestión, inhalación o por contacto dérmico.

El plomo, al ser un agente tóxico que afecta a todos los sistemas del cuerpo humano, causa daños tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo prestan atención en minimizar la exposición de la población a este metal (Valdés y Cabrera, 1999).

Cuando el plomo se encuentra en concentraciones mayores que 10 μg de Pb por decilitro en sangre, ocasiona daños irreversibles en el sistema nervioso central, retraso en el crecimiento y afecta al sistema hematopoyético, hepático y endocrino (Manzanares y colaboradores, 2006). En el caso de los varones, produce una disminución en el número de espermatozoides y reduce la fertilidad en la mujer (Todd y colaboradores, 1996); sin embargo, el grupo de población considerado como de principal riesgo son las mujeres embarazadas o en periodo de lactancia. En éstos los niños, el plomo reduce el desarrollo intelectual, el crecimiento y la capacidad auditiva, causa anemia y provoca problemas de comportamiento y déficit de atención (Villalobos y colaboradores, 2006). En el estudio realizado por Dol y colaboradores (2004), se constató que los niveles de plomo en la sangre de la población infantil están asociados con los niveles de plomo en el suelo.

El suelo ha sido uno de los principales medios receptores de plomo, por lo que ha merecido especial atención por parte de los investigadores, en virtud de que los seres humanos, a través de la historia, han estado en contacto con él; sin embargo, algunas propiedades del suelo han sido aprovechadas para utilizar este elemento como barrera para evitar la migración de plomo.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 El suelo

El suelo es un elemento fundamental del ecosistema y preservar su buena calidad puede asegurar el funcionamiento del mismo; desempeña funciones edáficas dentro del ecosistema y mantiene la productividad biológica, la calidad ambiental y la salud de las plantas y de los animales (Zalidis y colaboradores, 2002).

Los suelos constituyen un medio natural de gran complejidad, con una capacidad limitada para soportar la intensidad creciente del impacto que ejerce el hombre sobre ellos, y con unas propiedades que los convierten en blancos muy sensibles a la contaminación por metales. La degradación del suelo puede considerarse como el proceso que disminuye la capacidad real del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios (FAO-PNUMA, 1984).

Un suelo contaminado puede definirse como aquel donde se encuentran presentes uno o más materiales peligrosos y/o residuos de toda índole y que pueden constituir un riesgo para el ambiente y la salud (Saval, 1999). Esto es especialmente relevante en áreas industriales y mineras, en donde se realizaron operaciones potencialmente contaminantes, y que como consecuencia de esas actividades y procesos desarrollados durante años en el mismo sitio, independientemente de que se observen o no rastros evidentes de contaminación en los suelos, éstos pueden haber resultado afectados en sus características (Loredo, 2003).

El riesgo ambiental asociado con la contaminación de los suelos se valora a partir de la concurrencia de tres factores: la concentración de contaminantes en el

suelo, la exposición a la contaminación por diferentes vías y la toxicidad de las sustancias. Los suelos no contaminados tienen concentraciones de plomo menores que 50 mg/kg, los que sí están contaminados exceden los 200 mg/kg; mientras que en zonas próximas a las minas de plomo, en las industrias que emplean este metal y en las fundiciones, se pueden presentar niveles de contaminación del suelo mayores que 60000 mg/kg (Nriagu, 1979).

La puesta en marcha en los últimos años, en los diferentes países, de un mayor número de medidas de control de la contaminación, ha puesto de manifiesto, en todos ellos, que existe un importante pasivo medioambiental asociado con antiguas actividades industriales y mineras, que se manifiesta en la existencia de una gran cantidad de terrenos potencialmente contaminados, localizados muchos de ellos en zonas urbanas o periurbanas (Loredo, 2003).

El empuje expansivo de las ciudades hace que la demanda de suelo urbanizable sea cada vez mayor y que terrenos antes ocupados por instalaciones industriales y luego en estado de abandono o de semi-abandono queden englobados dentro de los límites de la ciudad o en su proximidad, y con el tiempo adquieran estas áreas, un mayor interés para usos residenciales, comerciales y/o de ocio (Loredo, 2003).

De acuerdo con los datos presentados en el Informe 1995-2000 de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), en México se tienen identificados 61 sitios contaminados por arsénico, bario, berilio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. En el Inventario Nacional de Sitios Contaminados, se registró que en Nuevo León, existen cinco sitios contaminados

en abandono; en ellos, los tipos de residuos que se encuentran presentes son: As, Cr, Hg, Pb y Zn, provenientes de baterías automotrices usadas; mientras que en escorias de fundición se localizan: Pb, Cd y As.

El Área Metropolitana de Monterrey es un centro de actividad humana e industrial a donde llega la mayoría de los productos elaborados tanto en el País como en el extranjero. La población del área ha crecido de manera importante y los asentamientos urbanos en Monterrey, incluyendo los ocho municipios conurbados, albergan a más del 85% de la población del Estado de Nuevo León (Cantú y Reyes, 2001).

El concentrarse una enorme población y un importante desarrollo industrial, se genera una serie de problemas que repercuten en la vida económica, social y de salud en la población. De este conjunto de problemas destaca el de la contaminación, dado que incide directamente sobre la salud de las personas. Este hecho ha traído consigo la vigilancia y el control de la generación de diversos contaminantes (Cantú y Reyes, 2001), dando cabida a la probable manifestación de biodisponibilidad de los metales pesados y generando riesgo para la población (Gomaa y colaboradores, 2002).

1.2.2 El plomo

1.2.2.1 Usos del plomo

Entre los usos más comunes del plomo, destaca su empleo como material de construcción para el forro de tanques y tuberías, en equipo de manejo de gases y líquidos corrosivos usados en la manufactura de ácido sulfúrico, en la refinación de petróleo, como protección de rayos X y radiación atómica, en la producción de metales

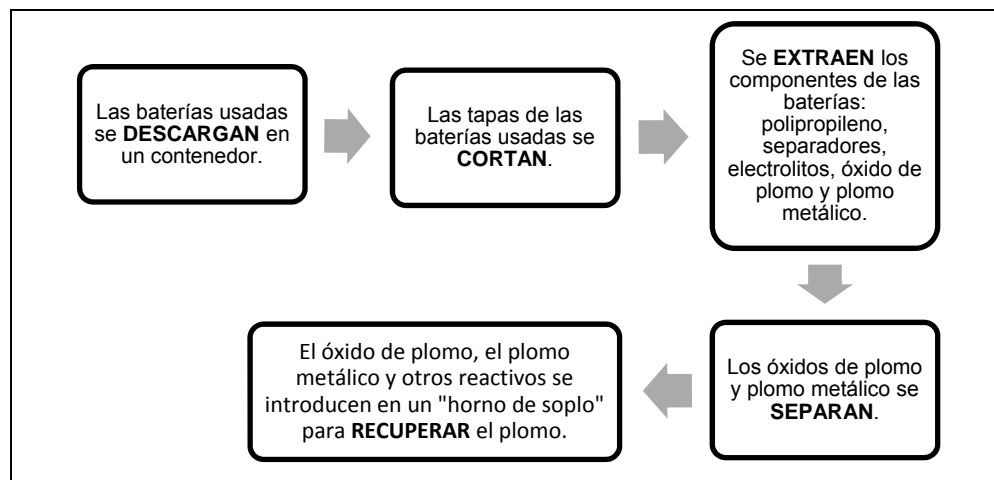
y aleaciones, en la manufactura de pigmentos, en la producción de compuestos orgánicos e inorgánicos del plomo, en la producción de cerámicas, plásticos y dispositivos electrónicos, como pesas; en la producción de baterías de plomo-antimonio, en la producción de municiones, en la producción de soldaduras, en la producción de cables cubiertos y lámina de plomo y en la producción de otros metales (latón, tuberías, calafateado, enchapado, galvanizado y recocido).

La generación de residuos con plomo se lleva a cabo en empresas de diversos giros industriales, complicando su recolección, reciclado y disposición final. También se fabrican colorantes y pigmentos, en la elaboración de pinturas, barnices, lacas y similares, además en la fabricación de acumuladores (INE, 2001).

Las empresas seleccionadas para este estudio se dedican a la fabricación de acumuladores automotrices, así como a la recuperación de plomo a partir de acumuladores usados y/o materiales de desecho, por lo que es conveniente tomar en cuenta que un acumulador o batería ácido-plomo consta de un número de celdas en un contenedor, las cuales contienen placas o electrodos positivos (PbO_2) o negativos (Pb), separados para almacenar el “apartado de placas” y el electrolito de H_2SO_4 .

En la actualidad, las técnicas de los diversos procesos que utilizan el plomo como materia prima son más eficientes; pues en los siglos XIX y XX los procesos de separación eran menos eficientes, y las partículas residuales, al ser transportadas por el viento y/o el agua, creaban una significativa fuente de contaminación por metales en los suelos circundantes (Alloway, 1995). La presencia del plomo en el suelo produce una degradación de éste, debido a su carácter tóxico y su larga persistencia en el ecosistema, por ser un elemento no degradable.

En la Figura No.1, se muestra el diagrama del proceso convencional de reciclaje de los acumuladores, que pueden ser de varios tamaños y capacidades y cuyo peso puede variar desde los 100 g hasta varias toneladas, dependiendo de su fabricación, la que puede ser: a) Automotriz, para el funcionamiento de los motores de combustión interna. b) Industrial, para aplicaciones de resistencia pesada. c) Sistemas de iluminación de emergencia, alarmas de seguridad y pequeños sistemas de arranque (Industrias Peñoles, 2010).



Fuente: Casos de éxito 2001, www.climategateway.com

Figura No. 1. Diagrama del proceso convencional de reciclaje de acumuladores.

1.2.2.2 Biodisponibilidad

La biodisponibilidad es la propiedad de una sustancia para interactuar con el sistema biológico. Ésta es sistémica y depende de la reactividad física y/o química de la sustancia que le confiere las características para ser absorbida a través del tracto gastrointestinal, de las vías respiratorias o de la piel de las personas.

En algunas investigaciones se estima que los adultos absorben del 5% al 15 % del plomo ingerido, pero generalmente retienen menos del 5 % y otras reportan niveles de adsorción en adultos de 10 %, cuando la ingestión se realiza acompañada de alimentos, de un 60% a un 80%, en condiciones de ayuno (Toxicological Profile for Lead, 1999).

Los procesos químicos y físicos naturales, como la alteración por exposición a la intemperie, los escurrimientos y las precipitaciones hacen que el plomo se transfiera constantemente entre el aire, el agua y el suelo (ATSDR, 1993).

La biodisponibilidad depende de la especie química del plomo, del tamaño de partícula, de la matriz mineral de las partículas y de otros factores (INE, 2001). Por lo general, el plomo se deposita a una profundidad de 0,02 m a 0,05 m de la superficie (USEPA, 1986), aunque en parte, el 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).

En función de las condiciones del medio, el plomo se puede presentar en dos estados de oxidación: Pb (II) o Pb (IV) siendo el ión Pb (II) el más estable en el medio ambiente. La especiación del plomo en la solución del suelo y las diversas transformaciones químicas que puede presentar, se encuentran en función de las características físicas y químicas del sistema; como puede ser: el pH, la presencia de otros iones, la cuantía de su concentración, la temperatura, etc. El plomo puede encontrarse en disolución en el suelo, adsorbido específicamente o por intercambio, formando iones complejos en presencia de la materia orgánica, precipitado por la

presencia de carbonatos, etc.

En la Figura No. 2, se observan las especies químicas del plomo en condiciones de variación del pH. La gráfica se obtuvo utilizando el Programa Hydra Medusa (Puigdomenech, 2004). Dicho programa está formado por un software denominado Hydra, que tiene almacenado un banco de datos de las constantes de estabilidad ($\log K$) a 25 °C y un software denominado Medusa, que realiza diagramas de áreas donde predominan las especies químicas, mostrando, para este caso, que se presentan diversos hidroxí-compuestos y, de acuerdo con el banco de datos del Programa mencionado, se forman complejos solubles como $\text{Pb}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}(\text{OH})_3^-$, $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2-}$ y complejos en fase sólida como $\text{Pb}(\text{OH})_2 (c)$.

El polvo que se introduce en los hogares, proveniente de áreas de intenso tráfico vehicular o cercanas a fuentes fijas emisoras, puede contener plomo y provocar que los niños se expongan a este metal, siendo la exposición de mayor riesgo la de los infantes que gatean, o que se introducen las manos sucias a la boca. También la pintura con plomo utilizada en interiores, que se descascara, puede contribuir a la contaminación intradomiciliaria por plomo y a la exposición humana, especialmente de los niños (INE, 2001).

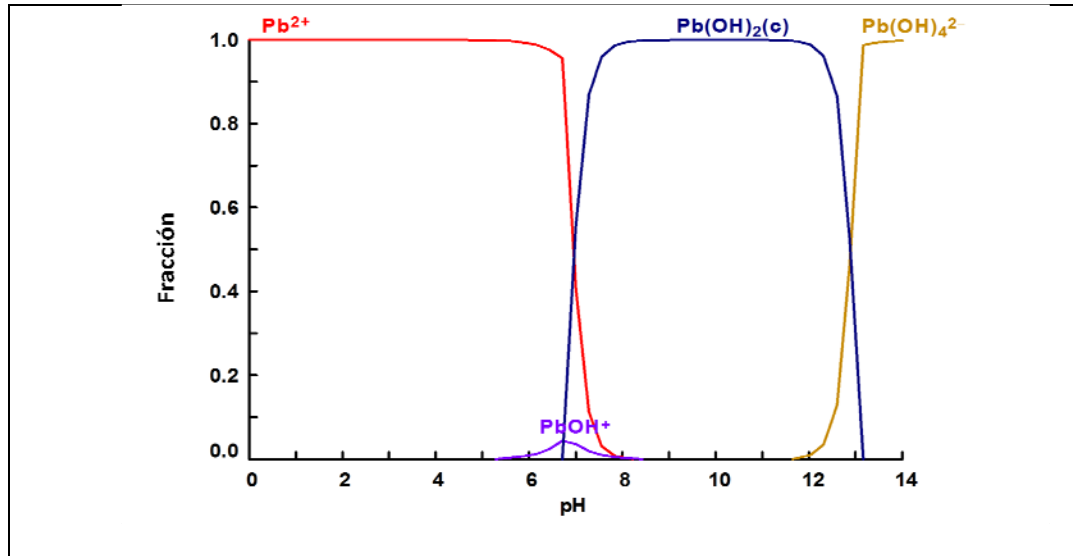
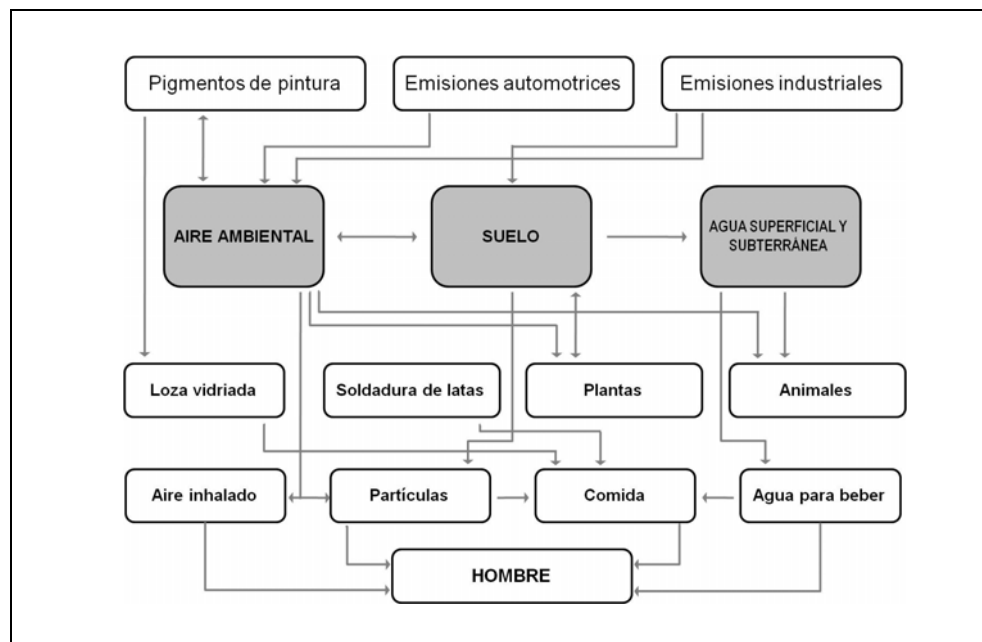


Figura No. 2. Especiación química del plomo en función del pH. (Programa Hydra Medusa).

Cuando el manejo de los productos o materiales que contienen plomo no es el adecuado, existe una amplia posibilidad de que éstos se transporten hacia diferentes componentes ambientales, como el suelo, el agua y el aire, y se acumulará el contaminante dependiendo de los compuestos de plomo presentes en cada medio, como se puede observar en la Figura No. 3.



Fuente: Industrias Peñoles (2010).

Figura No. 3. Esquema de exposición humana al plomo y cadena de difusión.

En la Tabla No.1 se presenta el destino que puede tener el plomo en el ambiente, dependiendo del compuesto químico en el que este metal forma parte.

Tabla No. 1. Exposición de los diferentes medios al plomo y sus compuestos.

Compuesto	Medio Ambiente		
	Suelo	Agua	Aire
Óxido de plomo	No se lixivian en el suelo a causa de su relativa insolubilidad. Se presume que se convierten en formas más insolubles como sulfato, fosfato de plomo, sulfuro de plomo. También forma compuestos complejos con la materia orgánica y arcillas, por lo que su movilidad se limita.	Al ingresar a un medio acuático, se disolverá parcialmente y el resto se asentará. En el caso del monóxido de plomo, en disolución formará ligandos, los cuales pueden variar dependiendo de los valores de pH.	Generalmente son emitidos como partículas que se depositan por efecto de la gravedad. Se puede transformar en carbonato, el cual junto con los óxidos, son los más abundantes en la atmósfera.
Arseniato de plomo	Tiene presencia en el suelo por la aplicación de plaguicidas. Es un compuesto muy persistente y su remoción se logra mediante lavados. El transporte de este compuesto en el medio ambiente se encuentra ampliamente controlado por procesos de absorción y desorción en suelo y sedimentos.	No se encontró información.	No se encontró información.
Carbonato de plomo	No se lixivia al suelo por su baja solubilidad.	Su concentración en el medio acuático está limitada por su baja solubilidad, el resto forma complejos con la materia orgánica.	Forma partículas que se depositan en plantas y en el agua.
Sulfato de plomo	La lixiviación no es importante bajo condiciones normales, es absorbido por algunas plantas.	El sulfato de plomo liberado en agua se precipita en su mayoría debido a su baja solubilidad.	Es la principal forma de plomo en el aire y se presenta como partículas sujetas a deposición gravitacional.

Tabla No.1. (Continúa)

Compuesto	Medio Ambiente		
	Suelo	Agua	Aire
Sulfuro de plomo	No lixivia debido a su relativa insolubilidad. Cuando se humedece forma la anglesita y la cerusita.	Al entrar en el medio acuático, la mayor parte se asienta por su baja solubilidad, y una mínima parte se disuelve.	Se emite a la atmósfera en forma de partículas que posteriormente se depositan por la acción de la gravedad. Puede transformarse en la atmósfera en carbonato y en óxido.
Tetraetil de plomo	Se espera que tenga poca movilidad en los suelos.	Al ser liberado en agua se adsorben en los sólidos suspendidos y otra parte se volatiliza.	Al ser liberado a la atmósfera, se degrada por la reacción con radicales hidroxilo producidos, fotoquímicamente. La vida media para esta reacción es aproximadamente de seis horas.

Fuente: Long y Andino (1977).

1.2.2.3 Estudios previos

El personal del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL, en los años de 1999 y 2000 realizó muestreos, y análisis de plomo total y plomo lixiviable en suelos, en la periferia de algunas empresas localizadas en los Municipios de Monterrey, Pesquería, García, San Nicolás de los Garza, Ciénega de Flores y General Escobedo. Los valores encontrados para Pb total oscilaron entre 71,2 mg/kg y 62874, mg/kg para plomo total, y entre 0,17 mg/L y 350, mg/L para plomo lixiviable. La información obtenida en ese tiempo no se pudo comparar con la Normatividad Mexicana, ya que en estos años no existían normas que establecieran los máximos permisibles de contaminación en suelos por metales y metaloides.

En la Tabla No. 2 se muestra un resumen de los resultados encontrados en el

estudio antes mencionado. Se observó que en la periferia de una industria ubicada en el municipio de Pesquería, N. L. se presentó la mayor concentración de Pb total, así como también la mayor para plomo lixiviable.

Tabla No. 2. Resumen de resultados de estudios de suelo realizados por el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL, en los años 1999 y 2000.

Municipio	No. de Muestras	Pb total (mg/kg)			Pb lixiviable (mg/L)		
		promedio	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo
Ciénega de Flores	4	1579,	882,	2978,	2,98	1,6	4,31
General Escobedo	3	261,	71,	634,	0,85	0,4	1,75
García	4	682,	130,	1792,	0,54	0,25	1,0
Monterrey	8	7586,	667,	20170,	16,45	0,17	70,
Pesquería	10	13499,	114,	62874,	88,05	0,36	350,
San Nicolás de los Garza	8	9961,	115,	31091,	48,05	0,28	281,9

1.2.3 Legislación ambiental en materia de suelos

El manejo inadecuado de los materiales peligrosos en las distintas fases de su ciclo de vida ha traído consigo la contaminación de los suelos y de los cuerpos de agua, ya sea como resultado de eventos inesperados que han provocado su vertimiento accidental o por su liberación continua al ambiente, debido a prácticas indeseables que se traducen en fugas, derrames, emisiones al aire, descargas al agua, y, sobre todo, por la disposición irracional de todo tipo de residuos, incluyendo a los peligrosos.

La integración de una Política Ambiental para la protección de los suelos y su remediación es un elemento fundamental de enlace entre la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y las diferentes partes que intervienen en el marco de los problemas del ambiente. Esta política busca establecer el marco

institucional que permita proteger a los suelos, entendiendo los problemas relacionados con su contaminación, con el fin de plantear medidas preventivas y otras relativas a su remediación.

En México ha habido un desfase entre la emisión de la Legislación Ambiental y la creación de instituciones que tuvieran como prioridad la aplicación de esta legislación. En los documentos que se consideran como Legislación Marco de la Prevención y Control de la Contaminación se tienen:

- a) La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- b) La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- c) La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

En el Apéndice A se presenta un resumen de la Legislación Ambiental Mexicana consultada con relación al plomo, entre la que se encuentra:

- a) La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- b) La Ley de Aguas Nacionales.
- c) La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- d) El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos.
- e) El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
- f) El Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- g) Las Normas Oficiales Mexicanas de Competencia Federal.
- h) Las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los máximos permisibles en descargas de agua residual.

- i) Las Normas Oficiales Mexicanas de concentración de plomo como máximos permisibles diversos.

En marzo de 2007 se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que 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/o vanadio; la cual se encuentra publicada en el Diario Oficial el viernes 2 de marzo de 2007.

En la Norma Oficial Mexicana, NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, se indica que las personas responsables de actividades relacionadas con la generación y manejo de materiales y residuos peligrosos que hayan contaminado suelos, están obligados a llevar a cabo las acciones de remediación de los mismos. En esta Norma Oficial Mexicana se establecen las concentraciones de referencia totales por tipo de suelo y las concentraciones de referencia de contaminantes solubles.

En la Tabla No. 3 se muestran los datos concernientes a las concentraciones de referencia totales por tipo de suelo, establecidos en la Norma Oficial Mexicana mencionada en el párrafo anterior.

Tabla No. 3. Concentraciones de referencia totales (CR_T) en mg/kg, por tipo de uso de suelo.

Contaminante	USO	
	Agrícola/ Residencial/Comercial	Industrial
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	5,2	67
Vanadio	78	1000

Nota:

a. En caso de que se presenten diversos usos del suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine.

b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos del suelo, se usará el valor residencial.

Fuente: NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

En la Tabla No. 4 se muestran las concentraciones de referencia de contaminantes solubles de la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

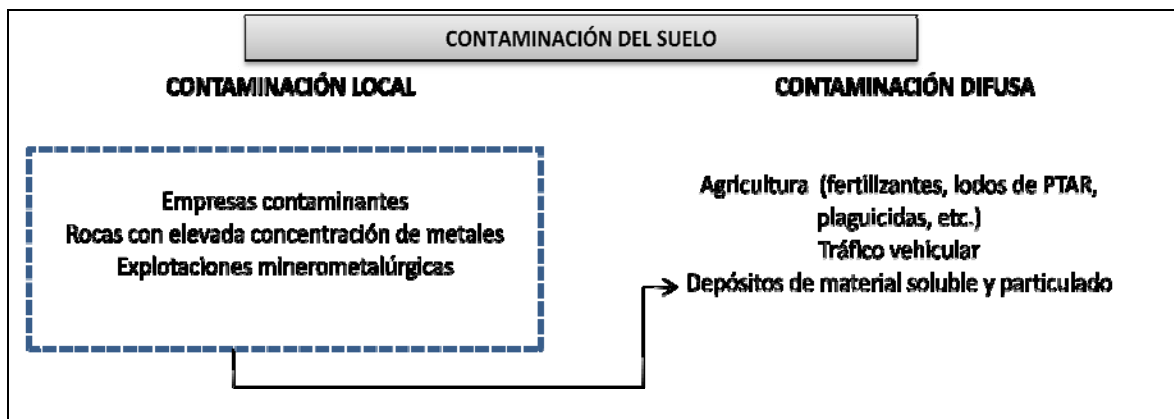
Tabla No. 4. Concentraciones de referencia de contaminantes solubles (CR_S) en mg/L.

Contaminante	Concentración
Arsénico	0,500
Bario	10,000
Berilio	0,122
Cadmio	0,100
Mercurio	0,020
Níquel	1,100
Plata	0,500
Plomo	0,500
Selenio	0,100
Talio	0,020
Vanadio	0,160

Fuente: NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

1.2.4 Tipos de contaminación: contaminación local y contaminación difusa

Martínez y colaboradores (2005) mencionan que se distingue entre la contaminación edáfica proveniente de fuentes claramente delimitadas (contaminación local o puntual y la causada por fuentes difusas). En la Figura No. 4 se observa lo que contribuye a la contaminación local como empresas contaminantes y la contaminación difusa como depósitos de material soluble y particulado.



Fuente: AEMA (2001).

Figura No. 4. Contaminación local y difusa del suelo.

1.2.4.1 Contaminación local

La contaminación local o puntual aparece en las zonas que rodean a la fuente contaminante. En las que existe una relación directa con el origen de la contaminación, ésta va unida generalmente a la minería y a las instalaciones industriales, tanto durante su funcionamiento como después de su abandono; por lo que resultan de riesgo tanto para el suelo como para el agua (Martínez y colaboradores, 2005). La contaminación local es un problema de reciente aparición, aunque las zonas más extensas y afectadas se concentran alrededor de regiones industrializadas.

1.2.4.2 Contaminación difusa

Ésta causada por el transporte de sustancias contaminantes, tanto solubles como insolubles, a lo largo de amplias zonas alejadas de la fuente de origen (Martínez y colaboradores, 2005).

1.2.5 Fluorescencia de rayos X (XRF)

La espectrometría de fluorescencia de rayos X es una técnica analítica bien establecida, usada en diversas aplicaciones industriales para realizar estudios elementales de la composición de diversos materiales. Un desarrollo reciente es la disponibilidad de instrumentación portátil utilizando esta técnica de análisis, en la que el equipo puede ser transportado al sitio de estudio, utilizando una técnica no destructiva, para la investigación de metales y metaloides en suelos contaminados (International Atomic Energy Agency, 2005).

Loredo (2003) menciona el uso de equipos portátiles de fluorescencia de rayos X (XRF), en investigaciones medioambientales. Algunos de los principales elementos de interés que pueden ser identificados son: arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, selenio, plata y zinc. Los resultados obtenidos con este tipo de tecnología son suficientemente buenos para las tareas a las que están enfocados; mismos que se puede asegurar mediante la utilización de patrones de referencia y la duplicidad de los análisis.

Una cuestión importante a plantearse siempre que se pretende utilizar equipos de fluorescencia de rayos X portátil, es determinar el nivel de incertidumbre estimado que puede ser aceptable para los fines de la investigación (Taylor y Ramsey, 2002).

Algunos trabajos previos, realizados con equipo portátil de fluorescencia de rayos X (XRF), han demostrado que el equipo es capaz de detectar niveles de plomo en el suelo comparables con los de absorción atómica en muestras de suelo contaminado, que han sido cribadas a menos de 125 μm en un laboratorio (Markey y colaboradores, 2008); cabe mencionar que, según Loredó (2003), los límites de detección son función del tiempo de medida, las características físicas y químicas del suelo y las interferencias espectrales.

1.2.6 Espectroscopía de absorción atómica

Ésta se ha usado para la determinación de más de 70 elementos. Las aplicaciones en las industrias incluyen muestras clínicas y biológicas, materiales forenses, alimentos, bebidas, agua y efluentes, análisis de suelos, análisis de minerales, productos petrolíferos, farmacéuticos y cosméticos.

La técnica de espectroscopía de absorción atómica inició su práctica a partir de 1955, en los trabajos desarrollados, entre 1952 y 1954, por Alan Walsh en el Instituto de Física de Melbourne (Australia) y Alkemade en Holanda (Skoog y Leary, 1994). En este documento se mencionan las ventajas del uso de esta técnica, como son: a) Un elevado número de metales a analizar, b) La posibilidad de determinar bajas concentraciones de los elementos como partes por billón (ppb), c) Los coeficientes de variación inferiores al 1% en flama y d) La rapidez y el sencillo manejo del instrumento.

El fundamento del proceso de absorción atómica consiste en que cuando los átomos de un elemento en su estado fundamental E_0 son excitados por una radiación

suficientemente monocromática y de energía:

$$E = hv \dots\dots\dots (Ec. No. 1)$$

Éstos absorben radiación pasando a un estado excitado E_1 . Posteriormente, los átomos volverán a su estado fundamental, emitiendo esta energía que absorbieron inicialmente, de forma que:

$$\Delta E = E_1 - E_0 = hv \dots\dots\dots (Ec. No. 2)$$

Esta es la ecuación de Planck y establece que la energía no se absorbe ni se emite de manera continua, sino de forma de “cuantos” de luz de energía. La frecuencia ν de absorción y emisión es característica de cada elemento y forma su espectro de excitación y emisión.

Si sobre un número determinado de átomos de un elemento en estado fundamental se hace llegar una radiación de una longitud de onda determinada y característica de cada elemento, esta radiación puede ser absorbida por el elemento, produciéndose una disminución de la intensidad de la radiación que emerge de esta nube atómica, que será proporcional a la concentración de esos átomos (Skoog y Leary, 1994).

1.2.7 Objetivos y metas

1.2.7.1 Objetivo general

Determinar la concentración de plomo total en suelos superficiales, a diferentes distancias de empresas ubicadas en el Área Metropolitana de Monterrey y Municipios aledaños, que contribuyen con la contaminación de plomo en el suelo superficial. También valorar la capacidad de retención de este metal en condiciones naturales ambientales y detectar la necesidad de remediar los suelos contaminados; ya que en la actualidad no se tiene un inventario confiable de los suelos contaminados por plomo en el Área Metropolitana de Monterrey y algunos municipios aledaños.

1.2.7.2 Objetivos particulares

- a) Seleccionar las empresas que sean representativas de contaminación por plomo en suelo superficial.
- b) Determinar la concentración de plomo total en el suelo superficial, utilizando un equipo portátil de fluorescencia de rayos X (XRF).
- c) Determinar la concentración de plomo total en el suelo superficial, utilizando espectroscopía de absorción atómica (AA).
- d) Determinar la concentración de plomo en tres tamaños de partículas, de las muestras de suelo por XRF y por AA y realizar la correlación que existe entre ambas técnicas de análisis.
- e) Determinar algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, para conocer el comportamiento del plomo en los sitios contaminados.
- f) Comparar los resultados de plomo total obtenidos del suelo superficial con la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

- g) Realizar la extracción de plomo con agua enriquecida con CO₂, para determinar la posible migración de este metal.

1.2.7.3 Meta

La presente investigación tiene como meta principal, conocer el grado de contaminación del suelo con plomo, valorar la capacidad de retención de este metal en condiciones naturales ambientales y detectar la necesidad de remediar los suelos, ya que en la actualidad no se cuenta con un inventario confiable de suelos contaminados por plomo en el Área Metropolitana de Monterrey.

1.2.7.4 Hipótesis

Si los suelos forman barreras naturales para que la liberación del plomo sea lenta, la movilización del plomo en el suelo dependerá de las propiedades físicas y químicas de los mismos, por lo que será mínima la lixiviación del plomo en los suelos contaminados por este metal al someterlos con agua enriquecida con CO₂, simulando condiciones ambientales naturales.

CAPÍTULO 2

EL MÉTODO

2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

En la Figura No. 5 se presentan las actividades realizadas en la fase experimental de este estudio.

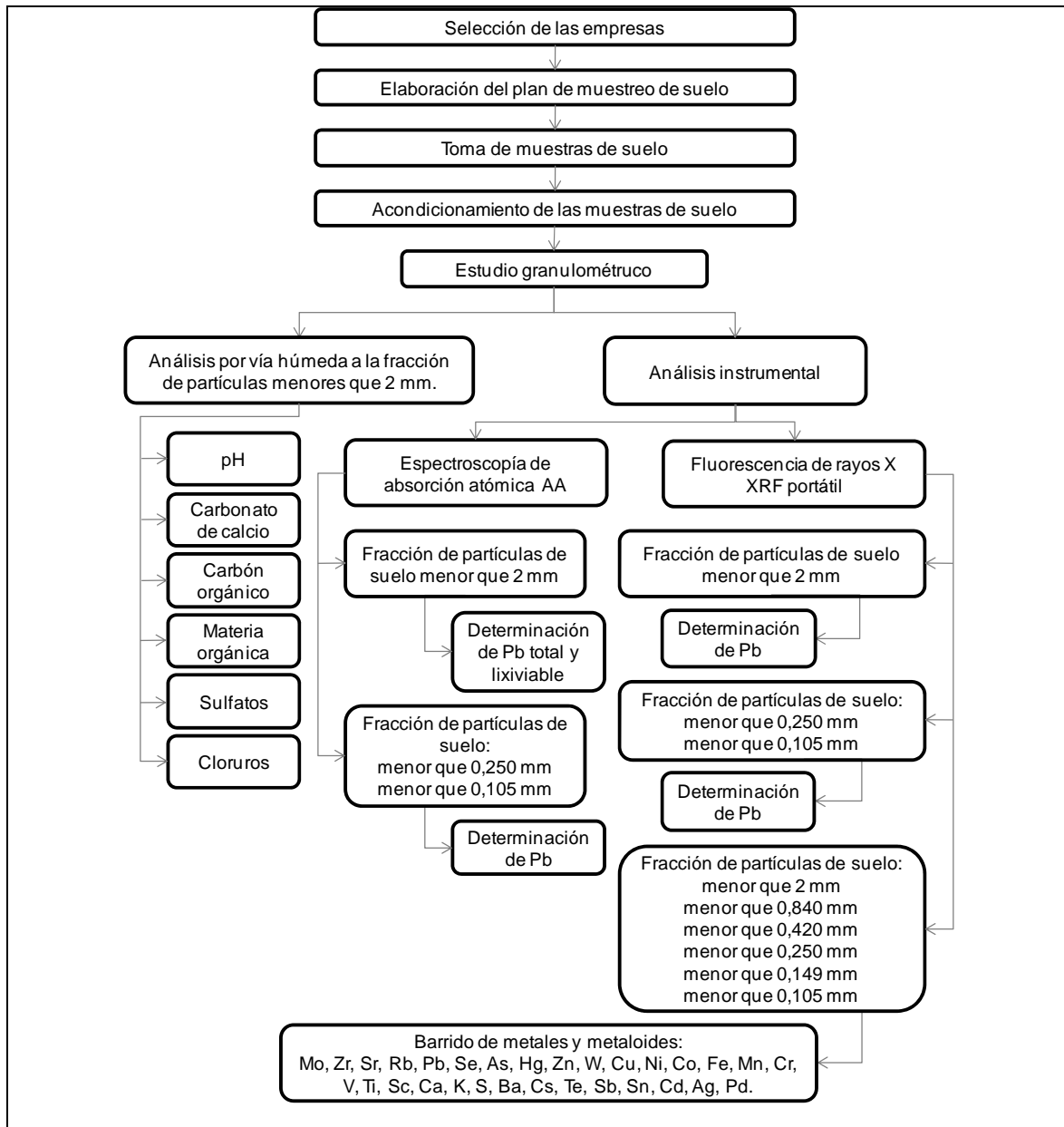


Figura No. 5. Diagrama de las actividades realizadas en este estudio.

2.2 SELECCIÓN DE LAS EMPRESAS

Para realizar el presente estudio se consultó suficiente bibliografía y se trazó un plan de acción; luego se seleccionaron cinco empresas del Área Metropolitana de Monterrey y Municipios aledaños, considerando su giro industrial (utilizaban plomo), por sus antecedentes y por la facilidad de acceso al entorno de éstas para tomar las muestras de suelo. Se investigaron los datos históricos y físicos, se obtuvieron fotografías aéreas para ubicarlas y obtener información sobre sus alrededores y para buscar las rutas para llegar a cada sitio. Las empresas elegidas se muestran en la Figura No. 6.



Figura No. 6. Ubicación de las empresas estudiadas.

2.2.1 La empresa No. 1

Esta empresa se dedica a la fundición de plomo, se encuentra situada en el Municipio de García, municipio que se encuentra en expansión, creciendo aceleradamente, pues a él llegan aproximadamente 4,2 personas diariamente, ya que existe una tasa de crecimiento poblacional del 3% anual, de acuerdo con el Censo de

Población y Vivienda (INEGI, 2005).

García fue conocida anteriormente como Pesquería Grande; cuenta con una extensión territorial de 853,2 km², colinda al norte con Mina, General Escobedo e Hidalgo, al sur y este con Santa Catarina y al oeste con el Estado de Coahuila. En este municipio se han instalado fábricas que forman parte del corredor industrial Monterrey-Ramos Arizpe, donde se destacan: Industria Automotriz, Industria del Vidrio e Industria Minera. La infraestructura de García se encuentra ubicada a ocho kilómetros de la cabecera municipal, que se especializa en la producción de motores eléctricos de alto poder y a la fabricación de vidrios para automóvil, de envases y de productos químicos.

Ahí el clima es cálido, con gran oscilación térmica; su temperatura media anual es de 18°C; pues los meses más calurosos se presentan en julio y agosto, con régimen de lluvias en abril y mayo, y de agosto a noviembre. La dirección de los vientos, en general, es de Este a Oeste. La ubicación de este Municipio se observa en la Figura No. 7.



Figura No. 7. Ubicación del municipio de García, Nuevo León.

2.2.2 La empresa No. 2

La empresa No. 2 se dedica a la manufactura y comercialización del óxido de plomo, y en el sitio se tiene una planta de reciclaje de plomo para recuperar este metal a partir de materiales de desecho. Se encuentra ubicada en el municipio de Santa Catarina.

El municipio de Santa Catarina, cuenta con un área total de 984,5 km² que lo convierte en el Municipio más grande del Área Metropolitana de Monterrey, representando el 14 % de la superficie total del Estado de Nuevo León. Más del 80 % del Municipio está ocupado por la Sierra Madre Oriental y gran parte del Parque Nacional Cumbres de Monterrey. Colinda al oriente con los Municipios de Monterrey y San Pedro Garza García, al poniente, con García y Ramos Arizpe, Coahuila; al sur limita con Santiago y con Arteaga Coahuila y al norte con la muralla natural del Cerro de las Mitras.

El clima característico del noreste, es extremoso, con una temperatura media anual de 20,5°C, siendo la temperatura mínima registrada de - 5°C y una máxima de 43°C. La precipitación media anual es de 449,8 cm³; ambas cifras provienen de registros de 36 años. Los vientos predominantes son de Sureste a Noroeste.

El crecimiento económico de Santa Catarina, en su nivel de producción primario es el agropecuario; el secundario es el minero e industrial y el terciario de servicios. Las montañas fueron y son en pocos casos, centros de trabajo minero. Hasta principios del siglo XX poseía explotación minera de plomo, hierro y mármol; pero ya

esto mermó considerablemente. Sólo se explotan algunas pedreras para obtener grava.

Se conoce a Santa Catarina como la cuna de la industrialización en Nuevo León, porque ahí se asentaron las primeras fábricas que hicieron posible el desarrollo y el auge industrial de Monterrey (Capital del Estado de Nuevo León). En la última década del siglo XX se instalaron ahí importantes instituciones educativas, como la UDEM, y además, se dio el desarrollo de grandes centros habitacionales y plazas comerciales. En la Figura No.8 se observa la ubicación del municipio de Santa Catarina en Nuevo León.

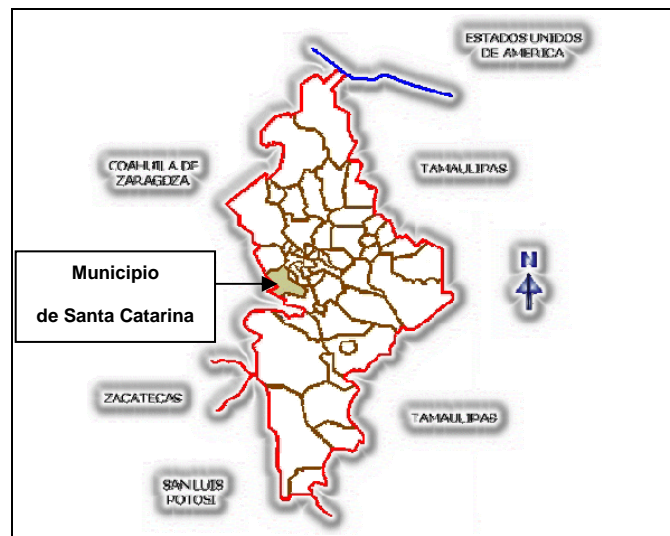


Figura No. 8. Ubicación del municipio de Santa Catarina, Nuevo León.

2.2.3 La empresa No. 3

La empresa No. 3 tiene como actividad principal el reciclaje de baterías automotrices de desecho, con la finalidad de recuperar las materias primas, principalmente el polipropileno y el plomo, para ser utilizadas en la fabricación de nuevas baterías.

Esta empresa está localizada en el municipio de Ciénega de Flores, Nuevo León. Este municipio limita al Norte y al Oeste con Salinas Victoria, al Sur y Este con Apodaca y General Zuazua y tiene una superficie territorial de 156,2 km². Presenta un clima seco estepario cálido; pues su temperatura media anual es de 23°C, su precipitación es de 624 mm. Los vientos dominantes son los del Noreste al Este y del Norte al Sur. El uso potencial del suelo está dedicado a la ganadería (14770 hectáreas), a la agricultura (795 hectáreas) y al área urbana (55 hectáreas). La ubicación del municipio de Ciénega de Flores se muestra en la Figura No. 9.

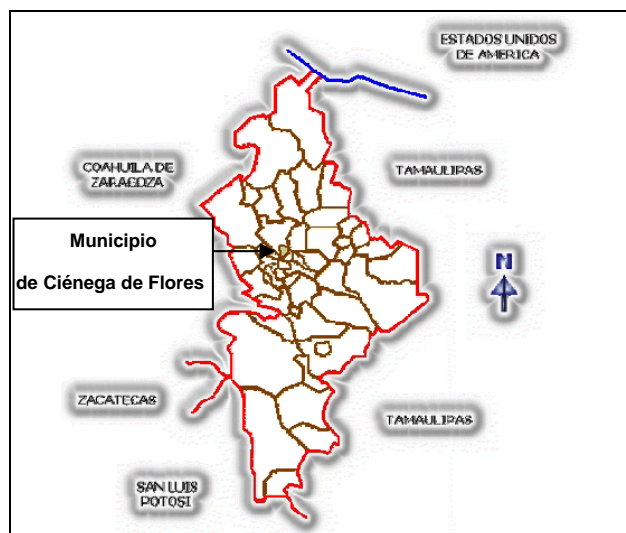


Figura No. 9. Ubicación del municipio de Ciénega de Flores, Nuevo León.

