

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FONDO TOTAL DE CADMIO,  
PLOMO Y VANADIO EN SUELOS PRÍSTINOS EN EL ESTADO DE NUEVO  
LEÓN Y SU COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS DE SUELO EN EL  
ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY**

**POR**

**CHRISTIAN FABIÁN CHAPA ARCE**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN  
CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**NOVIEMBRE, 2015**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FONDO TOTAL DE CADMIO,  
PLOMO Y VANADIO EN SUELOS PRÍSTINOS EN EL ESTADO DE NUEVO  
LEÓN Y SU COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS DE SUELO EN EL  
ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

POR

CHRISTIAN FABIÁN CHAPA ARCE

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN  
CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

DIRECTOR DE TESIS

DR. BENJAMÍN LIMÓN RODRÍGUEZ

NOVIEMBRE, 2015

---

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía y a su vez a actuado con las personas que se me han cruzado en el camino.

A mi Madre Rosa María y mi Padre José Rosbel, por sus enseñanzas, valores inculcados, amor incondicional que demuestran día a día, por apoyarme en cada etapa de mi vida y alentarme a seguir adelante; no terminaría de agradecerles lo que han hecho por mí. Los admiro.

A mi Hermano Iván, que admiro, por su apoyo, consejos, amistad, por alentarme y por la compañía que me ha brindado en mi camino; también agradecer a mi cuñada Gaby y mi sobrino Iván.

A Daniela, por su comprensión, amistad y amor, por alentarme en todo momento y no dejarme caer.

A mi asesor el Dr. Benjamín Limón, la Dra. Martha Herrejon y al M.C. Elías Vázquez por sus enseñanzas, comprensión y apoyo durante este proyecto.

Al Dr. Fernando Velasco, por su apoyo y enseñanzas en el desarrollo del proyecto.

Al personal del Departamento de Ingeniería Ambiental de la UANL, por todo el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

A mis amigos que me han apoyado en todo momento.

A mis compañeros de la maestría, por esos momentos compartidos dentro y fuera del aula.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Al CONACYT por el otorgamiento de la beca para la maestría con el número de becario 559430.

---

## RESUMEN

**Christian Fabián Chapa Arce**

**Fecha de Graduación:**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Título de Estudio:** DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FONDO TOTAL DE CADMIO, PLOMO Y VANADIO EN SUELOS PRISTINOS EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN Y SU COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS DE SUELO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

**Número de Páginas:**

**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 del presente proyecto es determinar las concentraciones de fondo total ( $CF_T$ ), de cadmio, plomo y vanadio en suelos prístinos, es decir, suelos no perturbados, para comparar las concentraciones con estudios previos realizados en el Área Metropolitana de Monterrey y de la misma manera, con las concentraciones de referencia total ( $CR_T$ ) indicadas en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, para verificar si existen suelos prístinos con  $CF_T$  mayores a las  $CR_T$ . Las concentraciones se determinaron por medio de Fluorescencia de Rayos X, utilizando dos equipos uno portátil y otro fijo. Se determinaron las concentraciones de vanadio por medio de espectroscopia de absorción atómica y se realizó la correlación entre ambas técnicas. Se realizaron análisis físicos químicos complementarios a las muestras, determinación de humedad, pH, cloruros, sulfatos, materia orgánica y carbonatos de calcio.

**Contribuciones y Conclusiones:** Las concentraciones obtenidas indican que el cadmio y el plomo se encuentran por debajo del límite establecido, en cambio las concentraciones de vanadio obtenidas por medio de espectroscopia de absorción atómica indican que el 48% de las muestras analizadas se encuentran por encima del límite establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. El diagrama de dispersión entre EAA vs FRX (suelo comprimido), fue el que presentó la correlación más alta, obteniendo un coeficiente de correlación lineal  $r = 0,9159$  y una  $R^2 = 0,8388$  indicando una alta correlación. Se recomienda realizar muestreos de suelo en el área de la muestra M-9, ya que presenta concentraciones muy por encima del límite permisible. Se puede mencionar, que efectivamente en algunos casos, el suelo presenta concentraciones de vanadio que se encuentra por encima de las  $CR_T$ .

---

DR. BENJAMÍN LIMÓN RODRÍGUEZ  
Directora de Tesis

---

DRA. MARTHA L. HERREJON FIGUEROA  
Co-Director de Tesis

---

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1 Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Justificación .....	7
1.1.2 Hipótesis .....	7
1.1.3 Objetivo General.....	8
1.1.4 Objetivos Particulares .....	8
1.2 Marco Teórico .....	10
1.2.1 Clima y Vegetación .....	10
1.2.2 Geología Regional .....	10
1.2.3 Suelo.....	13
1.2.3.1 Perfil del suelo .....	15
1.2.4 Tipos de Suelo en México.....	16
1.2.5 Metales Pesados .....	20
1.2.6 Contaminación del Suelo por Metales Pesados .....	22
1.2.7 Cadmio .....	25
1.2.8 Plomo.....	27
1.2.9 Vanadio.....	29
1.2.10 Legislación Ambiental Mexicana en materia de contaminación de suelos .....	31
2. Metodología.....	32
2.1 Selección de Sitios de Muestreo .....	33
2.2 Elaboración del Plan de Muestreo .....	34
2.3 Toma de Muestras de Suelo .....	35
2.4 Acondicionamiento de las Muestras de Suelo .....	37
2.5 Análisis de las Muestras .....	38
2.5.1 Determinación de Cloruros .....	39
2.5.2 Determinación de Sulfatos.....	39
2.5.3 Determinación de Humedad .....	39

---

2.5.4 Determinación de pH .....	40
2.5.5 Pérdida por Calcinación .....	40
2.5.5.1 Materia Orgánica .....	40
2.5.5.2 Carbonatos .....	41
2.5.6 Determinación de Concentración de fondo total .....	41
2.5.6.1 Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	41
2.5.6.1.1 Características de Equipos.....	44
2.5.6.2 Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA).....	45
2.6 Correlación lineal entre la técnica de EAA y FRX .....	47
2.7 Comparación de resultados obtenidos con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.....	50
2.8 Comparación de resultados obtenidos con estudios previos dentro del Área Metropolitana de Monterrey .....	51
3. Resultados y Discusión .....	58
3.1 Descripción de los Sitios Muestreados .....	61
3.1.1 Grupo 1 .....	61
3.1.1.1 Muestra M-1 .....	61
3.1.1.2 Muestra M-2 .....	61
3.1.1.3 Muestra M-3 .....	62
3.1.1.4 Muestra M-4 .....	63
3.1.1.5 Muestra M-5 .....	63
3.1.1.6 Muestra M-6 .....	64
3.1.2 Grupo 2 .....	64
3.1.2.1 Muestra M-7 .....	64
3.1.2.2 Muestra M-8 .....	65
3.1.2.3 Muestra M-9 .....	66
3.1.2.4 Muestra M-10 .....	66
3.1.3 Grupo 3.....	67
3.1.3.1 Muestra M-11 .....	67
3.1.3.2 Muestra M-12 .....	67
3.1.3.3 Muestra M-13 .....	68