2.2.4 Las empresas No. 4 y No. 5

La empresa No. 4 seleccionada se dedica a la fabricación de acumuladores y pilas y al reciclaje de los mismos y está localizada en el municipio de Pesquería, Nuevo León. La empresa No. 5 se encuentra fuera de operación desde algunos años atrás, pero se dedicaba a la fabricación de acumuladores y se encuentra en ese mismo municipio.

El municipio de Pesquería se localiza en la parte central del Estado de Nuevo León. Limita al Norte con Marín y Doctor González, al Sur con Cadereyta Jiménez y Apodaca, al Este con los Ramones y al Oeste con Apodaca. Su distancia aproximada a la capital del Estado es de 36 km. Con una extensión de 307,5 km², es terreno plano con pequeñas elevaciones, destacando la Loma de Periquillo. Este municipio es atravesado, de Oeste a Este por el río Pesquería y recibe las aguas del río Salinas, en un lugar llamado Las Adjuntas, a la altura de la comunidad de La Arena.

La temperatura promedio de Pesquería es de 22,1°C, el clima es semiseco, muy cálido y la precipitación anual pluvial de 550 mm, los vientos dominantes son del Este. En uso del suelo está registrado que la ganadería ocupa 20552 hectáreas, la agricultura 9898 hectáreas y la zona urbana 300 hectáreas, mientras que la tenencia de la tierra es, básicamente, la propiedad comunal. La localización de este Municipio se observa en la Figura No. 10.



Figura No. 10. Ubicación del municipio de Pesquería, Nuevo León.

2.3 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MUESTREO DEL SUELO

Para la elaboración del Plan de Muestreo del Suelo se tomaron las consideraciones señaladas en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006. Esta norma se utilizó como guía, con la finalidad de organizar y definir los procedimientos aplicables a los sitios de muestreo; se programaron las actividades a realizarse durante el muestreo, su duración, las herramientas para la toma de las muestras, el equipo requerido y las medidas de seguridad.

El Plan de Muestreo de suelos, que es el documento que reúne la información y la programación de cada una de las etapas que forman el muestreo y en el que se detalló los criterios para la toma de muestra consistió en:

- a) La selección del tipo de muestreo a realizar.
- b) El propósito principal de los muestreos y la selección de los parámetros a determinar en el sitio y en el laboratorio.
- c) La ubicación de las empresas seleccionadas, utilizando imágenes digitales de Google Earth, centrando la atención en la empresa y los alrededores, así como las vías de acceso al sitio.
- d) La revisión en gabinete de los alrededores de cada empresa seleccionada.
- e) La selección de los puntos de muestreo en la imagen digital de cada sitio en estudio.
- f) La selección de la profundidad de muestreo.
- g) El tipo de equipo necesario para el muestreo, así como tipo de recipientes, etiquetas y registro de las muestras.
- h) La toma de fotografías de los muestreos, para contar con evidencias gráficas de cada punto (Ver Apéndice D).

- i) El uso de GPS para obtener las coordenadas de cada punto de muestreo.
- j) La cadena de custodia de las muestras.

2.4 LA TOMA DE MUESTRAS DEL SUELO

Como se mencionó en el apartado 2.3 de este estudio, se consideró utilizar los lineamientos de la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. Se utilizó esta norma como guía para la toma de muestras de suelo.

Las muestras de suelo se tomaron en los municipios de García, Santa Catarina, Ciénega de Flores y Pesquería.

El material y equipo utilizado para la colecta de muestras fue: a) cucharones de plástico fáciles de limpiar, resistentes al desgaste y que no contaminen las muestras de suelo, b) bolsas de plástico con capacidad para guardar 1 kg de muestra, etiquetadas con tinta indeleble al agua. c) bitácora de campo, d) fotografías aéreas de las zonas de muestreo con la ubicación tentativa de los puntos de muestreo, e) GPS para ubicar los puntos de muestreo seleccionados en cada sitio.

El muestreo realizado se hizo considerando que las muestras de suelo tomadas fueran de por lo menos 500 g de material fino, obtenido mediante el cribado del suelo, para el análisis de los parámetros previamente seleccionados. Los cucharones de plástico llevados al lugar de muestreo fueron suficientes para no ser lavados en el campo. Este material fue previamente lavado en el laboratorio, utilizando

un detergente especial, que se encuentra libre de fosfatos y enjuagados finalmente con agua destilada.

A las muestras de suelo en el sitio, se les retiraron los restos de plantas (hojas y raíces) y las piedras mayores que 0,02 m de diámetro. En los muestreos se tomaron fotografías y se registró en la bitácora la información de ubicación de los puntos de muestreo, utilizando la información proporcionada por el GPS en unidades UTM, además de anotar las observaciones importantes de cada sitio. Las etiquetas de las muestras incluyeron las claves de cada sitio referenciadas en la bitácora de campo, así como la fecha y la hora del muestreo. Durante el traslado al laboratorio las muestras se protegieron de la luz solar, colocándolas en hieleras cerradas.

El método de muestreo de suelo seleccionado se hizo con la finalidad de obtener muestras representativas, para establecer los niveles de contaminación por plomo. El muestreo realizado fue superficial (0,0 m a 0,05 m) de profundidad, tomando muestras simples en cada punto de muestreo. La distribución y selección de los puntos de muestreo, fue de común acuerdo con el personal del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, considerando su capacidad, su actualización y su experiencia en el área de contaminación de suelos por más de 30 años de servicio en Ingeniería Ambiental. Este tipo de Muestreo está establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 como “**a juicio de experto**”.

El Apéndice Informativo A, de la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006, muestra que este método de muestreo “a juicio de experto” está permitido y es útil para determinar la existencia o nivel de contaminación de un sitio. Las ventajas que

representa es que son muestreos rápidos de bajo presupuesto y si se cumplen las condiciones indicadas, se considera como muy eficiente. Tomando en cuenta lo anterior, en este trabajo se cumplieron los requisitos de dicha norma.

2.5 ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

La preparación de las muestras es tan importante como el muestreo y análisis de las mismas. Tomando en cuenta en la preparación desde la recepción, el registro, el secado, el cribado, el homogenizado, el cuarteo y el almacenamiento de las mismas.

La recepción y el registro de las muestras se realizaron utilizando una clave de identificación de campo. Posteriormente, las muestras fueron secadas al aire, para optimizar el manejo de las mismas, extendiendo las muestras en charolas colocadas en el laboratorio, en la sombra a una temperatura no mayor que 35°C y una humedad de entre el 30 y el 70 %.

A las muestras ya secadas se les retiraron los restos de plantas y piedras, pasándolas a una serie de tamices. El primer tamaño de partícula tomado fue el que pasó la malla 10, obteniendo partículas de suelo con un diámetro menor que 2 mm, siendo este tamaño obtenido, el que presenta el grado de fineza conveniente, para la mayoría de los análisis químicos realizados, y descartando el material grueso retenido en la misma malla.

Después del tamizado se procedió a homogenizar cada una de las muestras obtenidas por cribado y éstas fueron colocadas en bolsas de polipropileno (mezclándolas en el interior de la bolsa) y luego fueron cuarteadas para obtener la

muestra representativa para ser analizada. Las bolsas con las muestras de suelo fueron cerradas junto con las etiquetas de campo, almacenadas en un sitio del laboratorio lejos de la luz solar, y a una temperatura no mayor que 25°C. Las muestras fueron analizadas en un tiempo menor que 30 días. En todas las actividades realizadas a las muestras de suelo, se evitó la contaminación de las mismas.

Para los cálculos de los parámetros químicos de las muestras de suelo analizadas por vía húmeda, como cloruros, sulfatos, carbón orgánico, materia orgánica, carbonato de calcio, y plomo total y lixiviable (analizados por AA) se realizaron en base seca de las muestras de suelo secadas a 105 °C.

Los análisis por XRF portátil fueron directos de las muestras con un contenido de humedad menor que el 10%, ya que en el método de referencia USEPA 6200 (2007), se indica que el contenido de humedad debe estar entre el 5 y el 20 % puede ser utilizado para el análisis, ya que se considera este porcentaje como una fuente mínima de error.

2.6 GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS

Para obtener partículas de suelo de varios tamaños se procedió a pasar las muestras de suelo secadas al aire por las mallas 10 (2 mm), 20 (0,840 mm), 40 (0,420 mm), 60 (0,250 mm = 250 µm), 100 (0,149 mm) y 140 (0,105 mm = 105 µm). Toda la serie de mallas fue colocada en un equipo Ro-Tap para que el tamizado fuera mecánico, agitando las muestras de suelo durante un periodo de 6 minutos. Cada fracción de tamaño de partícula fue pesada y el resultado registrado en la bitácora de trabajo.

La Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 recomienda que para los análisis químicos el tamaño de partícula de suelos, se utilice un tamaño menor que 2 mm, tamaño considerado para determinar la concentración de plomo por espectroscopía de absorción atómica y por XRF portátil, así como también, para los análisis por vía húmeda.

Uno de los propósitos importantes de esta investigación fue el de correlacionar los métodos instrumentales de espectroscopía por absorción atómica y el de fluorescencia de rayos X (portátil), por lo que para comparar ambos resultados se optó por evaluar tres tamaños de partícula, que fueron: la menor que 2 mm, la menor que 0,250 mm (250 μm) y la menor que 0,105 mm (105 μm). Eso ayudará a tener información rápida y valiosa en el campo, al utilizar XRF en los sitios de remediación de suelos, sin tener que esperar los resultados del laboratorio donde las muestras necesitan ser tratadas por medio de una digestión ácida y obtener la concentración en un equipo como espectroscopía de absorción atómica, tiempos sujetos al trabajo de laboratorio y al número de muestras enviadas para su análisis.

2.7 ANÁLISIS POR VÍA HÚMEDA A LA FRACCIÓN DE PARTÍCULAS MENORES A 2 MM

Como se mencionó en el punto 2.5, las muestras de suelo fueron secadas al aire, extendiendo las muestras de suelo en charolas, colocadas en el laboratorio a una temperatura no mayor que 35°C y una humedad entre el 30 y el 70%; luego fueron tamizadas de acuerdo con lo recomendado por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, obteniendo partículas menores que 2 mm. Las muestras fueron

también homogenizadas y posteriormente analizadas. Es importante mencionar que los resultados se reportaron con base en las muestras secadas a 105°C.

Los métodos de análisis por vía húmeda realizados a las muestras de suelo, en este trabajo, se comentan a continuación:

2.7.1 Determinación de pH

Para esto se siguió el procedimiento establecido en el método USEPA 9045 (2000), en el que se especifica la medición de 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 sedimentara el suelo analizado.

2.7.2 Determinación de la humedad

Para determinar la humedad del suelo se utilizó un proceso gravimétrico, del método de la NOM-021-SEMARNAT-2000: se calculó la pérdida de peso de la muestra del suelo húmedo y seco, a 105°C, por 24 horas y se reportó como humedad. El suelo fue sometido a secado en estufa a 105° C, hasta lograr el peso constante (ONU, 1984).

2.7.3 Determinación del carbonato de calcio

Para la determinación de 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) fue titulado. Los resultados son referidos como

carbonato de calcio equivalente. Se siguió el procedimiento señalado en la norma NOM-021-SEMARNAT- 2000.

2.7.4 Determinación del carbono orgánico

El método 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 generó cuando se le adicionó ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera, la mezcla se diluyó, 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.

2.7.5 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 calcula a partir del carbón orgánico.

2.7.6 Determinación de los sulfatos

Se procedió al análisis, 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 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.

2.7.7 Determinación de los cloruros

Se empleó el método señalado en la norma NOM-021- SEMARNAT-2000. Una porción del extracto de la muestra de suelo con agua destilada se tituló con solución de nitrato de plata, utilizando cromato de potasio como indicador. 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 terminó la valoración.

2.8 ANÁLISIS INSTRUMENTAL

La química analítica es la rama de la química que tiene como finalidad el estudio de la composición química de un material o muestra, mediante diferentes métodos de laboratorio. Se divide en química analítica cuantitativa y química analítica cualitativa.

La búsqueda de métodos de análisis más rápidos, selectivos y sensibles es uno de los objetivos esenciales perseguidos por los químicos analíticos. En la práctica resulta muy difícil encontrar métodos analíticos que combinen estas tres cualidades y, en general, algunas de ellas deben ser sacrificadas en beneficio de las otras. El uso de la instrumentación es una parte atractiva y fascinante del análisis químico que interacciona con todas las áreas de la química y con muchos otros campos de la ciencia pura y aplicada.

A menudo es necesario realizar algunas operaciones sobre la muestra, ya sean físicas o químicas, previas al análisis final; éstas operaciones pueden reducir o

eliminar las interferencias, llevar la concentración del analito al intervalo de análisis deseado, o producir a partir del analito, especies con propiedades cuantitativamente medibles, tales operaciones incluyen la disolución, la fusión, la separación, la dilución, la concentración y la formación de derivados químicos.

La instrumentación compleja no elimina la necesidad de las destrezas de laboratorio fundamentales, sino que aumenta su importancia. Para evaluar la precisión y los resultados de los análisis, el analista necesita usar métodos estadísticos, que incluyen los límites de confianza, el rechazo de puntos aberrantes, el análisis de regresión para establecer gráficas de calibración y otros procesos.

Las técnicas de análisis por fluorescencia de rayos X convencionales no resultan adecuadas para campos de aplicación que requieren métodos analíticos de alta sensibilidad, como bajos límites de detección, por lo que este es un punto débil de la XRF.

El método USEPA 6200 (2007) es aplicable al análisis en el sitio, de 26 analitos para muestras de suelo y sedimentos. Algunos elementos no se pueden analizar, como son los que tienen un número atómico menor que 16, como el litio, el berilio, el sodio, el magnesio, el aluminio, el silicio y el fósforo. Pero aquellos que presentan número atómico igual o mayor que 16 pueden ser detectados y cuantificados por XRF portátil; como son: antimonio, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobalto, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio, estaño, vanadio, zinc, calcio, hierro, manganeso, molibdeno, potasio, rubidio, estroncio, torio, titanio y zirconio.

El método USEPA 6200 (2007) requiere que se realice con las mediciones de XRF portátil, un análisis confirmatorio, empleando otra técnica como espectroscopía de absorción atómica por flama o por horno de grafito, plasma acoplado a espectroscopía de emisión atómica o a espectroscopía de masa. Sin embargo, con el uso de XRF portátil, se obtienen resultados rápidos, de bajo costo y efectivos para la caracterización de elementos en el sitio de estudio.

El análisis por XRF portátil presenta ciertas interferencias físicas de efecto matriz, como el tamaño de la partícula, la uniformidad de las partículas y las condiciones superficiales de la medición. Una forma de evitar los problemas de tamaño de partícula es medir en un tamaño de muestra uniforme, reduciendo la variabilidad de las partículas de suelo para realizar las lecturas en el equipo.

Otro problema con el uso de XRF portátil es no tener homogénea la muestra, ya que generalmente tiene un gran impacto al comparar los resultados con las pruebas confirmatorias, utilizando otra técnica de análisis como espectroscopía de absorción atómica.

El contenido de humedad también afecta a los análisis de las muestras de suelo. El error es mínimo en contenido, menor que el 20 %, aumentando la fuente de error al analizar el suelo superficial saturado con agua; pero puede ser minimizado, procediendo al secado de las muestras. Para minimizar errores en las lecturas, la ventana frontal del equipo deberá colocarse lo más cerca posible de la muestra.

2.8.1 Espectroscopía por absorción atómica

Entre las ventajas de la espectroscopía de absorción atómica se encuentran:

a) Que es aplicable a diferentes elementos, b) Su sensibilidad, favorable para determinar bajas concentraciones de los elementos c) Su aplicación en concentraciones de partes por millón, d) El análisis cuantitativo de precisión en las muestras analizadas.

Las desventajas que presenta la espectroscopía de absorción atómica son: a) Que se dan interferencias en algunos análisis por los elementos presentes en la muestra, b) Que se necesitan tomar algunas muestras de referencia, d) Que se dan interferencias por efecto de matriz, e) Que no es muy preciso este método de análisis en concentraciones altas.

En esta técnica de análisis es necesario tener conocimiento del átomo y de los procesos atómicos involucrados en ella. La configuración más estable y de más bajo contenido energético, conocida como estado fundamental, que es la configuración normal para el átomo. Si a un átomo se le aplica energía, ésta será absorbida por él, e inducirá que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o estado excitado. El electrón retornará a su orbital inicial ya que la fase inestable es espontánea y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación, por lo que la energía absorbida en el proceso de excitación o la emitida en el proceso de decaimiento puede ser medida y usada para propósitos analíticos.

Si la luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en estado fundamental, el átomo puede absorber energía y pasa al estado excitado, en un proceso conocido como absorción atómica. La característica de interés en las medidas por absorción atómica es la cantidad de luz, a la longitud de onda resonante, que es absorbida, cuando la luz pasa a través de una nube atómica. Conforme el número de átomos se incrementa en el paso de la luz, la cantidad que de ésta será absorbida, se incrementará en una forma predecible. Se puede determinar cuantitativamente el analito presente, midiendo la cantidad de luz absorbida.

Para el presente estudio, las fracciones de suelo analizadas por Espectroscopía de absorción atómica (AA) fueron: el tamaño de partículas menor que 2 mm, el menor que 250 μm , y el menor que 105 μm .

Esta técnica es aplicable para metales y metaloides que se encuentran disueltos, por lo que las muestras de suelo fueron tratadas previamente para tenerlos en forma de extractos acuosos. Se usó un equipo de espectroscopía de absorción atómica marca Thermo Electron Corporation Serie SOLAAR M, determinando la concentración de plomo en las soluciones de las pruebas realizadas.

Se utilizó el método USEPA 3050B (1996). Las muestras de suelo fueron digeridas con ácido nítrico, y sometidas a calentamiento, posteriormente filtradas, y los residuos enjuagados con agua destilada y aforadas a 100 mL, para analizarlas por espectroscopía de absorción atómica.

2.8.1.1 Plomo lixiviable con agua en equilibrio con CO₂ en suelo contaminado

El método se elaboró con base en la prueba de ASTM D 3987-85 (1988), "Modified test for shake extraction of solid waste with water", el cual está diseñado para determinar la movilidad de analitos orgánicos e inorgánicos presentes en los suelos, simulando escenarios ambientales como la presencia de lluvia ácida a un valor de pH 5,5 en la que estarían en contacto los contaminantes del suelo.

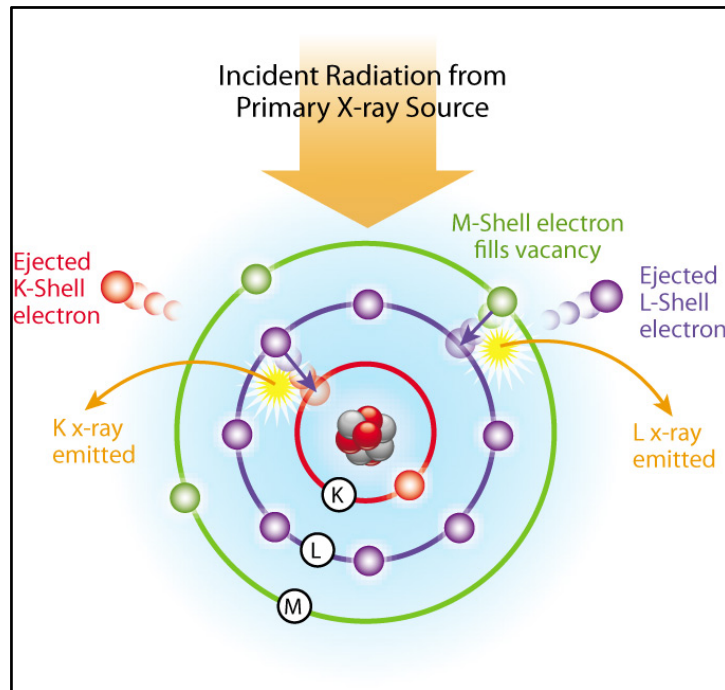
Para la determinación se preparó agua destilada enriquecida con CO₂ atmosférico (H₂O-CO₂), preparándola con agua destilada sometida a burbujeo con aire, el pH fue de 5,5. En el envase se colocó la muestra de suelo y el agua enriquecida con CO₂ y se sometieron a agitación rotatoria a 30 ± 2 RPM, por periodos de 18 horas, a temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Al terminar el tiempo de agitación, las muestras se filtraron a través de membrana filtrante 0,45 μm , utilizando vacío, se acidificó el extracto con HNO₃ para obtener un pH menor a 2 y se analizó por espectroscopía de absorción atómica.

2.8.2 Fluorescencia de Rayos X

La espectroscopía de fluorescencia atómica es la más moderna de las técnicas con que se determinan los metales. En absorción atómica se mide la absorción de la radiación de una lámpara que puede ser de cátodo hueco, mientras que en la fluorescencia atómica se observa la emisión de la especie atómica que ha sido excitada por una longitud de onda adecuada.

La espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica de espectroscopía atómica basada en las transiciones de electrones de los átomos que se

producen cuando una radiación electromagnética de cierta energía incide con el material en estudio, produciendo una excitación del átomo (Figura No. 11), el cual pasa de un estado basal a otro de mayor energía, cuantificando la energía liberada en forma de fluorescencia, cuando el electrón pasa de un orbital de mayor energía a otro de menor energía (Meléndez y Camacho, 2009).

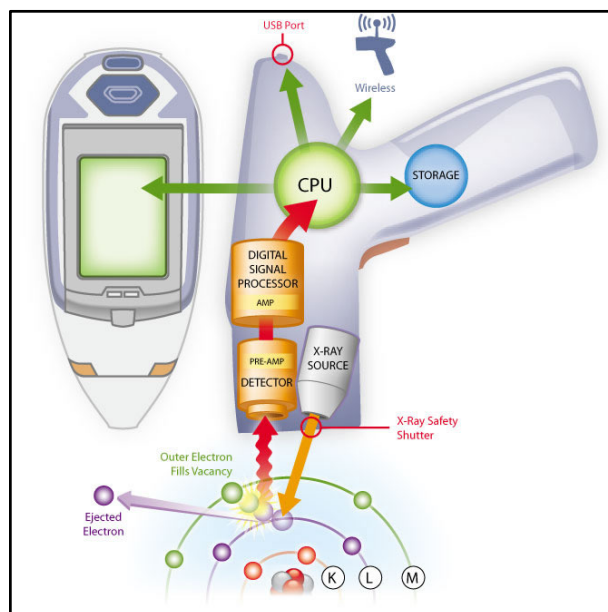


Fuente: Manual de operación del equipo portátil Niton XL3t-600, www.niton.com

Figura No. 11. Diagrama de la transición de electrones al recibir la radiación.

Mediante un equipo de XRF es posible realizar un análisis cualitativo, cuando la energía de los rayos X emitida, es convertida a una longitud de onda específica, logrando una clara e inequívoca identificación de los elementos presentes en la muestra, ya que la longitud de onda es única para cada elemento; mientras que el análisis cuantitativo se logra debido a que la intensidad de los rayos X es directamente proporcional a la concentración del elemento (Meléndez y Camacho, 2009).

En la Figura No. 12 se muestra el diagrama del funcionamiento del equipo de fluorescencia de rayos X portátil, que ofrece la ventaja de realizar determinaciones multi-elementos en tiempos cortos, reduciendo el tiempo de espera de los análisis tradicionales, como espectroscopía de absorción atómica o 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 6200, 2007).



Fuente: Manual de operación del equipo portátil Niton XL3t-600, www.niton.com

Figura No. 12. Diagrama del funcionamiento del analizador portátil de XRF, modelo Niton XL3t-600.

Para la determinación semi-cuantitativa del contenido de metales y metaloides en cada una de las muestras, se utilizó el equipo portátil de fluorescencia de rayos X (XRF), marca Niton, modelo XL3t-600. Este equipo cuenta con tres filtros de medición, los cuales se utilizan para excitar o aumentar la sensibilidad de elementos específicos y determinar así su concentración, en la Tabla No. 5 se muestran los elementos que se determinan en cada filtro.

Tabla No. 5. Elementos cuantificados en cada filtro de análisis del equipo portátil de XRF marca Niton, modelo XL3t-600.

Filtro	Elementos
Principal	Mo, Zr, Sr, Rb, Pb, Se, As, Hg, Zn, W, Cu, Ni, Co, Fe, Mn.
Bajo	Cr, V, Ti, Sc, Ca, K, S.
Alto	Ba, Cs, Te, Sb, Sn, Cd, Ag, Pd.

Fuente: Manual de operación del equipo portátil Niton XL3t-600

Cada filtro fue configurado con una duración de 60 segundos; al iniciar la medición, los filtros fueron utilizados en secuencia, produciendo así un resultado combinado, de tal manera que el tiempo de cada lectura por muestra es de 180 segundos, lo cual garantiza que los resultados sean confiables.

El análisis se realizó en dos etapas:

- a) En la primera, las muestras fueron homogenizadas y analizadas por XRF, procedimiento que se repitió para tener tres lecturas en condiciones naturales por cada muestra, esto con la finalidad de observar las variaciones entre una lectura y otra, ya que debe considerarse que la determinación es superficial y el resultado puede ser afectado por la heterogeneidad propia del suelo.
- b) La segunda etapa se realizó posterior al análisis granulométrico, una vez que las fracciones de cada muestra se clasificaron según el tamaño de partícula, se analizaron por medio del equipo de fluorescencia de rayos X con el objetivo de conocer en qué fracción del suelo se encuentra la mayor concentración de plomo y otros metales.

2.8.3 Coeficientes de correlación como herramienta estadística

La correlación es básicamente una medida de la relación entre dos variables, aunque debe advertirse que tales relaciones no necesariamente implican que una sea causa de la otra. Para estudiar la relación entre dos variables continuas, se utilizan los coeficientes de correlación (Pearson, Spearman, Kendall entre otros), para determinar el grado de relación entre las mismas.

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Ésta correlación es independiente de la escala de medida de las variables. La magnitud de este coeficiente de correlación varía de +1 a 0 y - 1. Se define como:

$$r = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \dots\dots\dots (Ec. No. 3)$$

Donde:

Z es cada una de las puntuaciones

r es la correlación

El valor de r será positivo si existe una relación directa entre ambas variables analizadas, si las dos aumentan al mismo tiempo. Será negativo si la relación es inversa, es decir, cuando una variable disminuye a medida que la otra aumenta. Un valor de +1 o -1 indicará una relación lineal perfecta entre ambas variables, sin importar el signo; mientras que un valor de 0, indica que no existe relación lineal entre ellas. El valor de cero no indica necesariamente que no existe correlación, ya que las variables pueden presentar una relación no lineal. En la Tabla No. 6 se presenta la

interpretación de los valores del coeficiente de correlación de Pearson.

Tabla No. 6. Significado 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

Martínez y colaboradores (2009), mencionan que en las investigaciones surge muy frecuentemente la necesidad de determinar la relación entre dos variables cuantitativas en un grupo de sujetos, en donde recomienda primero visualizar el tipo de relación que se establece en las variables para corroborar el resultado matemático obtenido. Los objetivos del uso de la correlación de Pearson son:

- a) Determinar si las dos variables están correlacionadas, es decir, si los valores de una variable tienden a ser más altos o más bajos para valores más altos o más bajos de la otra variable.
- b) Poder predecir el valor de una variable, dado un valor determinado de la otra variable.
- c) Valorar el nivel de concordancia entre los valores de las dos variables.

Al estar analizando la relación de dependencia de los 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 valor del coeficiente de determinación R^2 se incluye cuando los datos presentan cierta correlación lineal.

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, o dicho de otra forma, indica qué parte de la relación entre los puntos queda explicada por una regresión lineal. Se calcula como el cuadrado de la suma de las diferencias entre cada valor estimado por la regresión y la media, dividido por el cuadrado de la suma de las diferencias entre cada valor observado y la media.

Después de obtenidos los resultados del análisis de las muestras de suelo por espectroscopía de absorción atómica y XRF, se procedió a realizar el análisis de correlación de las muestras de suelo analizadas. Con los datos del coeficiente de determinación R^2 obtenido para cada uno de los tres tamaños de partícula analizados para el contaminante plomo, se seleccionó el tamaño de partícula más conveniente, y representativo de las concentraciones de Pb, que puede ser utilizado para la toma de decisiones sobre el grado de contaminación del suelo por este elemento.

Los cálculos, tablas y gráficos presentados en este estudio fueron realizados con el programa Excel 2007 (Microsoft Office). Para visualizar, analizar y comprender el comportamiento de los datos, éstos fueron graficados acompañados por una línea de tendencia, que consistió en la regresión lineal simple de mejor ajuste, para observar si los datos presentan cierta correlación lineal.

También se realizó la correlación lineal de Pearson de los resultados de los parámetros analizados con el equipo de XRF portátil, con el objetivo de establecer el grado de asociación entre la concentración de las variables obtenidas.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se discuten los resultados obtenidos en el presente estudio, como son: las características físicas y químicas de las 24 muestras de suelo, la concentración de plomo determinada por el equipo portátil de fluorescencia de rayos X (XRF), la concentración de plomo por Absorción Atómica, y la correlación entre ambos métodos. También se comentan las correlaciones de los parámetros obtenidos en los análisis por XRF realizados a las muestras de suelo.

3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Se investigaron, para las cinco empresas seleccionadas, las condiciones físicas (topografía) y naturales (geología, edafología y uso del suelo) para los municipios considerados como son: García, Santa Catarina, Ciénega de Flores y Pesquería.

3.1.1 La empresa No. 1

Esta empresa se dedica a la fundición de plomo y en sus procesos utilizan óxido de plomo, razones por las que fue seleccionada.

Las muestras de suelo se extrajeron en la periferia de la empresa No. 1. En la Tabla No. 7 se indican las coordenadas UTM correspondientes a los 9 puntos de muestreo. Todos se encuentran localizados a lo largo de la vía del ferrocarril ubicada al sur de la empresa, según se observa en la Figura No. 13.

Tabla No. 7. Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 1

MUESTRA	COORDENADAS	
	E	N
M-1	14343796	2849886
M-2	14343791	2849868
M-3	14343812	2849860
M-4	14343852	2849843
M-5	14343891	2849825
M-6	14343946	2849822
M-7	14343924	2849829
M-8	14343895	2849837
M-9	14343867	2849850

En la Figura No. 13 se identifican algunos puntos que pudiesen ser motivo de preocupación ambiental, ya que en los puntos de muestreo ubicados muy próximos al límite de propiedad de la empresa se observaron los efectos característicos de corrosión por vapores ácidos o posiblemente por derrames líquidos con un pH bajo; aunque se pudo observar que la pendiente del terreno donde se ubica la planta es de Sur a Norte, es decir, de la vía del ferrocarril hacia la carretera Monterrey-García.

La dirección del viento predominante en el sitio donde se encuentra esta empresa es del Noreste, gran parte del año y en invierno los vientos son del Norte.

En las proximidades de esta empresa no existían asentamientos habitacionales; sin embargo, el escurrimiento natural del agua es de la planta en estudio hacia la carretera de García, áreas con una acelerada urbanización, existiendo la posibilidad que en el futuro los escurrimientos de agua pluvial del exterior y del interior de la empresa arrastren residuos ácidos con un alto contenido de plomo, ya sea

a través del canal pluvial que se observa en la fotografía que se encuentra en uno de los costados de la empresa, o por el agua que escurre superficialmente.

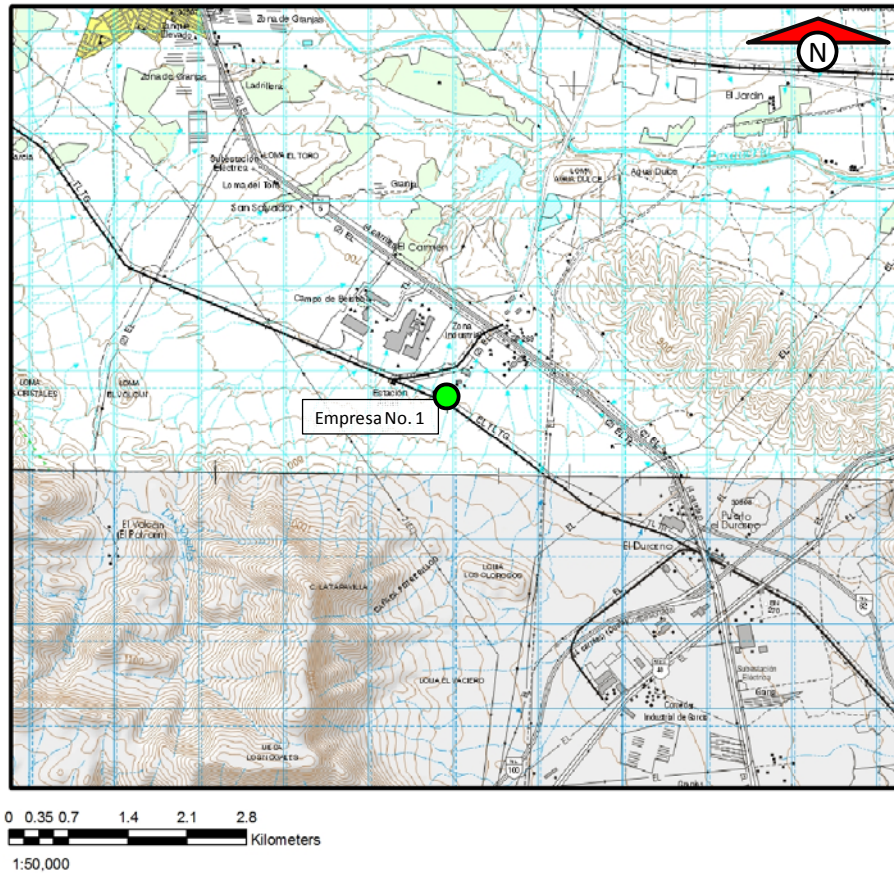


Figura No. 13. Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 1 (Muestras M-1 a M-9).

3.1.1.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía

Topografía

La empresa No. 1 está localizada en una zona industrial en el municipio de García, el cual tiene una latitud $25^{\circ}49'$ N, una longitud $100^{\circ}36'$ O, y se encuentra a 710 msnm, con una población total de 143 668 habitantes (INEGI, 2010). Con las coordenadas tomadas con el GPS fue posible ubicar con más precisión la ubicación de la empresa en la carta topográfica correspondiente, que se muestra en la Figura No. 14.



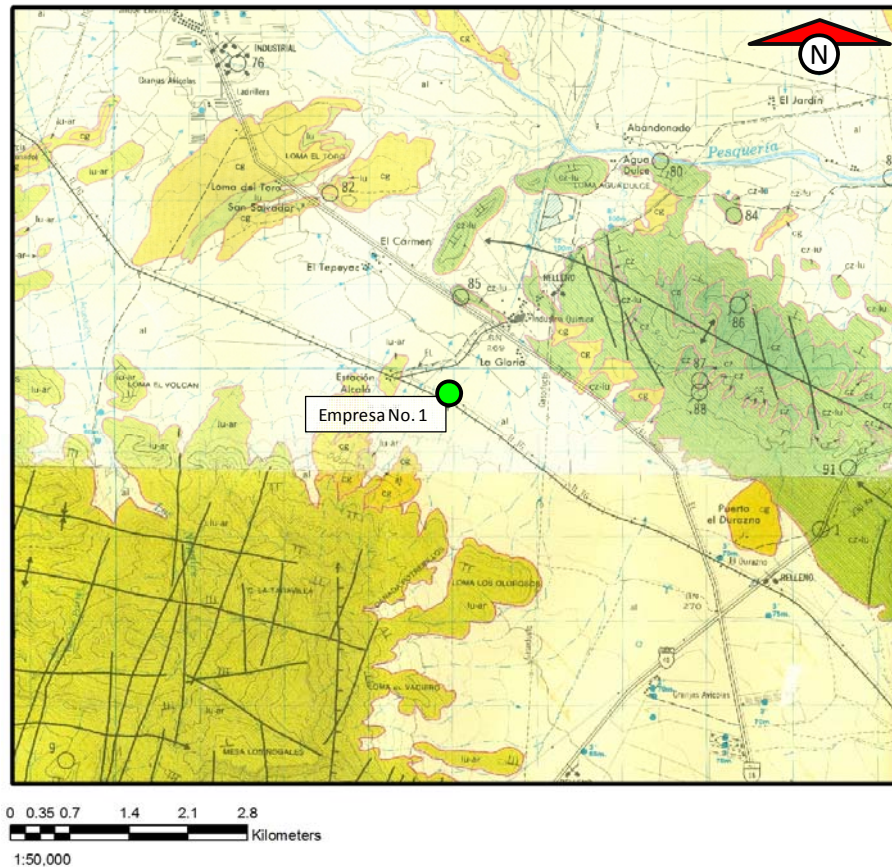
Fuente: Cartas Topográficas:
Garza García G14C25, escala 1:50000, INEGI, 2da edición 1998, 1era impresión 1999;
Hidalgo G14C15, escala 1:50000, INEGI, 2da edición 1998, 1era impresión 2000.

Figura No. 14. Ubicación topográfica de la empresa No. 1.

3.1.1.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo

Geología

El análisis geológico realizado utilizando las coordenadas UTM y la Carta Geológica correspondiente que está representada en la Figura No. 15, indica que la empresa No. 1 se encuentra sobre un suelo tipo *aluvión* (al), el cual está formado por el depósito de materiales sueltos (gravas, arenas) provenientes de rocas preexistentes, que han sido transportadas por corrientes superficiales de agua.



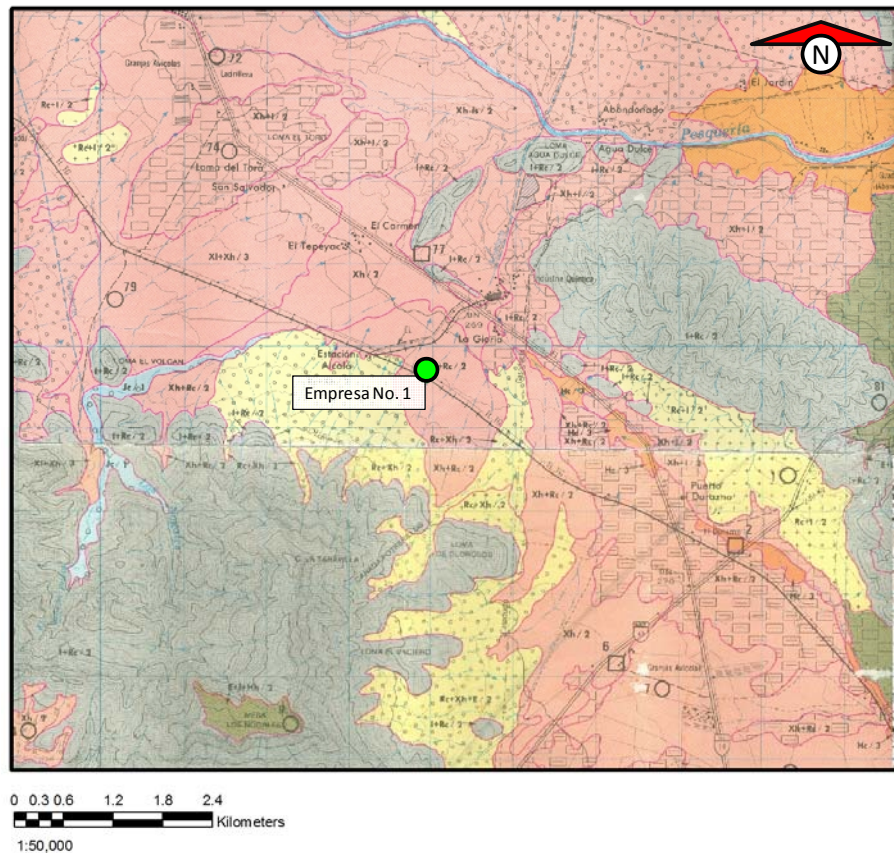
Fuente: Cartas Geológicas de:
Garza García G14C25 e Hidalgo G14C15 , escala 1:50000, INEGI, primera edición 1976;

Figura No. 15. Ubicación geológica de la empresa No. 1.

Edafología

Conforme a la carta edafológica correspondiente, plasmada en la Figura No. 16, la empresa No. 1 se encuentra sobre un suelo $Xh+Rc/2$; es decir, suelo tipo Xerosol háplico (Xh) predominante en este caso, se localiza en zonas áridas y semiáridas, su vegetación natural es de matorrales y pastizales; se caracteriza por tener una capa superficial de color claro y muy pobre en humus, y tiene baja susceptibilidad a la erosión; el suelo secundario es el Regosol calcárico (Rc), puede encontrarse en distintos climas con diversos tipos de vegetación, en general es de color claro y tiene susceptibilidad variable a la erosión, es un suelo rico en cal y es el

más fértil de los regosoles; y la clase textural en los 0,30 m superficiales de suelo es media.



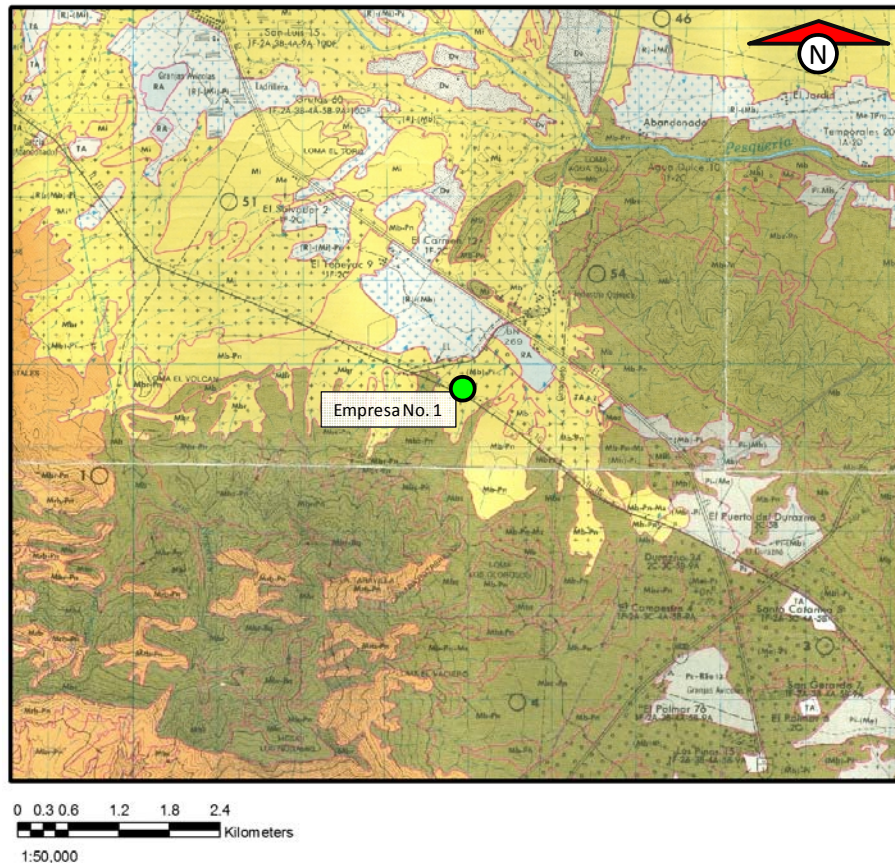
Fuente: Cartas Edafológicas de: Garza García G14C25 e Hidalgo G14C15, escala 1:50000, INEGI, primera edición 1977.