---

3.1.4 Grupo 4.....	68
3.1.4.1 Muestra M-14 .....	69
3.1.4.2 Muestra M-15 .....	69
3.1.4.3 Muestra M-16 .....	70
3.1.4.4 Muestra M-17 .....	70
3.1.4.5 Muestra M-18 .....	71
3.1.4.6 Muestra M-19 .....	71
3.1.4.7 Muestra M-20 .....	72
3.1.5 Grupo 5.....	73
3.1.5.1 Muestra M-21 .....	73
3.1.5.2 Muestra M-22 .....	73
3.1.5.3 Muestra M-23 .....	74
3.1.5.4 Muestra M-24 .....	74
3.1.5.5 Muestra M-25 .....	75
3.2 Granulometría .....	76
3.3 Análisis de las Muestras .....	80
3.3.1 pH .....	82
3.3.2 Humedad .....	83
3.3.3 Cloruros .....	84
3.3.4 Sulfatos.....	85
3.3.5 Materia Orgánica .....	86
3.3.6 Carbonato de Calcio .....	87
3.4 Análisis por medio de FRX (equipo portátil).....	89
3.5 Análisis por medio de FRX, Epsilon-3.....	91
3.5.1 Resultados de Cadmio de Muestras por Suelo Suelto, Suelo comprimido (pastilla) y Suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla) .....	91
3.5.2 Resultados de Plomo de Muestras por Suelo Suelto, Suelo comprimido (pastilla) y Suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla) .....	92

---

3.5.3 Resultados de Vanadio de Muestras por Suelo Suelto, Suelo comprimido (pastilla) y Suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla) .....	94
3.6 Análisis por medio EAA para Vanadio .....	99
3.7 Correlación Lineal entre las Técnicas EAA y FRX .....	103
3.8 Comparación de resultados obtenidos con estudios previos dentro del Área Metropolitana de Monterrey. ....	108
4. Conclusiones y Recomendaciones .....	117
5. Bibliografía .....	122
Apéndice A .....	130
Apéndice B .....	137
Apéndice C .....	161
Apéndice D .....	166

---

## LISTA DE TABLAS

Tablas	Páginas
Tabla 1. Contribución en Porcentajes de Fuentes de Contaminación.....	21
Tabla 2. Concentración natural de metales en diversos compartimentos ambientales (concentraciones en mg/kg) .....	24
Tabla 3. Interpretación de los valores del Coeficiente De Correlación De Pearson .....	48
Tabla 4. Concentraciones de Referencia Totales (CRT), por tipo de uso de suelo (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004) .....	51
Tabla 5. Resultados de análisis de suelo en el AMM (parques y plazas).....	52
Tabla 6. Resultados de análisis de suelo en el AMM (periferia de empresas). ....	54
Tabla 7. Identificación de Muestras de Suelo.....	59
Tabla 8. Valores de los Análisis complementarios realizados a las Muestras de Suelo analizadas .....	81
Tabla 9. Concentración de Plomo en mg/kg por medio de FRX Niton XL3t-600... ..	89
Tabla 10. Concentración de Vanadio en mg/kg por medio de FRX Niton XL3t-600 .....	90
Tabla 11. Concentraciones de Plomo en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo suelto).....	92
Tabla 12. Concentraciones de Plomo en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo comprimido).....	93
Tabla 13. Concentraciones de Plomo en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (Suelo Comprimido, muestra calcinada previamente).....	94
Tabla 14. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo suelto).....	95

---

Tabla 15. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo comprimido).....	97
Tabla 16. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (Suelo Comprimido, muestra calcinada previamente).....	98
Tabla 17. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de EAA.....	100
Tabla 18. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX y EAA.....	102
Tabla 19. Resultados de las concentraciones de Cadmio en este estudio y estudios previos. ....	108
Tabla 20. Resultados de las concentraciones de Plomo en este estudio y estudios previos.....	109
Tabla 21. Concentraciones de Plomo y tipo de suelo Edafológico.....	110
Tabla 22. Resultados de las concentraciones de Vanadio en este estudio y estudios previos. ....	113
Tabla 23. Concentraciones de Vanadio y tipo de suelo Edafológico.....	114

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa que muestra las principales provincias fisiográficas de la República Mexicana sobresaltando las provincias que están limitando a la Provincia de la Sierra Madre Oriental. ....	11
Figura 2. Diagrama de flujo de las actividades realizadas en esta investigación. .	32
Figura 3. Operación de la técnica de FRX (Manual de operación del equipo portátil Niton XL3t-600). ....	42
Figura 4. Muestras de Suelo. (Google Earth) .....	58
Figura 5. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 1; Monterrey – Linares. ....	77
Figura 6. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 2; Linares – Galeana. ....	77
Figura 7. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 3; García. ....	78
Figura 8. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 4; Mina - Cadereyta.....	79
Figura 9. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 5; Cadereyta – China. ....	80
Figura 10. Valores de pH de las muestras de suelo.....	83
Figura 11. Valores de Humedad de las muestras de suelo.....	84
Figura 12. Valores de Cloruros de las muestras de suelo.....	85
Figura 13. Valores de Sulfatos de las muestras de suelo. ....	86
Figura 14. Valores de Materia Orgánica de las muestras de suelo. ....	87
Figura 15. Valores de Carbonatos de las muestras de suelo.....	88
Figura 16. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (portátil)...	91

---

Figura 17. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (suelo suelto). .....	96
Figura 18. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (suelo comprimido).....	97
Figura 19. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (suelo comprimido, muestra calcinada previamente). .....	99
Figura 20. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por medio de EAA. ....	101
Figura 21. Correlación Lineal entre EAA y FRX (portátil) .....	104
Figura 22. Correlación lineal entre EAA vs FRX (suelo suelto) .....	105
Figura 23. Correlación lineal entre EAA vs FRX (suelo comprimido) .....	106
Figura 24. Correlación lineal de EAA vs FRX (suelo comprimido, muestra Calcinada previamente).....	107
Figura 25. Ubicación Geológica de la Muestra M-1.....	138
Figura 26. Ubicación Geológica de la Muestra M-2.....	138
Figura 27. Ubicación Geológica de la Muestra M-3.....	139
Figura 28. Ubicación Geológica de la Muestra M-4.....	139
Figura 29. Ubicación Geológica de la Muestra M-6 y M-7.....	140
Figura 30. Ubicación Geológica de la Muestra M-8.....	140
Figura 31. Ubicación Geológica de la Muestra M-9.....	141
Figura 32. Ubicación Geológica de la Muestra M-11.....	141
Figura 33. Ubicación Geológica de la Muestra M-12.....	142
Figura 34. Ubicación Geológica de la Muestra M-13.....	142

---

Figura 35. Ubicación Geológica de la Muestra M-14.....	143
Figura 36. Ubicación Geológica de la Muestra M-15.....	143
Figura 37. Ubicación Geológica de la Muestra M-16.....	144
Figura 38. Ubicación Geológica de la Muestra M-17.....	144
Figura 39. Ubicación Geológica de la Muestra M-18.....	145
Figura 40. Ubicación Geológica de la Muestra M-19.....	145
Figura 41. Ubicación Geológica de la Muestra M-20.....	146
Figura 42. Ubicación Geológica de la Muestra M-21.....	146
Figura 43. Ubicación Geológica de la Muestra M-22.....	147
Figura 44. Ubicación Geológica de la Muestra M-23.....	147
Figura 45. Ubicación Geológica de la Muestra M-24.....	148
Figura 46. Ubicación geológica de la Muestra M-25. ....	148
Figura 47. Ubicación Edafológica de la Muestra M-1.....	149
Figura 48. Ubicación Edafológica de la Muestra M-2.....	149
Figura 49. Ubicación Edafológica de la Muestra M-3.....	150
Figura 50. Ubicación Edafológica de la Muestra M-4.....	150
Figura 51. Ubicación Edafológica de la Muestra M-5.....	151
Figura 52. Ubicación Edafológica de la Muestra M-6 y M-7.....	151
Figura 53. Ubicación Edafológica de la Muestra M-8.....	152
Figura 54. Ubicación Edafológica de la Muestra M-9.....	152
Figura 55. Ubicación Edafológica de la Muestra M-10.....	153