Figura No. 16. Ubicación edafológica de la empresa No. 1.

Uso del suelo

De acuerdo con la carta de uso del suelo, mostrada en la Figura No. 17, el tipo de vegetación que corresponde al lugar donde está la empresa No. 1, es *Mbr*, que se refiere a matorral desértico micrófilo, que se caracteriza por elementos arbustivos de hojas pequeñas, que generalmente se encuentra en terrenos aluviales de las zonas áridas y semiáridas del país. Dentro de esta clasificación se trata específicamente al matorral subinerme *Mb*, que es una comunidad compuesta por plantas espinosas o

inermes y que está asociado a los Crasi-rosulifolios espinosos *Mr*, que son plantas con hojas dispuestas en rosetas, carnosas y espinosas.



Fuente: Cartas de Uso del suelo de: Garza García G14C25 e Hidalgo G14C15, escala 1:50000, INEGI, 1era edición e impresión 1977.

Figura No. 17. Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 1.

3.1.2 La empresa No. 2

La empresa No. 2 se ubica en una zona urbana del municipio de Santa Catarina, Nuevo León, y se dedica a la manufactura y comercialización de óxido de plomo. Cuenta con una planta de reciclaje de plomo, para recuperar este metal a partir de materiales de desecho.

Las muestras de suelo tomadas en la periferia de la Empresa No. 2 se identificaron como: M-10, M-11, M-12 y M-13 (Figura No. 18); y sus coordenadas se indican a continuación en la Tabla No. 8.

Tabla No. 8. Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 2

MUESTRA	COORDENADAS	
	E	N
M-10	14354920	2840091
M-11	14354906	2840090
M-12	14354951	2840070
M-13	14355209	2840083

En la Figura No. 18 se observan dos grandes naves industriales, notándose en una de ellas los efectos de los residuos generados por la combustión, y una nave con techos metálicos aparentemente con poco tiempo de exposición.

Los vientos predominantes en el sitio donde se encuentra la empresa en estudio son del Noreste, considerando a este factor como transporte de partículas sólidas y vapores de plomo generados en una industria como la estudiada, con el agravante de que los vientos tienen una dirección hacia la cabecera municipal de Santa Catarina.

Los escurrimientos superficiales son de poniente a oriente, no se observaron estructuras que hicieran suponer la existencia de drenaje pluvial, por lo que el agua de lluvia escurre del interior de la empresa hacia las calles, arrastrando seguramente polvo con alto contenido de plomo, con dirección hacia La Fama o hacia el río Santa Catarina.

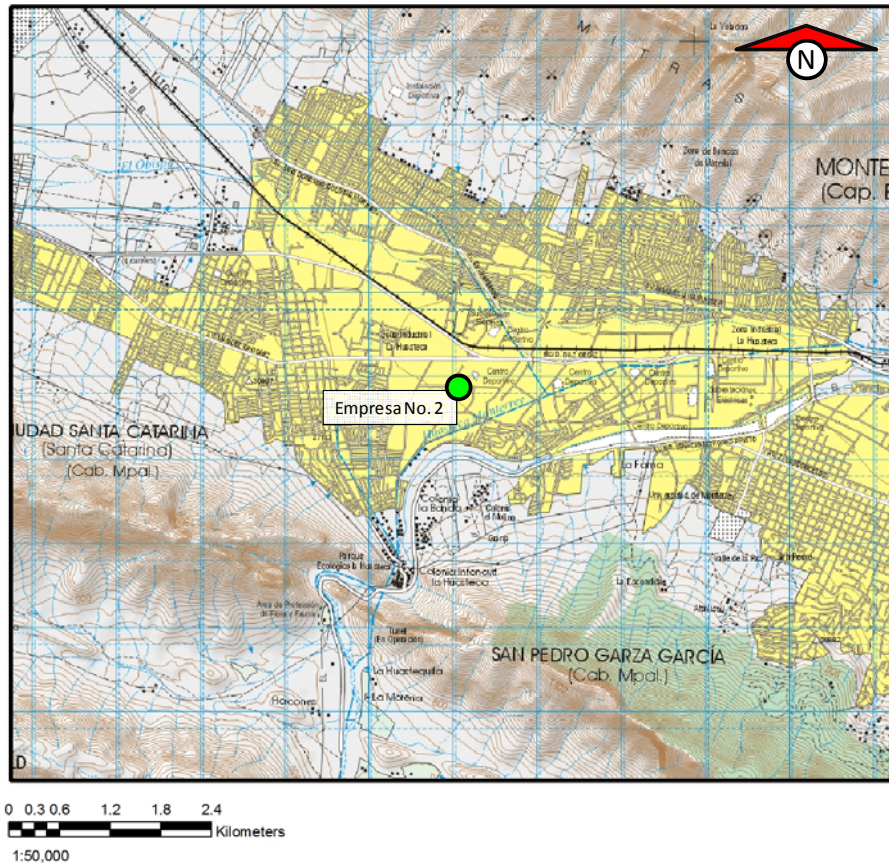


Figura No. 18. Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 2 (Muestras M-10 a M-13).

3.1.2.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía

Topografía

El Municipio de Santa Catarina se encuentra en la latitud 25°41' N y longitud 100°28' O, a 680 msnm, tiene una población de 268 995 habitantes (INEGI, 2010), en la zona industrial de este municipio se localiza la empresa No. 2. En la Figura No. 19 se muestra la ubicación topográfica de esta empresa. El desarrollo de esta ciudad ha ido en aumento, y próximo a la empresa donde se tomaron las muestras de suelo se observaron en el campo, comercios ambulantes de comida y fraccionamientos residenciales.



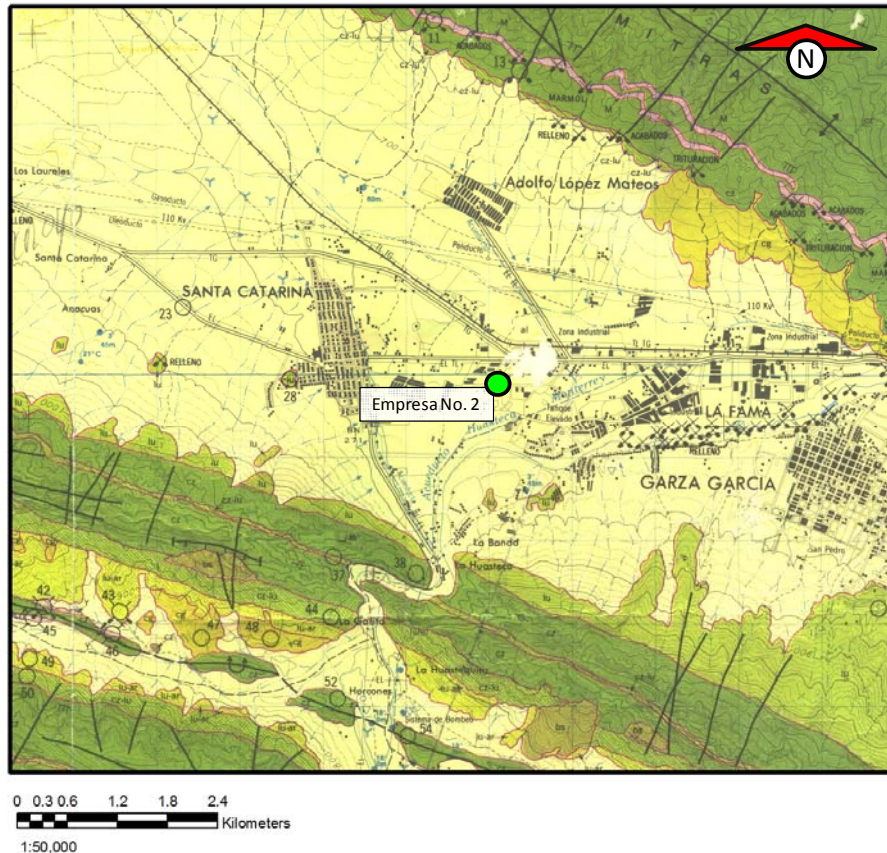
Fuente: Carta Topográfica de Garza García G14C25, escala 1:50000, INEGI, 2da edición 1998, 1era impresión 1999.

Figura No. 19. Ubicación topográfica de la empresa No. 2.

3.1.2.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo

Geología

De acuerdo con la carta geológica de Garza García, representada en la Figura No. 20, y a las coordenadas de los puntos de muestreo, se determinó que la empresa No. 2 está sobre un suelo tipo *aluvión* (al), el cual está formado por el depósito de materiales sueltos (gravas, arenas) provenientes de rocas preexistentes, que han sido transportadas por corrientes superficiales de agua.

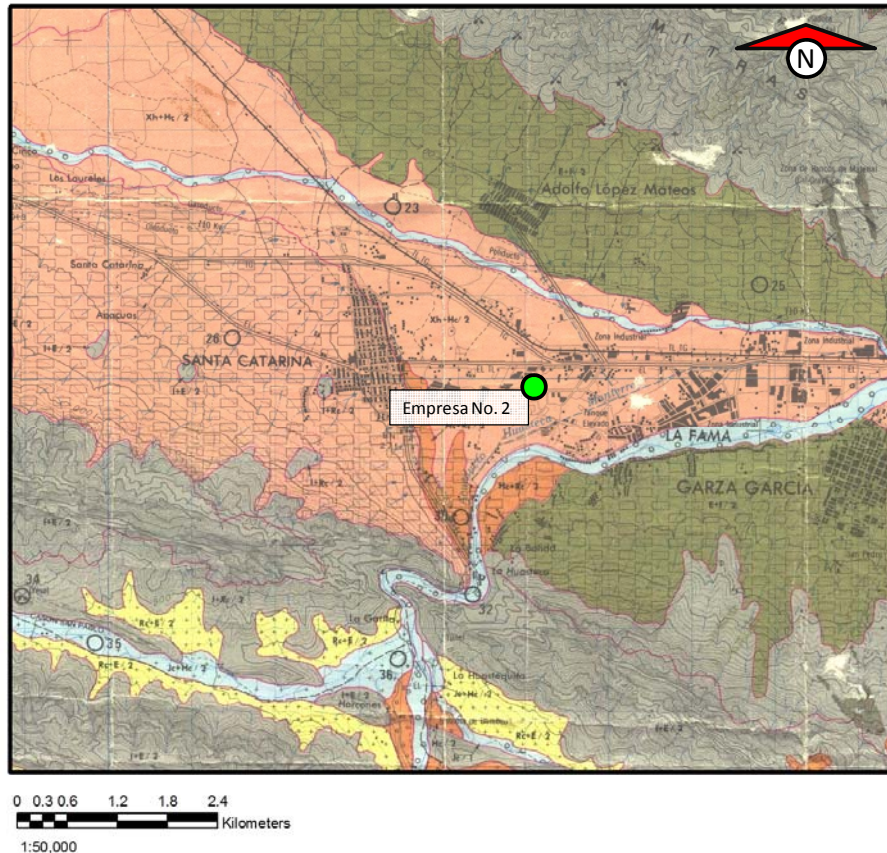


Fuente: Carta Geológica de Garza García G14C25, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1976.

Figura No. 20. Ubicación geológica de la empresa No. 2.

Edafología

En la Figura No. 21 se muestra que la empresa No. 2, se encuentra en un suelo $Xh+Rc/2$, es decir, como suelo predominante se tiene al Xerosol háplico (Xh), característico de zonas áridas y semiáridas, su vegetación natural es de matorrales y pastizales, tiene una capa superficial de color claro y muy pobre en humus, y tiene baja susceptibilidad a la erosión; el suelo secundario es el Regosol calcárico (Rc), que puede encontrarse en distintos climas, con diversos tipos de vegetación; en general, es de color claro y tiene susceptibilidad variable a la erosión, es un suelo rico en cal y es el más fértil de los regosoles; es media la clase textural superficial de suelo en los 0,30 m.

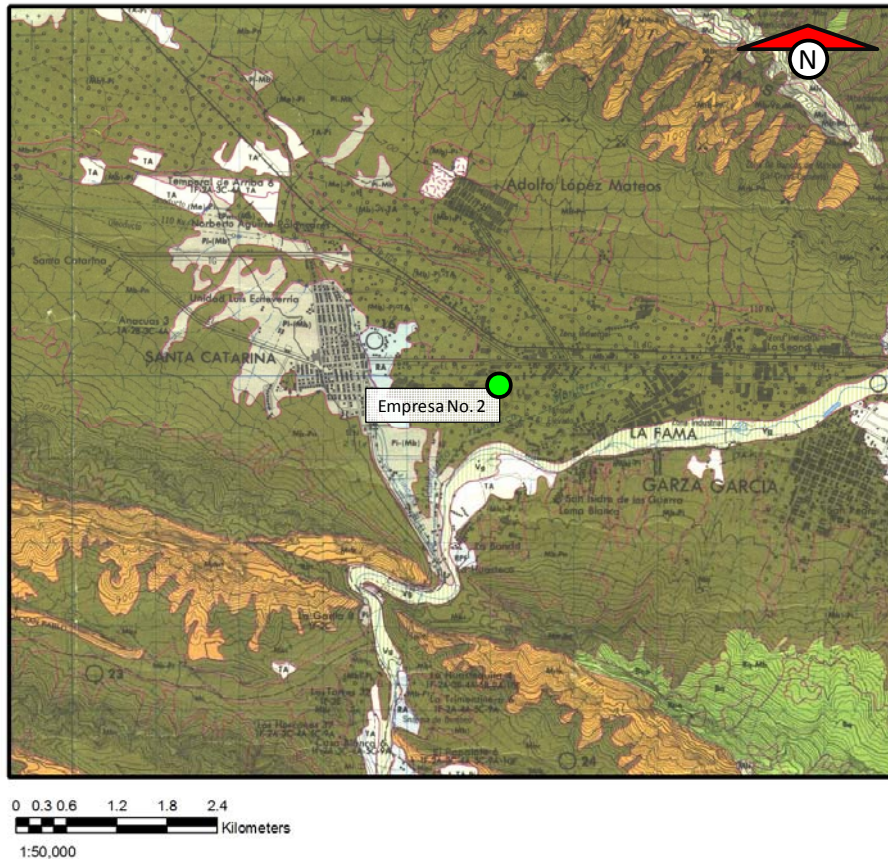


Fuente: Carta Edafológica de Garza García G14C25, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1977.

Figura No. 21. Ubicación edafológica de la empresa No. 2.

Uso del suelo

En la Figura No. 22 se muestra la ubicación de la empresa No. 2. En la carta de uso del Suelo de Garza García, el tipo de vegetación que corresponde al lugar es matorral subinerme (*Mb*), asociado a pastizal inducido (*Pi*); es decir, que la vegetación está compuesta por plantas espinosas y pastizal que aparece como consecuencia del desmonte de la vegetación original que dominaba en el sitio.



Fuente: Carta de Uso del suelo de Garza García G14C25, escala 1:50000, INEGI, 1era edición e impresión 1977.

Figura No. 22. Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 2.

3.1.3 La empresa No. 3

La empresa No. 3 se ubica en el municipio de Ciénega de Flores, que se encuentra en la latitud $25^{\circ}57' N$ y longitud $100^{\circ}10' O$, a 400 msnm y cuya población es de 24 526 habitantes (INEGI, 2010). Cuenta con una zona industrial que colinda con la carretera Monterrey-Laredo. La actividad principal realizada por la empresa es el reciclaje de acumuladores de desecho, con la finalidad de recuperar materias primas, principalmente polipropileno y plomo, mismas que son utilizadas para la fabricación de nuevos acumuladores.

En la periferia de esta empresa se tomaron dos muestras de suelo identificadas como M-14 y M-15 cuyas coordenadas y ubicación se indican en la Tabla No. 9 y en la Figura No. 23, respectivamente.

Tabla No. 9. Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 3

MUESTRA	COORDENADAS	
	E	N
M-14	14377452	2863052
M-15	14377425	2863014

En la Figura No. 23 se observan sólo dos puntos de muestreo, ubicados entre la carretera Monterrey-Laredo y el límite poniente de la empresa. Los vientos en este lugar son de Oriente a Poniente; es decir, de la empresa hacia los puntos de muestreo, por lo que es lógico esperar que el suelo en este sitio estuviese impactado con plomo, debido a la actividad desarrollada en dicha empresa. El escurrimiento de agua superficial es de Poniente a Oriente; o sea, de la carretera hacia el fondo de la empresa (lado oriente) donde se encuentran algunas pilas de recolección de residuos ácidos y colecta de agua de lluvia.

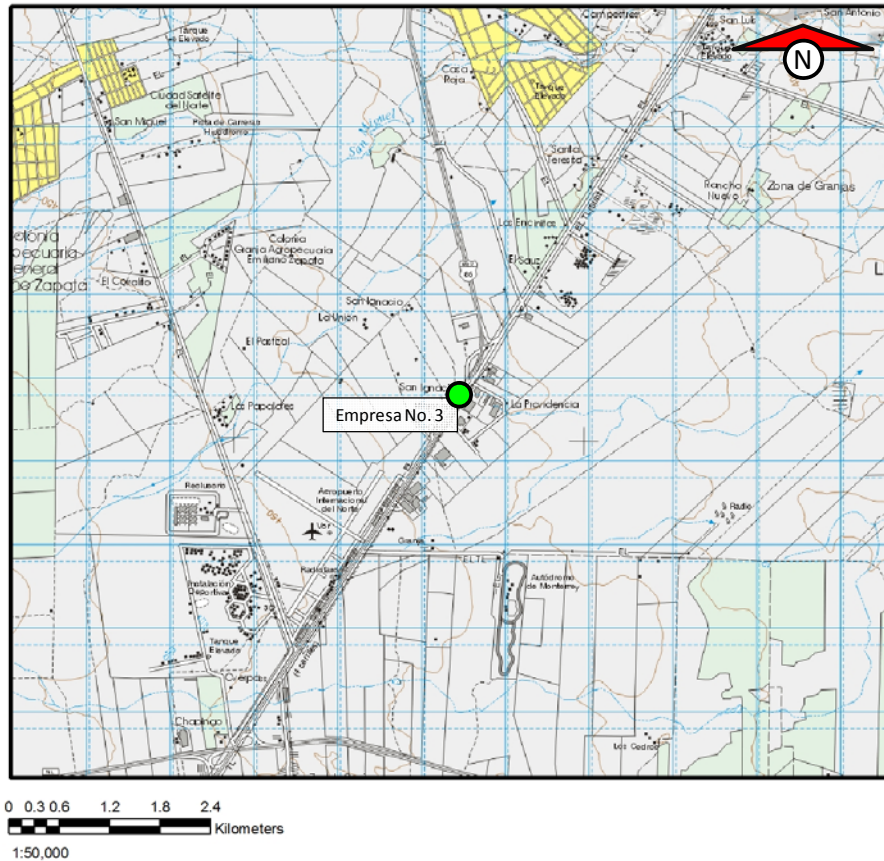


Figura No. 23. Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 3 (Muestras M-14 a M-15).

3.1.3.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía

Topografía

En la Figura No. 24 se muestra la ubicación de la empresa No. 3, en la carta topográfica de Apodaca, en la cual se puede observar que cercano a ella (sureste), se encuentra el Aeropuerto Internacional del Norte, así como el Autódromo de Monterrey.



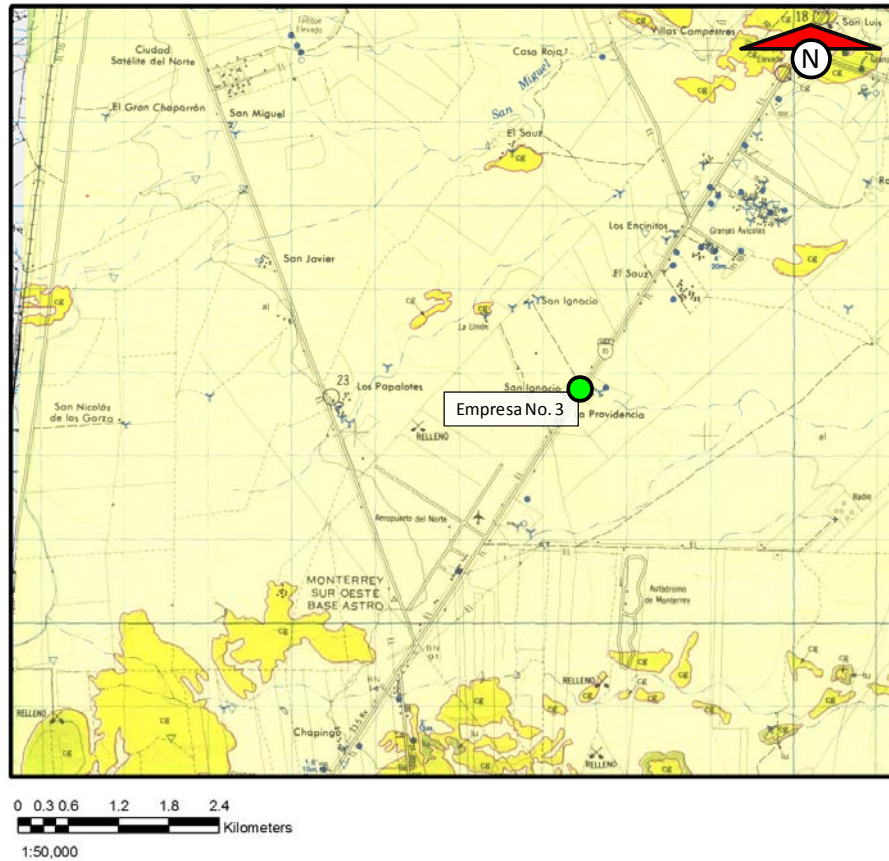
Fuente: Carta Topográfica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 2da edición 1999, 1era impresión 2000.

Figura No. 24. Ubicación topográfica de la empresa No. 3.

3.1.3.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo

Geología

De acuerdo con la carta geológica de Apodaca, representada en la Figura No. 25 y con las coordenadas de los 2 puntos de muestreo, la empresa No. 3 también está localizada sobre un suelo de tipo *aluvión* (al).

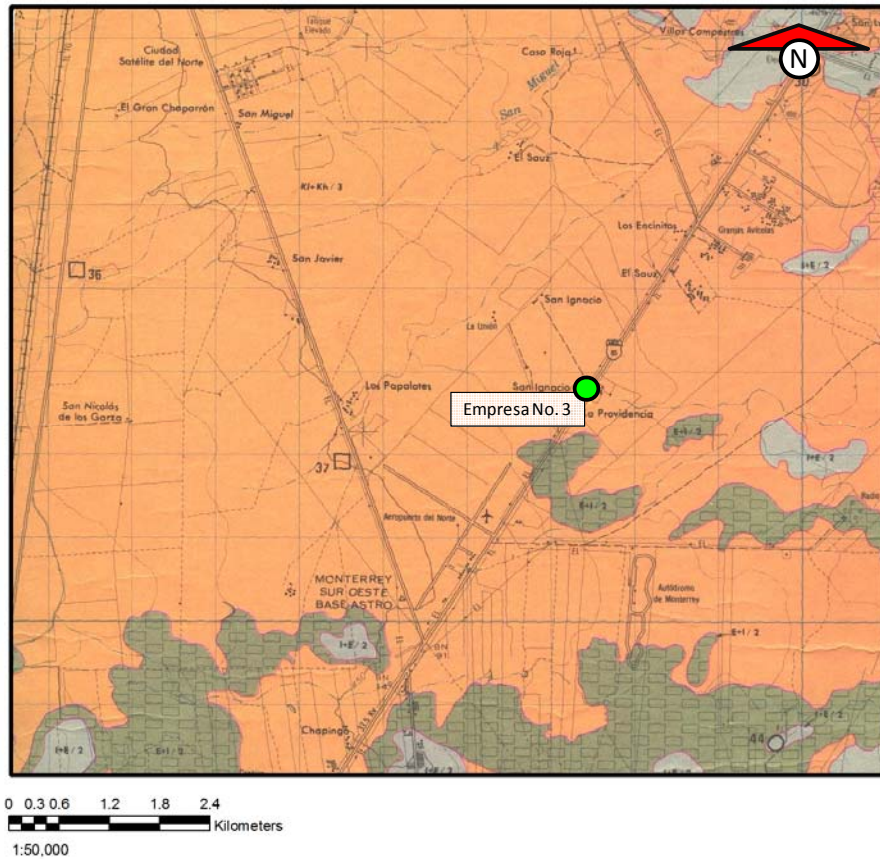


Fuente: Carta Geológica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1976.

Figura No. 25. Ubicación geológica de la empresa No. 3.

Edafología

En la Figura No. 26 se muestra la ubicación de la empresa No. 3, en la carta edafológica de Apodaca, mediante la cual se clasifica el suelo como $Kl+Kh/3$, Castañozem (K) que es característico de zonas semiáridas. En condiciones naturales, su vegetación es pastizal con matorral y presenta una capa superior de color rojizo, rica en materia orgánica y nutrientes. El suelo predominante es Castañozem lúvico (K), asociado con un háplico (Kh), por lo que presenta acumulación de arcilla en el subsuelo y acumulación de caliche suelto en pequeñas manchas blancas dispersas; es fina su clase textural en los 0,30 m de suelo superficial.

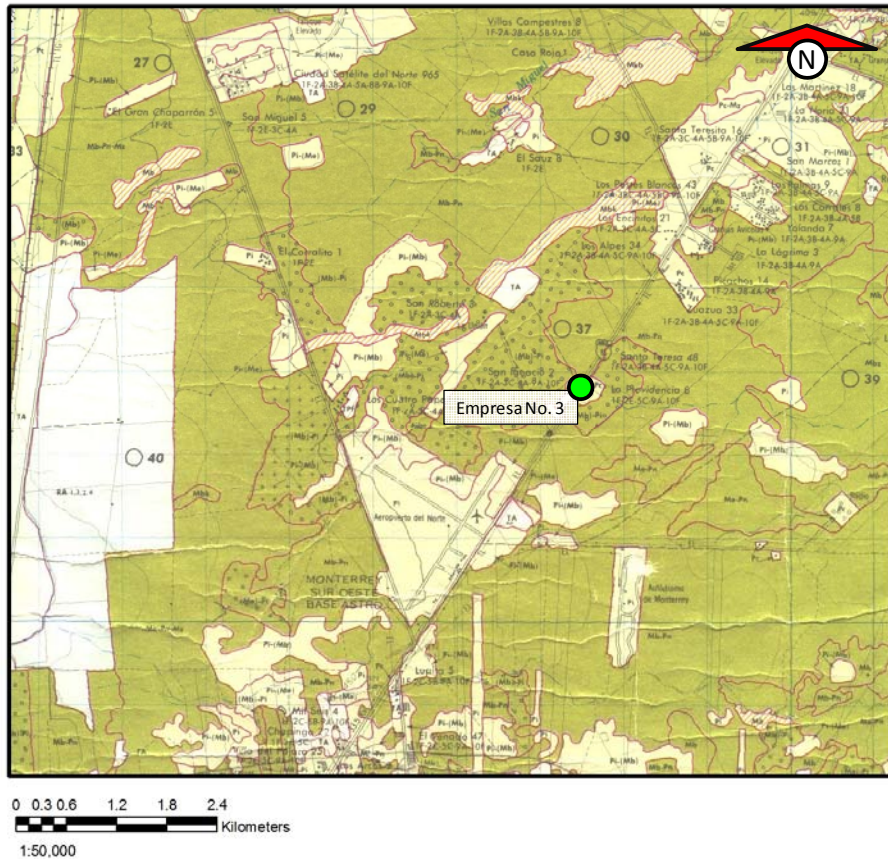


Fuente: Carta Edafológica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1977.

Figura No. 26. Ubicación edafológica de la empresa No. 3.

Uso del suelo

Según la ubicación de la empresa No. 3 en la carta de uso del suelo correspondiente (Figura No. 27), el tipo de vegetación predominante corresponde al Pastizal cultivado (Pc), que se define así por ser introducido intencionalmente en una región.



Fuente: Carta de Uso del suelo de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1976, 1era impresión 1977.

Figura No. 27. Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 3.

3.1.4 La empresa No. 4

La empresa No. 4 se ubica en el Municipio de Pesquería, Nuevo León. Se dedica a la fabricación de acumuladores y pilas y al reciclaje de los mismos. En la periferia de esta empresa se tomaron seis muestras de suelo, identificadas como M-16, M-17, M-18, M-19, M-20 y M-21. Las coordenadas de los puntos de muestreo se localizan en la Tabla No. 10 y su ubicación en la Figura No. 28.

Tabla No. 10. Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 4

MUESTRA	COORDENADAS	
	E	N
M-16	14390115	2854267
M-17	14390074	2854209
M-18	14390010	2854105
M-19	14389974	2854047
M-20	14389886	285475
M-21	14390091	2853906

En este sitio de estudio, el viento tiene dirección de oriente a poniente, el suelo superficial observado es característico de la región, de origen marino. Se apreció suelo suelto en la periferia de la empresa. El agua de lluvia escurre superficialmente hacia el río Pesquería, con la posibilidad de arrastre de polvo con contenido de plomo procedente de la industria en estudio.



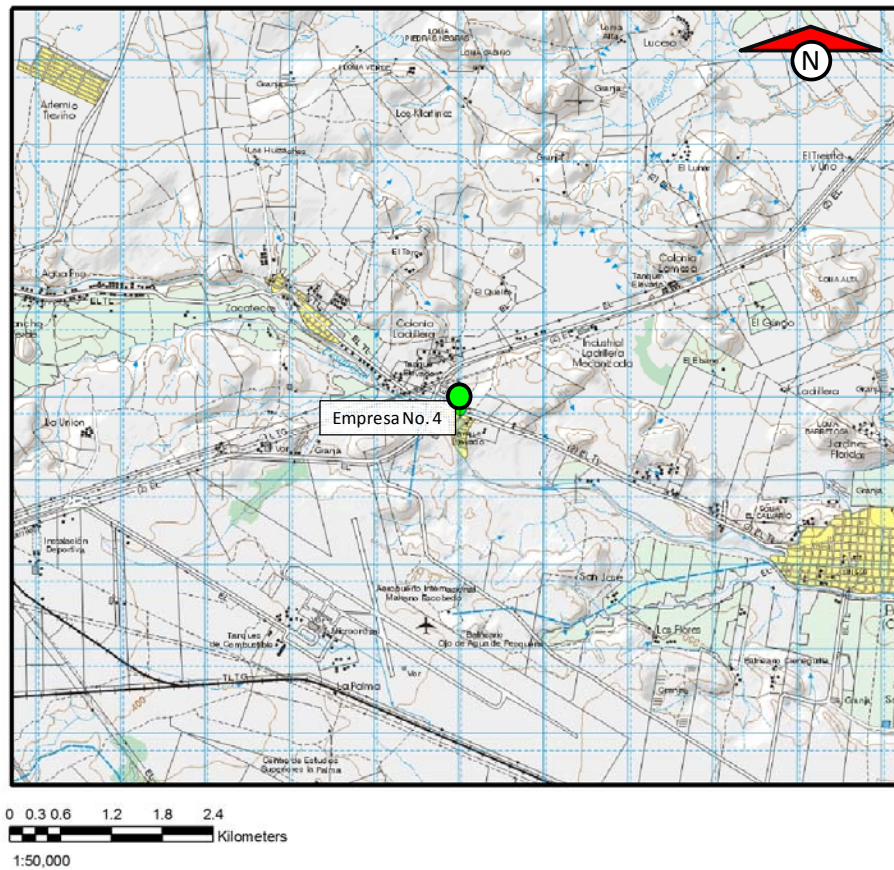
Figura No. 28. Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 4 (Muestras M-16 a la M-21).

3.1.4.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía

Topografía

El municipio de Pesquería se encuentra en la latitud 25°47' N y longitud 100°03' O, a 330 msnm y cuenta con una población de 20 843 habitantes (INEGI, 2010). La ubicación topográfica de la empresa No. 4 se muestra en la Figura No. 29.

La empresa No. 4 colinda al sur con un área habitacional y comercial popular, con calle pavimentada de por medio; al Oriente, con un área baldía utilizada como campo de futbol; al Norte, con terrenos baldíos con abundante pasto y árboles de la región y al Poniente, con una empresa de transporte.



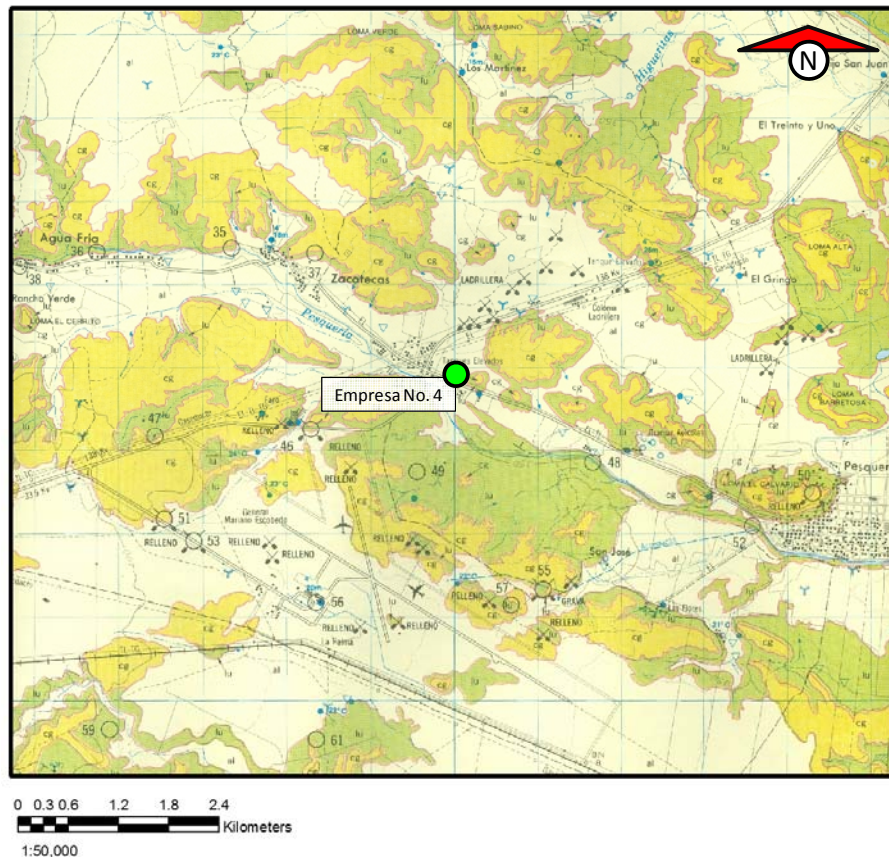
Fuente: Carta Topográfica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 2da edición 1999, 1era impresión 2000.

Figura No. 29. Ubicación topográfica de la empresa No. 4.

3.1.4.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo

Geología

En la revisión realizada en la carta geológica de Apodaca, que es la que corresponde al lugar de la empresa No. 4 (Figura No. 30), y a las coordenadas de los puntos de muestreo, también se trata de un suelo de tipo *aluvión* (al).



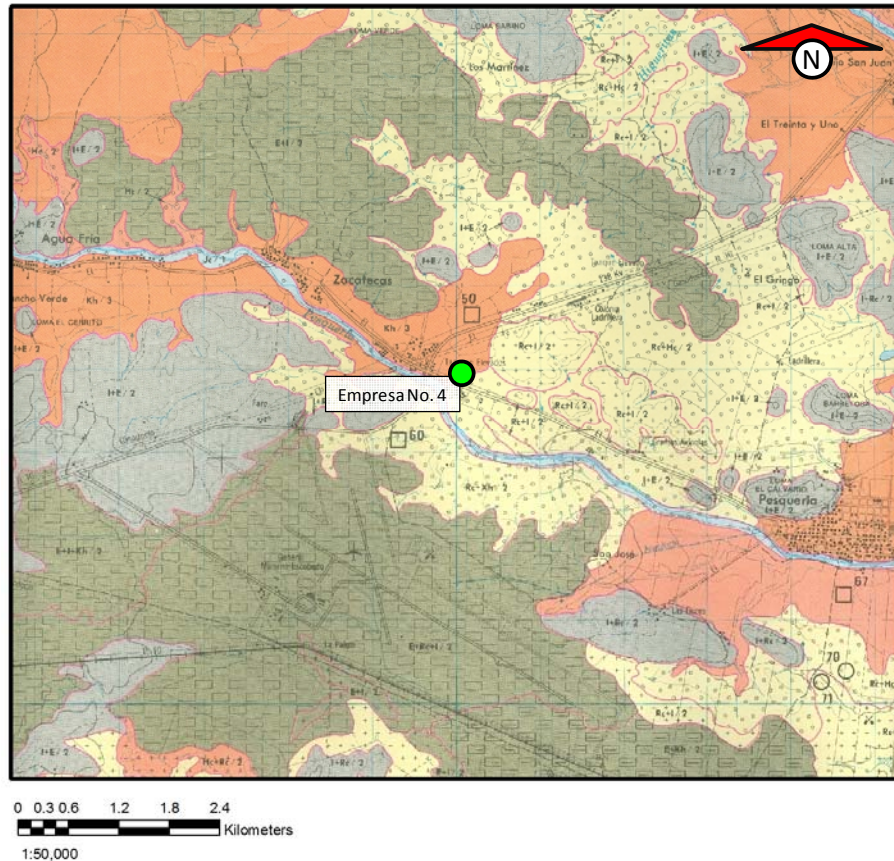
Fuente: Carta Geológica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1976.

Figura No. 30. Ubicación geológica de la empresa No. 4.

Edafología

La ubicación de la empresa No. 4 en la carta edafológica de Apodaca (Figura No. 31), indica que la clasificación del suelo corresponde a *Kh/3*, Castañozem háptico (*Kh*) que es característico de zonas semiáridas. En condiciones naturales, su

vegetación es pastizal con matorral. Presenta una capa superior de color rojizo, rica en materia orgánica, nutrientes y acumulación de caliche suelto en pequeñas manchas blancas dispersas. Es fina su clase textural, en los 0,30 m de suelo superficial.

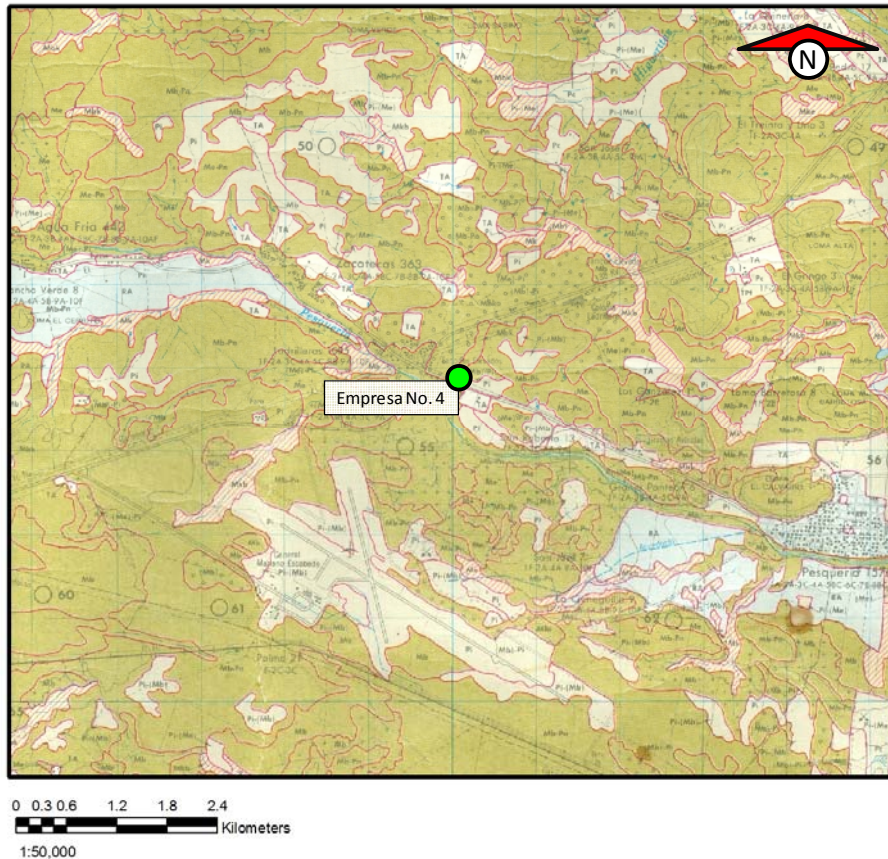


Fuente: Carta Edafológica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1977.

Figura No. 31. Ubicación edafológica de la empresa No. 4.

Uso del suelo

En la Figura No. 32 se muestra la ubicación de la empresa No. 4 en la carta de uso del suelo de Apodaca, en la cual se clasifica al tipo de vegetación como matorral subinermes (*Mb*), asociado a pastizal inducido (*Pi*); es decir, que la vegetación está compuesta por plantas espinosas y pastizal que aparece como consecuencia del desmonte de la vegetación original que dominaba el sitio.



Fuente: Carta de Uso del suelo de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1976, 1era impresión 1977.

Figura No. 32. Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 4.

3.1.5 La empresa No. 5

La empresa No. 5, ubicada en el área industrial de Pesquería, actualmente se encuentra fuera de operación, aunque desde hace algunos años también se dedicaba a la fabricación de acumuladores. Alrededor de ella se tomaron 3 muestras de suelo, identificadas como M-22, M-23 y M-24. Las coordenadas correspondientes a los puntos de muestreo se indican en la Tabla No. 11, y su ubicación en la Figura No. 33.

Tabla No. 11. Coordenadas UTM de las muestras de la empresa No. 5

MUESTRA	COORDENADAS	
	E	N
M-22	14394162	2852670
M-23	14394159	2852736
M-24	14394190	2852712

En la Figura No. 33 se observa una empresa abandonada, que durante varios años se dedicó a la recuperación del plomo contenido en acumuladores usados, mediante procesos rudimentarios y generando contaminación por plomo y ácidos en el interior del predio ocupado por la empresa y en el exterior de la misma. Los vientos predominantes en el sitio estudiado son de oriente a poniente.

Los residuos peligrosos de esta empresa fueron vertidos durante un largo tiempo hacia un predio ubicado al fondo norte de esta empresa. Los escurrimientos del agua de lluvia, con contenidos significativos de plomo y residuos ácidos se dirigían hacia el Oriente. Al momento de realizar este trabajo se observó que la urbanización se encuentra a menos de 200 m de este sitio, que puede considerarse como un pasivo ambiental de alto riesgo.

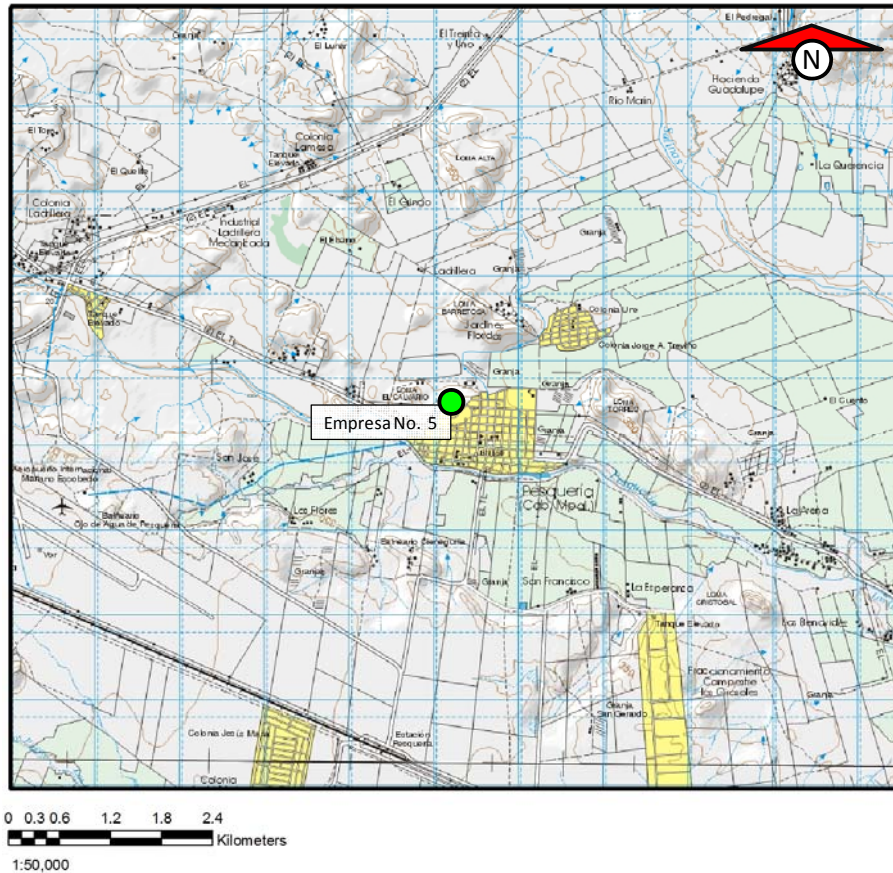


Figura No. 33. Ubicación de los puntos de muestreo de la empresa No. 5 (Muestras M-22 a M-24).