---

Figura 56. Ubicación Edafológica de la Muestra M-11.....	153
Figura 57. Ubicación Edafológica de la Muestra M-12.....	154
Figura 58. Ubicación Edafológica de la Muestra M-13.....	154
Figura 59. Ubicación Edafológica de la Muestra M-14.....	155
Figura 60. Ubicación Edafológica de la Muestra M-15.....	155
Figura 61. Ubicación Edafológica de la Muestra M-16.....	156
Figura 62. Ubicación Edafológica de la Muestra M-17.....	156
Figura 63. Ubicación Edafológica de la Muestra M-18.....	157
Figura 64. Ubicación Edafológica de la Muestra M-19.....	157
Figura 65. Ubicación Edafológica de la Muestra M-20.....	158
Figura 66. Ubicación Edafológica de la Muestra M-21.....	158
Figura 67. Ubicación Edafológica de la Muestra M-22.....	159
Figura 68. Ubicación Edafológica de la Muestra M-23.....	159
Figura 69. Ubicación Edafológica de la Muestra M-24.....	160
Figura 70. Ubicación Edafológica de la Muestra M-25.....	160
Figura 71. Concentración de Arsénico (As).....	162
Figura 72. Concentración de Bario (Ba). ....	162
Figura 73. Concentración de Cromo (Cr). ....	163
Figura 74. Concentración de Mercurio (Hg). ....	163
Figura 75. Concentración de Níquel (Ni). ....	164
Figura 76. Concentración de Plata (Ag). ....	164

---

Figura 77. Concentración de Selenio (Se). .....	165
Figura 78. Toma de Muestras. ....	167
Figura 79. Equipo de FRX portatil Niton XL3t.....	167
Figura 80. Equipo de FRX Epsilon-3.....	168
Figura 81. Muestras de Suelo Suelto. ....	168
Figura 82. Muestras de Suelo Comprimido (pastillas).....	169
Figura 83. Equipo de EAA.....	169

---

## NOMENCLATURA

°C	grados Celsius
µg	microgramo
µg/kg	microgramos por kilogramo
Cd	cadmio
cm	centímetro
g	gramo
g/cm <sup>3</sup>	gramos por centímetro cúbico
kg	kilogramo
km	kilometro
m <sup>2</sup>	metro cúbico
mg/kg	miligramos por kilogramo
mm	milímetro
ng/m <sup>3</sup>	nanógramo por metro cúbico
nm	nanómetro
Pb	plomo
ton	tonelada
UTM	Coordenadas de proyección universal transversa de Mercator
V	vanadio

---

## ACRÓNIMOS

AMM	Área Metropolitana de Monterrey
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CE <sub>T</sub>	Concentración Específica total
CF <sub>T</sub>	Concentración de Fondo total
CR <sub>T</sub>	Concentración de Referencia total
EAA	Espectroscopia de Absorción Atómica
FRX	Fluorescencia de Rayos X
GPS	Global Positioning System
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
ISO	Organización Internacional de Normalización
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LPGIR	General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana

---

PCG	Planicie Costera del Golfo
PNRSC	Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMO	Sierra Madre Oriental
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
USEPA	United States Environmental Protection Agency

---

# 1 Introducción

## 1.1 Introducción

La continua expansión urbana exige garantía de una calidad de suelos adecuada, tanto para la salud humana como para el medio ambiente, de ahí la necesidad de elaborar métodos y procedimientos que faciliten la investigación y evaluación de su calidad.

La contaminación de suelos es un problema ambiental significativo, dañando a los países que han desarrollado, desde los comienzos de la revolución industrial, actividades de extracción y concentración de minerales, así como procesos industriales en los que aparecen como materias primas y residuales.

Durante mucho tiempo, el destino de los residuos y en especial, los de características tóxicas, ha sido en zonas del entorno urbano, ya sean terrenos baldíos, alquilados o comprados a bajo precio para cumplir esta función específicamente (Sánchez, 2003).

La contaminación del suelo hace referencia a la presencia de un elemento o sustancia en concentración superiores a la natural, como resultado del intemperismo de los macizos rocosos y de la actividad humana teniendo un efecto negativo en el medio ambiente y sus componentes.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 2012) define la contaminación como la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico, de la misma manera, menciona que un contaminante es toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

---

Los suelos, producto del intemperismo de las rocas, son uno de los mayores reservorios en los cuales se evidencia la contaminación ambiental. Más del 90 % de los contaminantes producidos son retenidos en las partículas de suelo, mientras que cerca del 9 % de los mismos pasa a los mantos acuíferos. En un suelo contaminado, los metales presentan un periodo prolongado de residencia, estableciéndose un equilibrio dinámico con la hidrósfera, atmósfera y biósfera y de esta forma se altera el ecosistema, incluyendo al ser humano (Alloway, 1995).

Los suelos prístinos, es decir, no perturbados por alguna actividad humana (Aciego, 2012), pueden considerarse como un punto de referencia del sistema edáfico, debido a que las condiciones naturales del ambiente (en referencia principalmente a su uso) se han encontrado poco modificadas en el tiempo. Estos suelos con vegetación natural presentan un equilibrio entre sus componentes físicos, naturales y su masa orgánica.

La NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 define la concentración de fondo total ( $CF_T$ ) como la masa del elemento químico regulado, expresada en mg, por unidad de masa del suelo en estudio, expresada en kg, base seca, que se encuentra en un suelo de manera natural.

Los valores de fondo (naturales) de la fracción total de metales pesados en suelos están siendo alterados por diversas actividades humanas, desde la disposición de basura municipal y lodos de plantas de tratamiento, riego con aguas residuales o aplicación de plaguicidas, hasta la producción del vidrio, explotación del petróleo, actividad de las industrias petroquímica, fabricación de pinturas, tenerías, y las actividades de extracción, beneficio, fundición y refinación de metales, entre otras. Todas estas operaciones están contribuyendo en forma importante al aumento de metales pesados totales en áreas de suelos expuestos (Siebe, 1994).

---

Las principales sustancias involucradas en la contaminación de sitios en México son (PNRSC, 2010):

- Hidrocarburos o productos derivados del petróleo: Se dan en sitios donde se realizan o realizaron actividades vinculadas a la producción petrolera en los que se encuentran hidrocarburos en general y sustancias orgánicas asociadas a ellos.
- Metales y metaloides (Plomo, Cadmio, Mercurio, Arsénico, entre otros): Se han propiciado en sitios donde se realizaron o realizan actividades mineras, generando diversos tipos de residuos como jales, escorias de fundición (masivas y granulares), patios de lixiviación, polvos y cenizas (calcinas) que en algunos casos son tóxicos por sus propiedades físicas y químicas.
- Hidrocarburos halogenados: Se propician en sitios industriales en los que se manejaron solventes y desengrasantes y otros productos halogenados como Tricloroetano (TCE), Dicloroetano (DCE) o Pentaclorobenceno (PCB), Compuestos Orgánicos Persistentes (COP's), Plaguicidas y Bifenilos Policlorados BPC's.

En el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados (PNRSC, 2010) se indicó que en el periodo del 2003 al 2009 se registraron alrededor de 1219 emergencias ambientales gestionadas en México. Esto debido a la falta de elaboración de reglamentos y normatividad que no existía en el pasado.

Según a los Artículos 68, 69 y 70 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR, 2015), la responsabilidad para la reparación del daño o las acciones de remediación de un sitio contaminado es de:

Artículo 68.- Quienes resulten responsables de la contaminación de un sitio, así como de daños a la salud como consecuencia de ésta, están obligados a reparar el daño causado, conforme a las disposiciones legales correspondientes.