3.1.5.1 Subsistema de condiciones físicas: topografía

Topografía

En el municipio de Pesquería de encuentra la empresa No. 5, y al sureste de ella se encuentra un fraccionamiento residencial que colinda con el río Pesquería. Su ubicación topográfica se observa en la Figura No. 34.



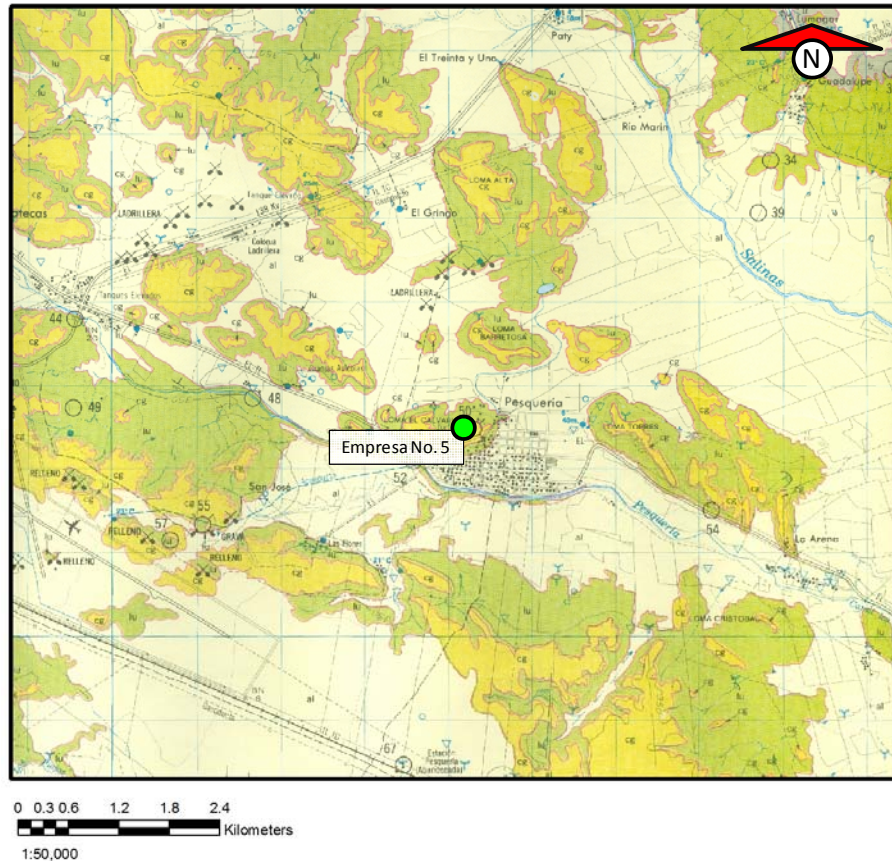
Fuente: Carta Topográfica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 2da edición 1999, 1era impresión 2000.

Figura No. 34. Ubicación topográfica de la empresa No. 5.

3.1.5.2 Subsistema de recursos naturales: geología, edafología y uso del suelo

Geología

De acuerdo con la carta geológica de Apodaca, representada en la Figura No. 35, la empresa No. 5 está ubicada sobre roca sedimentaria del tipo conglomerado (cg), que es una roca clástica de grano grueso (2 mm a más de 256 mm). Este tipo de roca puede tener una mineralogía compleja.

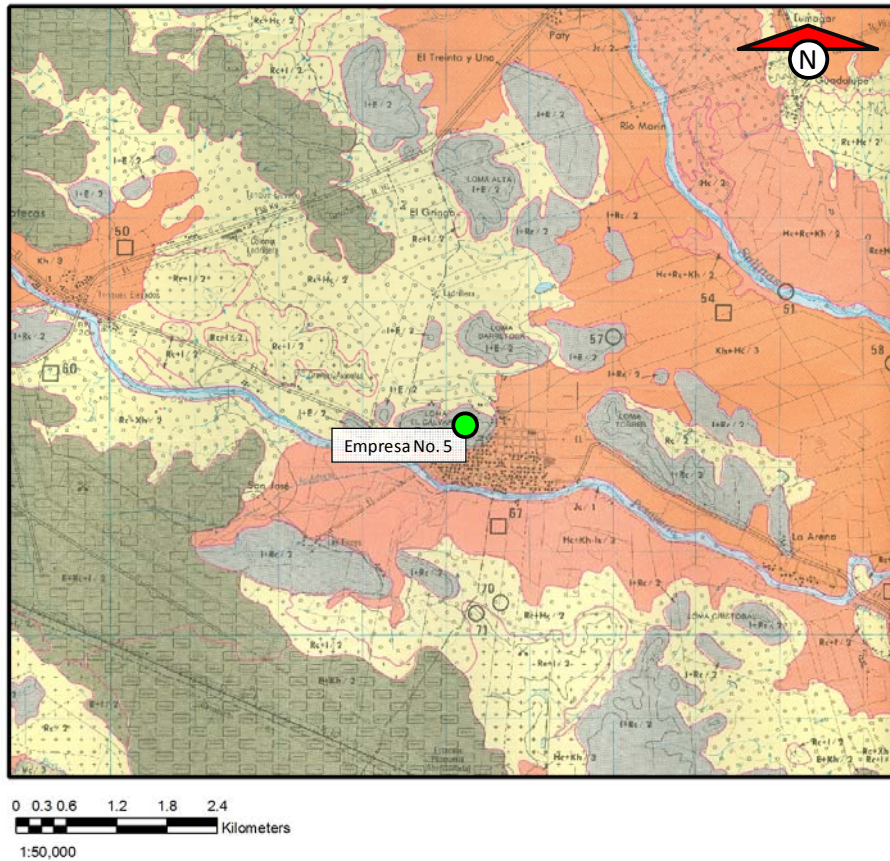


Fuente: Carta Geológica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1976.

Figura No. 35. Ubicación geológica de la empresa No. 5.

Edafología

En la Figura No. 36 se representa la ubicación de la empresa No. 5. En la Carta Edafológica correspondiente, localizada en una región con suelo tipo Litosol (I) que se encuentra en todos los tipos de climas y con vegetación diversa, se presentan características muy variables, en función del material que los forma; su susceptibilidad a erosionarse puede ir desde moderada hasta muy alta. Por otra parte, el suelo, de tipo Rendzina (E), es un suelo secundario, que se presenta, por lo general, en climas cálidos o templados. Su vegetación natural es el matorral y su susceptibilidad a la erosión es moderada.

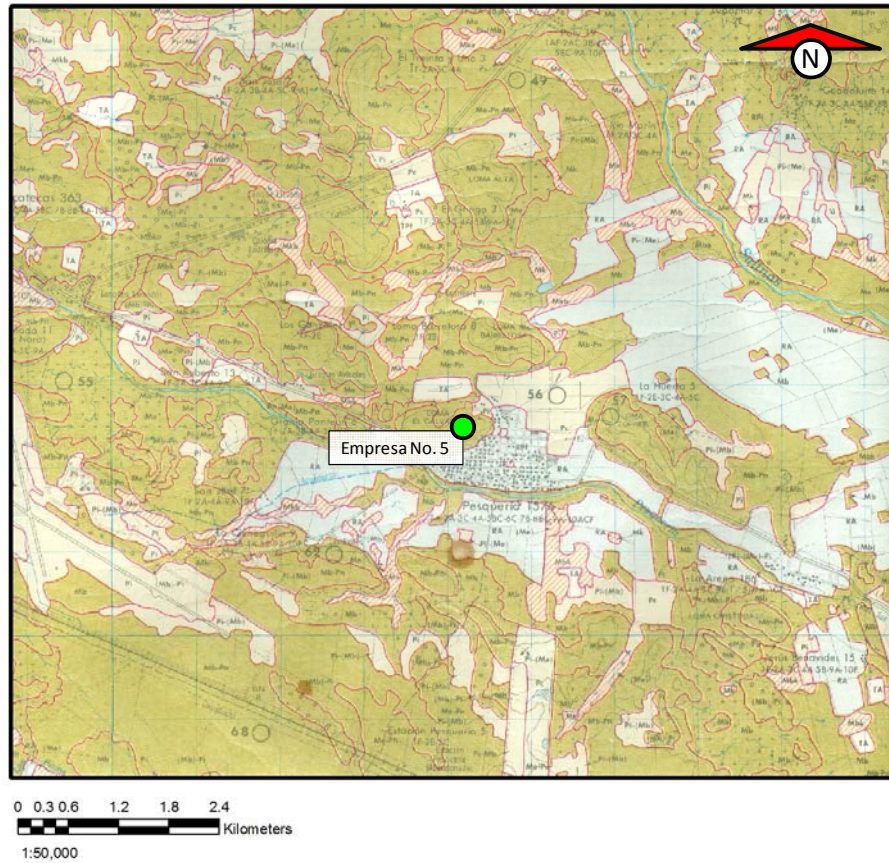


Fuente: Carta Edafológica de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1977.

Figura No.36. Ubicación edafológica de la empresa No. 5.

Uso del suelo

La empresa No. 5, se localiza en un sitio cuya vegetación es de tipo *Mb-Pn* (Figura No. 37). Este tipo de vegetación está compuesto por el matorral subinerme (*Mb*), es decir, plantas espinosas y también por pastizal natural establecido ahí por las condiciones ecológicas de la región.



Fuente: Carta de Uso del suelo de Apodaca G14C16, escala 1:50000, INEGI, 1era edición 1976, 1era impresión 1977.

Figura No. 37. Clasificación de uso del suelo de la empresa No. 5.

3.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS POR VÍA HÚMEDA

3.2.1 Granulometría

La granulometría de las muestras de suelo se realizó en forma mecánica, utilizando un aparato Ro-Tap, con la finalidad de conocer la distribución en porcentaje por tamaño de las partículas presentes en cada una de las muestras de suelo tomadas de las cinco empresas estudiadas.

Se revisaron y graficaron los resultados de las fracciones correspondientes a los tamaños de partículas menores que: 2 mm, 0,840 mm, 0,420 mm, 0,250 mm, 0,149 mm y 0,105 mm, en cada muestra.

En la Figura No. 38 se muestra la gráfica que indica el porcentaje de los diversos tamaños de partículas, de las 9 muestras que fueron tomadas en la periferia de la empresa No. 1. En esta gráfica se observa que en las muestras M-6, con el 30,32% y M-7, con el 34,27% del total, está compuesto por partículas con diámetro mayor que 2 mm. En las muestras M-2, M-3, M-4 y M-9, el mayor porcentaje de material fue retenido en la malla No. 40 (abertura 0,420 mm).

Las muestras M-1, M-5 y M-8 fueron las que contenían mayor número de partículas menores que 0,105 mm; es decir, que pasan la malla 140; la muestra M-1, con el 21,30%; la muestra M-5, con el 24,23% y la muestra M-8, con el 25,59%.

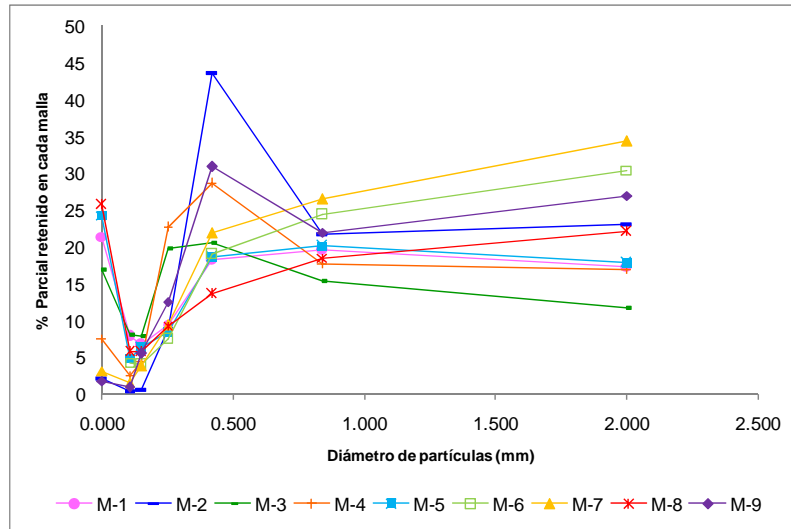


Figura No. 38. Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No. 1.

En la Figura No. 39 se muestra que en las muestras M-10, con el 23.80% y la M-12, con el 30.24% de su total, pasó la malla No.140; y que, por otro lado, para las muestras M-11, con el 23,39% y M-13, con el 20,30% de cada muestra fue retenido en la malla No. 10 (abertura 2 mm), siendo estos porcentajes los mayores.

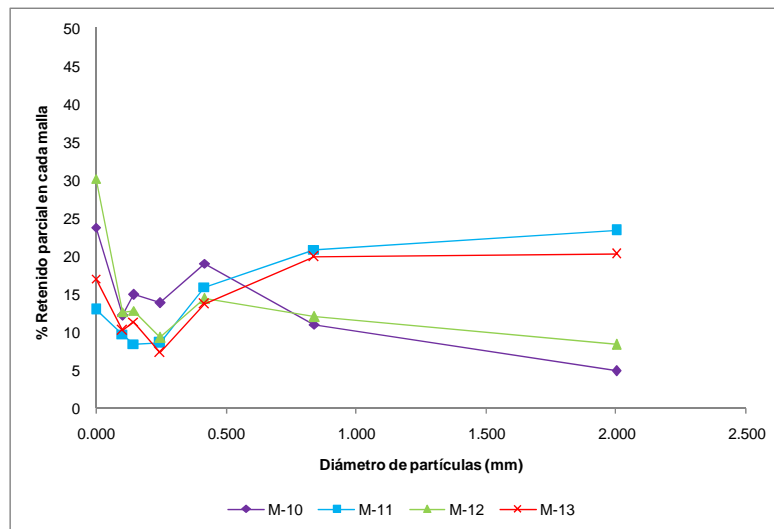


Figura No. 39. Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No. 2.

En la Figura No. 40 se puede observar que para la muestra M-14, el 28,83% de la muestra quedó retenido en la malla No. 40; mientras que para la M-15, el 26,91% pasó la malla No. 140; y cabe mencionar que en ambas muestras de la empresa No. 3, alrededor del 50% del material tiene un tamaño de partícula mayor que 0,420 mm.

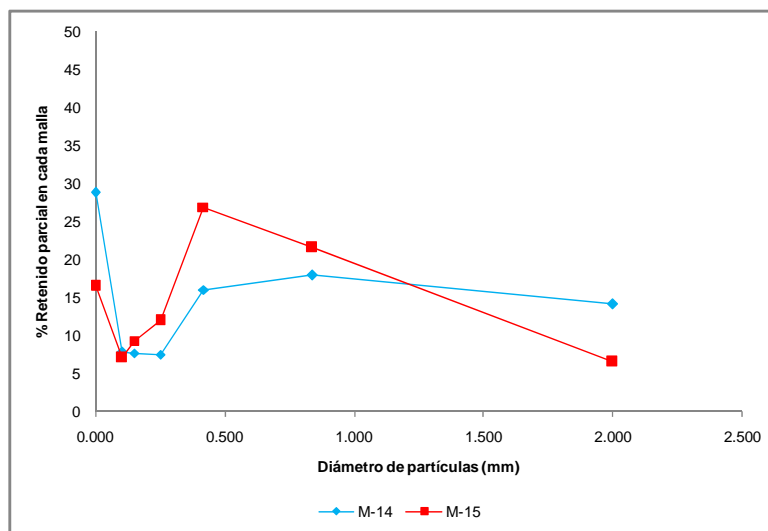


Figura No. 40. Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No. 3.

En la Figura No. 41 se trazaron las gráficas del porcentaje de partícula presente en cada fracción de muestra de suelo tomadas en la periferia de la empresa No. 4, en las que se puede apreciar que todas presentan los porcentajes parciales más elevados en el material que pasa la malla No. 140 (< 0,105 mm), con valores desde 23,65% hasta 65,83%; a excepción de la muestra M-16, cuyo porcentaje parcial más alto fue de 22,91% de material retenido en la malla No. 20, cuya abertura es de 0,840 mm.

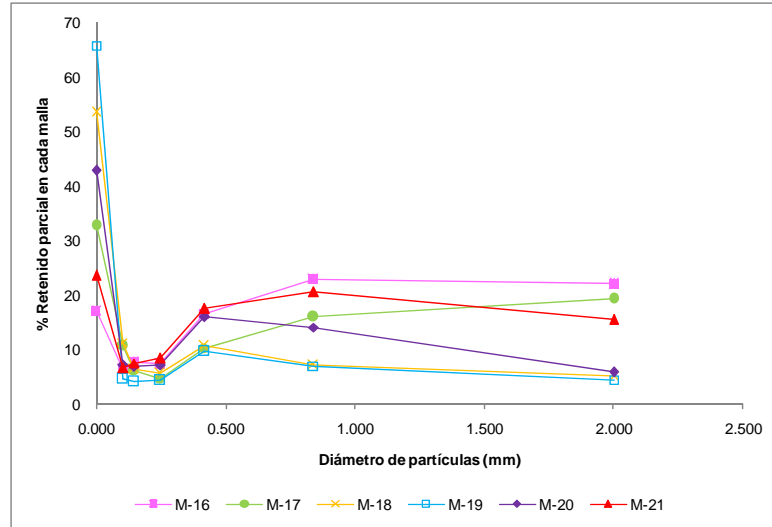


Figura No. 41. Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No. 4.

La composición granulométrica de las 3 muestras tomadas en la periferia de la empresa No. 5, está representada en la Figura No. 42, en la que se puede observar que de la muestra M-22, el 35,59% de su totalidad fue retenido en la malla No. 10; es decir, que el tamaño de partícula de este porcentaje fue mayor que 2 mm. Las otras dos muestras, M-23 y M-24, presentaron alrededor del 40% de su totalidad con un tamaño de partícula menor que 0,105 mm.

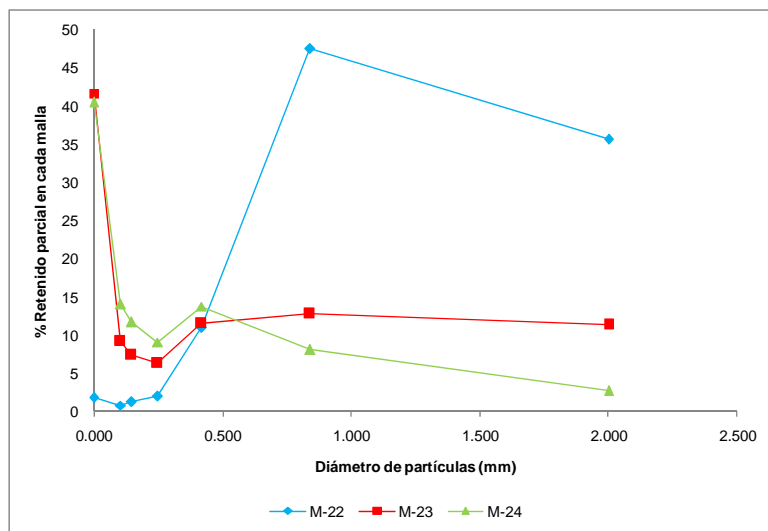


Figura No. 42. Gráfica del % de partícula presente por cada fracción de muestra de suelo de la empresa No. 5.

3.2.2 Resultados de los parámetros de las muestras de suelo por vía húmeda

En la Tabla No. 12 se presentan los resultados de los parámetros analizados por vía húmeda, a las fracciones de partículas de suelo menores que 2 mm.

Tabla No. 12. Resultados de la determinación de las características químicas.

EMPRESA	MUESTRA No.	pH	HUMEDAD	CaCO ₃ %	CARBÓN ORGÁNICO %	MATERIA ORGÁNICA %	SULFATOS mg/kg	CLORUROS mg/kg	Pb LIXIVIABLE mg/L
1	1	8,31	3,49	24,14	2,35	4,04	11370,17	99,91	0,05
	2	8,01	7,84	10,99	5,30	9,11	985,16	47,08	0,51
	3	7,91	4,97	12,90	4,42	7,61	1053,70	15,22	0,41
	4	7,84	6,47	10,35	5,12	8,80	4656,62	10,31	0,10
	5	8,02	3,42	9,82	2,07	3,56	8842,09	19,97	0,04
	6	7,83	5,25	19,54	1,26	2,17	2166,33	61,06	0,02
	7	8,05	9,60	22,78	0,70	1,21	6796,98	32,00	0,02
	8	8,18	3,39	21,04	2,50	4,30	8349,05	59,89	0,02
	9	8,00	8,15	14,11	5,30	9,11	2879,32	10,50	0,08
2	10	7,39	6,00	14,51	1,79	3,07	1581,72	44620,89	nd
	11	8,02	3,68	41,37	5,46	9,40	6639,23	18520,46	0,20
	12	7,61	1,81	24,78	4,41	7,58	134,81	58,92	0,38
	13	8,28	0,39	41,45	1,70	2,92	289,28	67,76	0,31
3	14	7,37	2,77	24,49	10,36	17,82	1975,71	456,17	0,15
	15	7,69	1,77	41,41	5,99	10,30	141,98	nd	0,17
4	16	7,93	3,62	40,27	1,39	2,38	715,36	20,01	0,02
	17	8,23	1,82	24,63	1,65	2,83	99,44	nd	0,09
	18	8,24	0,93	24,67	1,67	2,86	37,72	nd	0,07
	19	7,63	0,86	26,63	1,00	1,72	220,31	272,32	0,03
	20	7,57	1,49	40,02	1,53	2,62	629,09	2016,32	0,02
	21	7,42	0,84	41,45	4,06	6,99	168,00	48,62	0,03
5	22	8,07	3,25	17,45	0,83	1,42	15,23	nd	0,09
	23	6,58	9,19	nd	4,76	8,19	7737,75	nd	0,46
	24	3,58	6,84	nd	13,86	23,84	8036,94	nd	3,34

nd= no detectado

3.2.2.1 El pH

El pH es la característica más evidente que permite discriminar comportamientos diferenciados entre suelos de carácter más ácido o más alcalino (Tipping y colaboradores, 2003). Algunos problemas ambientales que afectan al pH del suelo, como la lluvia ácida, pueden repercutir en la movilidad de los metales en el suelo (Borg y Johansson, 1989).

Muchos metales pesados se vuelven más solubles en condiciones ácidas y tienden a desorberse o disolverse, conforme desciende el pH (Schwarz y colaboradores, 1999). Por el contrario, al aumentar el pH se adsorben o precipitan hasta un cierto límite, a partir del cual podría volver a darse una solubilización (Salomons y Stigliani, 1995).

El tipo de suelo de la región estudiada es calcáreo; para este caso, Castañozem, Litosol, Regosol y Xerosol, y los valores de pH encontrados en todas las muestras de suelo, presentan una variación entre 3,58 y 8,31 unidades, que pertenecen a las muestras M-24 y M-1 y que, de acuerdo con lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000, se clasifican: desde suelo fuertemente ácido, a suelo medianamente alcalino, respectivamente.

Los valores de pH reportan que se trata de suelo medianamente alcalino, para las muestras de la empresa No. 1, que variaron de 7,83 a 8,31, y de la empresa No. 4, que tienen valores de 7,42 a 8,24; para las empresas No. 2 y No. 3, se encuentra de neutro a medianamente alcalino, con valores de 7,39 a 8,28 y 7,37 a 7,69 respectivamente.

En la empresa No. 5, las tres muestras presentan una clasificación diferente: para la muestra M-22, el suelo es medianamente alcalino: para la M-23, es ligeramente ácido (6,58) y para la muestra M-24, es fuertemente ácido, ya que el valor encontrado fue de 3,58.

Los valores de sulfatos, para la empresa No. 5, permiten sospechar derrames de ácidos y partículas de plomo arrastradas de la empresa hacia el terreno baldío, hacia donde escurre el agua pluvial de la misma. La ausencia de carbonato de calcio en el sitio de toma de muestra indica que el suelo calcáreo fue totalmente agotado en su capacidad de amortiguamiento de pH.

3.2.2.2 La Humedad

El porcentaje de humedad determinado en las 24 muestras de suelo varió de 0,39%, para la muestra M-13, hasta 9,60% para la muestra M-7. Este parámetro se tomó en cuenta para cumplir las recomendaciones del uso del equipo XRF. Los resultados de los análisis por vía húmeda se realizaron en base seca.

3.2.2.3 El carbonato de calcio

La presencia de carbonato de calcio provoca un aumento de pH y con sólo un 1% se puede elevar el valor de pH por encima de la neutralidad, pudiendo influir en la precipitación de los metales pesados. Los carbonatos influyen en la solubilidad de los metales de forma directa, a través de las interacciones metal-superficie, y de forma indirecta a través del efecto del pH (Martínez y Motto, 2000). En términos generales, se puede decir que a mayor contenido de carbonatos, hay mayor inmovilización de

metales y menor transporte hacia capas inferiores del suelo (Dorronsoro y colaboradores. 2002).

En las muestras M-23 y M-24 no se detectó el contenido de carbonato de calcio y los valores reportados para el resto de las muestras variaron de 9,82%, en la muestra M-5, a 41,45%, en las muestras M-13 y M-21.

3.2.2.4 El carbono orgánico

La presencia de carbono orgánico colabora en la inmovilización de los metales en los suelos contaminados. El porcentaje de carbón orgánico más bajo que se encontró fue de 0,70%, en la muestra M-7, y el más alto de 13,86%, en la muestra M-24.

3.2.2.5 La materia orgánica

El contenido de materia orgánica en las 24 muestras de suelo analizadas se encontró de nivel bajo a muy alto, ya que se encontraron valores en el nivel de 1,21% a 23,84%. Estos valores pertenecen a las muestras M-7 y M-24, respectivamente.

Las muestras de las empresas No. 1 y No. 5 presentan un contenido de materia orgánica que va desde bajo hasta muy alto. Las empresas No. 2 y No. 4 reportan valores de materia orgánica que clasifican al suelo con contenido de clase medio a muy alto. El suelo encontrado en la periferia de la empresa No. 3 se clasificó con muy alto contenido de materia orgánica.

3.2.2.6 Los sulfatos

La presencia de sulfatos en las muestras analizadas confirma el origen marino de los suelos en los sitios estudiados; este parámetro se ve afectado por descargas de origen, como el ácido sulfúrico o las cenizas de fundición.

El contenido de sulfatos en las muestras de suelo correspondientes a la empresa No. 1 varió de 985,16 mg/kg (M-2) a 11370,17 mg/kg (M-1); en la empresa No. 2 se encontró en el nivel de 134,81 mg/kg (M-13) a 6639,23 mg/kg (M-11); las muestras de la empresa No. 3 resultaron de 1975,71 mg/kg (M-14) y 141,98 mg/kg (M-15); 37,72 mg/kg (M-18) a 715,36 mg/kg (M-16) que son los valores entre los que se encontraron los contenidos de sulfatos de las muestras de la empresa No. 4. Para la empresa No. 5, los resultados fueron de 15,23 mg/kg (M-22) a 8036,94 mg/kg (M-24).

3.2.2.7 Los cloruros

El contenido de cloruros en mg/kg presentó un amplio intervalo, que va desde no detectado, hasta 44620,89 mg/kg (M-10); las muestras que no presentaron cloruros fueron la M-15 de la empresa No. 3, la M-17 y M-18 de la empresa No. 4 y la M-22, M-23 y M-24, de la empresa No. 5.

3.2.2.8 El plomo lixiviable

La concentración de plomo lixiviable en las 24 muestras de estudio está en el intervalo de no detectado (M-10), hasta 3,34 mg/L (M-24), de las que sólo las muestras

M-2 y la M-24 superan los 0,500 mg/L, concentración de referencia indicada en la Tabla No. 4, misma que fue obtenida de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

3.3 DETERMINACIONES INSTRUMENTALES

3.3.1 La concentración de plomo mediante XRF portátil

La primera etapa de las mediciones con el equipo portátil de XRF consistió en realizar tres mediciones de cada una de las 24 muestras de suelo, tomadas en la periferia de las diferentes empresas localizadas en el Área Metropolitana de Monterrey y municipios aledaños, con la finalidad de calcular un promedio de los 3 resultados de cada muestra, mismos que posteriormente sirvieron para obtener la trazabilidad de la concentración posible que se espera obtener por el método de absorción atómica.

En la Tabla No. 13 se reportan los niveles de concentración de plomo detectados para cada una de las determinaciones de las muestras mencionadas anteriormente. Los promedios obtenidos indican que el plomo del suelo está en un nivel de concentración de 1038,80 mg/kg a 11748,90 mg/kg, para las nueve muestras de la empresa No. 1; de 251,60 mg/kg a 2231,76 mg/kg, para las 4 muestras correspondientes a la empresa No. 2; las muestras M-14 y M-15 de la empresa No. 3, presentaron promedios de 1306,85 mg/kg y 4040,82 mg/kg, respectivamente; los promedios de plomo en las 6 muestras de la empresa No. 4 fueron los más bajos encontrados: de 82,88 mg/kg a 279,85 mg/kg; y en la empresa No. 5, las muestras M-22, M-23 y M-24 tuvieron concentraciones de plomo promedio de 1196,53 mg/kg, 7715,75 mg/kg y 8235,50 mg/kg, respectivamente.

Tabla No. 13. Concentración de plomo en ppm por medio del XRF Niton XL3t-600.

EMPRESA No.	MUESTRA	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
1	M-1	8079,66	7354,76	8903,88	8112,77
	M-2	13624,91	8751,27	12870,53	11748,90
	M-3	10863,47	10035,53	11508,33	10802,44
	M-4	9368,16	7981,30	9524,84	8958,10
	M-5	2652,12	2603,73	2465,36	2573,74
	M-6	1252,58	955,16	908,67	1038,80
	M-7	2578,61	2011,72	2024,73	2205,02
	M-8	5164,41	4678,47	4339,95	4727,61
	M-9	5805,10	4468,32	3568,20	4613,87
2	M-10	293,28	233,66	227,87	251,60
	M-11	1729,35	1701,19	1717,42	1715,98
	M-12	2563,77	2192,34	1939,19	2231,76
	M-13	853,43	769,01	1196,35	939,59
3	M-14	1409,52	1213,65	1295,39	1306,18
	M-15	4361,86	3988,26	3772,34	4040,82
4	M-16	237,14	233,87	207,16	226,05
	M-17	314,87	265,06	259,62	279,85
	M-18	241,06	223,22	198,82	221,03
	M-19	72,30	76,52	125,76	91,52
	M-20	100,93	75,08	72,64	82,88
	M-21	107,20	70,86	77,75	85,27
5	M-22	1328,65	1453,44	807,5	1196,53
	M-23	8367,03	7810,49	6969,74	7715,75
	M-24	8241,29	8502,59	7962,63	8235,50

3.3.1.1 Determinación de plomo en cada fracción de la muestra

En la Tabla No. 14 se muestran los resultados de la medición realizada con el Niton (XRF), en cada una de las fracciones, y se puede apreciar cómo varió la concentración de plomo, según el tamaño de la partícula; por lo que se presume que, en el 58,30 %, la concentración de plomo más alta se encontró en las partículas de suelo con diámetro menor que 0,105 mm; el 20,80% representa las muestras cuya concentración mayor fue encontrada en la fracción retenida en la malla No. 60; el 8,30 % de las muestras tuvo la mayor concentración en el material retenido en la malla No. 100. Los materiales retenidos en las mallas No. 10, No. 20 y No. 140 presentaron las

concentraciones más altas, para el 4,20 % en cada caso; y el retenido en la malla No. 40 no presentó la concentración más alta para ninguna de las muestras.

En el Apéndice B se observan las gráficas obtenidas de los resultados de la concentración de plomo determinada con el equipo XRF portátil, con relación al tamaño de partícula (Tabla No. 14), notándose que en las muestras más finas son mayores los resultados de concentración de Pb.

En el Apéndice C se muestran las gráficas que representan los resultados de las concentraciones de Mo, Zr, Sr, Rb, Pb, Se, As, Hg, Zn, W, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Sc, Ca, K, S, Ba, Cs, Te, Sb, Sn, Cd, Ag y Pd; obtenidas para cada muestra y clasificadas por empresa.

Tabla No. 14. Concentración de plomo en ppm, determinada por XRF en las diferentes fracciones de cada muestra.

MALLA No.	10	20	40	60	100	140	PASA 140
TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)	2,000	0,840	0,420	0,250	0,149	0,105	< 0,105
M-1	6466	10000	8758	8385	7570	9741,51	12682,66
M-2	14700	12300	16100	15700	16900	16300	15900
M-3	11100	13000	11200	12000	11700	12400	14400
M-4	6549	9337	10700	12000	11900	11900	14000
M-5	2273	1950	2548	2698	3233	3807,04	4039,93
M-6	692	1036	982	1069	1297	1428,1	1482,33
M-7	1407	1845	2450	4806	4153	3814,66	7997,79
M-8	2503	3542	3959	4707	4320	4938,29	8425,83
M-9	4932	3314	5108	6404	6532	5907,36	11080,28
M-10	253	198	251	259	293	341	525
M-11	1862	1524	1824	2180	2314	2505	2629
M-12	2204	3525	3475	2261	2238	1662	2076
M-13	588	539	987	1552	678	740	1640
M-14	514	860	1118	1244	1719	1758	2339
M-15	4464	4414	4489	4580	5399	3978	5583
M-16	563	295	363	303	273	225	263
M-17	127	122	282	430	358	283	374
M-18	37	206	344	367	302	243	212

Tabla No. 14. (Continúa)

MALLA No.	10	20	40	60	100	140	PASA 140
TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)	2,000	0,840	0,420	0,250	0,149	0,105	< 0,105
M-19	17	45	57	98	121	170	62
M-20	67	71	81	104	109	92	66
M-21	35	41	183	247	145	170	103
M-22	356	777	1268	2078	2297	2052	3468
M-23	4619	4188	9786	18500	12700	10000	8792
M-24	11800	10700	10900	12800	6978	4947	7345

3.3.2 Concentración de plomo por absorción atómica

La concentración de plomo por AA sólo se determinó en las fracciones de suelo que pasaron las mallas No. 10, No. 60 y No. 140, y que fueron retenidas en la siguiente malla, o bien, en la charola para el caso de la malla No. 140. Los resultados obtenidos mostrados en la Tabla No. 15 revelan que en el 70,8% de las muestras de suelo, la concentración de plomo es más elevada en la fracción de suelo con menor tamaño de partícula (< 0,105 mm). El 12,5% representa las muestras que tuvieron la mayor concentración en el material con diámetro menor que 0,250 mm; y el 16,7% de las muestras presentaron la más alta concentración, en el tamaño menor que 2 mm.

Tabla No. 15. Concentración de plomo en ppm, determinada por AA en 3 diferentes fracciones de cada muestra.

MALLA No.	P10	P60	PASA 140
TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)	< 2,000	< 0,250	< 0,105
M-1	9240,85	9611,27	16973,53
M-2	18669,62	19639,88	21101,64
M-3	14385,76	16093,49	18892,4
M-4	10982,53	14912,64	18385,07
M-5	2990,46	4279,28	5645,54
M-6	1062,93	1919,87	2244,69
M-7	2738,84	7044,17	10836,98
M-8	4080,75	4778,67	10826,63
M-9	9912,52	4020,33	14191,47
M-10	232,24	377,62	628,67
M-11	901,18	2877,34	3535,39

Tabla No. 15. (Continúa)

MALLA No.	P10	P60	PASA 140
TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)	< 2,000	< 0,250	< 0,105
M-12	2320,32	3030,08	3083,62
M-13	746,67	1341,67	2477,16
M-14	767,14	1949,03	3621,99
M-15	5097,91	5042,17	8009,45
M-16	561,86	346,37	398,58
M-17	242,44	543,34	602,82
M-18	164,59	839,44	316,47
M-19	827,41	245,37	102,07
M-20	120,28	138,14	139,17
M-21	42,38	162,54	157,04
M-22	1001,57	2847,42	5077,14
M-23	11750,5	14151,07	13144,42
M-24	14936	9095,12	9669,56

En el Área Metropolitana de Monterrey se clasifica al suelo, según el uso que debe dársele, conforme a lo establecido en los Planes de Desarrollo Urbano correspondientes a cada municipio. Es importante conocer esta información, para definir el criterio de referencia de los límites máximos permisibles de concentración de plomo, para compararse con los resultados obtenidos.

De acuerdo con los resultados obtenidos por el método de absorción atómica, los niveles de contaminación con plomo en el suelo de la periferia de la empresa No. 1, son mayores que los 800 mg/kg que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 como límite máximo permisible para el uso de suelo industrial, que corresponde a este caso (Ver Tabla No. 3).

El lugar donde se encuentra la empresa No. 2, está clasificado por el municipio de Santa Catarina como de industria ligera, y solamente la muestra M-10 cumple al reportar una concentración de 628,67 mg/kg.

Los resultados obtenidos de las dos muestras tomadas en la periferia de la empresa No. 3 son superiores al límite establecido, con 3621,99 mg/kg (M-14) y 8009,45 mg/kg (M-15).

La empresa No. 4 se encuentra en un parque industrial del municipio de Pesquería, ubicado muy cercano a fraccionamientos residenciales y a comercios; pero, aunque satisface con el límite establecido para uso industrial, es importante considerar el límite máximo permisible para uso comercial y residencial establecido por la Norma, que es de 400 mg/kg (Ver Tabla No. 3), que cual únicamente fue rebasado en la muestra M-17, con una concentración de plomo de 602,82 mg/kg.

Los niveles de plomo determinados en las 3 muestras de la empresa No. 5, que también se ubica en el municipio de Pesquería, son superiores al límite establecido para uso de suelo industrial.

3.3.3 Correlación lineal entre XRF portátil y la absorción atómica

Con las concentraciones obtenidas de las determinaciones realizadas con el equipo XRF portátil en las fracciones de suelo < 2,00 mm, < 0,250 mm y < 0,105 mm (Ver en Tabla No. 14) y con las concentraciones obtenidas por absorción atómica para las mismas fracciones de suelo de cada una de las 24 muestras tomadas (Ver Tabla No. 15), se realizaron los diagramas de dispersión que muestran la comparación entre las concentraciones de plomo obtenidas por ambos métodos, determinando así el coeficiente de determinación R^2 y la ecuación de la línea de tendencia para cada uno de los tres tamaños de partícula antes mencionados.

En la Figura No. 43 se muestra el diagrama de dispersión realizado con las concentraciones de plomo de las 24 muestras de suelo, para las fracciones menores que 2 mm, encontrando un valor de R^2 de 0,857, lo que muestra una buena correlación positiva entre ambos métodos (XRF y AA). Tomando en consideración que en la técnica de XRF portátil la muestra solamente requiere ser cribada por la malla No. 10, (el análisis no es destructivo) y que para fines prácticos, tanto el cribado como la medición podría realizarse en el sitio de muestreo, utilizando solamente 9 minutos para obtener el promedio de 3 lecturas tomadas con el equipo. Se debe considerar que para esto se requiere que la humedad sea menor que el 20 %, para evitar errores.

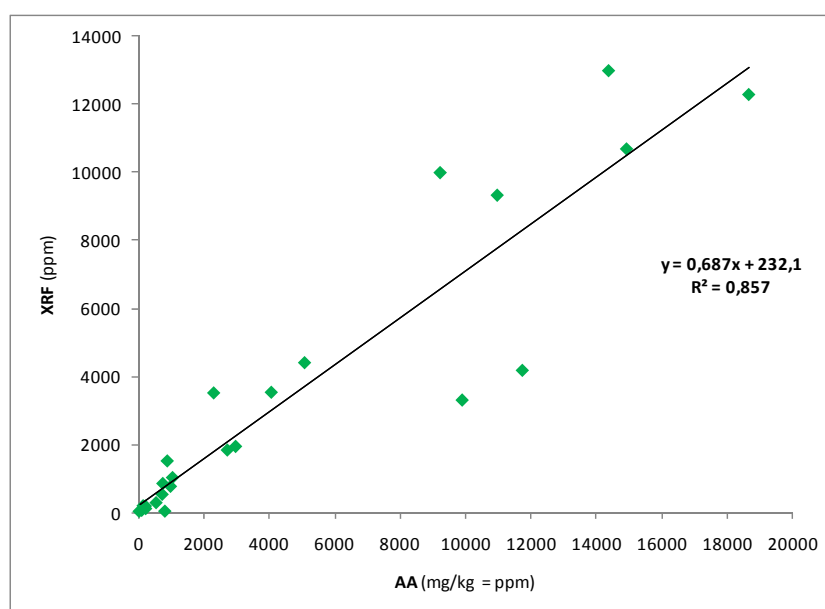


Figura No. 43. Diagrama de dispersión entre el analizador de XRF portátil y AA, para el tamaño de partícula menor que 2 mm.

Cabe mencionar que solamente en 5 de las 24 muestras de suelo con tamaño menor que 0,250 mm, el nivel de plomo obtenido por absorción atómica fue menor que el reportado con el equipo portátil de XRF; y que en el caso de partículas de suelo

menores que 2 mm, 2 de las 24 muestras reportaron concentraciones de plomo menores por AA que con XRF portátil.

Para la fracción de suelo con tamaño de partículas menor que 0,250 mm (Figura No. 44), el coeficiente R^2 obtenido fue de 0,962 mostrando que la correlación lineal positiva es mejor cuando el tamaño de partículas es menor (comparado con el tamaño menor que 2 mm). Cuando se quiere tener una buena correlación, como la indicada para el tamaño de partícula menor que 0,250 mm, es necesario que las muestras sean tamizadas primero por varias aberturas de malla y luego la malla 60; por lo que se requiere un tiempo de preparación, pudiendo realizarse el cribado en el campo, deberá cuidarse que las muestras de suelo tengan como máximo una humedad del 20 %, para disminuir errores y obstrucción de las mallas.

Aún comparando el tiempo requerido para el tratamiento de las muestras de suelo analizadas por XRF portátil, el tiempo de respuesta para obtener la concentración de plomo será menor, comparado con el tiempo requerido para el pre-tratamiento (digestión en medio ácido de las muestras de suelo en el laboratorio), calibración del equipo y medición por AA, y con la consecuente disminución de costo de los análisis.

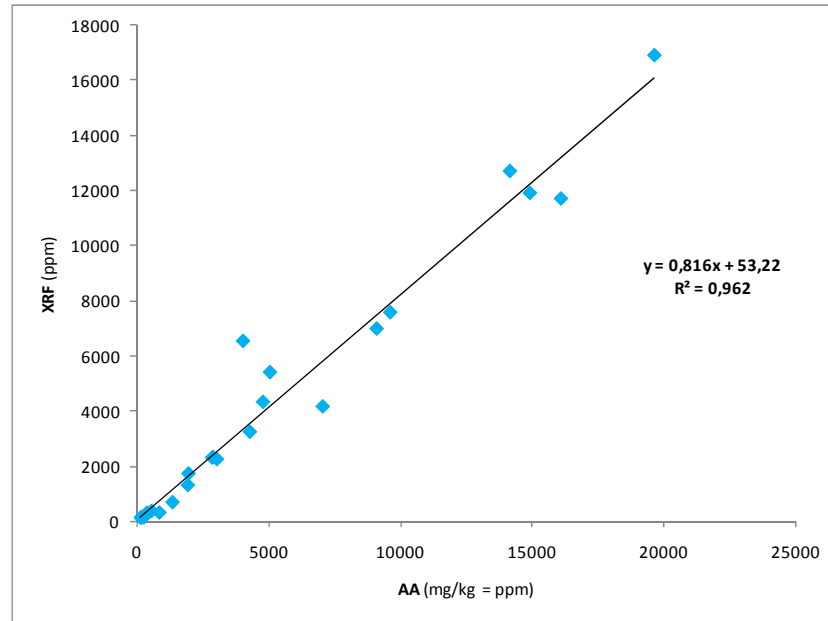


Figura No. 44. Diagrama de dispersión entre el analizador de XRF portátil y AA, para el tamaño de partícula menor que 0,250 mm.

En la Figura No. 45 se puede apreciar la gráfica de cuando se comparan los resultados de plomo con la técnica de XRF portátil y con AA: cómo los puntos se comportan de una manera más lineal, cuando el tamaño de partícula es menor que 0,105 mm, dando como resultado un coeficiente $R^2 = 0,996$ lo que indica la excelente correlación lineal positiva. En este tamaño de partícula se observó que el total de las muestras de suelo presentaron valores más altos por AA.

Es importante mencionar que se incrementa la confiabilidad de los resultados que se obtienen con el equipo portátil de XRF, con tamaños de partículas de suelo menores que 0,250 mm, como se observó con los resultados del coeficiente de determinación R^2 , lo cual ayuda a optimizar la toma de decisiones, considerando también las variables de tiempo y el costo de los análisis de las muestras de suelo.

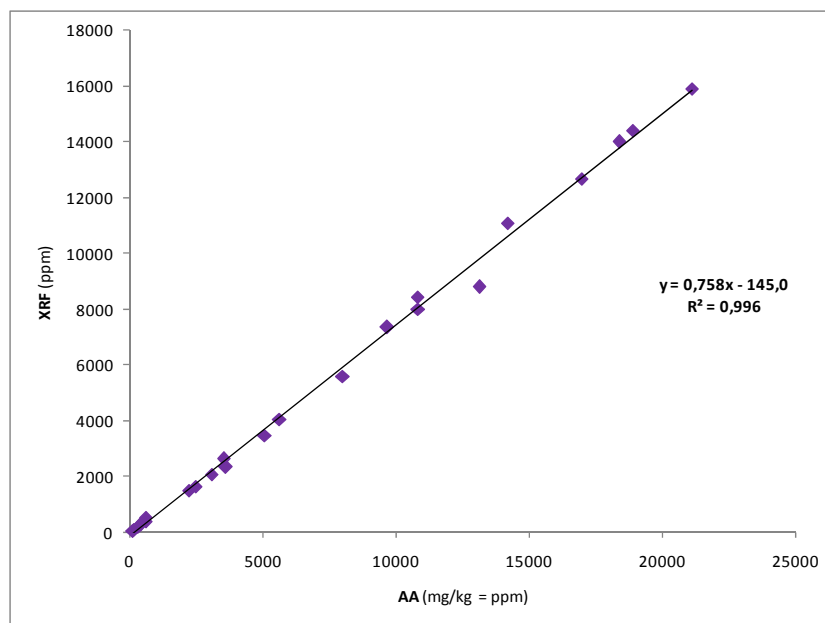


Figura No. 45. Diagrama de dispersión entre el analizador de XRF portátil y AA, para el tamaño de partícula menor que 0,105 mm.

Utilizando la ecuación lineal de los resultados entre AA y XRF, con el tamaño de partícula de suelo menor que 0,105 mm (Figura No. 45), se calculó para cada valor de la concentración de plomo en suelo por XRF, a su valor correspondiente a la medición por absorción atómica. Estos resultados se registraron en la Tabla No. 16.

Tabla No. 16. Trazabilidad de XRF portátil a AA.

Empresa	Muestra	Promedio NITON	Trazable a AA	% aumento
1	M-1	8112,77	10894,16	34,28
	M-2	11748,90	15691,16	33,55
	M-3	10802,44	14442,53	33,69
	M-4	8958,10	12009,37	34,06
	M-5	2573,74	3586,73	39,35
	M-6	1038,80	1561,74	50,34
	M-7	2205,02	3100,29	40,60
	M-8	4727,61	6428,25	35,97
	M-9	4613,87	6278,19	36,07
2	M-10	251,60	523,22	107,95
	M-11	1715,98	2455,12	43,07
	M-12	2231,76	3135,57	40,49
	M-13	939,59	1430,86	52,28
3	M-14	1306,18	1914,49	46,57
	M-15	4040,82	5522,19	36,66

Tabla No. 16. (Continúa)

Empresa	Muestra	Promedio NITON	Trazable a AA	% aumento
4	M-16	226,05	489,51	116,55
	M-17	279,85	560,49	100,28
	M-18	221,03	482,89	118,47
	M-19	91,52	312,03	240,94
	M-20	82,88	300,63	262,73
	M-21	85,27	303,79	256,26
5	M-22	1196,53	1769,83	47,91
	M-23	7715,75	10370,38	34,40
	M-24	8235,50	11056,07	34,24

Se puede observar que en los resultados de las 24 muestras de suelo, la concentración trazable a absorción atómica es mayor que el nivel de plomo obtenido por el equipo portátil de fluorescencia de rayos X. En 17 de las muestras de suelo, la concentración se incrementó entre un 33,55% a un 52,28%. Se observa que en la empresa No. 4 se presentaron resultados con variaciones muy grandes, entre el 100,28% y el 262,73%, por lo que se recomienda, en este tipo de casos, tomar mayor número de muestras en este sitio y establecer una nueva correlación.

3.3.4 Correlación de plomo con otros metales

El propósito principal de este estudio fue determinar la concentración del plomo en los suelos contaminados, utilizando la técnica de XRF portátil y hacerla trazable a AA. Al utilizar el equipo de fluorescencia de rayos X portátil en la medición de plomo en las muestras de suelo, también se obtuvieron las concentraciones de otros elementos presentes en las mismas muestras, como: circonio, estroncio, rubidio, arsénico, zinc, cobre, níquel, hierro, manganeso, cromo, vanadio, titanio, escandio, calcio, potasio, bario y cadmio.

3.3.4.1 Correlación lineal de Pearson para las mediciones con el equipo XRF portátil

La información analítica recopilada con el equipo de fluorescencia de rayos X portátil ha sido interpretada con ayuda de la herramienta estadística convencional, obteniendo relaciones entre los diversos parámetros conseguidos al explorar los datos mediante los coeficientes de correlación, para conocer las asociaciones entre las variables investigadas.

Empresa No. 1:

En la Tabla No. 17 se presenta la correlación de Pearson para los parámetros obtenidos de las nueve muestras de suelo tomadas en la periferia de la empresa No. 1, determinadas con el XRF portátil.

Correlación perfecta ($r = 1$) de Sc y Cd.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) positiva para:

- a) Ni y V; Fe con Mn, Cr, Ba, Cd;
- b) Mn con Cr, Ba, Cd;
- c) Ti y K;
- d) Ba y Cd.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) negativa para:

- a) Rb y Sc;
- b) Ti y Sc.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) positiva para:

- a) Pb y As;
- b) Zr con Rb, Ti, K;

- c) Rb con Ti, K;
- d) Cu con Fe, Mn, Ba Cd;
- e) Cr con Ba, Cd.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) negativa para:

- a) Pb con Cd;
- b) Rb con Ca, Cd;
- c) Ti con Ca, Cd;
- d) Sc con Cd.

Tabla No. 17. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 1.

	Pb	Zr	Sr	Rb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	Ba	Cd
Pb	1,00																	
Zr	-0,04	1,00																
Sr	0,11	-0,14	1,00															
Rb	0,30	0,69	-0,40	1,00														
As	0,70	-0,23	0,07	0,19	1,00													
Zn	0,42	0,31	-0,07	0,49	0,36	1,00												
Cu	0,46	-0,14	0,16	0,06	0,51	0,37	1,00											
Ni	0,08	-0,55	0,35	-0,54	0,00	-0,18	0,11	1,00										
Fe	0,11	-0,17	0,26	-0,14	0,07	0,04	0,72	0,12	1,00									
Mn	0,01	-0,17	0,28	-0,20	0,01	0,06	0,63	0,05	0,97	1,00								
Cr	-0,13	-0,26	0,30	-0,30	-0,07	-0,19	0,50	0,18	0,90	0,86	1,00							
V	0,02	-0,45	0,26	-0,47	0,12	-0,19	-0,12	0,85	-0,19	-0,26	-0,09	1,00						
Ti	0,32	0,75	-0,01	0,67	-0,04	0,27	0,00	-0,24	-0,18	-0,28	-0,33	-0,11	1,00					
Sc	-0,22	-0,72	0,56	-0,84	0,14	-0,53	0,24	0,03	0,21	0,34	0,25	-0,43	-0,81	1,00				
Ca	-0,42	-0,47	-0,02	-0,63	-0,13	-0,42	-0,25	-0,10	-0,07	0,07	0,09	-0,19	-0,72	0,88	1,00			
K	0,06	0,78	-0,30	0,70	-0,23	0,19	-0,06	-0,46	-0,14	-0,21	-0,26	0,34	0,85	-0,74	-0,51	1,00		
Ba	0,11	-0,08	0,48	-0,23	0,14	0,06	0,74	0,04	0,86	0,90	0,76	-0,30	-0,26	0,51	0,12	-0,26	1,00	
Cd	-0,66	-0,10	0,34	-0,66	-0,62	0,12	0,72	0,51	0,82	0,85	0,78	-0,68	-0,65	1,00	0,54	-0,43	0,92	1,00

Empresa No. 2:

En la Tabla No. 18 se muestra la correlación Pearson para los parámetros obtenidos de las cuatro muestras de suelo tomadas en la periferia de la empresa No. 2, determinadas con el XRF portátil.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) positiva para:

- a) Pb con Zn.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) positiva para:

- a) Pb con As.

Tabla No. 18. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 2.

	Pb	Zr	Sr	Rb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	Ba
Pb	1,00																
Zr	0,13	1,00															
Sr	0,06	0,24	1,00														
Rb	-0,41	0,16	-0,46	1,00													
As	0,70	-0,01	-0,09	-0,14	1,00												
Zn	0,89	-0,45	0,48	-0,41	0,19	1,00											
Cu	-0,24	-0,04	0,15	-0,20	-0,03	-0,25	1,00										
Ni	-0,08	0,36	-0,28	0,26	-0,28	0,02	-0,30	1,00									
Fe	0,01	0,14	-0,08	0,08	0,11	0,02	0,09	0,06	1,00								
Mn	-0,11	-0,03	0,17	-0,19	-0,03	-0,09	0,12	0,20	0,19	1,00							
Cr	0,42	0,28	-0,10	0,26	0,17	0,07	0,06	-0,02	0,00	-0,11	1,00						
V	-0,61	0,34	-0,45	0,21	-0,40	-0,11	-0,33	-0,33	-0,29	-0,24	-0,27	1,00					
Ti	-0,42	-0,12	-0,36	0,20	0,25	0,14	0,13	-0,18	0,05	0,00	0,02	-0,22	1,00				
Sc	-0,15	-0,17	0,07	-0,09	-0,28	-0,37	-0,51	0,08	-0,15	-0,14	-0,09	0,28	-0,05	1,00			
Ca	0,30	-0,20	0,44	-0,33	-0,20	-0,18	0,04	0,35	0,11	0,12	0,14	0,41	-0,12	0,36	1,00		
K	-0,37	-0,10	-0,40	0,25	0,37	0,24	0,14	-0,12	0,02	-0,04	-0,07	-0,20	-0,01	-0,41	-0,10	1,00	
Ba	0,17	-0,40	0,43	-0,58	-0,18	-0,25	0,06	0,48	0,21	0,21	0,35	0,39	-0,35	0,55	0,24	-0,43	1,00

Empresa No. 3:

En la Tabla No. 19 se muestra la correlación Pearson para los parámetros obtenidos de las dos muestras de suelo tomadas en la periferia de la empresa No. 3, determinadas con el XRF portátil.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) positiva para:

- a) Pb con Rb, As, Zn, Fe;
- b) Zr con As;
- c) Rb con As, Fe;
- d) Zn con Fe;
- e) Ni con Cr, Sc;
- f) Ti con K.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) negativa para:

- a) Sr con As, Zn;
- b) Ca con K.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) positiva para:

- a) Pb con Ba;
- b) Zr con Rb, K;
- c) Rb con Zn, Ti, K;
- d) As con Fe, Cr, Ti, K;
- e) Zn con Cu, Cr;
- f) Ni con V;
- g) Fe con Mn;
- h) Cr con Ba;
- i) V con Ti, K.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) negativa para:

- a) Pb con Zr, Sc;
- b) Sr con Rb, Sc;
- c) As con Sc;
- d) Ti con Ca.

Tabla No. 19. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 3.

	Pb	Zr	Sr	Rb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	Ba
Pb	1,00																
Zr	0,38	1,00															
Sr	-0,79	-0,01	1,00														
Rb	0,91	0,60	-0,62	1,00													
As	0,95	0,80	-0,84	0,87	1,00												
Zn	0,90	0,11	-0,80	0,78	0,87	1,00											
Cu	0,64	-0,10	-0,41	0,34	0,55	0,65	1,00										
Ni	-0,26	0,19	0,00	-0,30	-0,13	-0,11	0,17	1,00									
Fe	0,87	0,31	-0,73	0,84	0,76	0,88	0,49	-0,16	1,00								
Mn	0,52	0,17	-0,50	0,35	0,46	0,57	0,52	0,55	0,66	1,00							
Cr	0,59	0,31	-0,43	0,56	0,77	0,72	0,21	0,94	0,48	0,57	1,00						
V	0,03	0,56	0,18	0,12	-0,27	-0,24	0,01	0,69	-0,13	-0,27	-0,51	1,00					
Ti	0,46	0,91	-0,05	0,72	0,67	0,20	-0,09	-0,07	0,35	-0,03	0,26	0,69	1,00				
Sc	-0,60	-0,26	0,37	-0,66	-0,61	-0,59	-0,32	0,83	-0,57	-0,27	-0,52	0,47	-0,31	1,00			
Ca	-0,34	-0,46	-0,07	-0,58	-0,47	-0,33	0,09	0,47	-0,31	0,15	-0,57	-0,11	-0,64	0,54	1,00		
K	0,43	0,78	-0,01	0,72	0,65	0,23	-0,15	-0,17	0,34	-0,15	0,38	0,60	0,93	-0,36	-0,83	1,00	
Ba	0,71	0,13	-0,43	0,59	0,44	0,54	0,38	-0,80	0,45	0,16	0,73	0,02	0,26	-0,36	-0,38	0,31	1,00

Empresa No. 4:

En la Tabla No. 20 se muestra la correlación Pearson para los parámetros obtenidos de las seis muestras de suelo tomadas en la periferia de la empresa No.4, determinadas con el XRF portátil.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) positiva para:

- a) Rb con K;
- b) Ti con K;
- c) Sc con Ca.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) negativa para:

- a) Rb con Ca;
- b) Ti con Ca;
- c) Ca con K.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) positiva para:

- a) Pb con As;
- b) Zr con Rb, Ti, K;
- c) Rb con Fe, V, Ti;
- d) Fe con Mn, V.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) negativa para:

- a) Zr con Sc, Ca;
- b) Sr con As;
- c) Rb con Sc;
- d) Ti con Sc.

Tabla No. 20. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 4.

	Pb	Zr	Sr	Rb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	Ba
Pb	1,00																
Zr	0,42	1,00															
Sr	-0,39	-0,06	1,00														
Rb	0,48	0,69	0,24	1,00													
As	0,67	0,12	-0,61	0,07	1,00												
Zn	-0,45	-0,03	0,49	0,05	-0,19	1,00											
Cu	-0,15	-0,30	-0,19	-0,29	-0,19	-0,11	1,00										
Ni	-0,30	0,22	-0,12	0,01	-0,49	0,20	-0,23	1,00									
Fe	0,25	0,31	0,18	0,63	0,47	0,26	-0,26	0,06	1,00								
Mn	0,12	0,01	0,23	0,45	-0,07	0,23	0,05	0,06	0,70	1,00							
Cr	0,03	0,23	-0,20	-0,05	0,26	0,16	0,11	-0,05	-0,18	-0,21	1,00						
V	0,35	0,30	0,03	0,60	0,43	0,12	0,00	0,05	0,69	0,53	-0,15	1,00					
Ti	0,39	0,78	-0,01	0,77	0,22	0,12	-0,39	0,21	0,50	0,23	0,26	0,40	1,00				
Sc	-0,48	-0,71	-0,19	-0,75	-0,45	0,01	0,30	0,15	-0,45	-0,12	-0,18	-0,25	-0,77	1,00			
Ca	-0,51	-0,78	-0,06	-0,87	-0,17	0,00	0,32	-0,12	-0,50	-0,19	-0,14	-0,43	-0,88	0,81	1,00		
K	0,48	0,64	0,06	0,84	0,23	-0,10	-0,24	0,02	0,50	0,28	-0,04	0,55	0,81	-0,58	-0,87	1,00	
Ba	-0,09	0,11	-0,10	0,03	0,28	-0,03	-0,10	-0,18	0,05	0,12	0,28	0,20	0,09	-0,07	0,00	-0,07	1,00

Empresa No. 5:

En la Tabla No. 21 se muestra la correlación Pearson para los parámetros obtenidos de las nueve muestras de suelo tomadas en la periferia de la empresa No. 5, determinadas con el XRF portátil.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) positiva para:

- a) Pb con As;
- b) Sr con Mn;
- c) Rb con Mn, K;
- d) Cu con Fe, Mn, V;
- e) Ni con Fe, Ba;

- f) Fe con V;
- g) Mn con K;
- h) V con Ti, K.

Correlación muy alta ($0,8 < r < 1$) negativa para:

- a) As con Mn, V;
- b) Mn con Ca;
- c) Cr con Ca.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) positiva para:

- a) Zr con Mn, V;
- b) Rb con Fe, V, Ti;
- c) Zn con Ca;
- d) Cu con Ni, Cr, Ba;
- e) Fe con Cr, K;
- f) Cr con V;
- g) Ti con K.

Correlación alta ($0,6 < r < 0,8$) negativa para:

- a) Pb con Sr, Rb, K;
- b) Sr con As;
- c) Rb con As;
- d) As con K;
- e) Zn con Cr;
- f) Fe con Ca;
- g) Mn con V.

Tabla No. 21. Correlación de Pearson de los resultados de las muestras de suelo medidos con el XRF para la empresa No. 5.

	Pb	Zr	Sr	Rb	As	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	Ba
Pb	1,00																
Zr	-0,09	1,00															
Sr	-0,64	-0,04	1,00														
Rb	-0,65	0,33	0,69	1,00													
As	0,80	-0,34	-0,70	-0,70	1,00												
Zn	0,09	-0,45	0,53	0,00	0,00	1,00											
Cu	0,36	0,02	-0,42	0,03	0,49	-0,54	1,00										
Ni	-0,12	-0,41	-0,05	0,18	-0,01	-0,53	0,74	1,00									
Fe	-0,23	0,23	0,16	0,70	-0,18	-0,36	0,80	0,72	1,00								
Mn	-0,36	0,84	0,91	0,82	-0,89	0,32	0,88	1,00	0,80	1,00							
Cr	0,31	0,45	-0,49	0,11	0,29	-0,60	0,70	0,19	0,66	0,53	1,00						
V	-0,57	0,74	0,52	0,75	-0,83	-0,01	0,99	-1,00	0,80	-0,66	0,69	1,00					
Ti	-0,54	0,58	0,28	0,65	-0,59	-0,30	-0,16	-0,23	0,47	-0,28	0,22	0,86	1,00				
Sc	0,34	-0,05	-0,09	-0,29	0,21	0,19	-0,17	-0,10	-0,28	0,21	-0,28	-0,35	-0,55	1,00			
Ca	0,02	-0,57	0,37	-0,40	0,06	0,68	-0,52	-0,22	-0,66	-0,66	-0,75	-0,40	-0,50	0,37	1,00		
K	-0,70	0,40	0,66	0,98	-0,76	-0,04	-0,09	0,08	0,66	0,88	0,10	0,80	0,71	-0,31	-0,41	1,00	
Ba	-0,38	0,00	0,37	0,24	-0,49	-0,56	0,70	0,99	0,21	-0,20	-0,24	0,18	0,14	0,10	-0,06	0,24	1,00

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Confirmando lo encontrado por Loredó (2003), el uso de equipos portátiles de XRF, para la determinación de concentraciones de metales pesados, puede presentar algunas interferencias en los análisis que están directamente relacionados con el contenido de humedad del suelo y las características físicas del mismo. En el presente trabajo, se observó mayor correlación en los resultados de plomo en el suelo utilizando XRF portátil y por espectroscopía de absorción atómica, cuando el tamaño de partícula del suelo es más homogéneo y su tamaño es menor que 0,105 mm.
2. Se encontró una excelente correlación lineal ($R^2= 0,996$) entre la determinación de los niveles de plomo en el suelo, por medio de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X (marca Niton, modelo XL3t-600) y los análisis de laboratorio de absorción atómica (Thermo Electron Corporation SOLAAR M). En el año 2008, Markey y colaboradores estudiaron la factibilidad del uso de un analizador portátil de XRF para la medición de suelo cribado, y encontraron que los niveles de plomo detectados fueron comparables con los de AA, en muestras cribadas a menos de 0,125 mm en el laboratorio; y determinaron que la correlación entre ambos métodos fue excelente ($R^2= 0,992$) para el mismo tamaño de partícula.

3. Partiendo del diagrama de dispersión y de la línea de tendencia obtenidos en la presente investigación, se trazaron los valores de AA partiendo de las concentraciones de plomo medidas con XRF portátil, y en todos los casos la concentración trazable fue mayor para la absorción atómica; sin embargo, debido a la variación en los porcentajes de aumento, no se puede generalizar que siempre ocurrirá de esta manera.
4. Lo obtenido en el presente estudio deja claro que las mediciones realizadas en el campo registran resultados fiables; no olvidando que para este caso de estudio, los valores encontrados por AA, en la mayoría de los casos, fueron más altos que los encontrados por XRF portátil.
5. Los resultados son claros y muestran que, aunque el estudio debe continuarse y ampliarse, existen concentraciones de plomo que catalogan al suelo superficial estudiado como contaminado; a excepción del suelo adyacente a la empresa No. 4, donde únicamente una muestra no cumplió el criterio establecido para uso de suelo comercial/residencial.
6. En todas las muestras de suelo analizadas fue detectado plomo por lo que se estima que éste proviene de las empresas estudiadas.
7. Los resultados de esta investigación constituyen un aporte para la toma de decisiones de las autoridades responsables del desarrollo urbano, quienes deberán considerar los riesgos de autorización de áreas habitacionales próximas a la periferia de las empresas relacionadas con el plomo y otros elementos potencialmente tóxicos.

8. Se encontró que los niveles de plomo en los suelos adyacentes a las empresas estudiadas son mucho más altos que los establecidos como límites máximos permisibles en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; por lo que se recomienda continuar el muestreo y el análisis de estos suelos y extender el área de estudio a suelos adyacentes y a otras empresas que también manejen metales pesados en sus procesos, para plantear la necesidad de remediación, sobre todo en áreas ya habitadas.
9. La técnica de análisis por fluorescencia de rayos X portátil es una herramienta muy útil para estudios de evaluación ambiental con el fin de determinar la presencia de metales y metaloides en el sitio de estudio, resultando un método de bajo costo, rápido y que no es destructivo al realizar un barrido de los diversos elementos medibles por el mismo.
10. Para obtener mejores resultados cuando se utilice el equipo de fluorescencia de rayos X en el análisis de suelos, es recomendable que en todos los casos las lecturas del equipo se realicen en muestras previamente cribadas a través de la malla con 0,250 mm de abertura.
11. Una ventaja del uso del equipo de fluorescencia de rayos X portátil es que permite obtener resultados de metales y metaloides que pueden correlacionarse entre sí y ver el grado de asociación entre ellos, con la posibilidad de que esta correlación permita visualizar el origen de la fuente de contaminación de acuerdo con el proceso de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

AEMA. (2001). El Medio Ambiente en Europa, Segunda Evaluación. Capítulo 11. "Degradación del Suelo". 36 pp.

Alloway, B. J. (1995). Heavy Metals in soils. Blackie Academic and Professional, Second edition, 368 pp.

ASTDR. (1993). "Toxicological profile for lead". Final Report of the Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Public Health Service, US Department of Health and Human Services, Atlanta Ga. Pp. 2-4, 6-7.

ASTM D 3987-85. *Method D*. (1988). "Modified test for shake extraction of solid waste with water". Standard Test Method for Shake Extraction of Solid Waste with Water. American Society of Testing and Materials in Annual Book of ASTM Standards. *Water and Environmental Technology*, Volume 11.04: 24-27, Philadelphia, Pennsylvania.

Baran, E. (1995). Química Bioinorgánica. McGrawHill, Madrid. pp. 231-234.

Borg, H. y Johansson, K. (1989). "Metal fluxes to swedish forest lakes". *Water, Air and Soil Pollution*, 47:427-440.

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.

Cala, V. y Kunimine, Y. (2003). "Distribución de plomo en suelos contaminados en el entorno de una planta de reciclaje de baterías ácidas". Rev. Int. Contam. Ambient. 19 (3) 109-115.

Cantú, P.; Reyes; 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, pp.1-6.

Case, J; Reif, C. y Timko, A. (1989). "Lead in the bottom sediments of Lake Nuangola and fourteen othes bodies of wáter in Luzerne County, Pennsylvania". Journal of the Pennsylvania Academy of Science 63: 67-72.

Casos de éxito. (2001). Casos exitosos de empresas latinoamericanas de diversas ramas industriales cuyo común denominador es el esfuerzo que cada una de ellas ha realizado para mitigar el problema de cambio climático. www.climategateway.com.

Carrasquero-Durán, A. (2006). "Determinación de los niveles de contaminación con plomo en los suelos y polvo de las calles de la ciudad de Maracay". Agronomía Trop. 56(2): 237-252.

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.

Corey, G. y Galvao, L. (1989). "Plomo". Serie Vigilancia 8. Metepec, México. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OPS/OMS.

Dol, I; Feola G; García, G. y Alonzo, C. (2004). "Contaminación ambiental de plomo en asentamientos urbanos en Montevideo Uruguay y su repercusión en los niveles de plomo en sangre en población infantil". Premio al mejor póster en el III Congreso Uruguayo de Toxicología Clínica desarrollado en Montevideo (9-12 de mayo de 2004), Revista de toxicología en línea.

Dorronsoro, C; Martin, F; Ortiz, I; García, I; Simón, M; Fernández, E; Aguilar, J; Fernández, J. (2002). "Migration of trace elements from pyrite tallings in carbonate soils". J. Environ. Qual. 31:829-835.

Escobar, M; Manzanares, E. y Vega, H. (2005). "Contaminación por plomo en suelo en la Comunidad de Vetagrande, Zacatecas". Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

FAO-PNUMA. (1984). "Directrices para el control de la degradación de suelos". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 38 p.

Gomaa A; HU H; Bellinger D; Schwartz J; Tsai S. W; Gonzalez-Cossio T; Schnaas L; Peterson K; Aro A. y Hernández, A. (2002). "Maternal bone lead as independent risk factor for fetal neurotoxicity study". *Pediatrics*. 110 (1): 110-118.

Hernández Ávila, M. (1995). "El plomo: un problema de salud pública en México". En *Intoxicación por plomo en México: prevención y control* [M. Hernández Ávila y E. Palazuelos Rendón] *Perspectivas en Salud Pública*. INSP y Depto. Distrito Federal 13-24 pp.

Hutton, R. M; Chaney Chairman R. L. (1987). *Group Report: Cadmium*, Edited by T.C. Hutchinson and K. M. Meema. Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment. John Wiley & Sons Ltd.

Industrias Peñoles. (2010). Manual para el Manejo Ambientalmente Responsable del Plomo. Industrias Peñoles, S. A. de C. V. 72 pp.

INE. (2001). Instituto Nacional de Ecología. Estudio Sectorial de las Sustancias en Eliminación: Utilización y destino del plomo. Dirección General de Investigación en Política y Economía ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana. 165 pp.

INEGI. (1990). Guías para la Interpretación de Cartografía: Edafología, Geología y Uso del Suelo. Segunda Reimpresión: Abril de 1990.

INEGI. (2005). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. II Censo de Población y Vivienda 2005.

INEGI. (2009). Instituto Nacional de Estadística, y Geografía. "La Minería en México 2009".

INEGI. (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2010.

International Atomic Energy Agency. (2005). "In situ applications of X ray fluorescence techniques". Final report of a coordinate research project, 2000-2003. 258 pp.

Kabata- Pendias, A. y Pendias, H. (1992). "The anthroposphere. En: Trace elements in soils and plantas". Second Ed. CRC Press Inc. Bocca Raton, Florida, 365 pp.

Khan, A.H; Khan, A. y Khurshid A. (2001). "Low-level lead exposure and blood lead levels in children: A cross-sectional survey". Arch. Environ. Health. 56(6):501-505.

Long, D. T. y Angino E. E. (1977). Geochim. Cosmochim Acta. 41:1183-91.

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.

Machado, A; García, N; García, C; Acosta, L; Córdova, A; Linares, M; Giraldoth, D. y Velásquez, H. (2008). "Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular". Rev. Int. Contam. Ambient. 24 (4) 171-182.

Manzanares-Acuña, E; Vega-Carrillo, H; Salas-Luévano, M; Hernández, V; Letechipía de León, C; Bañuelos-Valenzuela, 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.

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).

Martínez, C. E. y Motto, H.L. (2000). "Solubility of lead, zinc and copper to mineral soils". Environ, Pollut. 107:153-158.

Martínez, R; Tuya, L; Martínez, M; Pérez, A; Cánovas, A. (2009). "El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización". Rev. Habana Ciencia Médica. La Haban, Vol VIII, 2:1-19

Martínez, S. M; Pérez, S. C; Tudela, M. L; Molina, R. J; Linares, P; Navarro, C; Barberán, M. R; Mantilla, W; Tovar, F.P; Solano, M. A; Marimón, S. J; Agudo, J. y Hernández, P.C. (2005). Desertificación: Monitorización mediante indicadores de degradación química. Programa de iniciativa comunitaria INTERREG. III B ESPACIO MEDOCC. Proyecto Desernet. Acción Piloto Región de Murcia, Ed. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.

Mejía, J; Carrizales, L; Rodríguez, V; Jiménez-Capdeville, M. y Díaz-Barriga, F. (1999). "Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras". Salud Pública de México. 41(2): S132-S140.

Meléndez, C; Camacho, A. (2009). “Espectrometría de fluorescencia de rayos X”. Aventuras del pensamiento. Enero–Marzo 2009, pp.- 1- 4.

Méndez García, T; Rodríguez Domínguez, L. y Palacios Mayorga, S. (2000). “Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos”. Universidad Autónoma de Chapingo. TERRA Latinoamericana. Octubre-Diciembre, Vol. 18, número 004: 277- 288 pp.

NMX-AA-132-SCFI-2006. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México. Secretaría de Economía. Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas.

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 el 2 de marzo de 2007.

Nriagu, J. O. (1979). “Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere”. Nature 279, 409-411.

ONU. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1984). “Métodos Físicos y Químicos de análisis de suelos y aguas”. Boletín de suelos de la FAO No. 10.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2000). Informe 1995-2000. PROFEPA/SEMARNAP.

Puga, S; Sosa, M; Lebgue, T; Quintana, C; Campos, A. (2006). "Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera". *Ecología aplicada* 5, 1: 149-155.

Puigdomenech, I. (2004). "Program Medusa (Make Equilibrium Diagrams). Using Sophisticated Algorithms". The Royal Institute of Technology, Inorganic Chemistry. Stockholm, Sweden.

Rojas, J. (1998). "Minería en Nuevo León: Antecedentes de la industria de fundición". *Ingenierías*, Julio-Diciembre 1998, 1(2): 17-22.

Ruby, M. V; Davis, A; Schoof, R; Eberle, S. y Sellstone, C. M. (1996). "Estimation of Lead and Arsenic Bioavailability Using a Physiologically Based Extraction Test". *Environ. Sci. Technol.* 30, 422-430.

Salomons, W. y Stigliani W. (1995). "Biogeodynamics of pollutants in soil and sediments". Springer- Verlag. New York.

Saval, S. (1999). "Éxitos y fracasos de la remediación de suelos en sitios contaminados con hidrocarburos". Instituto de Ingeniería, Coordinación de Bioprocesos Ambientales, Universidad Nacional Autónoma de México. 511-526.

Schwarz, A; Wilcke, W; Styk, J. y Zech, W. (1999). "Heavy metal release from soils in batch pH stat experiments". J. Soil Science Society of America. 63:290-296.

Seoáñez, M. (1999). El suelo como recurso para el desarrollo. En: Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa. 352 pp.

Skoog, D. A. y Leary James. (1994). Análisis Instrumental. Ediciones Mc.Graw- Hill/ Interamericana de España. Madrid 4ª. Edición. 259 pp.

Taylor, P. y Ramsey, M. (2002). "The balance between uncertainty and cost for the "in situ" analysis of contaminated land. En: Heavy metal contamination and the quality life". SEGH 20th European Conference, Abstracts Volume 41, Debrecen. Hungría.

Tipping, E; Rieuwerts, J; Panm, G; ASmore, M. R; Lofts, S; Hill, M. T; Farago, M.E; Thorton, I. (2003). "The solid-solutions partitioning of heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in upland soils of England and Wales". Environ, Pollut. 125:213-225.

Todd, A. C; Wetmur, J. G; Moline, J. M; Godbold, J. H; Levin, S. M. y Landrigan P. J. (1996). "Unraveling chronic toxicity of lead: an essential priority for environmental health". Environmental Health Perspectives, Vol. 104, Supplement 1: 141-146.

"Toxicological Profile for Lead". (1999). Research Triangle Institute, (RTI, 1999).

USEPA. (1986). "Air quality criteria for lead". U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/8-83-028F.

USEPA 3050B. (1996). "Method acid digestion of sediments, sludges and soils". Revision 2.

USEPA 6200. (2007). "Method 6200. Field portable X-Ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment". Rev. 0.

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

Valdés, F. y Cabrera, V. (1999). "La Contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México". Texas Center for Policy Studies. En Defensa del Ambiente, A.C. Primera Edición. Torreón, Coahuila. 50 pp.

Villalobos, A; Valdés, F; García, G. y Alonso, J. (2006). "Predicción del riesgo a la salud infantil en una zona contaminada por plomo". Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica. XXVII: 8-15.

Walter, I; Martínez, F. y Cuevas G. (2003). "Dinámica de los metales pesados en un suelo degradado enmendado con residuos orgánicos urbanos". Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI. J. Álvarez-Benedi y P. Marinero. 367- 371 pp.

Zalidis, G. S; Takavakoglou, V; Eskridge, K. y Misopolinos, N. (2002). "Impacts of agricultural practices on soil and water quality, in the Mediterranean Region and proposed assessment Methodology Agriculture". J. Ecosystems and Environment 88:137-146.

APÉNDICE A

LEGISLACIÓN AMBIENTAL MEXICANA CON RELACIÓN AL PLOMO

Tabla No. 22. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. SEMARNAT. Última modificación 23 de febrero de 2005.

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
Artículo 28.	Requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría: II. Industria Química. III. Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en los términos de la Ley Minera del Art. 27 y Reglamentaria Constitucional en materia Nuclear. Obligación: Manifestación de Impacto Ambiental.
Artículo 30.	Cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas, la manifestación deberá incluir el Estudio de Riesgo correspondiente (Tetra metilo y tetra etilo de plomo). Obligación: Estudio de Riesgo.
Artículo 111.BIS.	Para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, se requerirá autorización de la Secretaría. Obligación: Permiso de emisiones (LAU).
Artículo 113.	No deberán emitirse contaminantes a la atmósfera que ocasionen desequilibrio ecológico o daños al ambiente
Artículo 121.	No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la Autoridad Federal. Obligación: Permiso de descarga (CNA).
Artículo 122.	Las aguas residuales provenientes de usos industriales que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores.
Artículo 123.	Todas las descargas en las redes colectoras, ríos y los derrames de aguas residuales en los suelos deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan y en su caso las condiciones particulares de descarga. Obligación: condiciones particulares de descarga.
Artículo 134.	Para prevenir la contaminación del suelo, deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos. Obligación: condiciones particulares de descarga.
Artículo 135.	Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran en los siguientes casos: III. la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que para tal 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. Obligación: condiciones particulares de descarga.
Artículo 137.	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. Obligación: condiciones particulares de descarga.
Artículo 147.	La realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente peligrosas, se llevará a cabo con apego a lo dispuesto en esta Ley (Tetrametilo de plomo y tetraetilo de plomo). Obligación: condiciones particulares de descarga.
Artículo 150.	Los materiales y residuos peligrosos deberán ser manejados con arreglo a la presente Ley, sus Reglamentos y las Normas Oficiales Mexicanas
Artículo 151.	La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. Obligación: condiciones particulares de descarga.
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.

**Tabla No. 23. Ley de Aguas Nacionales, Comisión Nacional del Agua.
24 de abril de 2004.**

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
Artículo 87.	La Autoridad del Agua determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que estos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas mediante la expedición de declaratorias de clasificación de los cuerpos de aguas nacionales, las cuales se publicarán en el Diario Oficial de la Federación lo mismo que sus modificaciones para su observancia.
Artículo 92.	La Autoridad del Agua, ordenará la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, cuando: <ol style="list-style-type: none"> I. No se cuente con el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de esta Ley. II. La calidad de las descargas no se sujeta a las normas oficiales mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta Ley y sus Reglamentos. III. Se omite el pago del derecho por el uso o aprovechamiento de bienes nacionales como cuerpos receptores de descargas de aguas residuales durante más de un año fiscal. IV. El responsable de la descarga, contraviniendo los términos de Ley, utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar de cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga. V. Cuando no se presente cada dos años un informe que contenga los análisis e indicadores de la calidad del agua que descarga.

**Tabla No. 24. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, SEMARNAT.
8 de octubre de 2003.**

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
Artículo 16.	La clasificación de un residuo como peligroso, se establecerá en las normas oficiales mexicanas que especifiquen la forma de determinar sus características, que incluyan un listado de los mismos y fijen los límites de concentración de las sustancias contenidas en ellos, con base en los conocimientos científicos y las evidencias acerca de su peligrosidad y riesgo.
Artículo 17.	Los residuos de la industria minero-metalúrgica provenientes del minado y tratamiento de minerales tales como jales, residuos de los patios de lixiviación abandonados, así como los provenientes de la fundición y refinación primarias de metales por métodos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos 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 los siguientes residuos peligrosos y los productos usados, caducos, retirados del comercio o que se desechen y que estén clasificados como tales en la norma oficial mexicana correspondiente IV. Acumuladores de vehículos automotores conteniendo plomo.
Artículo 44.	Los generadores de residuos peligrosos tendrán las siguientes categorías: <ol style="list-style-type: none"> I. Grandes generadores. II. Pequeños generadores III. Micro generadores

**Tabla No. 25. Ley Federal de Derechos, Congreso de la Federación.
Última modificación 21 de diciembre de 2005.**

INFORMACIÓN
Define las cuotas para el pago de las concesiones y trámites ante las diferentes dependencias de gobierno.

Tabla No. 26. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, SEMARNAT. 25 de noviembre de 1988.

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
Artículo 7.	Quienes pretendan realizar actividades por las que puedan generarse o manejarse residuos peligrosos deberán contar con autorización de la Secretaría. Obligación: Incluir en la manifestación de impacto ambiental los residuos a generarse así como el Alta de Generador de los Residuos Peligrosos.
Artículo 8.	El generador de residuos deberá: I. Inscribirse en el registro. II. Llevar una bitácora mensual de los residuos. III. Dar el manejo adecuado. IV. Manejarlos separadamente. V. Envasar los residuos peligrosos. VI. Identificarlos. VII. Almacenarlos en condiciones seguras. VIII. Transportarlos en vehículos autorizados. IX. Dar a sus residuos el tratamiento correspondiente X. Dar a sus residuos la disposición final correspondiente. XI. Remitir a la Secretaría los informes periódicos. Obligación: I. Alta como generador de residuos. II. Bitácoras III. Autorización de almacén temporal. IV. Reportes semestrales.
Artículo 13.	Los generadores podrán contratar los servicios de empresas de manejo de residuos peligrosos. Obligación: I. Alta como generador de residuos. II. Bitácoras III. Autorización de almacén temporal. IV. Reportes semestrales.
Artículo 14.	Para el almacenamiento y transporte de residuos peligrosos, el generador deberá envasarlos de acuerdo a su estado físico, con sus características de peligrosidad y tomando en consideración su incompatibilidad. Obligación: I. Alta como generador de residuos. II. Bitácoras III. Autorización de almacén temporal. IV. Reportes semestrales.
Artículos 15, 16, 17, 19	Requisitos para las áreas de almacenamiento temporal. Obligación: condiciones del almacén temporal de los residuos peligrosos.
Artículo 21	Los movimientos de entrada y salida de residuos peligrosos del área de almacenamiento deberán quedar registrados en una bitácora. Obligación: llevar una bitácora del almacén temporal.
Artículo 23.	Para el transporte de residuos peligrosos a cualquiera de las instalaciones de tratamiento o disposición final, el generador deberá adquirir los formatos para los manifiestos que requiera para el transporte. Obligación: manifiesto de entrega, transporte y disposición
Artículo 27.	Los vehículos destinados al transporte de residuos peligrosos deberán contar con el registro ante la Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Obligación: permiso del transporte y licencia del transportista.

**Tabla No. 27. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes; y se adiciona y reforma el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. SEMARNAT.
3 de junio de 2004.**

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
Artículo 17 BIS.	Obligaciones de los responsables de las fuentes fijas de jurisdicción federal (industria química) Obligación: Cédula de Operación Anual.
Artículo 21.	Los responsables de fuentes fijas de jurisdicción federal que cuenten con licencia otorgada por la Secretaría, deberán presentar ante ésta, una Cédula de Operación Anula dentro del periodo comprendido entre el 1° de enero y el 30 de abril de cada año, los interesados deberán utilizar la Cédula de Operación Anual a que se refiere el artículo 10 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Obligación: Cédula de Operación Anual.

**Tabla No. 28. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental. SEMARNAT.
30 de mayo de 2000.**

INFORMACIÓN
Según la LGEEPA la industria química debe presentar el Estudio de Impacto Ambiental. Este Reglamento define el procedimiento a seguir.

**Tabla No. 29. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Auditoría Ambiental. SEMARNAT.
29 de noviembre de 2000.**

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
	Procedimiento voluntario para la realización de Auditorías Ambientales.