---

Toda persona física o moral que, directa o indirectamente contamine un sitio u ocasione un daño o afectación al ambiente como resultado de la generación, manejo o liberación, descargue, infiltración o incorporación de materiales o residuos peligrosos al ambiente, será responsable y estará obligado a su reparación y, en su caso, a la compensación correspondiente, de conformidad a lo previsto por la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.

Artículo 69.- Las personas responsables de actividades relacionadas con la generación y manejo de materiales y residuos peligrosos que hayan ocasionado la contaminación de sitios con éstos, están obligadas a llevar a cabo las acciones de remediación conforme lo dispuesto en la presente Ley y demás disposiciones aplicables.

Artículo 70.- Los propietarios o poseedores de predios de dominio privado y los titulares de áreas concesionadas, cuyos suelos se encuentren contaminados, serán responsables solidarios de llevar a cabo las acciones de remediación que resulten necesarias, sin perjuicio del derecho a repetir en contra del causante de la contaminación.

Posterior a la publicación y a la entrada en vigor de la Ley General para la Prevención y Gestión de los Residuos (LGPGIR) se trabajó en la elaboración de su Reglamento, el cual fue publicado el 30 de noviembre de 2006. En el mismo periodo se publican otras Normas Oficiales Mexicanas como son: NOM 138 SEMARNAT/SS 2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación y la NOM 147 SEMARNAT/SSA1 2004, Establece 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, entre otras (PNRSC, 2010).

---

En México, hasta la publicación de la norma NOM 147 SEMARNAT/SSA1 2004, se aplicaban criterios internos tomados de la bibliografía mundial. Estos valores genéricos son preventivos y su uso como límites de remediación, práctica que fue común en México y otros países, pero no fue adecuado. Por ejemplo, como son muy conservadores, ya que su objetivo es preventivo y busca proteger la salud humana bajo cualquier circunstancia, en muchas ocasiones, resultan menores a los valores naturales de los suelos de zonas mineras de México. Un ejemplo es que el límite establecido en los criterios genéricos para el As era de 20 mg/kg, mientras que el intervalo de valores de fondo naturales reportados en México del As es de 2 a 55 mg/kg (IGg-UNAM, 2001).

En un estudio realizado en Valladolid, España, Sánchez Bascones (2003) menciona que las concentraciones de fondo es el primer paso para el establecimiento de los estándares de calidad y que deben tomarse muestras en suelos que no se encuentren contaminados por la actividad humana.

Cala y Kunimine (2003) investigaron los niveles de concentración de Pb y Cd en suelos de una zona cercana a una planta de reciclaje de baterías ácidas en Madrid, España, reportando que las concentraciones totales de Pb y Cd en suelos disminuyeron, a mayor distancia de la planta, las distancias de muestreo tomadas a la planta fueron de 40 a 400 metros (5906 a 171 mg Pb/kg de suelo y 11,0 a 1,58 mg Cd/kg suelo).

Calzada Mendoza (2007) realizó en el estado de Tlaxcala, México, un estudio de metales pesados en suelos, en donde las concentraciones Cr, Ni, Pb, Tl, Cd y V son menores a las concentraciones de referencia totales establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, aunque este último elemento presenta en algunas muestras concentraciones mayores a lo establecido por la normativa mexicana.

---

En un estudio para determinar metales pesados en el suelo realizado en Ixtlán de Juárez, Oaxaca por Hernández Hernández (2011), se reporta que el As y Pb fueron los únicos que superaron los niveles establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

En el presente estudio, el objetivo planteado es la determinación de las concentraciones de fondo total ( $CF_T$ ) de cadmio, plomo y vanadio en suelos prístinos, es decir, suelos no perturbados o alterados por la actividad humana, en municipios aledaños al Área Metropolitana de Monterrey (AMM) y su comparación con las concentraciones de referencia totales ( $CR_T$ ) en el suelo.

Se pretende en este proyecto obtener información de las concentraciones de fondo ( $CF_T$ ) de los elementos seleccionados con el fin de disponer de información para soportar los criterios de selección de las concentraciones objetivo totales para la remediación del suelo, en las situaciones en que se tengan discrepancias con la Autoridad competente (SEMARNAT), cuando se involucren en casos de pasivos ambientales o proyectos de restauración ambiental de suelos contaminados con estos elementos (cadmio, plomo y vanadio), ya que en ocasiones los suelos prístinos pueden contener concentraciones de fondo ( $CF_T$ ) superiores a las concentraciones de referencia total ( $CR_T$ ) indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

La concentración objetivo total es definida por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 como la masa del elemento químico regulado, expresada en mg, por unidad de masa del suelo en estudio, expresada en kg, base seca, que se selecciona para remediar un suelo mediante alguno de los procedimientos establecidos en la presente Norma y que pueden ser: Concentración de Referencia total ( $CR_T$ ), Concentración de Fondo total ( $CF_T$ ) o Concentración Específica total ( $CE_T$ ).

---

### **1.1.1 Justificación**

El presente estudio se enfoca a la determinación de las concentraciones de fondo total (concentraciones naturales del suelo) de cadmio, plomo y vanadio, en terrenos baldíos que presuntamente no han sido alterados de manera antropogénica, ubicados en la periferia del Área Metropolitana de Monterrey.

La falta de información de las concentraciones de metales pesados en su estado original o natural, nos vuelve vulnerables, al momento de establecer a que concentración se debe de remediar un suelo contaminado, tomando en cuenta la Normatividad Ambiental Mexicana.

Este trabajo podrá, en un momento dado, ser de gran utilidad en la región del estudio, ya que tiene por objeto servir de instrumento de apoyo para la gestión de suelos contaminados, así como para la modificación de normas ambientales y diseño de planes de desarrollo urbano, determinando las concentraciones naturales de metales pesados (cadmio, plomo y vanadio) en los suelos prístinos de estudio.

Los resultados obtenidos en dicho estudio podrán compararse con las concentraciones de referencia totales ( $CR_T$ ), de la Normatividad Ambiental Mexicana aplicable (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).

### **1.1.2 Hipótesis**

Existe la posibilidad que las concentraciones de fondo total ( $CF_T$ ) de cadmio, plomo y vanadio en suelos prístinos sean superiores a las concentraciones de referencia total (CRT) indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

---

### 1.1.3 Objetivo General

Comparar las concentraciones de fondo total en suelos prístinos de cadmio, plomo y vanadio con las concentraciones reportadas por estudios previos en el Área Metropolitana de Monterrey, así como las concentraciones de referencia total ( $CR_T$ ) indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 para verificar si existen suelos prístinos con  $CF_T$  mayores a las  $CR_T$ .

### 1.1.4 Objetivos Particulares

- Elegir y ubicar sitios de muestreo de suelos en municipios aledaños al Área Metropolitana de Monterrey (AMM)
- Determinar la concentraciones de Cadmio, Plomo y Vanadio totales en el suelo, utilizando el equipo de Fluorescencia de Rayos X (FRX); Equipos NITON portátil y EPSILON-3.
- Determinar la concentración de Vanadio total en el suelo, utilizando espectroscopía de absorción atómica (EAA).
- Analizar la concentración de Vanadio con el tamaño de partícula más fino (menor a 0.105 mm) de las muestras de suelo por FRX y por EAA y realizar la correlación que existe entre ambas técnicas de análisis.
- Comparar las concentraciones de fondo total ( $CF_T$ ) de Cadmio, Plomo y Vanadio obtenidos del suelo con las concentraciones de referencia ( $CF_T$ ) de la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

- 
- Comparar las concentraciones en suelos prístinos de Cadmio, Plomo y Vanadio totales con los estudios previos del Área Metropolitana de Monterrey.