**Tabla No. 30. Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
28 de noviembre de 2003.**

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
Artículo 19.	El envase y embalaje de sustancias y residuos peligrosos deberán cumplir con la clasificación, tipos y disposiciones de las normas.
Artículos 21, 22, 23, 24	Condiciones y características de los envases y embalajes.
Artículo 32.	Identificación de los envases y embalajes.
Artículos 33, 37, 46, 50	Condiciones y características de las unidades para el transporte de materiales y residuos peligrosos así como la identificación. Obligación: requiere autorización para el transporte de materiales y residuos peligrosos.
Artículo 51.	El fabricante de sustancias o generador de residuos peligrosos deberá proporcionar la descripción e información complementaria del producto que se transporte. Obligación: requiere autorización para el transporte de materiales y residuos peligrosos.
Artículo 52.	Información con la que deben contar las unidades de transporte de materiales y residuos peligrosos. Obligación: I. Documentos de embarque. II. Información de emergencia de transportación. III. Documentos que avalen la inspección técnica de la unidad. IV. Manifiesto de entrega, transporte y recepción. V. Autorización respectiva. VI. Manifiesto en caso de derrame. VII. Y las demás que se establezcan

Tabla No. 31. Reglamento Federal de Seguridad e Higiene y Medio Ambiente de Trabajo. Secretaría de Trabajo y Previsión Social. 21 de enero de 1997.

LOCALIZACIÓN EN EL DOCUMENTO	INFORMACIÓN
Artículo 17.	Obligaciones de los patrones en materia de Seguridad e Higiene. Obligaciones: I. Cumplir con las disposiciones del reglamento. II. Contar con autorización en materia de seguridad e higiene. III. Realizar estudios en el área de trabajo. IV. Determinar y conservar dentro de los niveles permisibles. V. Colocar avisos y señales. VI. Elaborar un programa de seguridad. VII. Capacitar y adiestrar al personal. VIII. Permitir inspección y vigilancia. IX. Presentar los dictámenes de las unidades de verificación. X. Dar aviso de accidentes de trabajo. XI. Participar en la Comisión de Seguridad e Higiene. XII. Demás obligaciones.
Artículo 21.	Delimitar todas las áreas de los centros de trabajo.
Artículo 26.	Los centros de trabajo deberán contar con medidas de prevención y protección así como con sistemas y equipos para el combate contra incendios.
Artículo 52.	El manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general, deberá realizarse en condiciones técnicas de seguridad.
Artículo 56.	El patrón deberá elaborar una relación del personal autorizado para llevar a cabo actividades con materiales peligrosos.
Artículo 57.	Para el manejo, transporte y almacenamiento de materiales peligrosos, el patrón deberá establecer las medidas preventivas y los sistemas para la atención a emergencias.
Artículo 59	Para el manejo, transporte y almacenamiento de materiales y sustancias químicas peligrosas se debe contar con un sistema de comunicación de riesgos.
Artículo 62.	El patrón responsable de que se identifiquen las sustancias peligrosas en función al tipo y grado de riesgo.
Artículo 63.	El patrón deberá difundir a los trabajadores las hojas de seguridad de los materiales y sustancias químicas.
Artículo 101.	En los centros de trabajo donde existen agentes en el medio ambiente laboral que puedan alterar la salud y que por razones de carácter técnico no sea posible aplicar las medidas de prevención y control, el patrón deberá dotar con equipo de protección personal adecuado.

Tabla No. 32. Normas de Competencia Federal

REFERENCIA	OBSERVACIONES	VALOR / ESPECIFICACIÓN
NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. SEMARNAT. 15 de agosto de 2003.	Establece los límites máximos permisibles de metales pesados en biosólidos	Plomo Excelentes: 300 mg/kg en base seca Buenos: 840 mg/kg en base seca Incluye el método para la cuantificación de metales pesados en biosólidos.
NOM-052-SEMARNAT-1993. Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. SEMARNAT. 22 DE OCTUBRE DE 1993	Define las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso.	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de fundición del plomo (T). • Lodos de tratamiento de agua con compuestos iniciadores del plomo base (T). • Extracción del plomo zinc(T) • Lodos de tratamiento en la producción de baterías. • Baterías de desecho (T) • Naftenato de plomo (T) • Neodecanato de plomo (T) • Octoato de plomo (T) • Plomo (T) • Sulfato de plomo (T) • Concentración de plomo en lixiviados (5 mg/L)
NOM-054-SEMARNAT-1993. Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993. SEMARNAT. 22 de octubre de 1993.	Determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos.	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo 11. Cianuros: cianuro de plomo. • Grupo 23. Metales elementales: plomo, arseniato de plomo, acetato de plomo, azida de plomo, arsenito de plomo, clorito de plomo, carbonato de plomo, dinitroresorcinato de plomo, cianuro de plomo, óxido de plomo, nitrato de plomo, sulfuro de plomo, tetrametilo de plomo, dinitruro de triplomo. • Grupo 25. Nitruro: dinitruro de plomo. • Grupo 27. Compuestos nitrados, dinitroresorcinato de plomo, mononitroresorcinato de plomo. • Grupo 33. Sulfuros inorgánicos: sulfuro de plomo. • Grupo 102. Explosivos: dinitroresorcinato de plomo, azida de plomo, estifnato de plomo, mononitroresorcinato de plomo, dinitruro de triplomo. • Grupo 104. Agentes oxidantes fuertes: clorito de plomo, nitrato de plomo. • Grupo 105. Agentes reductores fuertes: sulfuro de plomo
NOM-097-SEMARNAT-1995. Establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país. SAMARNAT, 1° febrero 1996.	Define los niveles permitidos de emisión de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio.	Horno de cristal para plomo: 5,8 kg/ton Zona Crítica. Horno para cristal de plomo y calizo cristalino: 6,0 kg/ton Zona Crítica Vidrio Cristal (calizo, opalino y plomo): 11 kg/ton Zona Crítica
NOM-005-STPS-1998. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas.	Establece las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.	Elaborar y mantener actualizado el análisis de riesgo de las sustancias químicas. Contar con regaderas. Manual de primeros auxilios. Proporcionar equipo de protección personal. Elaborar un programa de seguridad e higiene. Comunicar a los trabajadores los riesgos. Practicar exámenes médicos de ingreso.

Tabla No. 32. (Continúa)

REFERENCIA	OBSERVACIONES	VALOR / ESPECIFICACIÓN
NOM-010-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporte, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Última modificación 26 de febrero de 2001.	Establecer las medidas para prevenir daños a la salud de los trabajadores expuestos a las sustancias químicas contaminantes del medio ambiente laboral y establecer los límites máximos permisibles de exposición en los centros de trabajo. (LMPE-CT= Límite máximo permisible de exposición a corto tiempo, mg/m ³ LMPE-PPT = Límite máximo permisible de exposición promedio ponderado en tiempo mg/m ³)	Arseniato de plomo: LMPE-PPT= 0,15; LMPE-CT= 0,45 Plomo, polvos inorgánicos, humos y polvos: LMPE-PPT = 0,15; Tetraetilo de plomo: LMPE-PPT= 0,1, LMPE-CT=0,3 Tetrametilo de plomo: LMPE-PPT =0,15; LMPE-CT= 0,5
NOM-004-SSA1-1993. Salud ambiental. Limitaciones y requisitos sanitarios para el uso de monóxido de plomo (litargirio), óxido rojo de plomo (minio) y del carbonato básico de plomo (albayalde), Secretaría de Salud. 18 de agosto de 1994.	Establecer los requisitos mínimos de un sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas de acuerdo a sus características físicas, químicas, de toxicidad, concentración y tiempo de exposición	Identificar los depósitos, recipientes y áreas que contengan sustancias peligrosas. Comunicar los riesgos a los trabajadores. Conocer el grado de peligrosidad de cada sustancia utilizada. Contar con hojas de seguridad de cada material utilizado. Capacitar y adiestrar al personal.
NOM-005-SSA1-1993. Salud ambiental. Pigmentos de cromato de plomo y de cromo molibdato de plomo. Extracción y determinación de plomo soluble. Métodos de prueba. Secretaría de Salud. 17 de noviembre de 1994.	Establece el método de prueba para la extracción y determinación de plomo soluble en pigmentos de cromato de plomo y cromo molibdato de plomo.	La extracción se prepara en HCl a una concentración de 0,07 mol/L, lo cual se eligió como una aproximación a las condiciones de acidez del estómago. El método descrito, permite preparar extractos ácidos de porciones de prueba y cuantificar el contenido de plomo del extracto por método gravimétrico.
NOM-006-SSA1-1993. Salud ambiental. Pinturas y barnices. Preparación de extracciones ácidas de las capas de pintura seca para la determinación de plomo soluble. Métodos de prueba. Secretaría de salud. 17 de noviembre 1994.	Establece los métodos para la preparación de extracciones ácidas requeridas para la determinación del contenido de plomo soluble en las capas de pinturas secas.	La extracción se prepara en HCl a una concentración de 0,07 mol/L, lo cual se eligió como una aproximación a las condiciones de acidez del estómago. Los métodos aquí descritos permiten preparar extractos de porciones de pruebas que pesan entre 25 y 250 mg.
NOM-008-SSA1-1993. Salud ambiental. Pinturas y barnices. Preparación de extracciones ácidas de pinturas líquidas o en el polvo para la determinación de plomo soluble y otros métodos. Secretaría de Salud. 28 de noviembre 1994.	Establece los métodos para la preparación de extracciones ácidas requeridas, así como las soluciones de prueba para la determinación del contenido de plomo soluble en pinturas o productos relacionados en forma líquida o en polvo.	No es aplicable para capas de pinturas secas o pulverizadas, para estas se utiliza la NOM-006-SSA1-1993.
NOM-009-SSA1-1993. Salud ambiental. Cerámica vidriada. Métodos de prueba para la determinación de plomo y cadmio solubles. Secretaría de Salud. 15 noviembre de 1994.	Establece el método de prueba para determinar el plomo y el cadmio liberados, de los vidriados de los artículos cerámicos o de sus vidriados decorados, por medio de espectrofotometría de absorción atómica.	Este método se aplica a los artículos cerámicos destinados a preparar, servir, cocinar, o almacenar alimentos o bebidas, cuyo vidriado se presenta en cualquiera de sus variedades, pudiendo estar decorado o no, apareciendo sobre o bajo el vidriado, y en el interior o exterior de las piezas o en ambas superficies.
NOM-117-SSA1-1994. Métodos de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrofotometría de absorción atómica.	Establece el método de prueba de espectrofotometría de absorción atómica para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc, mercurio presente en alimentos, bebidas, agua potable y agua purificada.	Método de prueba.

Tabla No. 32. (Continúa)

REFERENCIA	OBSERVACIONES	VALOR / ESPECIFICACIÓN
NOM-199-SSA1-2000. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente.	Establece los niveles de plomo en sangre y las acciones básicas de prevención y control en población expuesta no ocupacionalmente	El valor criterio para la concentración de plomo en sangre en niños, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia es de 10 µg/dL. El valor criterio para el resto de la población expuesta no ocupacionalmente es de 25 µg/dL
NOM-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de metales, método espectrofotométrico de absorción atómica. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 13 agosto de 2001.	Establece el método espectrofotométrico de absorción atómica para la determinación de bario, cadmio, plomo, cromo, cobre, mercurio, selenio, arsénico, níquel y zinc	Método de prueba.
NOM-AA-057-1981. Análisis de agua. Determinación de plomo. Método colorimétrico de la ditizona. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 6 de noviembre de 1992.	Establece el método colorimétrico de ditizona para determinar plomo en agua.	Método de prueba.
NOM-002/SCT-2003. Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. 3 de diciembre de 2003.	Tiene como propósito identificar y clasificar las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.	La mayoría de los compuestos con plomo se clasifican en la división 6.1
NOM-010-SCT2-2003. Para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, disposiciones de compatibilidad y segregación, para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 25 de septiembre de 1995.	Establece las disposiciones de compatibilidad y segregación que deberán aplicarse para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.	Debido a que la mayoría de los compuestos de plomo se localizan en la división 6.1 la tabla de segregación define las compatibilidades de estos compuestos con otros.
NOM-032-SCT2-1995. Para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. Especificaciones y características para la construcción y reconstrucción de contenedores cisterna destinados al transporte multimodal de materiales de las clases 3, 4, 5, 6, 7 8 y 9. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. 10 diciembre de 1997.	Definen las características para la construcción y reconstrucción de contenedores cisternas destinados al transporte de materiales clase 3, 4, 5, 6, 7 8 y 9	Define las características para el transporte de perclorato de plomo.

Tabla No. 33. Concentraciones de Plomo (Pb) como máximos permisibles de descargas de agua residual.

Fuente: <http://www.economia.gob.mx>

REFERENCIA	MEDIO	OBSERVACIONES	VALOR/ESPECIFICACIÓN
NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	Descarga de aguas residuales y bienes nacionales. Descarga de plomo a: un río	Límite máximo permisible.	Descarga de Pb a un río Uso en riego agrícola: PM de 0,5 mg/L PD de 1,0 mg/L. Uso público urbano: PM de 0,2 mg/L PD de 0,4 mg/L. Protección de vida acuática: PM de 0,2 mg/L PD de 0,4 mg/L
	Descarga de plomo a: embalses naturales y artificiales.	Límite máximo permisible.	Descarga de Pb a embalses naturales y artificiales: Uso en riego agrícola: PM de 0,5 mg/L PD de 1,0 mg/L Uso público urbano: PM de 0,2 mg/L PD de 0,4 mg/L
	Descarga de plomo a: Aguas costeras (explotación pesquera, navegación y otros usos).	Límite máximo permisible.	Descarga de Pb a: aguas costeras (explotación pesquera, navegación y otros usos): PM de 0,2 mg/L PD de 0,5 mg/L Recreación PM de 0,5 mg/L PD de 1,0 mg/L
		Límite máximo permisible	Estuarios PM de 0,2 mg/L PD de 0,4 mg/L
Descarga de aguas residuales en agua y bienes nacionales. Descarga de plomo en suelo.	Límite máximo permisible	PM de 0,2 mg/L PD de 0,4 mg/L	
NOM-002-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.	Descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal	Límite máximo permisible	PM de 1 mg/L PD de 1,5 mg/L Instantáneo de 2 mg/L
NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.	Aguas residuales tratadas que se reusen para servicios al público.	Límite máximo permisible	Los límites no deberán superar los definidos en la columna correspondiente a embalses naturales y artificiales para uso y riego agrícola de la tabla 3 de la NOM-001-SEMARNAT-1996 PM de 0,5 mg/L PD de 1,0 mg/L

Nota: PM= promedio mensual; PD = promedio diario

Tabla No.34. Concentraciones de Plomo (Pb) como máximos permisibles diversos.

Fuente: <http://www.economia.gob.mx>

REFERENCIA	MEDIO	OBSERVACIONES	VALOR/ESPECIFICACIÓN
NOM-086- SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.	Combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles	Límite máximo permisible	I. Gasolina Magna SIN 0,0026 kg/m ³ de Pb II. Gasolina Magna SIN Frontera Norte 0,0026 kg/m ³ de Pb III. Gasolina Magna SIN Zona Metropolitana: 0,0026 kg/m ³ de Pb IV. Gasolina Nova Plus: 0,06 a 0,28 kg/m ³ de Pb V. Gasolina Nova Plus Zona Metropolitana: 0,06 a 0,28 kg/m ³ de Pb
NOM-002-SSA1-1993. Salud ambiental. Bienes y servicios. Envases metálicos para alimentos y bebidas. Especificaciones de la costura. Requisitos sanitarios.	Envases metálicos para alimentos y bebidas	Especificaciones que deben cumplir los dos tipos de cierre o costura lateral a utilizar en el cuerpo de envases metálicos de tres piezas para contener alimentos y bebidas.	<ul style="list-style-type: none"> No se permite el uso de soldaduras que contengan plomo. Para los cuerpos cilíndricos de los envases de tres piezas debe usarse cualquiera de los tipos de material especificados en la NOM-EE-9 Lámina negra, hojalata y lámina emplomada, empleada en la fabricación de envases.
NOM-003-SSA1-1993. Salud ambiental requisitos sanitarios que deben satisfacer el etiquetado de pinturas, tintas, barnices, lacas y esmaltes.	Etiquetas de pinturas, tintas, barnices, lacas y esmaltes	Entre otras y según el compuesto, se incluyen las siguientes leyendas: - Contiene disolventes y compuestos de plomo, sustancias tóxicas cuya exposición por cualquier vía o inhalación prolongada o reiterada origina graves daños a la salud - Prohibido utilizar este producto, en la elaboración, acabado o impresión de juguetes susceptibles de llevarse a la boca, de artículos de uso doméstico y/o escolares usados por niños. - Este producto no debe utilizarse para el recubrimiento de juguetes y artículos de consumo para niños.	Se especifican las leyendas que deberán contener las etiquetas de los envases de pinturas, tintas, barnices, lacas y esmaltes que contienen los compuestos de plomo formulados en base disolvente y en base acuosa o aceite vegetal
NOM-010-SSA1-1993. Salud ambiental. Artículos de cerámica vidriados, límites de plomo y cadmio solubles.	Artículos de cerámica vidriada destinados a contener alimentos y bebidas.	Límites de solubilidad.	Piezas planas: 7,0 mg/L Piezas huecas chicas: 5,0 mg/L Piezas huecas grandes: 2,5 mg/L Artículos para uso recreativo: 2,5 mg/L

Tabla No. 34. (Continúa)

REFERENCIA	MEDIO	OBSERVACIONES	VALOR/ESPECIFICACIÓN
NOM-011-SSA1-1993. Salud ambiental. Artículos de alfarería vidriados, límites de plomo y cadmio solubles.	Artículos de alfarería vidriados destinados a contener alimentos y bebidas	Límites de solubilidad	<p>- Piezas planas: 210,0 mg/L a 365 días 105 mg/L a 730 días 7,0 mg/L a 1095 días</p> <p>- Piezas huecas chicas: 150,0 mg/L a 365 días 100 mg/L a 730 días 5,0 mg/L a 1095 días</p> <p>- Piezas huecas grandes: 75,0 mg/L a 365 días 50 mg/L a 730 días 2,5 mg/L a 1095 días</p> <p>- Artículos para uso recreativo: 7,5 mg/L a 365 días 5,0 mg/L a 730 días 2,5 mg/L a 1095 días</p>
NOM-026-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, plomo (Pb). Valor permisible para la concentración de plomo en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.	Aire ambiente.	Como protección a la salud de la población susceptible.	1,5 µg/m ³ en un período de tres meses promedio aritmético.
<p>NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.</p> <p>NOM-028-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados en conserva. Especificaciones sanitarias.</p> <p>NOM-030-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca crustáceos en conserva. Especificaciones sanitarias.</p> <p>NOM-031-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.</p> <p>NOM-032-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos en conserva. Especificaciones sanitarias.</p>	Productos de la pesca	Límite máximo por contaminación con metales pesados	<p>La siguiente lista de productos de la pesca, deben cumplir con la especificación Plomo (Pb), límite máximo 1,0 mg/kg</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pescados frescos, refrigerados y congelados. - Pescados en conserva - Crustáceos frescos, refrigerados y congelados. - Crustáceos en conserva. - Moluscos bivalvos frescos, refrigerados y congelados. - Moluscos bivalvos en conserva.
NOM-035-SSA1-1993. Bienes y servicios. Quesos de suero. Especificaciones sanitarias.	Quesos de suero	Límite máximo por contaminación con metales pesados.	Los quesos de suero, deben cumplir con la especificación: Plomo (Pb) límite máximo: 0,5 mg/kg

Tabla No. 34. (Continúa)

REFERENCIA	MEDIO	OBSERVACIONES	VALOR/ESPECIFICACIÓN
NOM-040-SSA1-1993. Bienes y servicios. Sal yodada y sal yodada fluorada. Especificaciones sanitarias.	Sal yodada y sal yodada fluorada	Límite máximo por contaminación con metales pesados.	La sal yodada y sal yodada fluorada, deben cumplir con la especificación: Plomo (Pb), límite máximo = 2,0 mg/kg
NOM-041-SSA1-1993. Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.	Agua purificada envasada	Límite máximo por contaminación con metales pesados.	El agua purificada envasada, debe cumplir con la especificación: Plomo (Pb), límite máximo= 0,2 mg/L
NOM-042-SSA1-1993. Bienes y servicios. Hielo potable y hielo purificado. Especificaciones sanitarias.	Hielo potable y hielo purificado	Límite máximo	El hielo potable y hielo purificado, debe cumplir con la especificación: Plomo (Pb), límite máximos = 0,2 mg/L
NOM-094-SSA1-1994. Bienes y servicios. Leche pasteurizada de vaca. Disposiciones y especificaciones sanitarias.	Leche pasteurizada de vaca	Límite máximo por contaminación con metales pesados y metaloides	La leche pasteurizada de vaca, debe cumplir con la especificación: Plomo (Pb), límite máximo 0,1 mg/kg

APÉNDICE B

Gráficas que representan la concentración de plomo en ppm determinada con XRF portátil en cada fracción de las muestras tomadas en la periferia de cada sitio de estudio; en las que se puede apreciar en que tamaño de partícula se encontró la mayor concentración de plomo.

Empresa No. 1

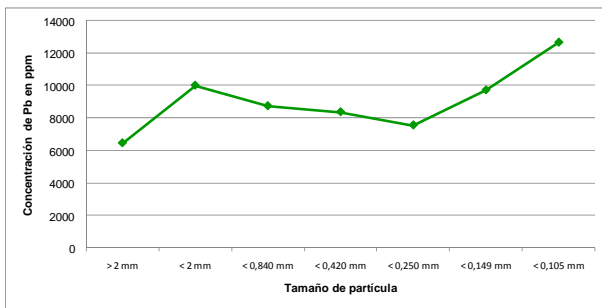


Figura No. 46. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-1

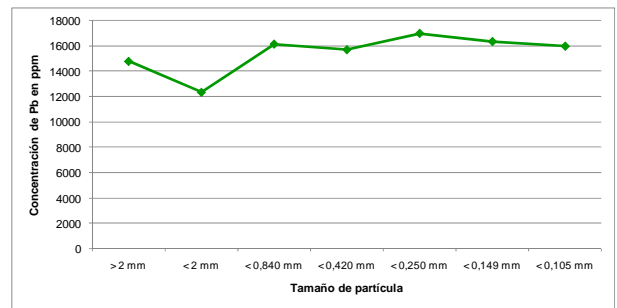


Figura No. 47. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-2

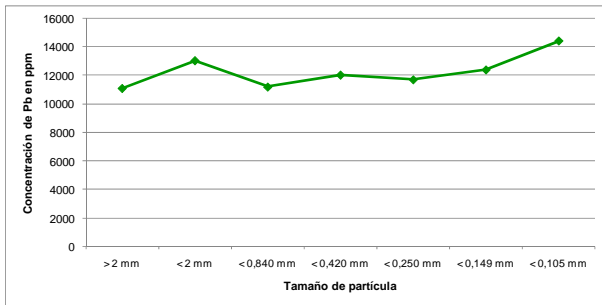


Figura No. 48. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-3

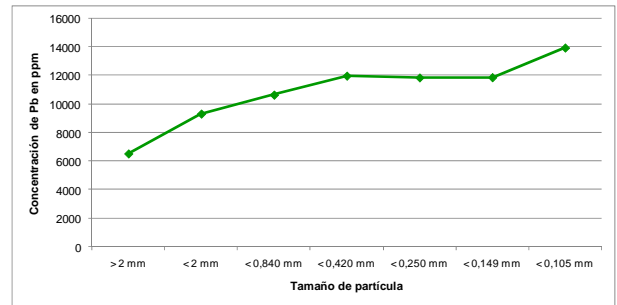


Figura No. 49. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-4

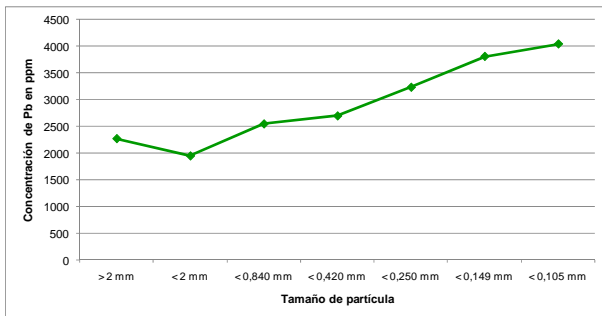


Figura No. 50. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-5

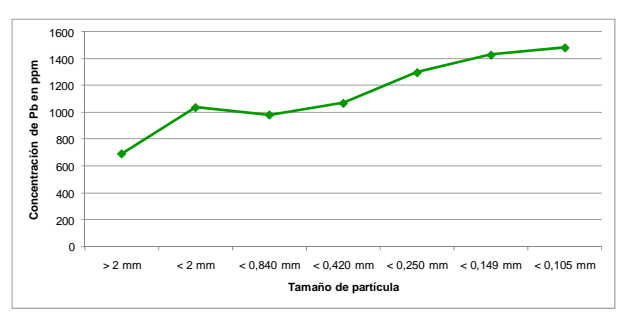


Figura No. 51. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-6

CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL PLOMO PRESENTE EN EL SUELO SUPERFICIAL, EN LA PERIFERIA DE EMPRESAS, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

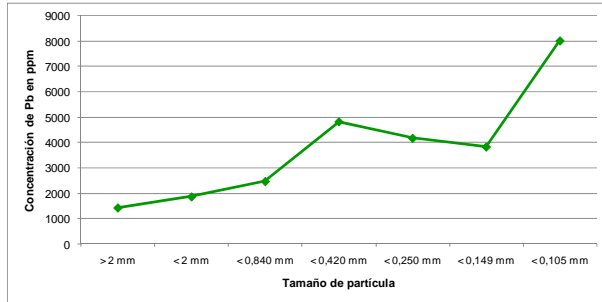


Figura No. 52. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-7

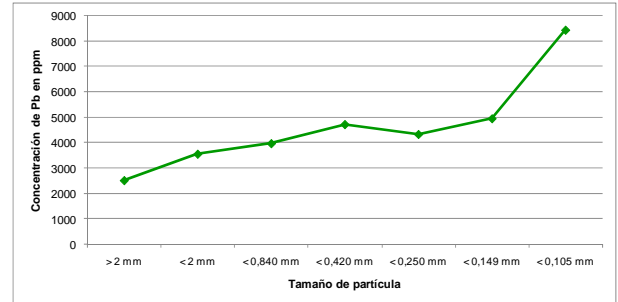


Figura No. 53. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-8

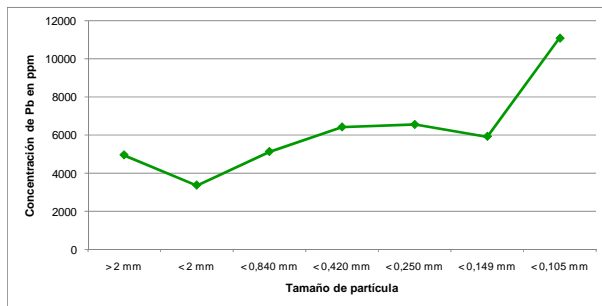


Figura No. 54. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-9

Empresa No. 2

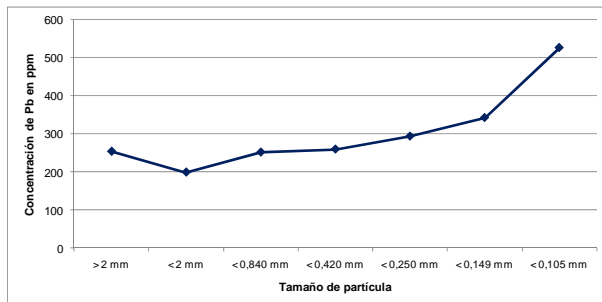


Figura No. 55. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-10

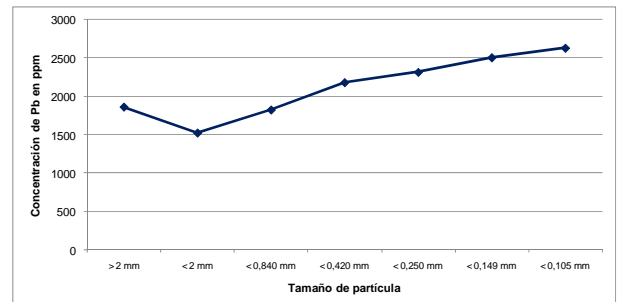


Figura No. 56. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-11

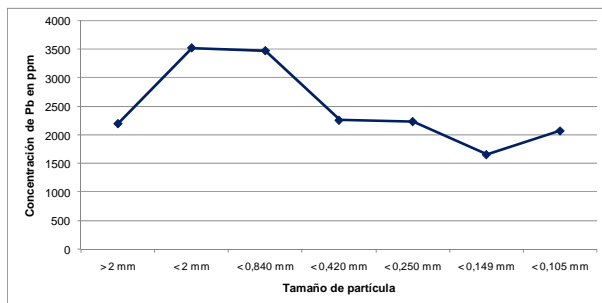


Figura No. 57. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-12

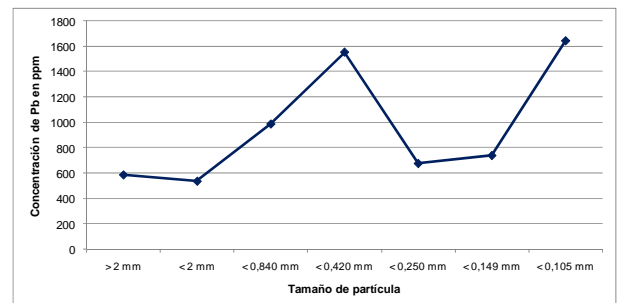


Figura No. 58. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-13

Empresa No. 3

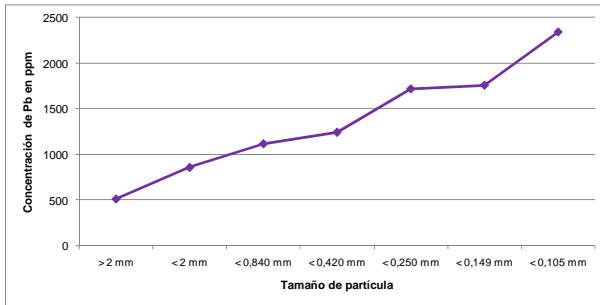


Figura No. 59. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-14

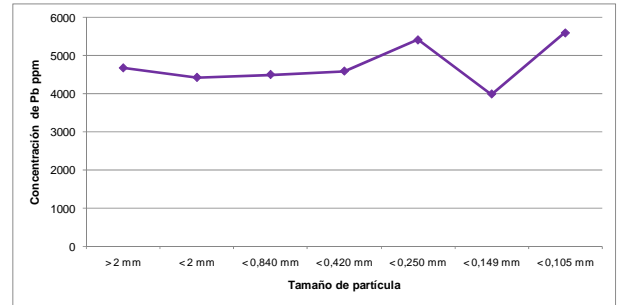


Figura No. 60. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-15

Empresa No. 4

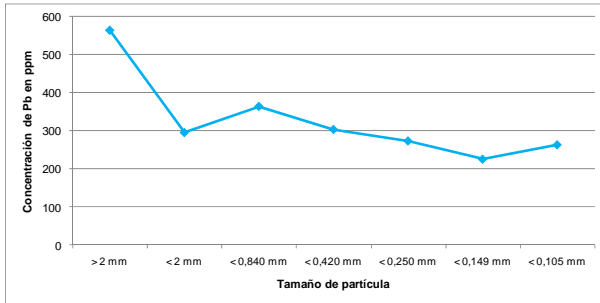


Figura No. 61. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-16

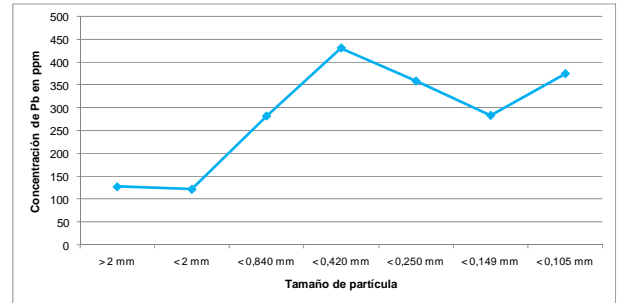


Figura No. 62. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-17

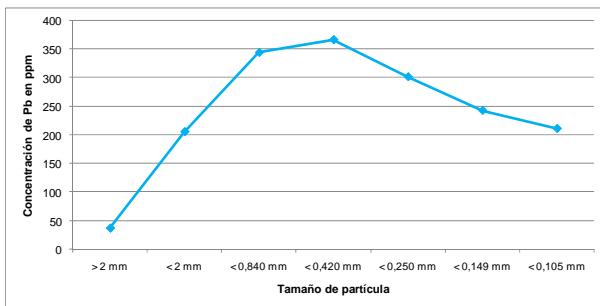


Figura No. 63. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-18

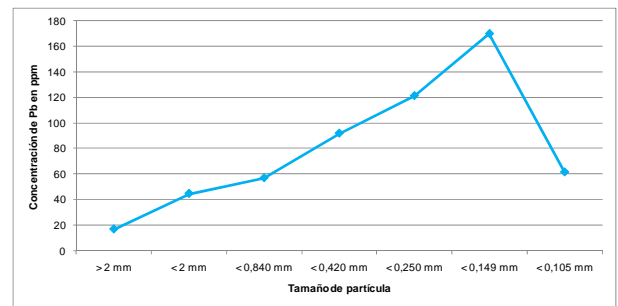


Figura No. 64. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-19

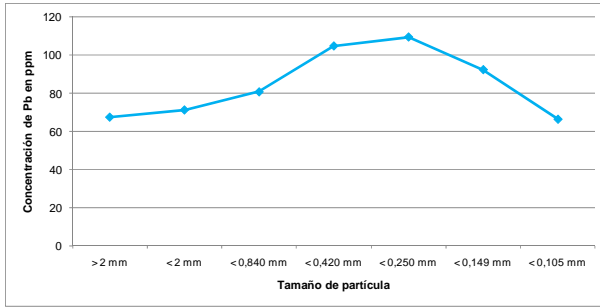


Figura No. 65. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-20

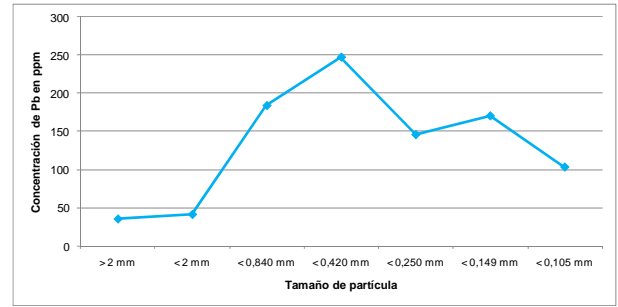


Figura No. 66. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-21

Empresa No. 5

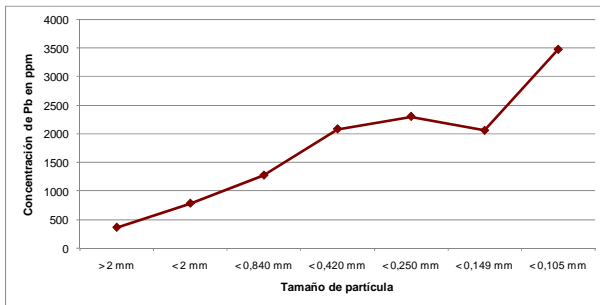


Figura No. 67. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-22

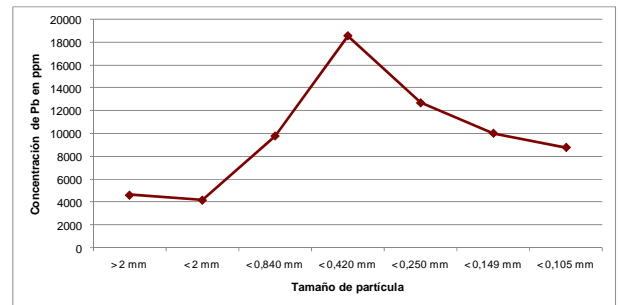


Figura No. 68. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-23

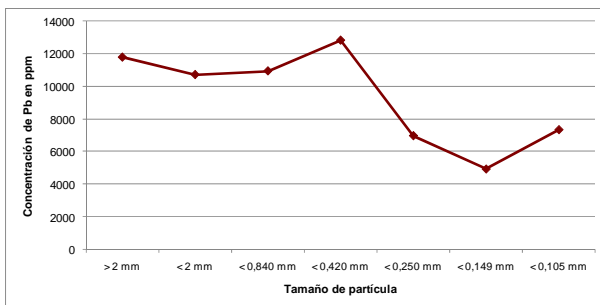


Figura No. 69. Concentración de Pb (ppm), Muestra M-24

APÉNDICE C

En las siguientes gráficas se muestran los resultados de las concentraciones obtenidas con el equipo portátil de fluorescencia de rayos X, mismas que fueron clasificadas de acuerdo al elemento contenido y a la empresa correspondiente; los metales y metaloides analizados en cada fracción de las muestras fueron Mo, Zr, Sr, Rb, Pb, Se, As, Hg, Zn, W, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Sc, Ca, K, S, Ba, Cs, Te, Sb, Sn, Cd, Ag y Pd.

Empresa No. 1

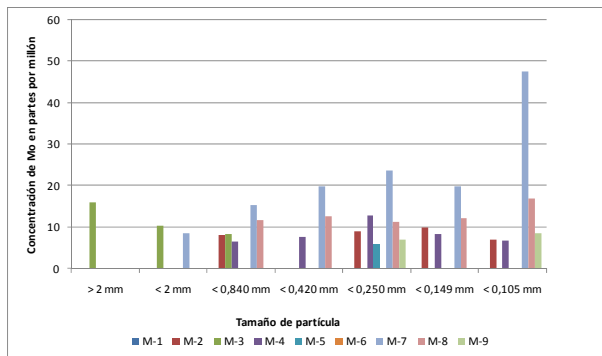


Figura No. 70. Concentraciones de Mo en las muestras de la empresa No.1.

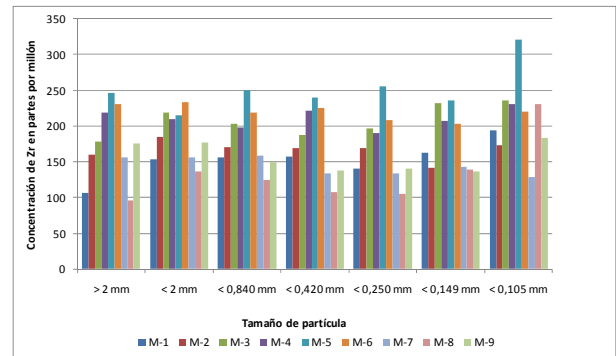


Figura No. 71. Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 1.

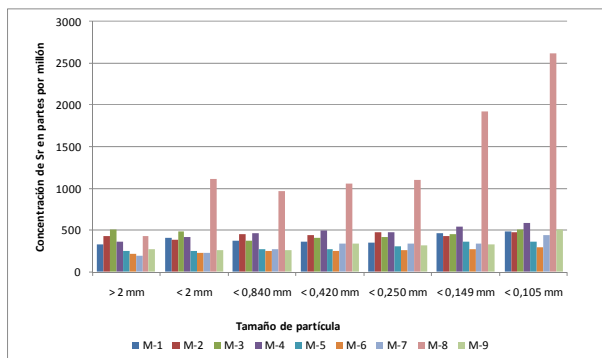


Figura No. 72. Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 1.

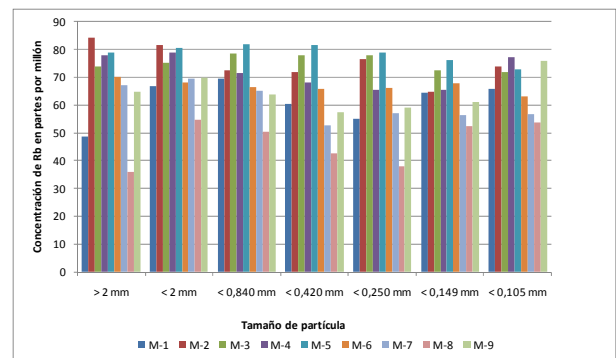


Figura No. 73. Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 1.

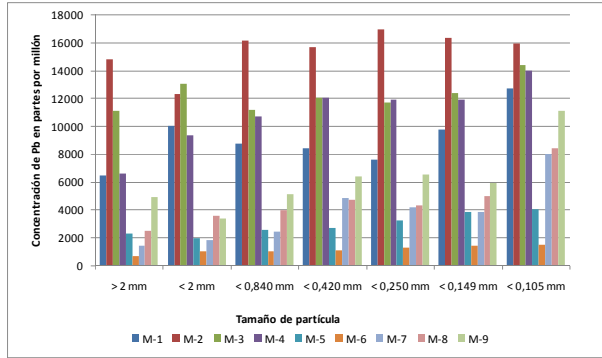


Figura No. 74. Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 1.

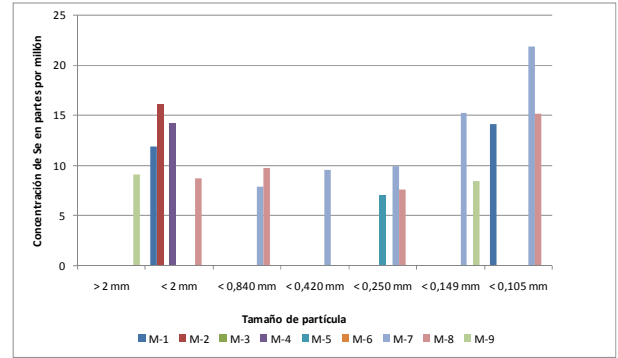


Figura No. 75. Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 1.

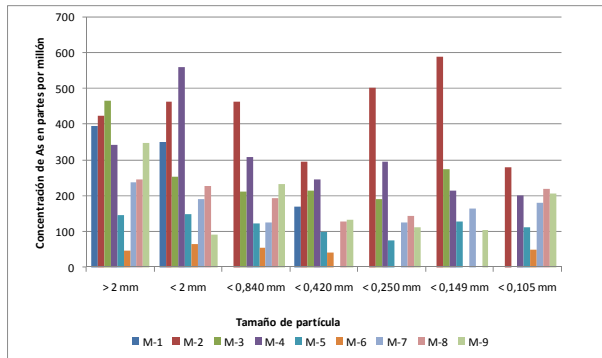


Figura No. 76. Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 1.

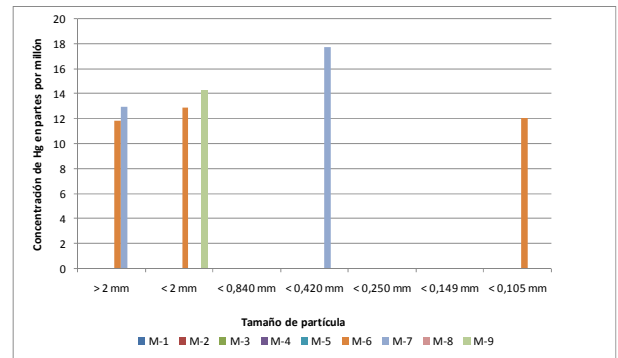


Figura No. 77. Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 1.

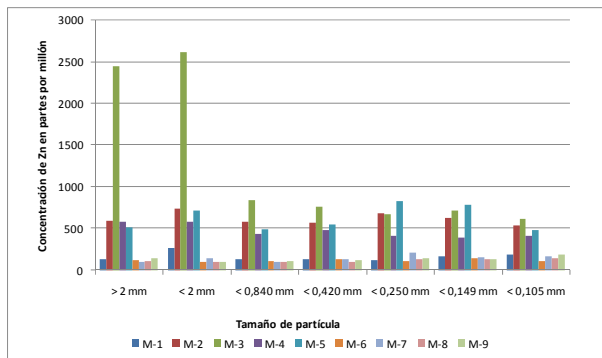


Figura No. 78. Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 1.

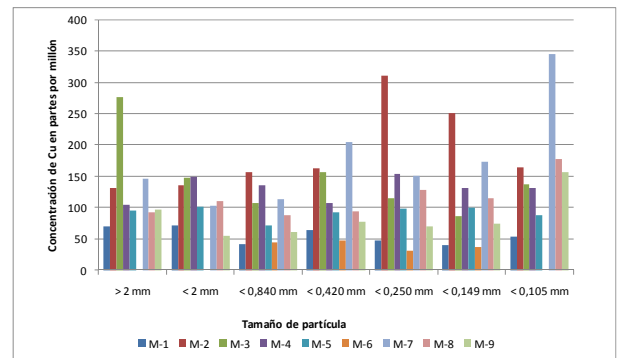


Figura No. 79. Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 1.

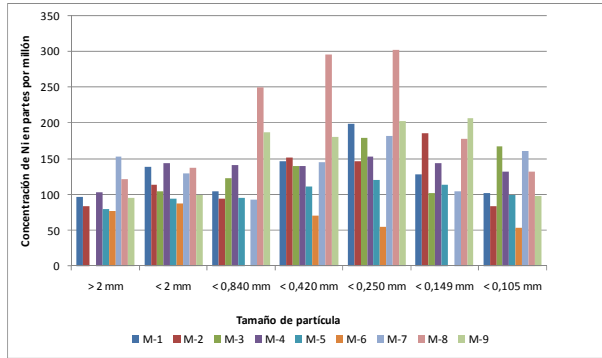


Figura No. 80. Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 1.

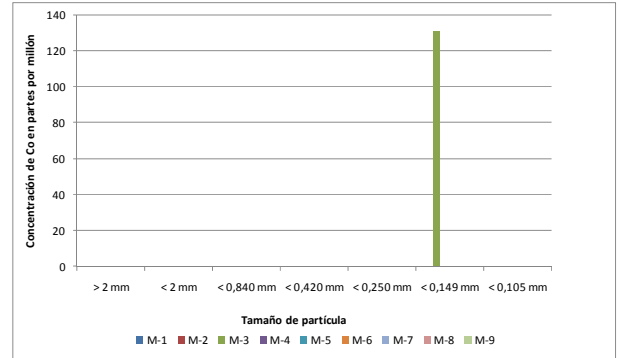


Figura No. 81. Concentraciones de Co en las muestras de la empresa No. 1.

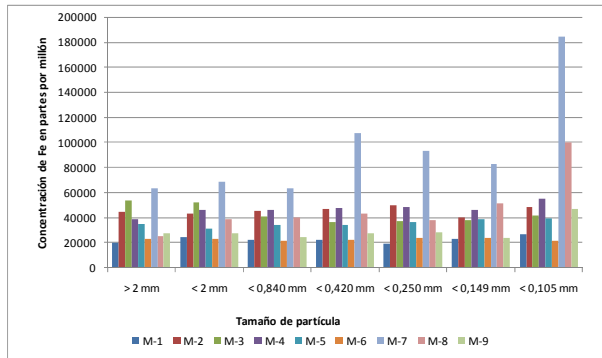


Figura No. 82. Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 1.

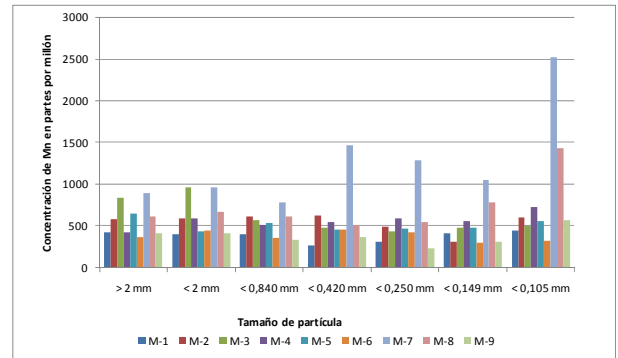


Figura No. 83. Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 1.

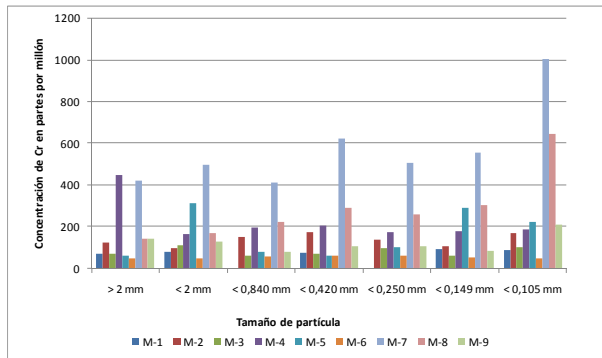


Figura No. 84. Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 1.

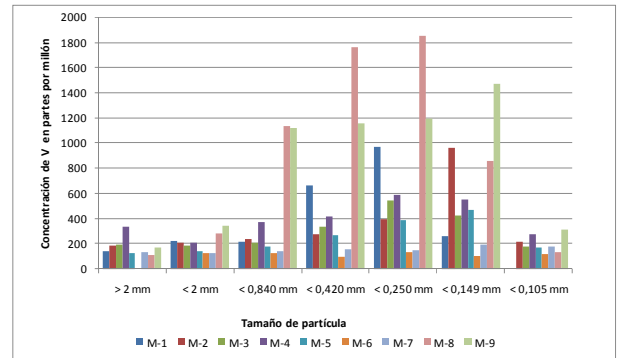


Figura No. 85. Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 1.

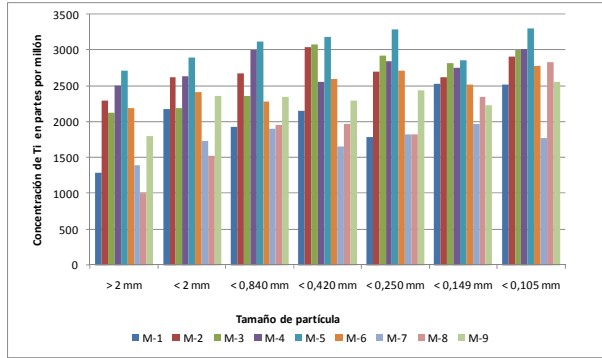


Figura No. 86. Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 1.

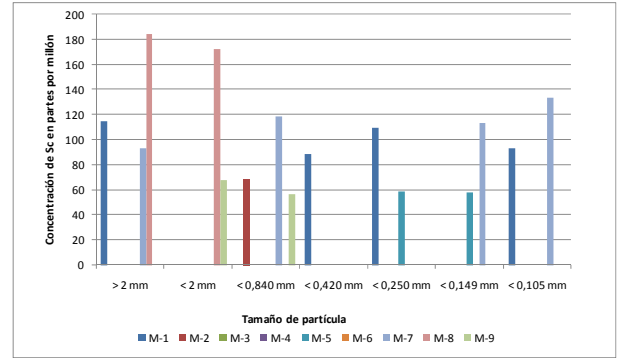


Figura No. 87. Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 1.

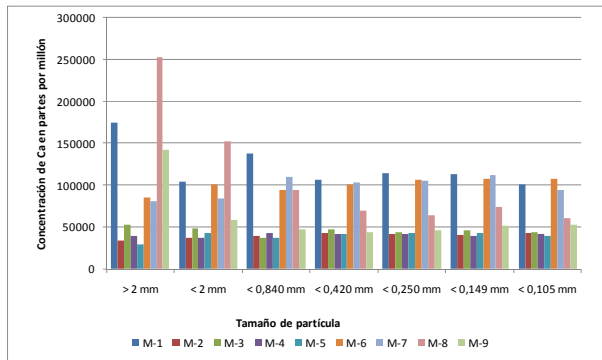


Figura No. 88. Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 1.

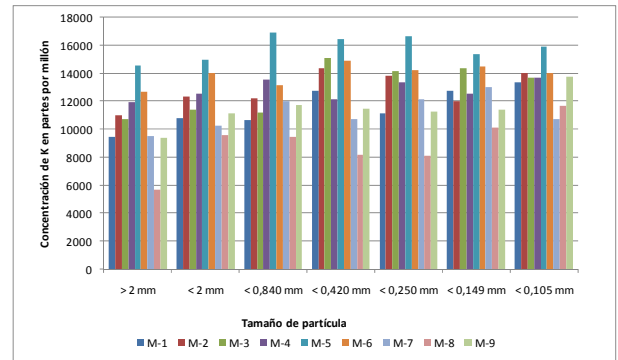


Figura No. 89. Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 1.

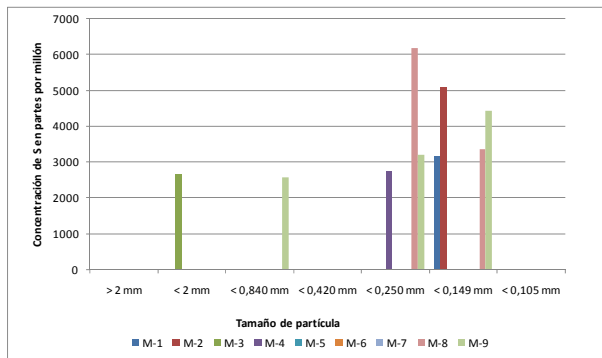


Figura No. 90. Concentraciones de S en las muestras de la empresa No. 1.

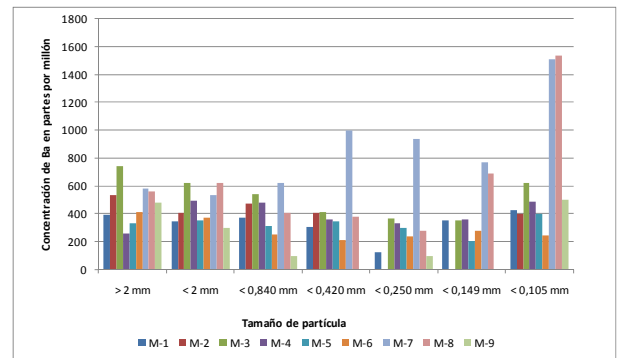


Figura No. 91. Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 1.

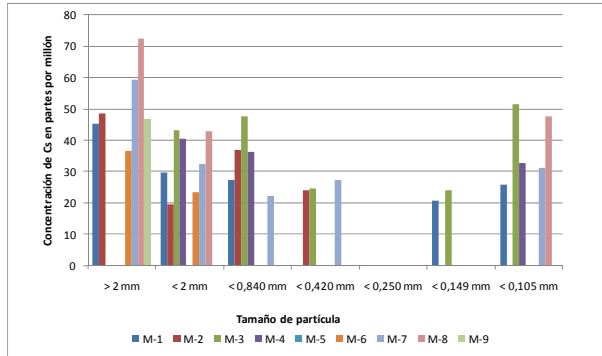


Figura No. 92. Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 1.

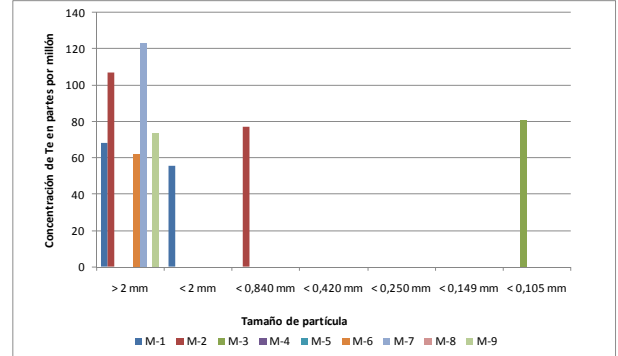


Figura No. 93. Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 1.

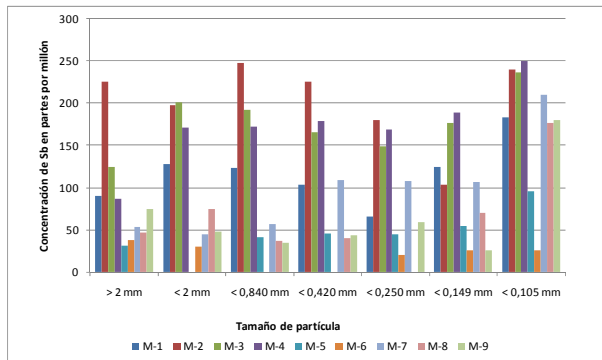


Figura No. 94. Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 1.

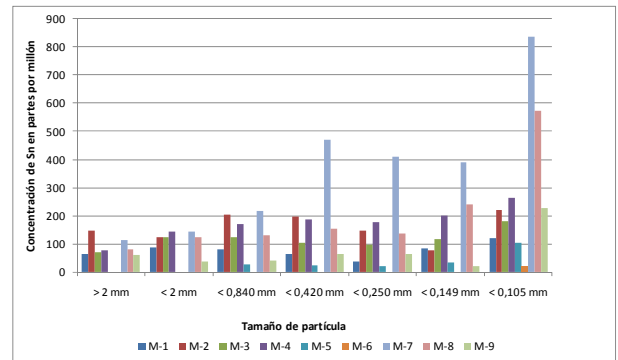


Figura No. 95. Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 1.

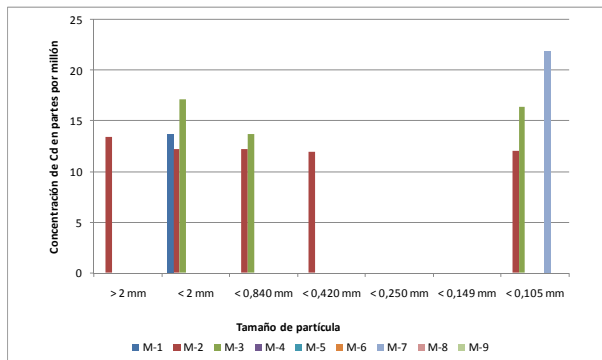


Figura No. 96. Concentraciones de Cd en las muestras de la empresa No. 1.

Empresa No. 2

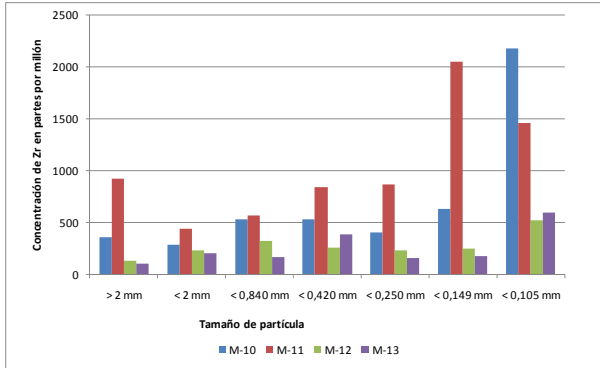


Figura No. 97. Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 2.

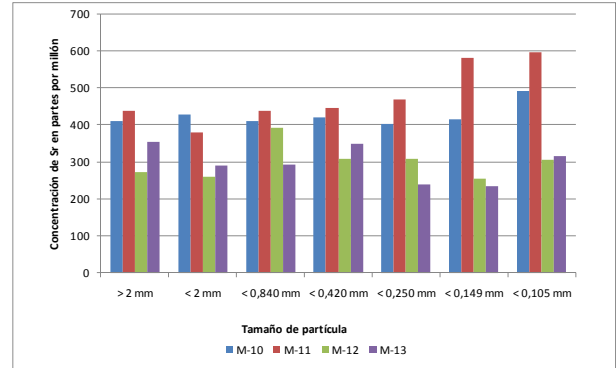


Figura No. 98. Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 2.

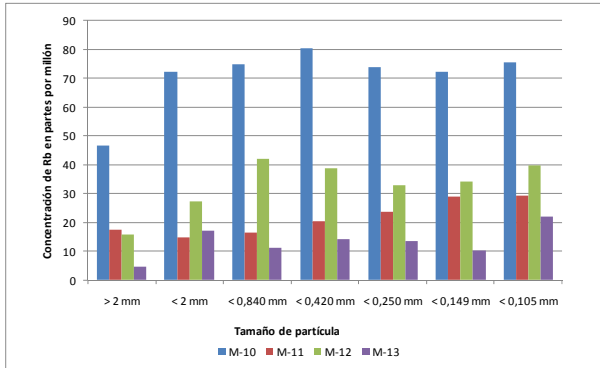


Figura No. 99. Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa 2

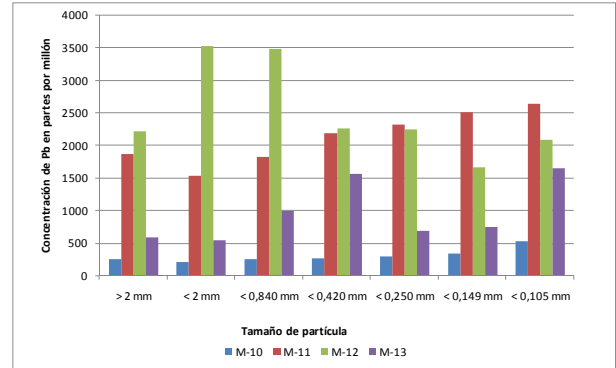


Figura No. 100. Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 2.

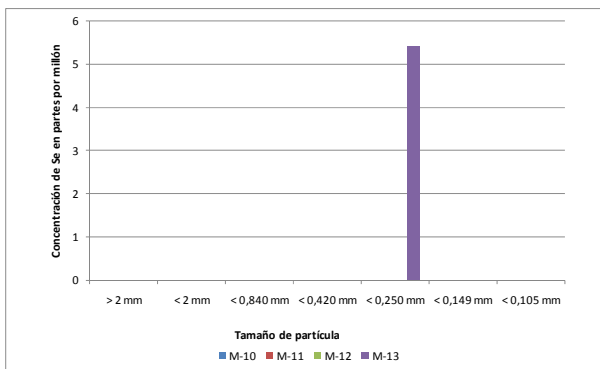


Figura No. 101. Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 2.

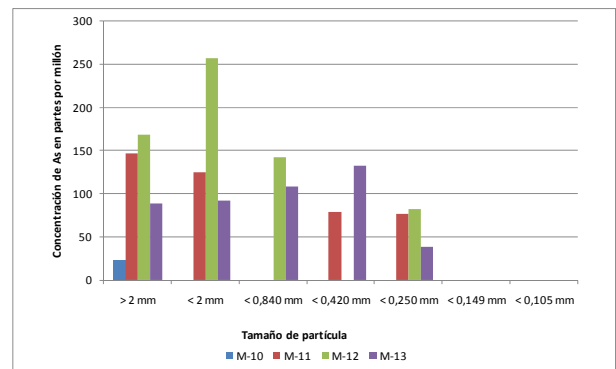


Figura No. 102. Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 2.

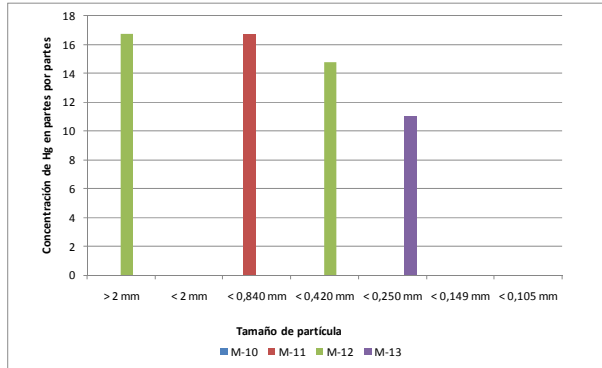


Figura No. 103. Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 2.

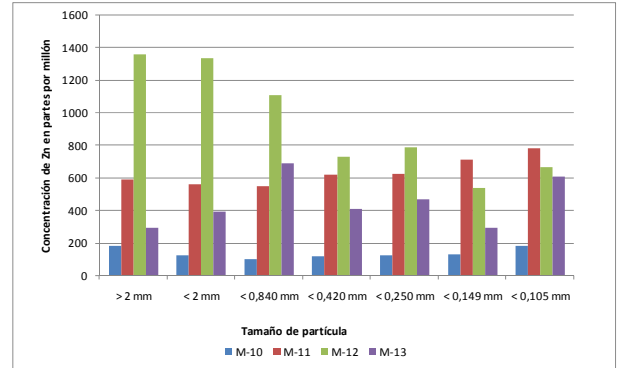


Figura No. 104. Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 2.

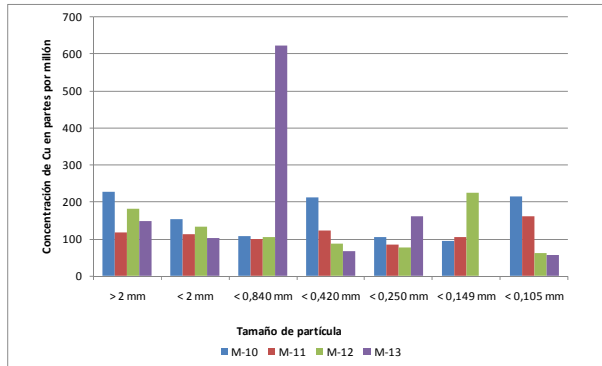


Figura No. 105. Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 2.

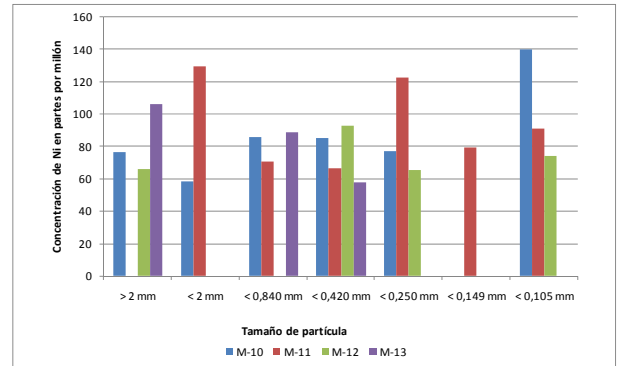


Figura No. 106. Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 2.

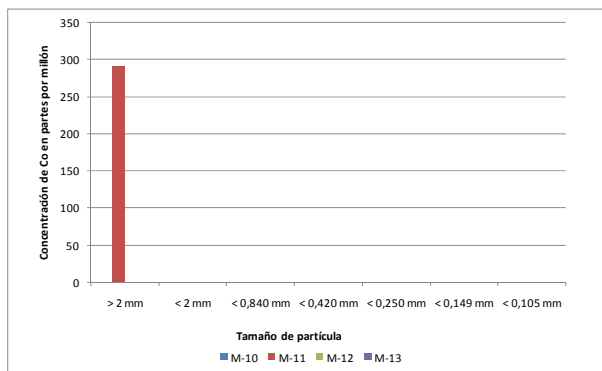


Figura No. 107. Concentraciones de Co en las muestras de la empresa No. 2.

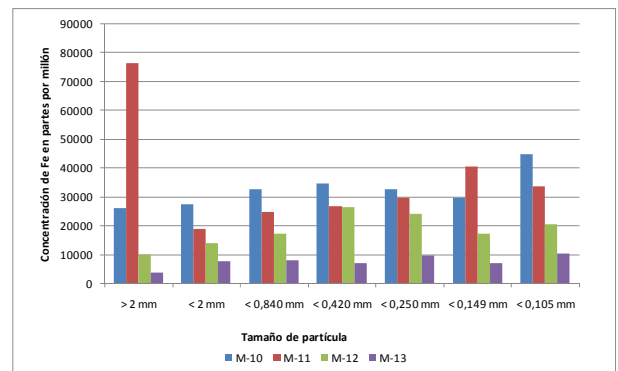


Figura No. 108. Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 2.

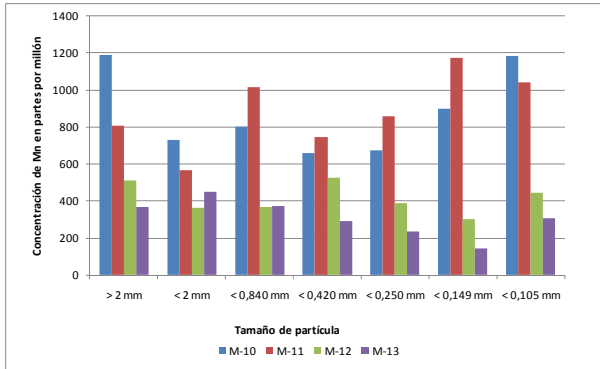


Figura No. 109. Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 2.

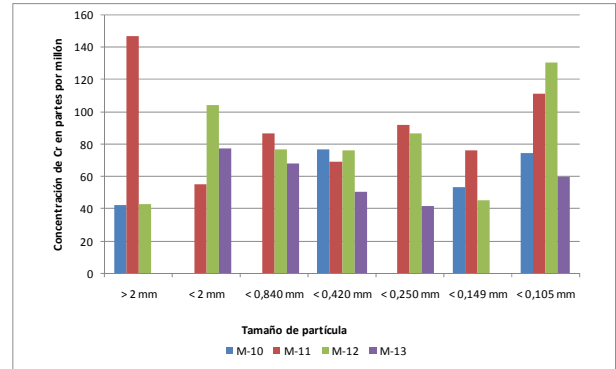


Figura No. 110. Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 2.

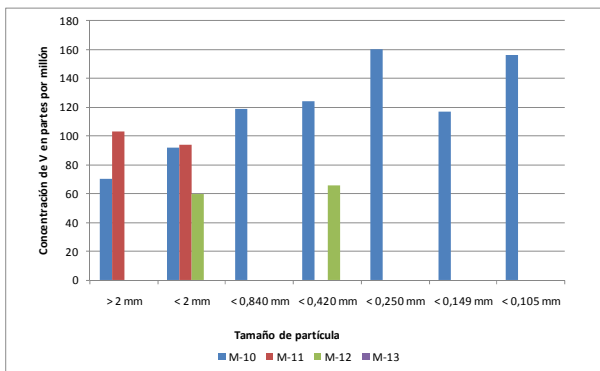


Figura No. 111. Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 2.

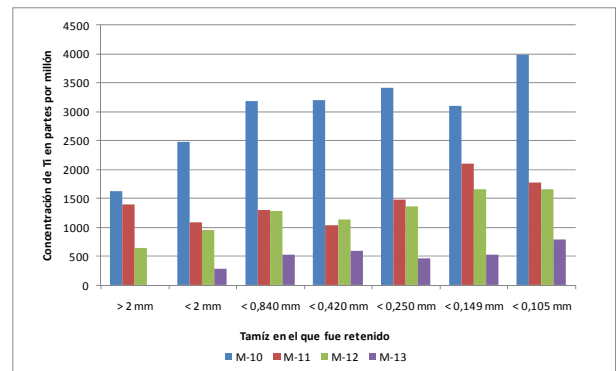


Figura No. 112. Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 2.

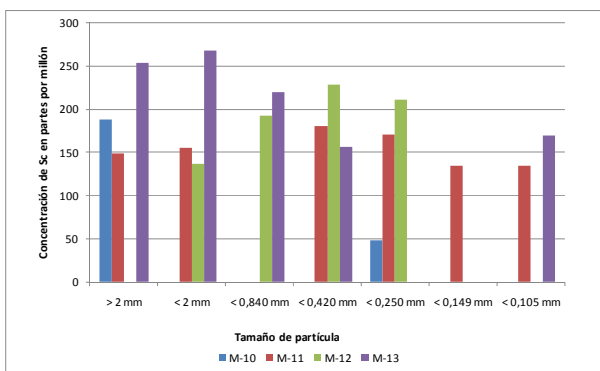


Figura No. 113. Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 2.

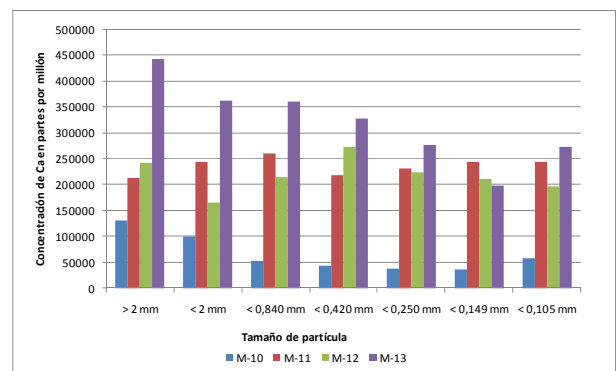


Figura No. 114. Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 2.

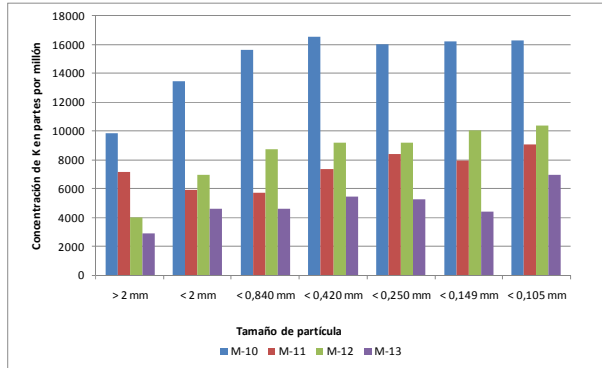


Figura No. 115. Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 2.

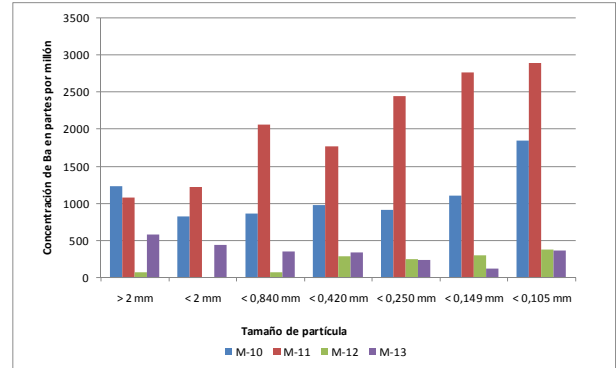


Figura No. 116. Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 2.

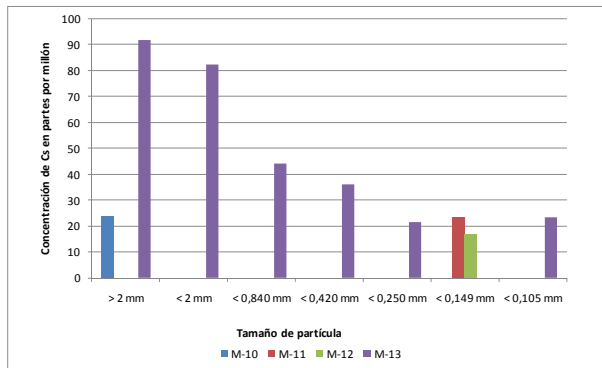


Figura No. 117. Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 2.

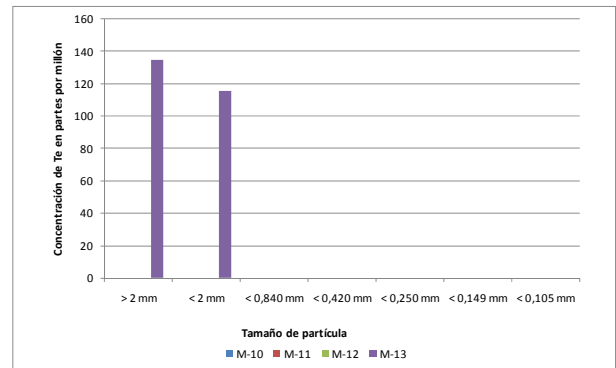


Figura No. 118. Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 2.

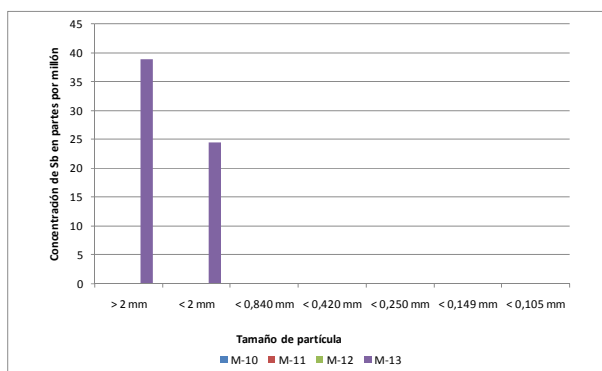


Figura No. 119. Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 2.

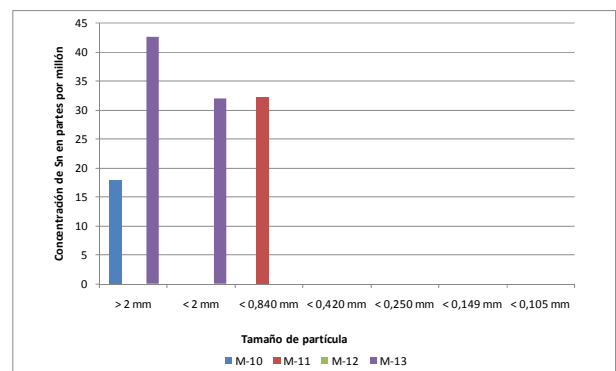


Figura No. 120. Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 2.

Empresa No. 3

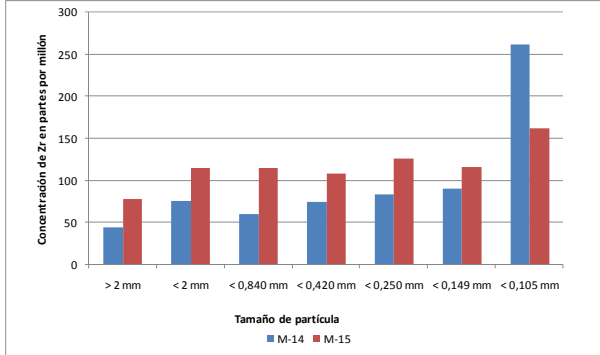


Figura No. 121. Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 3.

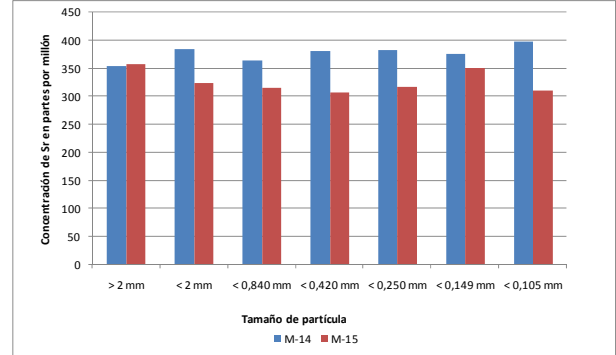


Figura No. 122. Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 3.

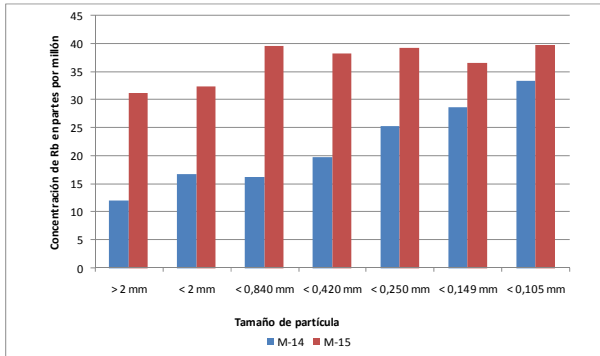


Figura No. 123. Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 3.

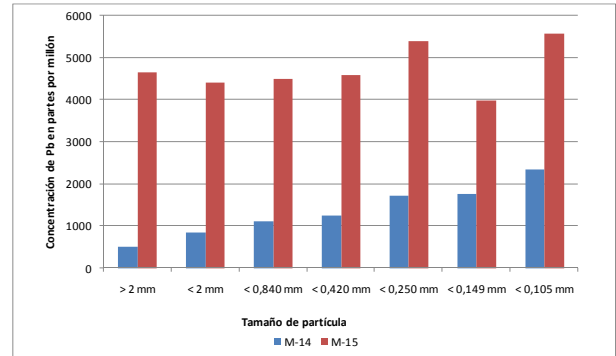


Figura No. 124. Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 3.

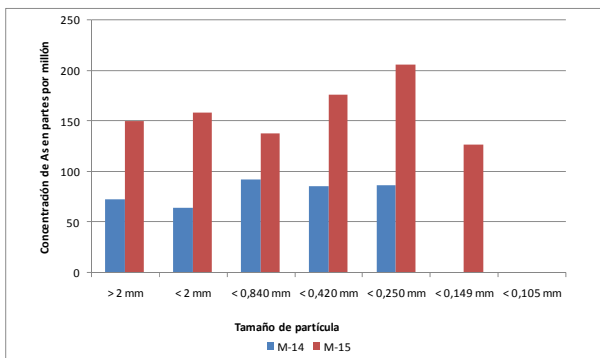


Figura No. 125. Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 3.

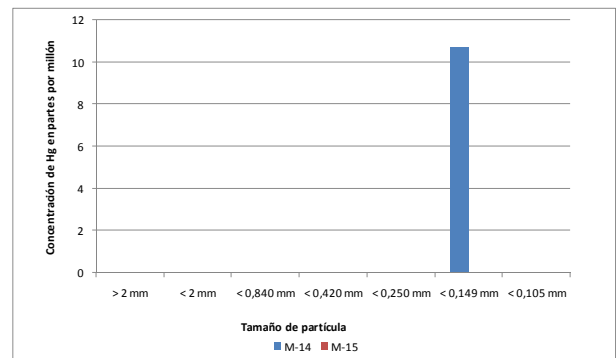


Figura No. 126. Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 3.

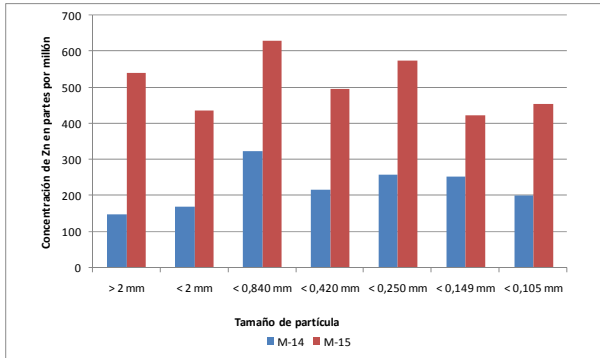


Figura No. 127. Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 3.

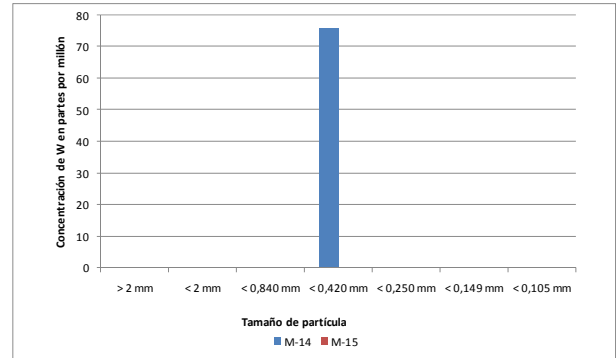


Figura No. 128. Concentraciones de W en las muestras de la empresa No. 3.

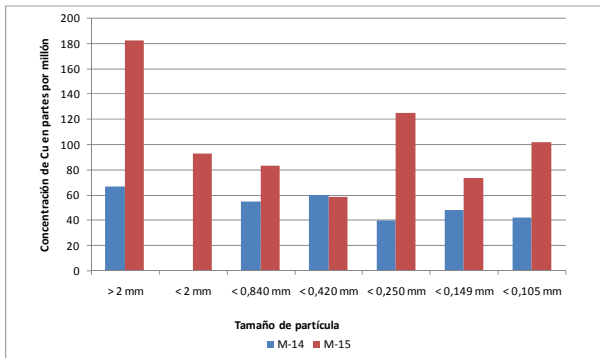


Figura No. 129. Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 3.

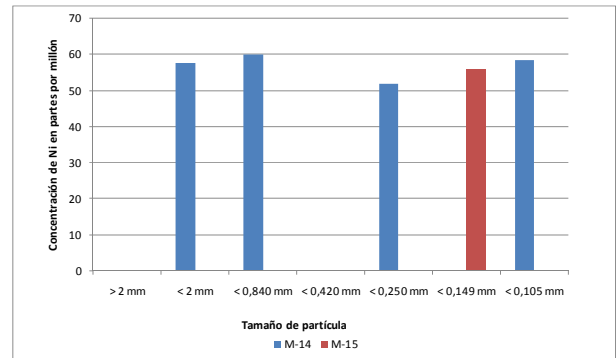


Figura No. 130. Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 3.

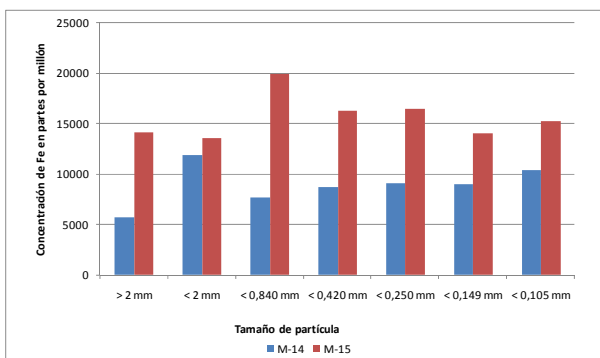


Figura No. 131. Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 3.

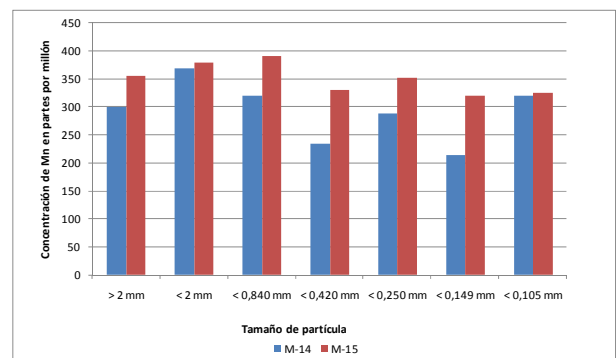


Figura No. 132. Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 3.

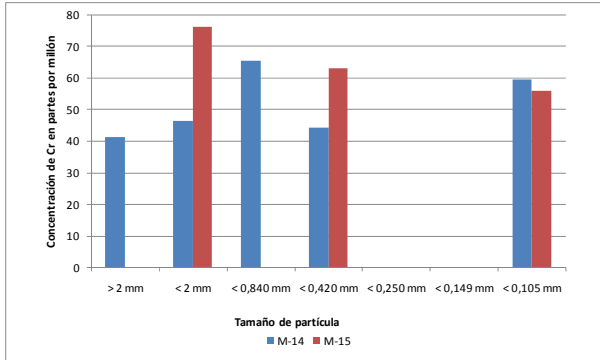


Figura No. 133. Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 3.

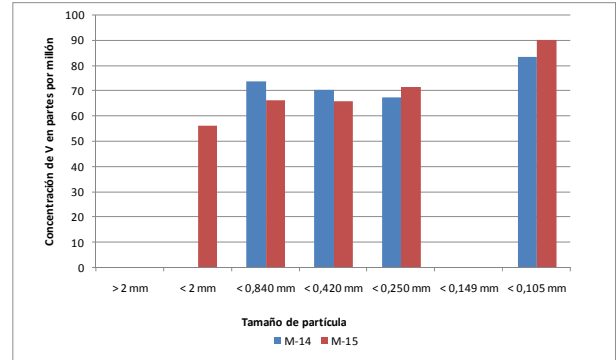


Figura No. 134. Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 3.

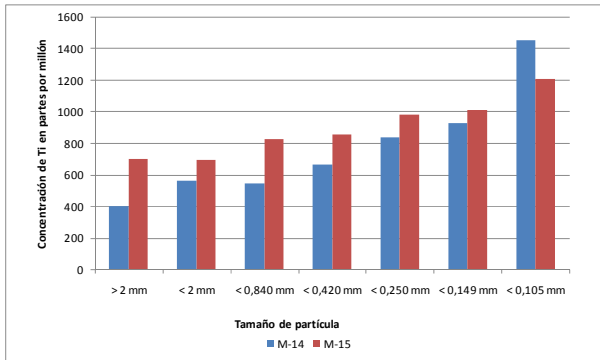


Figura No. 135. Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 3.

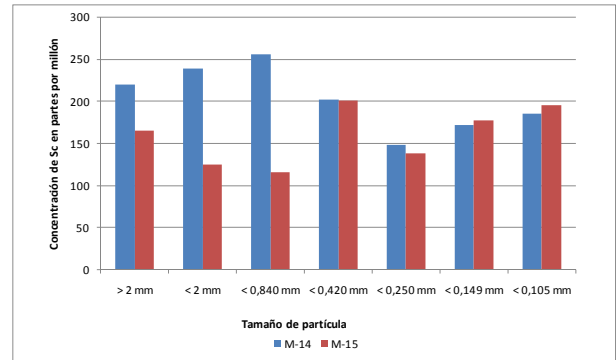


Figura No. 136. Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 3.