---

## **1.2 Marco Teórico**

### **1.2.1 Clima y Vegetación**

El clima del estado de Nuevo León es extremoso. Predomina el clima caliente y seco, es decir, está asociado a los climas “B” secos de la clasificación de Köppen Bw árido o muy seco y Bs semiárido o seco. La mayor parte del año es muy caliente, en las regiones montañosas con altura existen temperaturas cálidas; en estas áreas los meses de noviembre a febrero son sumamente fríos. En las áreas de la Planicie Costera y el Altiplano, pueden presentarse temperaturas bajo cero y superiores a 40 °C. (Alanís y colaboradores, 1996).

En el estado de Nuevo León, de manera general, se pueden diferenciar tres tipos de vegetación predominante: Bosque, Matorral y Pastizal. (Alanís y colaboradores, 1996) relacionaron los tipos de vegetación con la provincia fisiográfica a la que pertenece.

- Planicie Costera del Golfo (PCG): Matorral Espinoso y Mezquital.
- Sierra Madre Oriental (SMO): Bosques de pinos, Bosques de otras coníferas, Bosques de pino-encino, Bosques de encino, Bosques de niebla y Matorral submontano.
- Altiplano Mexicano: Matorral desértico y Pastizales.

### **1.2.2 Geología Regional**

El área de estudio se encuentra comprendida dentro de las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental y Planicie Costera del Golfo (Figura 1). La SMO es un término que designa a un rasgo orográfico, formado por un macizo montañoso rugoso, angosto y alargado, situado en el oriente de la República Mexicana, que emerge de la planicie costera del Golfo de México y se yergue con cumbres que sobrepasan los 2,500 m sobre el nivel del mar, luego descienden de altura hacia el poniente y pasan a una extenso altiplano situado

en el centro del país; diversos autores, ubican a la SMO a partir de la Faja Volcánica Transmexicana y la proyectan en forma continua hacia el NW, internándose en la parte central de Coahuila y Chihuahua, hasta la frontera norte de México. La SMO es una unidad fisiográfica, con más de 800 km de longitud y de 80 a 100 km de amplitud (Eguiluz y colaboradores, 2000).



Figura 1. Mapa que muestra las principales provincias fisiográficas de la República Mexicana sobresaltando las provincias que están limitando a la Provincia de la Sierra Madre Oriental (Modificado de ORTEGA-GUTIÉRREZ y colaboradores, 1991, en IBARRA MARTÍNEZ, 2007).

La SMO está compuesta principalmente de una gruesa secuencia de rocas carbonatadas y terrígenas del Mesozoico las cuales descansan discordantemente sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico, para el Paleógeno, la secuencia Mesozoica depositada en el Noreste de México fue deformada por una serie de movimientos tectónicos relacionados a la Orogenia Laramide (Humphrey & Díaz, 1956; De Cserna, 1956; Meiburg y colaboradores 1987; Doert, 1987). Estas condiciones geológicas dieron origen al plegamiento y levantamiento de las rocas del Mesozoico, principalmente en las provincias geológicas de la Sierra Madre Oriental y el Golfo de Sabinas. Sin embargo, en esta última así como en las cuencas de Parras y La Popa, el acortamiento es menor y los estilos estructurales son diferentes. Durante el Cenozoico el mar del Golfo de México se retiró hacia el Este, dejando una secuencia gruesa de

---

areniscas y lutitas acumuladas en la cuenca de Burgos del Paleógeno y parte del Neógeno.

Durante el Cuaternario, el enorme contraste de relieve entre la SMO y la PCG provocaron una continua erosión de la SMO depositándose enormes cantidades de depósitos sobre la hoy Provincia Costera del Golfo, con acumulaciones de hasta 14 km en algunos puntos de la Cuenca de Burgos. Los depósitos que se acumularon al pie de la SMO fueron definidos por Chapa-Guerrero (1993), de la siguiente manera:

- a) Coluviones, que son depósitos producto de la desintegración de las rocas transportadas únicamente por la fuerza de gravedad. A estos depósitos pertenecen grandes bloques aislados localizados sobre los taludes de la Montañas,
- b) Derrubios, son depósitos producto de la desintegración de las rocas transportados flujos de aguas torrenciales y la fuerza de gravedad. A estos depósitos pertenecen grandes bloques flotado en materiales más finos (gravas, arenas, limos y arcilla) sobre los taludes de las montañas. Su aspecto es caótico (muy heterogéneo),
- c) Proluvión, son depósitos producto de la desintegración de las rocas transportados flujos de aguas torrenciales. A estos depósitos de materiales más finos (gravas, arenas y limos) sobre los taludes y pies de la montaña, formando abanicos aluviales. Su aspecto es más homogéneo. Al unirse todos los abanicos aluviales al pie de una montaña forma una bajada y
- d) Aluvión, son depósitos producto de la desintegración de la roca transportado por los ríos, esparcido por estos y acumulados en los cambios de pendiente o al disminuir la fuerza de los flujos, formando terrazas.

---

### 1.2.3 Suelo

El suelo es un cuerpo natural, no consolidado, compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se caracteriza por tener horizontes o capas diferenciales, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad.

Desde el punto de vista físico el suelo, es la interfase entre la biósfera y la litósfera, está constituido por una mezcla variable de partículas minerales, materia orgánica, aire y una disolución acuosa. El suelo formado por meteorización sobre el medio rocoso original constituye el soporte material para el desarrollo de organismos vivos (De Haan y Van Riemsdijk, 1986).

La Organización Internacional de Normalización (ISO 11047) define el suelo como la capa superior de la corteza terrestre, compuesto por materia orgánica, agua, aire, partículas minerales y organismos vivos, y es la interfaz entre la tierra, aire y agua.

Con la definición anterior, se consideran dos partes fundamentales dentro del suelo:

La parte biótica o parte viva del suelo, comprendida por gran cantidad de organismos, ya sean microorganismos (bacterias y hongos), raíces de plantas y fauna del suelo.

La parte abiótica del suelo, compuesta por tres fases:

- a) Fase Sólida: Formada por partículas que componen el soporte del suelo dando rigidez y firmeza. Entre éstas partículas existen oquedades de diferente forma o tamaño denominados poros del suelo. Encontrándose dentro de estos poros la fase líquida y gaseosa del suelo

---

Existen dos fracciones dentro de la fase sólida del suelo:

- La fracción orgánica constituida fundamentalmente del material vegetal, formada por restos vegetales en diferente estado de descomposición.
- La fracción mineral constituida fundamentalmente por cuarzo, oxihidróxidos de hierro, aluminio y manganeso y por minerales de la arcilla.

b) Fase Gaseosa: Se encuentra representada por el contenido en gases atmosféricos del suelo 20 – 30 % de aire, variando en función a la porosidad del suelo. La composición del aire edáfico varía con la profundidad: en la parte más superficial la presión parcial del oxígeno tiende a ser la correspondiente a la atmósfera (0,21 atm), pero decrece con la profundidad, de forma que en la zona más profunda el ambiente tiende a ser anóxico. Esta falta de oxígeno favorece los procesos anaerobios en los que se generan gases reductores (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) (Sánchez, 2003).

c) Fase Líquida: Se encuentra en los poros, como una capa fina acuosa. Básicamente es una disolución de sales, aunque también posee coloides orgánicos, generalmente procedentes de la descomposición de plantas.

El volumen ocupado por los poros del suelo es variable y depende del tipo del suelo. Según De Hann y Van Riemsdijk (1986) el volumen de poro en suelos arenosos es de 40-55% del total, para suelos arcillosos del 50 -70% y para suelos de turba puede superar el 80%.

---

En la formación del suelo existen cinco factores importantes:

- 1- El clima, determinado por los aspectos de la temperatura y la humedad; a mayor humedad y temperatura, generalmente, favorecen al intemperismo de los macizos rocosos.
- 2- La topografía, determinada por la morfología de la tierra conformando altas pendientes con mayor erosión, menor acumulación de humedad y consecuentemente menos intemperismo, sucediendo lo contrario en bajas pendientes.
- 3- Organismos y Vegetación, acelerando el grado de intemperismo cuando hay gran cantidad de estos aspectos.
- 4- El tiempo, la relación del tiempo de exposición del material original y sus agentes a la intemperie, juega un papel importante en formación del suelo, ya que a mayor tiempo de exposición existe más intemperismo y suelos más desarrollados, siendo de manera contraria, al tener menor tiempo de exposición a la intemperie.
- 5- Material Original (Roca), es este aspecto el material base a partir del cual se genera el suelo y determinada la composición química del mismo. Las rocas cuando afloran a la superficie, dejan de ser estables, a partir de este momento, tienen lugar procesos químicos, físicos y biológicos sobre la roca, dando lugar el fenómeno de meteorización.

### **1.2.3.1 Perfil del suelo**

La infiltración de agua edáfica, produce una cierta meteorización química, así como la actividad orgánica, se desarrolla una estructura secuencial en capas distintas, esto según la profundidad, denominadas horizontes. El conjunto de horizontes, llamado perfil, proporciona un concepto de la estructura de un suelo.

---

Los diferentes horizontes presentes en el suelo, tienen distintas propiedades físicas y químicas, dependiendo del proceso de formación de suelo, los cuales pueden distinguirse visualmente. El suelo según Doménech (1997), puede distinguirse en tres horizontes, de menor a mayor profundidad como sigue:

Horizonte A: Constituida por partículas minerales y materia orgánica fresca y parcialmente descompuesta. Zona del suelo donde se produce mucha lixiviación, principalmente de sales de Fierro, Aluminio y Manganese. Predominan los materiales silícicos.

Horizonte B: Se produce la acumulación de los compuestos o materiales de lixiviación provenientes del horizonte A. Ésta zona tiene una lixiviación moderada y oxidación de materia orgánica. Contiene óxidos de Fierro (III), dando por lo general, una coloración amarilla y marrón. De la misma manera, existe presencia predominante de silicatos laminares.

Horizonte C: Zona comprendida antes de la roca generadora del suelo, se caracteriza por la práctica inexistencia de lixiviación. Zona de meteorización pobre y presencia de material poco particulado.

#### **1.2.4 Tipos de Suelo en México**

México es un país con una gran complejidad geológica, en donde existe una gran diversidad de rocas con características y orígenes distintos, lo que dio como resultado diferentes tipos de suelos. De las 28 unidades o categorías de suelo reconocidas, en México se encuentran 25. Cinco de estas variedades cubren casi cuatro quintas partes del territorio nacional: leptosoles, regosoles, calcisoles, feozems y vertisoles (SEMARNAT 2003).

---

A continuación se describen diferentes unidades de suelo localizadas en el área de estudio.

#### Cambisol

Del latín *cambiare*: cambiar. Literalmente, suelo que cambia. Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en los de zonas áridas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, hierro o manganeso. Su símbolo es (B).

#### Castañozem

Del latín, *castaneo*: castaño; y del ruso *zemljá*: tierra. Literalmente, tierra castaña. Suelos alcalinos que se encuentran ubicados en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos. En condiciones naturales tienen vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral. Frecuentemente tienen más 70 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color pardo o rojizo oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes, con acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo. Son moderadamente susceptibles a la erosión. Su símbolo es (K).

#### Chernozem

Del ruso *cherná*: negro; y *zemljá*: tierra. Literalmente, tierra negra. Suelos alcalinos ubicados en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos. En condiciones naturales tienen vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral. Son suelos que sobrepasan comúnmente los 80 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color negro, rica en materia orgánica y nutriente, con alta acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo. Son moderadamente susceptibles a la erosión y el símbolo para representarlo en la carta edafológica es (C).

---

## Feozem

Del griego phaeo: pardo; y del ruso zemljá: tierra. Literalmente, tierra parda. Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Los Feozems son de profundidad muy variable. Su símbolo en la carta edafológica es (H).

## Fluvisol

Del latín fluvius: río. Literalmente, suelo de río. Se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua. Son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan generalmente estructura débil o suelta. Se encuentran en todos los climas y regiones de México cercanos siempre a lechos de los ríos. Los ahuehuetes, ceibas y sauces son especies típicas que se desarrollan sobre estos suelos. Los Fluvisoles presentan capas alternadas de arena con piedras o gravas redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas del agua en los ríos. El símbolo para representarlos dentro de la carta edafológica es (J).

## Litosol

Del griego lithos: piedra. Literalmente, suelo de piedra. Son los suelos más abundantes del país pues ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lamerías y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable dependiendo de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. No tiene subunidades y su símbolo es (I).

---

## Regosol

Del griego reghos: capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión. Su símbolo es (R).

## Rendzina

Del polaco rzedzic: ruido. Connotativo de suelos someros que producen ruido con el arado por su pedregosidad. Estos suelos se presentan en climas semiáridos, tropicales o templados. Se caracterizan por tener una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal. Generalmente las rendzinas son suelos arcillosos y poco profundos -por debajo de los 25 cm. El uso forestal de estos suelos depende de la vegetación que presenten. Son moderadamente susceptibles a la erosión, no tienen subunidades y su símbolo es (E).

## Vertisol

Del latín vertere, voltear. Literalmente, suelo que se revuelve o que se voltea. Suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural va de selvas bajas a pastizales y matorrales. Se caracterizan por su estructura masiva. y su alto contenido de arcilla. Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. Su símbolo es (V).

## Xerosol

Del griego xeros: seco. Literalmente, suelo seco. Se localizan en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México. Su vegetación natural es de

---

matorral y pastizal y son el tercer tipo de suelo más importante por su extensión en el país. Tienen por lo general una capa superficial de color claro por el bajo contenido de materia orgánica. Debajo de esta capa puede haber un subsuelo rico en arcillas, o bien, muy semejante a la capa superficial. Muchas veces presentan a cierta profundidad manchas, aglomeraciones de cal, cristales de yeso o caliche con algún grado de dureza. Son de baja susceptibilidad a la erosión, salvo en laderas. Su símbolo es (X).

#### Yermosol

Del español yermo: desértico, desolado. Literalmente, suelo desolado. Son suelos localizados en las zonas más áridas del norte del país. Su vegetación típica es el matorral o pastizal. En ocasiones presentan capas de cal, yeso y sales en la superficie o en alguna parte del subsuelo. La capa superficial de los Yermosoles es aún más pobre en humus. Su símbolo es (Y).

### **1.2.5 Metales Pesados**

Los elementos que tienen una densidad mayor de  $5 \text{ g/cm}^3$  en su forma elemental son denominados metales pesados. Estos incluyen 38 elementos, pero por lo general son 12 los más comúnmente utilizados y descargados al medio ambiente como residuos: Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn y Zn (USEPA, 1997). En las zonas mineras del país, los elementos contaminantes que se encuentran con más frecuencia son arsénico y plomo, así como el cadmio en alguna de ellas (SEMARNAT, 2004).

Los metales pesados que se encuentran presentes en el medio ambiente con el cual estamos en constante contacto, pueden originarse de manera natural o ser de origen antropogénico. Proviene naturalmente cuando el contenido de metales se atribuye a la composición de los distintos minerales presentes en el suelo. En cuanto, a los metales de origen antropogénico por lo general son el resultado de las actividades industriales, mineras y agrícolas. (Díaz, 2001).