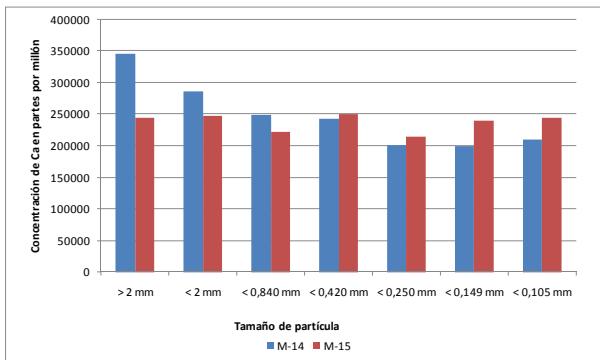


Figura No. 137. Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 3.

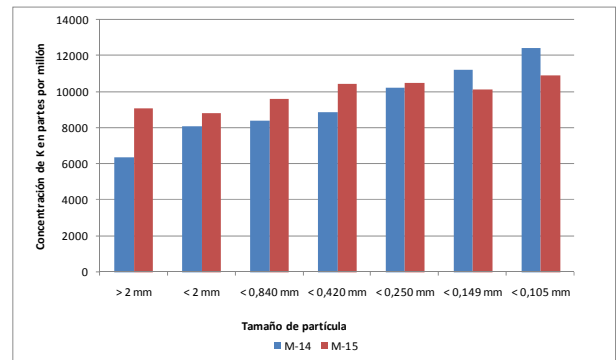


Figura No. 138. Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 3.

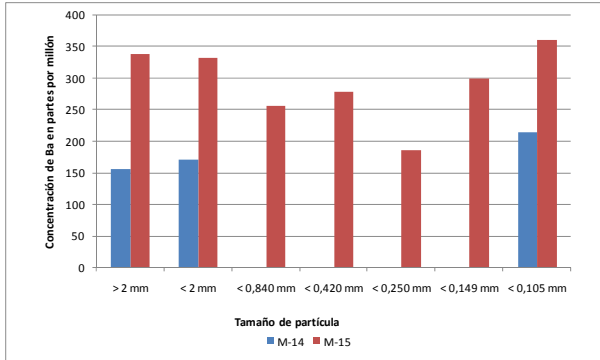


Figura No. 139. Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 3.

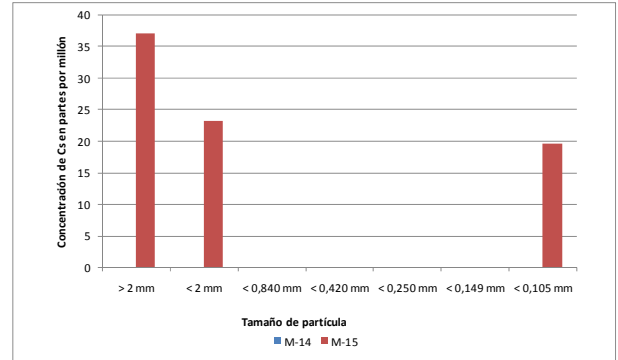


Figura No. 140. Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 3.

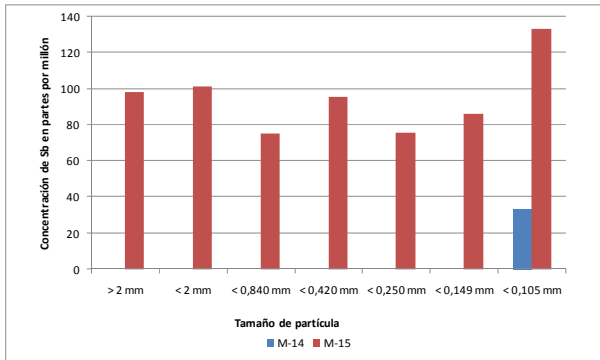


Figura No. 141. Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 3.

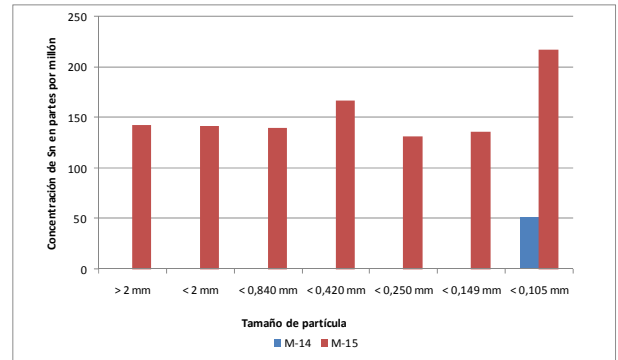


Figura No. 142. Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 3.

Empresa No. 4

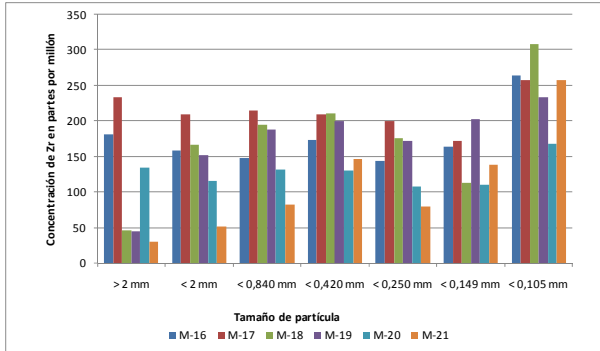


Figura No. 143. Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 4.

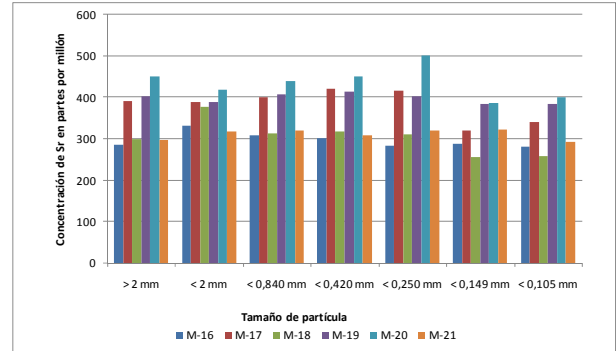


Figura No. 144. Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 4.

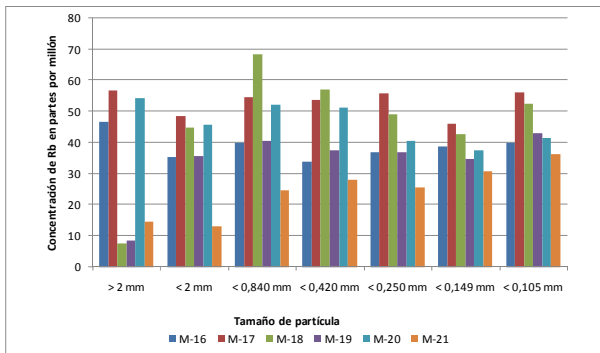


Figura No. 145. Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 4.

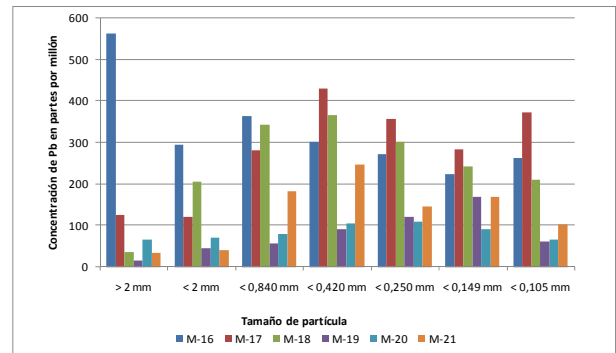


Figura No. 146. Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 4.

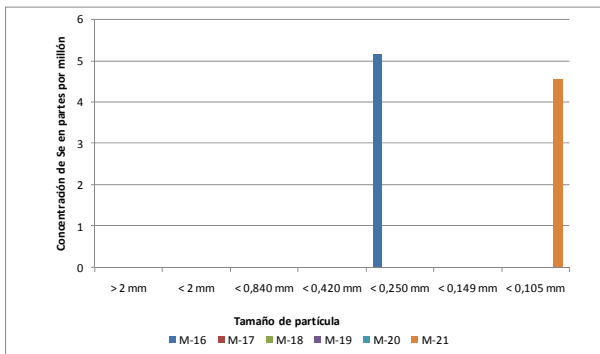


Figura No. 147. Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 4.

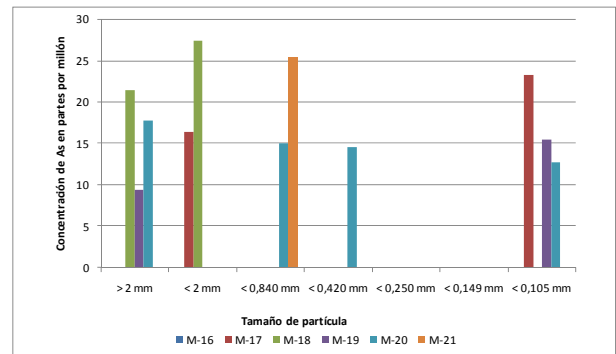


Figura No. 148. Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 4.

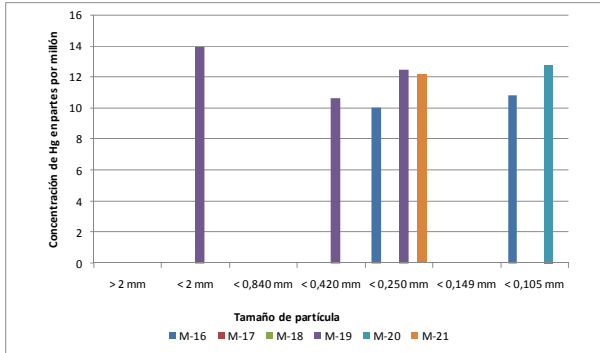


Figura No. 149. Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 4.

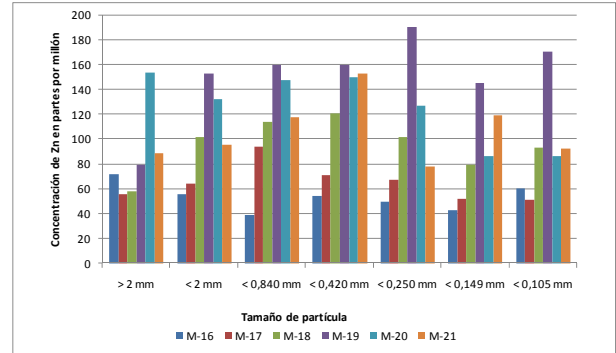


Figura No. 150. Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 4.

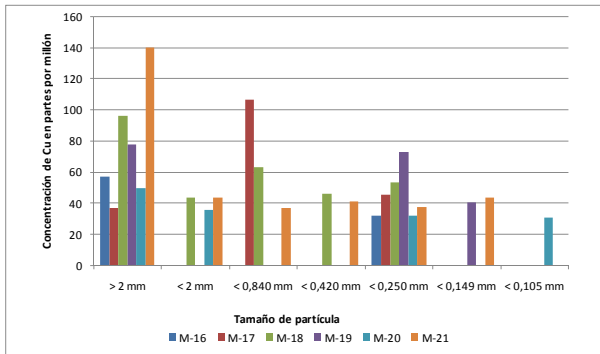


Figura No. 151. Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 4.

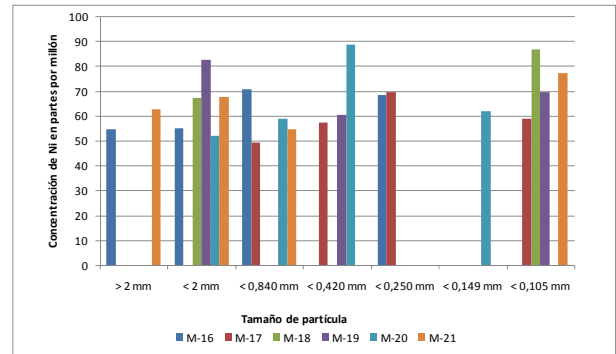


Figura No. 152. Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 4.

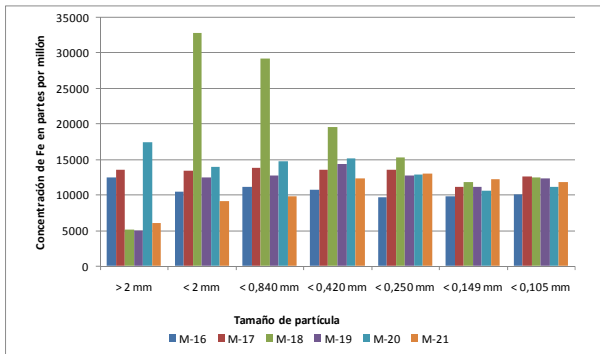


Figura No. 153. Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 4.

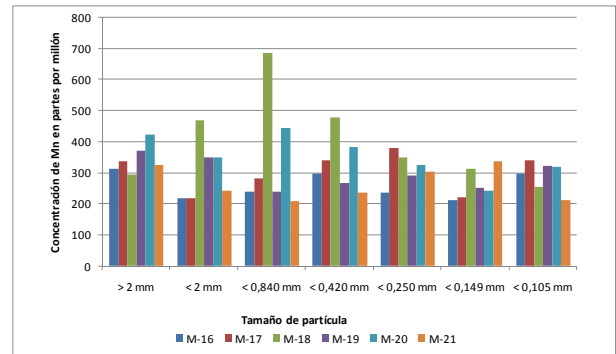


Figura No. 154. Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 4.

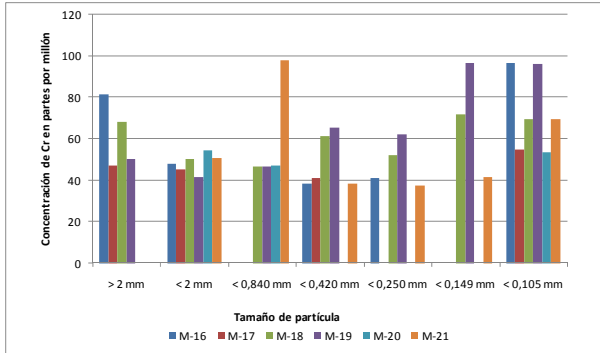


Figura No. 155. Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 4.

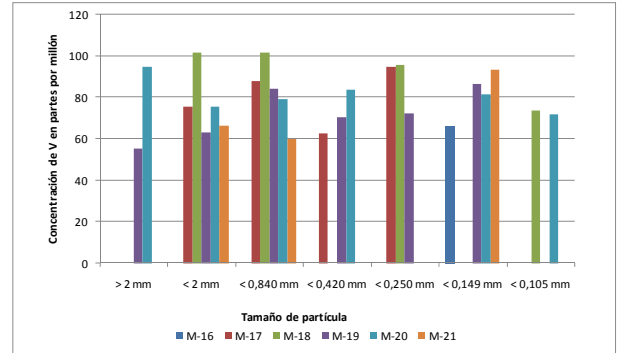


Figura No. 156. Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 4.

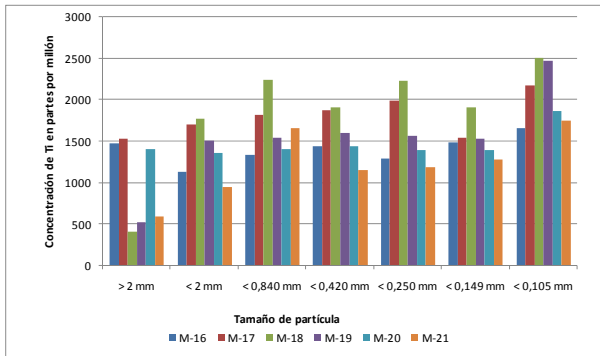


Figura No. 157. Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 4.

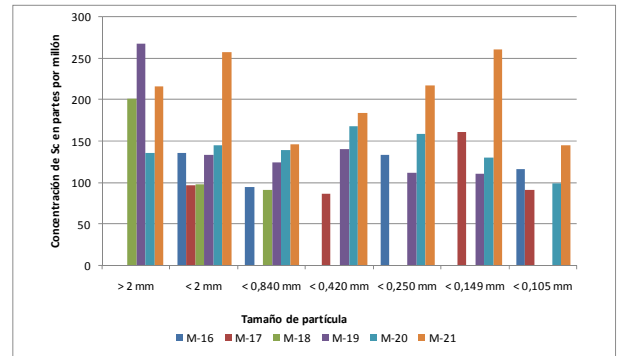


Figura No. 158. Concentraciones de Sc en las muestras de la empresa No. 4.

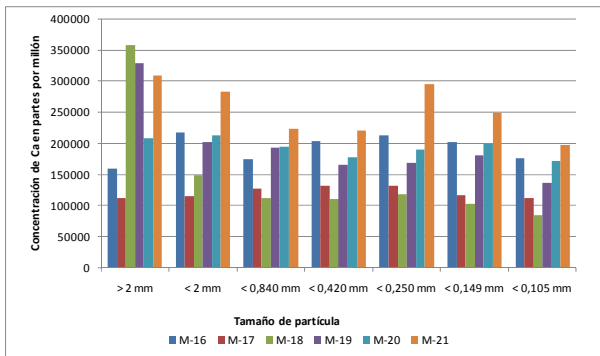


Figura No. 159. Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 4.

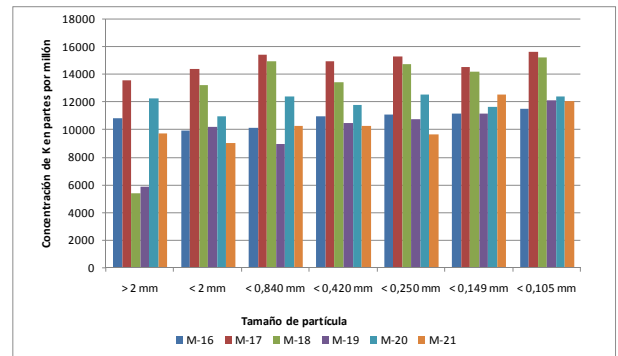


Figura No. 160. Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 4.

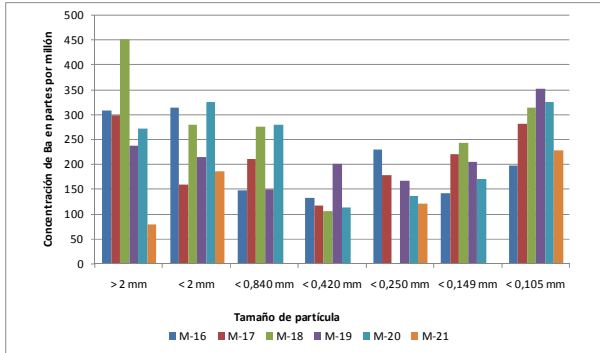


Figura No. 161. Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 4.

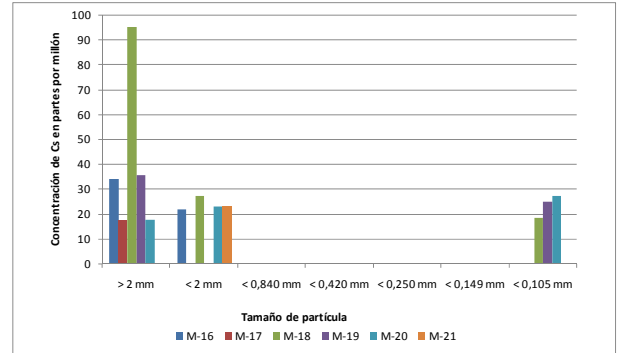


Figura No. 162. Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 4.

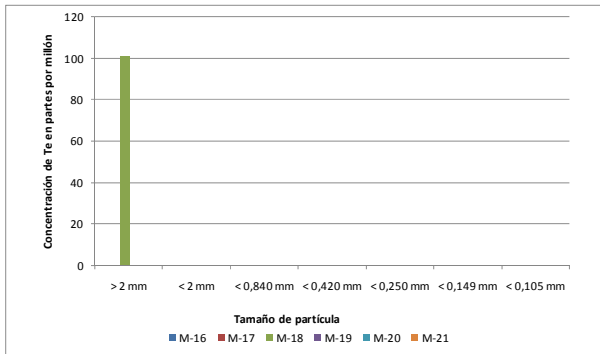


Figura No. 163. Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 4.

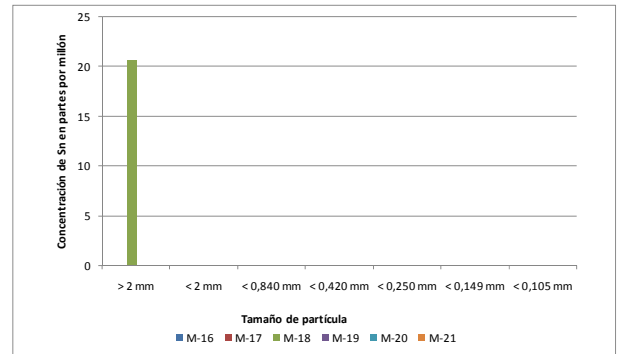


Figura No. 164. Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 4.

Empresa No. 5

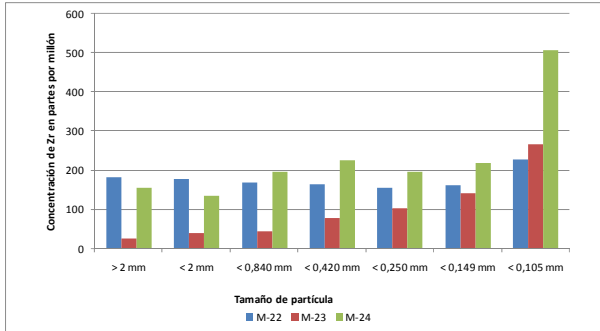


Figura No. 165. Concentraciones de Zr en las muestras de la empresa No. 5.

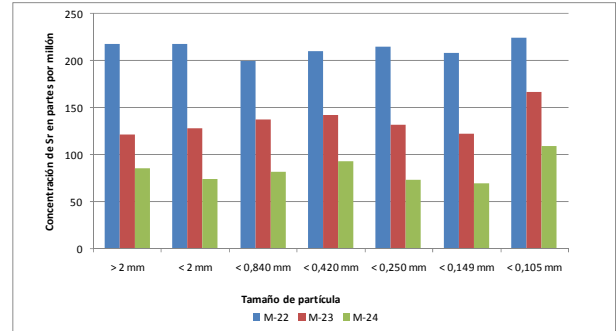


Figura No. 166. Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 5.

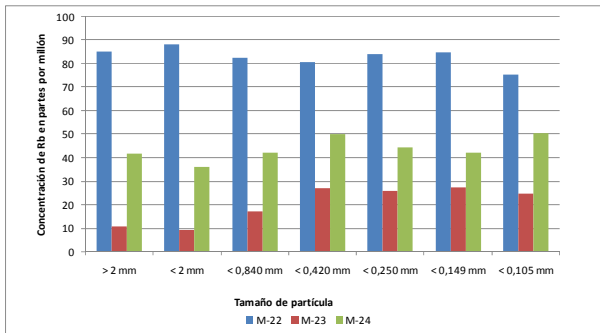


Figura No. 167. Concentraciones de Rb en las muestras de la empresa No. 5.

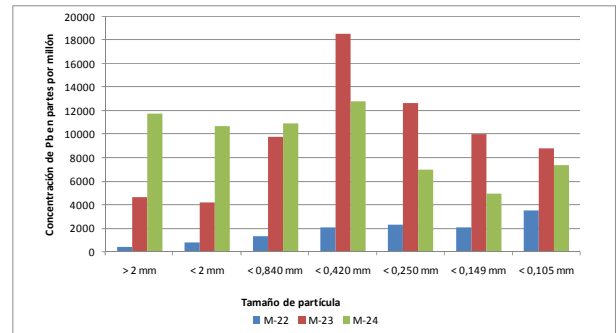


Figura No. 168. Concentraciones de Pb en las muestras de la empresa No. 5.

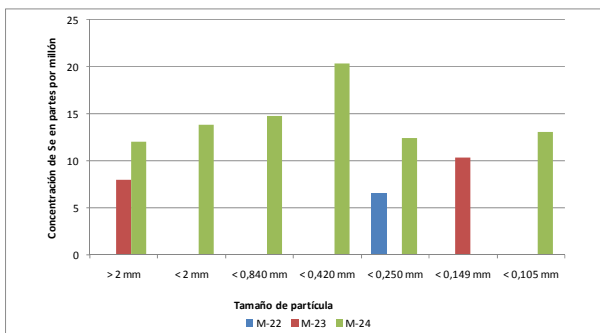


Figura No. 169. Concentraciones de Se en las muestras de la empresa No. 5.

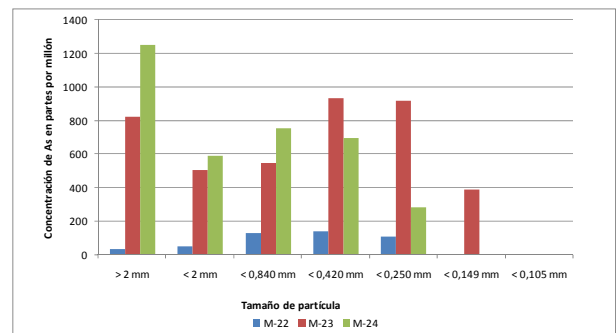


Figura No. 170. Concentraciones de As en las muestras de la empresa No. 5.

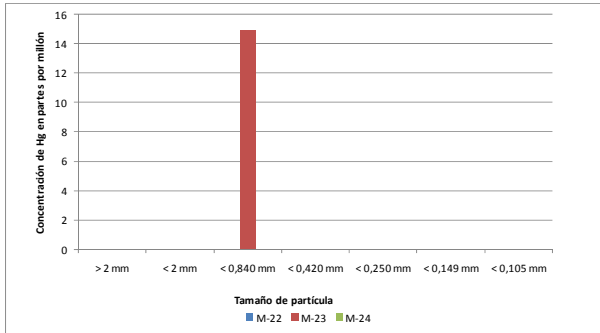


Figura No. 171. Concentraciones de Hg en las muestras de la empresa No. 5.

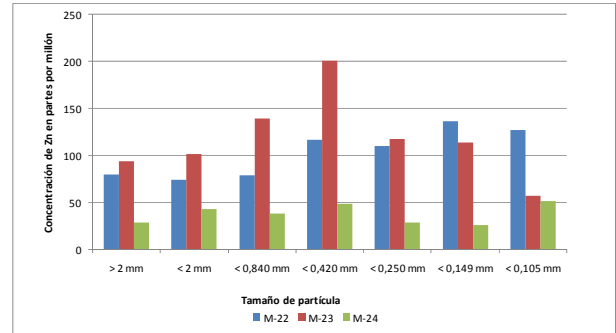


Figura No. 172. Concentraciones de Zn en las muestras de la empresa No. 5.

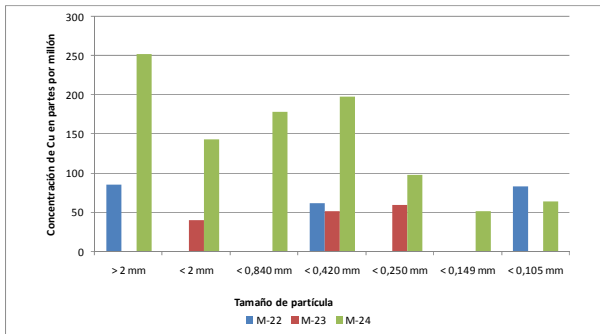


Figura No. 173. Concentraciones de Cu en las muestras de la empresa No. 5.

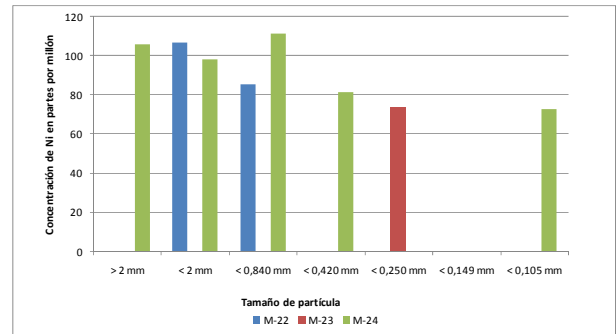


Figura No. 174. Concentraciones de Ni en las muestras de la empresa No. 5.



Figura No. 175. Concentraciones de Co en las muestras de la empresa No. 5.

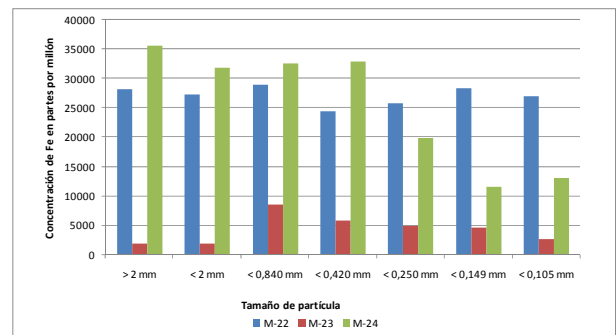


Figura No. 176. Concentraciones de Fe en las muestras de la empresa No. 5.

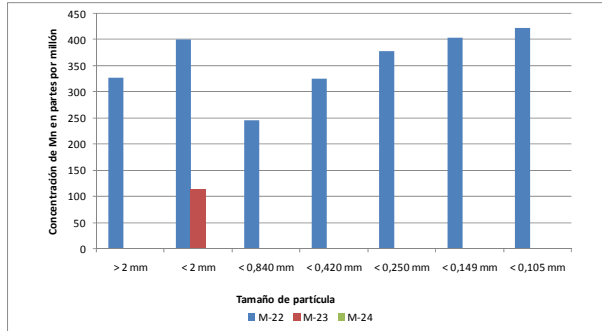


Figura No. 177. Concentraciones de Mn en las muestras de la empresa No. 5.

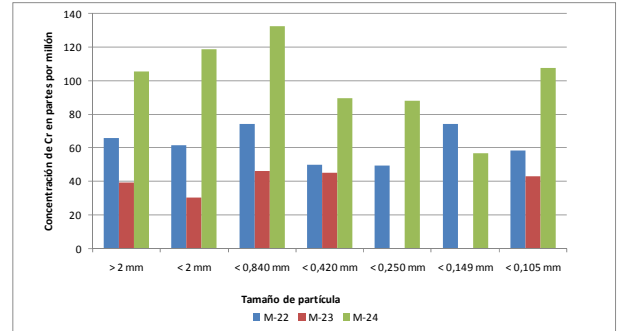


Figura No. 178. Concentraciones de Cr en las muestras de la empresa No. 5.

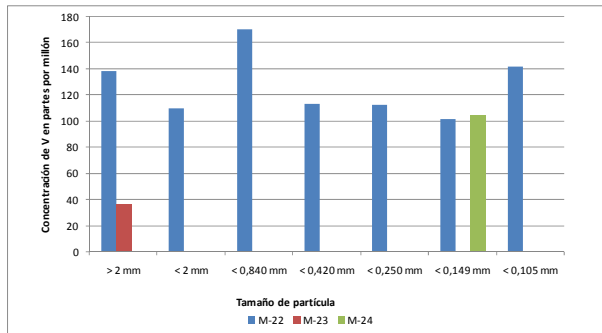


Figura No. 179. Concentraciones de V en las muestras de la empresa No. 5.

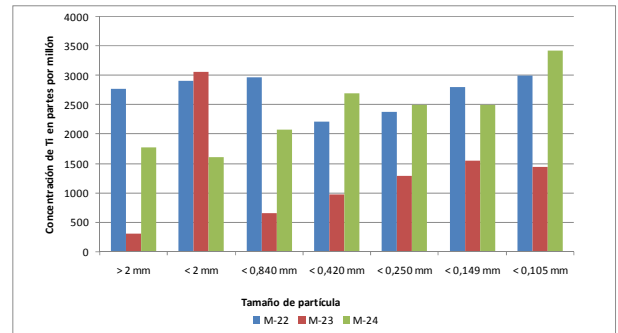


Figura No. 180. Concentraciones de Ti en las muestras de la empresa No. 5.

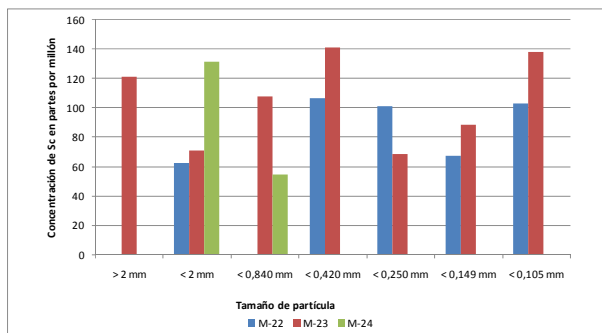


Figura No. 181. Concentraciones de Sr en las muestras de la empresa No. 5.

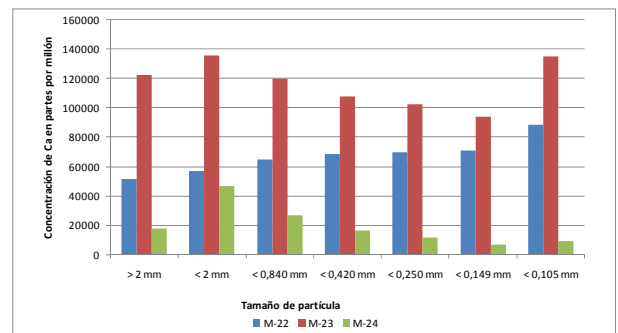


Figura No. 182. Concentraciones de Ca en las muestras de la empresa No. 5.

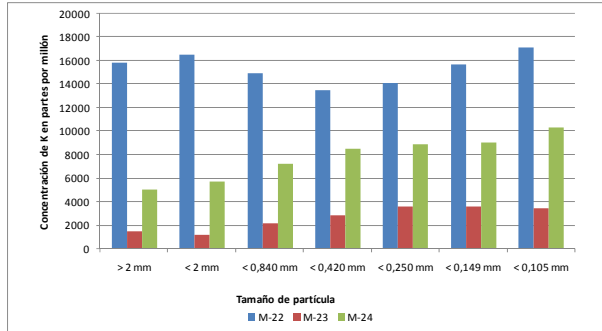


Figura No. 183. Concentraciones de K en las muestras de la empresa No. 5.

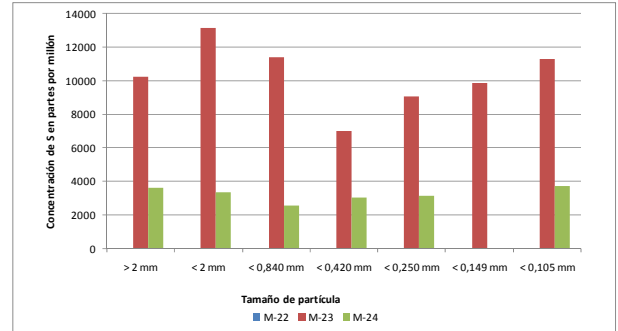


Figura No. 184. Concentraciones de S en las muestras de la empresa No. 5.

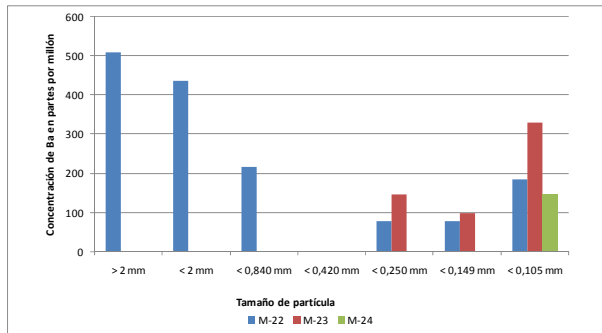


Figura No. 185. Concentraciones de Ba en las muestras de la empresa No. 5.

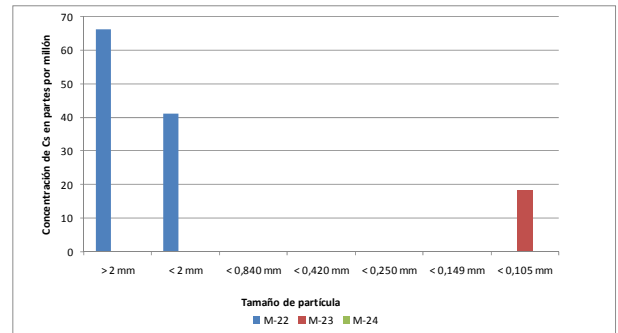


Figura No. 186. Concentraciones de Cs en las muestras de la empresa No. 5.

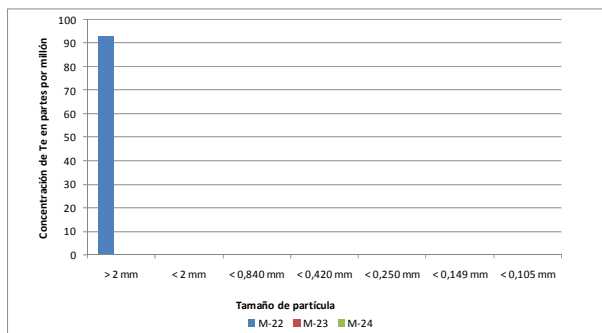


Figura No. 187. Concentraciones de Te en las muestras de la empresa No. 5.

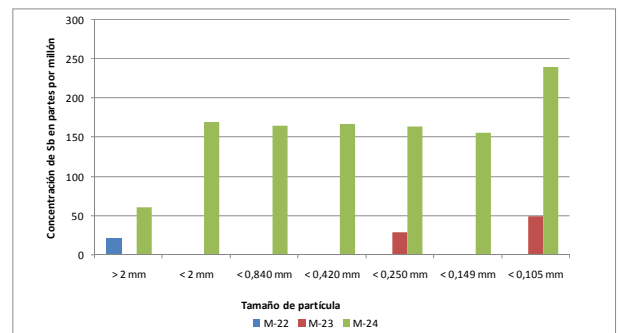


Figura No. 188. Concentraciones de Sb en las muestras de la empresa No. 5.

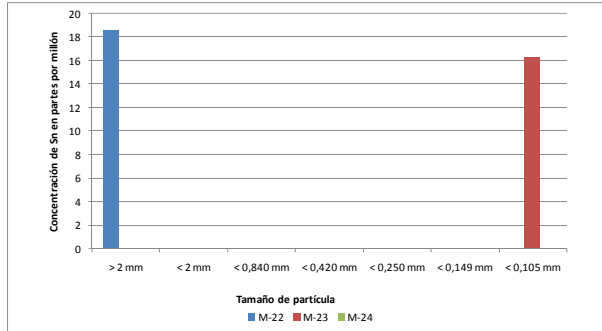


Figura No. 189. Concentraciones de Sn en las muestras de la empresa No. 5.

APÉNDICE D
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Figura No. 190. Periferia de la empresa No. 1, punto de muestreo M-7.



Figura No. 191. Periferia de la empresa No. 1, punto de muestreo M-9.



Figura No. 192. Periferia de la empresa No. 1.



Figura No. 193. Periferia de la empresa No. 2, punto de muestreo M-13.



Figura No. 194. Pesaje de 1 kilogramo de muestra para el análisis granulométrico.

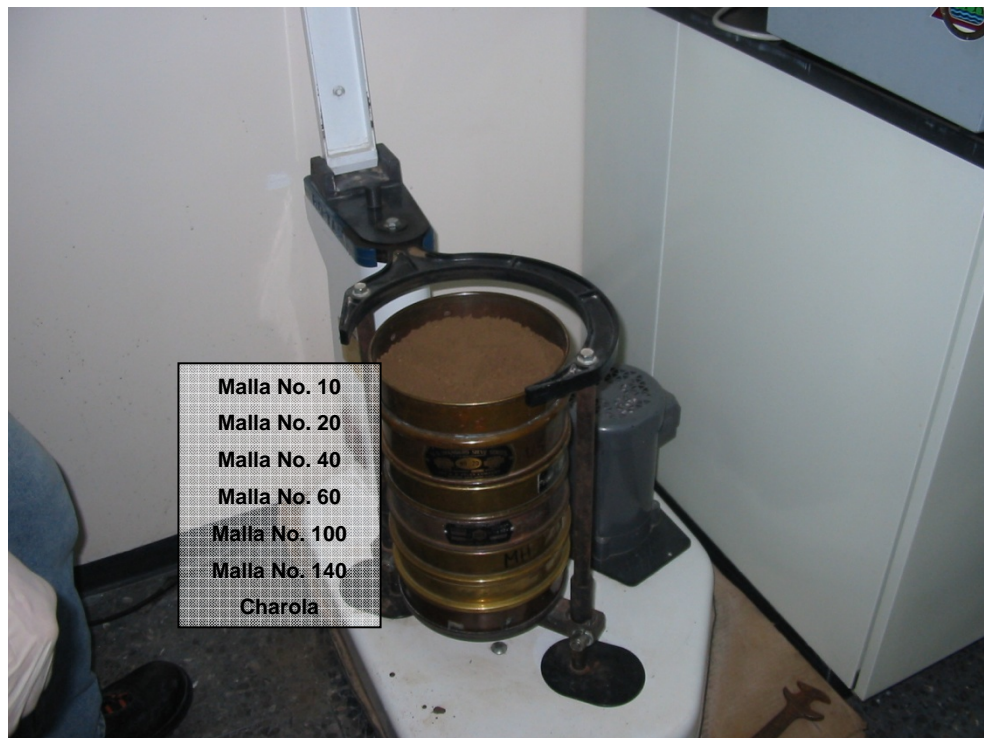


Figura No. 195. Equipo de cribado mecánico Ro-Tap.



Figura No. 196. Fracciones de muestra clasificadas según el tamaño de partícula.



Figura No. 197. Pesaje de cada fracción de la muestra.



Figura No. 198. Muestras preparadas para los análisis vía húmeda que se realizaron a la fracción de partículas menor que 2 mm.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Yamileth Carolina Almaguer Chávez

Candidato para el grado de

Maestría en Ciencias con orientación en Ingeniería Ambiental

Título: CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL PLOMO PRESENTE EN EL SUELO SUPERFICIAL, EN LA PERIFERIA DE EMPRESAS, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

Campo de Estudio: Ingeniería Ambiental

Biografía:

Nacida en Monterrey, Nuevo León, en febrero de 1984, hija de Marcos Antonio Almaguer Hernández y María Gloria Chávez Montemayor.

Educación:

Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en 2005. Grado obtenido: Ingeniero Civil.

Experiencia Profesional:

Técnico en supervisión de proyectos ambientales, en el Departamento de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería Civil, de la U.A.N.L.
Jefe Directo: Dr. Benjamín Limón Rodríguez.

Presentaciones en Congresos:

DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE PLOMO EN SUELO CONTAMINADO EN TRES FRACCIONES DE PARTÍCULAS, POR XRF Y ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA; Herrejón Figueroa, Martha L., Limón Rodríguez, Benjamín, Almaguer Chávez, Yamileth C; XI Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, Ciudad de Mazatlán, Sinaloa, México; Junio 2012.

PROCEDIMIENTO Y ELABORACIÓN DE UNA NORMA TÉCNICA ESTATAL PARA REGULAR LA EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE MATERIALES PÉTREOS; Limón Rodríguez, Benjamín, Herrejón Figueroa, Martha L.; Almaguer Chávez, Yamileth C; X Congreso Internacional y XVI Nacional de Ciencias Ambientales; Santiago de Querétaro, México; Agosto 2011.

CINÉTICA Y EQUILIBRIO DE SORCIÓN DE PLOMO EN UN SUELO FEZEM CALCÁRICO; Herrejón Figueroa, Martha L; Limón Rodríguez, Benjamín; Almaguer Chávez, Yamileth C; VI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental; Cancún, México; Abril 2011.

EVALUACIÓN DE RIESGO, UNA HERRAMIENTA PARA ESTUDIOS DE PREDIOS CONTAMINADOS; Limón Rodríguez, Benjamín, Herrejón Figueroa, Martha L., Almaguer Chávez, Yamileth C.; VI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental; Cancún, México; Abril 2011.