---

En la Tabla 1, se muestran las diferentes fuentes de contaminación de metales pesados y el porcentaje de contribución. Se puede observar que la descarga de metales procedentes de la expulsión de gases y partículas en los procesos de combustión y de la deposición de residuos urbanos e industriales son actividades con mayor riesgo ambiental (Díaz, 2001).

**Tabla 1. Contribución en Porcentajes de Fuentes de Contaminación.**

<b>Fuente</b>	<b>Contribución (%)</b>
Ceniza de Combustión	74
Desechos Urbanos	9
Turba	6
Residuos Metalúrgicos	6
Residuos de Materia Orgánica	3
Fertilizantes	<2
Otros (Residuos Alimentarios, Agrícolas, Maderas, etc.)	<1

Fuente: Díaz, (2001). *Desarrollo de un sistema integrado para la monitorización 'inSitu' de metales pesados*. Tesis doctoral.

---

De manera general, los metales pesados que se encuentran en el suelo, tienen la posibilidad de seguir cuatro diferentes vías (García y Dorronsoro, 2005):

- 1- Quedar retenidos en el suelo.
- 2- Pueden llegar a ser absorbidos por las plantas y de esa manera llegar a las cadenas alimenticias.
- 3- Pueden, por volatilización, pasar a la atmósfera.
- 4- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

### **1.2.6 Contaminación del Suelo por Metales Pesados**

El suelo es uno de los elementos más involucrado en los procesos de la contaminación, que constituye el medio ambiente, ya que actúa como sumidero y, a la vez como una fuente de contaminante importante (Zhu y Alva, 1993).

Las características del suelo realizan un papel de suma importancia reduciendo o aumentando la toxicidad de los metales presentes en el mismo. Colombo y colaboradores (1998) describieron que la distribución de los metales pesados en los perfiles del suelo, así como su disponibilidad se encuentra controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y características de los suelos.

Los metales pesados reunidos en el suelo pueden llegar a provocar de manera extrema la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por medio de escurrimientos y lixiviación (Han y colaboradores, 2000). Las plantas asimilan fácilmente elementos como Cd, Pb, Cu, Ni y Zn. Algunos de estos elementos representan una destacada amenaza en la salud y el medio ambiente, debido a su alta toxicidad y acumulación en la cadena alimenticia. (Orroño, 2002).

---

En cuanto a las excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar en la calidad de los alimentos, la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, debido a que estos se dispersan a través de la cadena alimenticia iniciando por el consumo de plantas por los animales y/o por humanos (Gulson y colaboradores, 1996).

Algunas acciones del hombre, así como desastres naturales, influyen negativamente alterando el equilibrio ecológico y causan al suelo daño, que por lo general son irreversibles.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de los procesos edáficos y de la composición proveniente de la meteorización del material original (roca), que genera al suelo. Pero la actividad humana, en cierta forma, contribuye incrementando en cantidades considerables el contenido de estos metales, llegando frecuentemente a niveles tóxicos.

Existen dos tipos de procedencia de los metales pesados:

- a) Origen Natural: Al meteorizarse el macizo rocoso, los metales pesados se concentran en el suelo. Éstas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas, ya que puede encontrarse acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos, para los individuos que la consumen.

Las rocas ígneas ultrabásicas (peridotitas, serpentinas) presentan los más altos contenidos en metales pesados, seguidas de las ígneas básicas (gabros, basaltos). Las menores concentraciones se encuentran en las rocas ígneas ácidas (granito) y en las sedimentarias (areniscas, calizas). Los porcentajes más altos se dan para el Cr, Mn y Ni, mientras que el Co, Cu, Zn y Pb se presentan en menores cantidades, siendo mínimos los contenidos para el As, Cd y Hg.

En los suelos, los elementos más abundantes son el Mn, Cr, Zn, Ni y Pb (1-1 500 mg/kg; el Mn puede llegar a 10 000 mg/kg). En menores concentraciones se encuentran el Co, Cu y As (0,1-250 mg/kg) y con mínimos porcentajes el Cd y Hg (0,01-2 mg/kg), según Bowen (1979).

García y Dorronsoro (2005), resumen la composición de metales pesados de diferentes entes naturales en la Tabla 2, mostrando la concentración natural de metales en diversos compartimentos ambientales.

**Tabla 2. Concentración natural de metales en diversos compartimentos ambientales (concentraciones en mg/kg)**

Elemento	Granitos	Basalto	Esquistos	Caliza	Arenisca	Suelos
Ag	0,04	0,1	0,07	0,12	0,25	0,05
Al	7,7	8,8	8,8	9	4,3	7,1
As	1,5	1,5	13	1	1	6
Cd	0,09	0,13	0,22	0,028	0,05	0,35
Co	1,0	35	19	0,1	0,3	8
Cr	4	90	90	11	35	70
Cu	13	90	39	5,5	30	30
Fe	2,7	5,6	4,8	1,7	2,9	4
Hg	0,08	0,012	0,012	0,18	0,29	0,06
Mn	400	1500	850	620	460	1000
Mo	2	1	2,6	0,16	0,2	1,2
Ni	0,5	150	68	7	9	50
Pb	24	3	23	5,7	10	35
Se	0,05	0,05	0,3	0,03	0,01	0,4
Sn	3,5	1	6	0,5	0,5	4
Zn	52	100	120	20	30	90

---

b) Origen Antropogénico: En muchas ocasiones el contenido y la movilidad de los metales pesados en suelos se incrementa por causas no naturales, siendo la más frecuente, la actividad humana.

Las actividades que provocan una modificación del contenido natural de metales pesados en el suelo, son muy variadas: vertidos industriales, vertidos procedentes de actividades mineras, aplicación de productos químicos agrícolas y lodos residuales, gases de combustión, emisión de partículas del tráfico vehicular y por último, aunque no menos importante, los residuos sólidos de origen doméstico.

### **1.2.7 Cadmio**

El cadmio fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer como una impureza en el carbonato de zinc. Este elemento tiene como símbolo Cd. Es un elemento metálico, de color blanco brillante, dúctil, maleable y resistente a la corrosión (Pérez y Azcona, 2012).

Este metal se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre en una concentración promedio de 0,1 mg/kg; en las rocas sedimentarias las concentraciones son más elevadas. La erosión, como condición ambiental, causa el transporte de grandes cantidades de cadmio a los océanos, cuyo contenido de este metal es alrededor de 0,1 µg/kg, pudiendo llegar a contener concentraciones elevadas si las áreas de actividad humana se encuentran cerca (Pérez y Azcona, 2012).

Uno de los mayores agentes tóxicos asociados a la contaminación ambiental e industrial es el cadmio, reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico (Ramírez, 2002):

- 1- Bioacumulación,
- 2- Persistencia en el medio ambiente,
- 3- Viaja grandes distancias con el viento y en el agua y
- 4- Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.

---

Debido a que el cadmio es un elemento relativamente raro en la corteza terrestre. Por afinidad química, se encuentra junto al zinc, en proporción muy variable. El tiempo de permanencia del cadmio en suelos es de hasta 300 años y el 90% permanece sin transformarse (La Dou, 1999).

Las principales fuentes de emisión de cadmio en México son baterías recargables de níquel/cadmio (Ni/Cd), fertilizantes, pigmentos y estabilizadores en platico y PVC, pigmentos en pinturas, galvanización, catalizadores y conservadores en la industria del plástico, elaboración de pinturas y aleaciones (SEMARNAT, 2009).

Los principales usos y aplicaciones del cadmio o sus compuestos son, pigmentos en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, tintas de impresión, caucho, lacas. En aleaciones con cobre, aluminio y plata, en la producción de pilas de cadmio – níquel, como estabilizador de termoplásticos, como el PVC, en fotografía, litografía y procesos de grabado. Como endurecedor de ruedas y llantas de automóvil, en fabricación de controles de reactores nucleares (Ramírez, 2002).

La alimentación y el tabaco constituyen las dos fuentes principales de exposición. Los fumadores pueden absorber cantidades comparables a la ingestión diaria normal con la dieta, inhalan 0,1 a 0,2  $\mu\text{g}$  de Cd por cigarrillo, con una absorción aproximada del 50%. Este grupo de fumadores es especial cuando se investiga exposición a cadmio (Levy y Wegman, 1998).

El cadmio entra en la alimentación humana con los vegetales y productos animales. Este elemento se fija a las plantas más rápidamente que el plomo. Los frutos y semillas contienen menos cadmio que las hojas, el pescado, los crustáceos, el riñón e hígado de animales acumulan cadmio en grano relativamente elevado (Kjellstrom y Nordberg, 1985).

El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños (Valdés y Cabrera, 1999).

---

La intoxicación por cadmio se manifiesta por una variedad de patologías que incluyen: disfunción y lesión renal, hipertensión, daños pulmonares, lesiones óseas, disfunciones sexuales, carcinogénesis, muta génesis y teratogénesis (López y Repetto, 1995).

En la ciudad de Toyama, en Japón, ocurrió un brote epidémico de intoxicación (síndrome de Itai-Itai), ocasionado por la ingestión de arroz contaminado con cadmio, el cual era irrigado con agua contaminada por jales mineros. Las personas afectadas, principalmente mujeres post-menopáusicas, sufrieron deformación de los huesos, acompañada de intenso dolor y fracturas (SEMARNAT, 2009).

### **1.2.8 Plomo**

El plomo es un metal pesado no esencial ya conocido en Egipto al menos 4.000 años antes de Cristo. Tiene como símbolo Pb. En el suelo de terrenos no alterados por actividad humana se han encontrado de 8 a 20 mg Pb/Kg, mientras que en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg Pb/kg y cerca de fuentes de contaminación industrial, se han alcanzado contenidos de 10 g Pb/Kg o más (Rubio y colaboradores, 2004).

La contaminación por metales pesados en el suelo puede llegar a persistir cientos y miles de años, aún después de que su incorporación se haya detenido. En el caso de metales como el cadmio puede tener una vida media en el suelo de 15 a 1100 años; el tiempo de vida media para el plomo es de 740 a 5900 años y sus concentraciones están influenciadas por el tipo de suelo y la movilidad relativa en función de las características físico químicas del suelo, el clima y la topografía (Dantu, 2009).

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

---

El plomo tiene la capacidad de bioacumularse por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria (Halliwell y Colaboradores, 2000). El plomo puede penetrar en el organismo por tres vías: respiratoria, digestiva y cutánea, siendo ésta última de escasa entidad (ATSDR, 1993).

El plomo es un metal muy usado en la industria, como puede ser en la fabricación de pigmentos, recubrimientos, recipientes, pilas eléctricas, incluso algunos licores. Además, el plomo tiene hoy en día numerosas aplicaciones en metalurgia (munición de armas, metal para cojinetes, cobertura de cables, compuestos de calafateo, plomo laminado, soldaduras, pigmentos, vidriado de cerámica y ciertos tipos de cristal) (Viarengo, 1985).

Los efectos tóxicos del plomo fueron descritos hace más de 2000 años por Nicander, un poeta griego quien escribió sobre una enfermedad conocida como plumbismo, causada por una intoxicación aguda por plomo. Posteriormente a la intoxicación por plomo se le llamo saturnismo (Rubio y colaboradores, 2004).

La intoxicación aguda se presenta acompañada de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas, convulsión y coma. En tanto que la intoxicación crónica puede involucrar neuropatías, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteraciones del comportamiento, parestesias, alteraciones renales, aminoaciduria, hiperfosfaturia, glucosuria, nefritis crónica, encefalopatía, irritabilidad, temblor, alucinaciones con pérdida de memoria, cólicos, alteraciones hepáticas, entre otros. No obstante todo lo anterior, la intoxicación con plomo es prevenible (SEMARNAT, 2009).

---

### 1.2.9 Vanadio

Se le atribuye el descubrimiento del Vanadio (V) al químico sueco Neil Sefstrom (1831). Este elemento se encuentra de manera natural en suelo y agua, ocupa el puesto 22 de abundancia en la corteza terrestre, con una concentración media de 150 mg/kg. Formando parte de aproximadamente 152 minerales diferentes (El-Moselhy, 2006).

Es un elemento químico de número atómico 23, situado en el Grupo V, de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es V. Es un metal gris plateado, dúctil, blando. Tiene la configuración electrónica  $3d^3 4s^2$ . Los principales estados de oxidación son: +2, +3, +4 y +5, que se encuentran en forma de VO,  $V_2O_3$ ,  $VO_2$  y  $V_2O_5$ . Siendo la forma más predominante la del V (+5).

El contenido de vanadio en los suelos, se determina principalmente por su material de origen geológico, sin embargo, las emisiones antropogénicas, pueden llegar a aumentar las concentraciones del vanadio en el suelo.

Se encuentra también naturalmente en los combustibles derivados del petróleo y el carbón, los combustibles crudos contienen trazas detectables de vanadio (desde menos de 1 a 1600 mg V/kg) y las cenizas de la combustión del petróleo contienen más de un 80% de  $V_2O_5$ . (Wennig R. y Kirsch N, 1988).

Para los humanos la principal fuente de exposición al vanadio es la contaminación atmosférica producida principalmente por la quema de combustibles (Gómez y colaboradores, 2004).

Las grandes ciudades pueden tener anualmente en promedio niveles de vanadio en el aire del orden de 20 a 100 ng/m<sup>3</sup> con mayores concentraciones en los meses invernales, si utilizan el carbón como combustible para calefacción. Las emisiones de vanadio a la atmósfera se producen también en lugares próximos a las industrias siderúrgicas y refinerías de petróleo. Se estima que se liberan anualmente al medio ambiente cerca de 65000 ton de V

---

de las cuales un 90% se originan por la combustión de petróleo y carbón y en la industria siderúrgica (WHO, 1988).

El pentóxido de vanadio ( $V_2O_5$ ) se utiliza principalmente en la fabricación de acero y en menor cantidad en la fabricación de plásticos, cerámica, caucho y otros productos químicos (WHO, 2000).

El vanadio se encuentra en pequeñas cantidades en la pimienta, los huevos, los aceites vegetales, los cereales, la carne bovina, los peces, las aves, los mariscos, las setas, el perejil, entre otras. En la actualidad se considera como un micronutriente esencial y se ha demostrado que su carencia puede provocar alteraciones en la absorción y la degradación de los carbohidratos y lípidos, el deterioro óseo, la disminución en la producción de leche materna, abortos espontáneos y problemas psicológicos (Contreras-Cadena y colaboradores, 2014).

Se ha usado el vanadio como agente mimético de la insulina, se ha estudiado como factor que disminuye los niveles séricos de glucosa, como antihipertensivo y como anticancerígeno. Se ha empleado para mejorar el rendimiento atlético. La toxicidad del vanadio ha sido documentada en animales y humanos. Se ha comprobado el efecto del vanadio sobre estructuras óseas (dientes) (Ruiz, 2007).

Dentro de los efectos adversos a la salud, la exposición al vanadio causa trastornos respiratorios, cardiovasculares, neurológicos y hematológicos. En algunos animales expuestos se observaron lesiones leves de hígado y riñones (ATSDR, 1995).

---

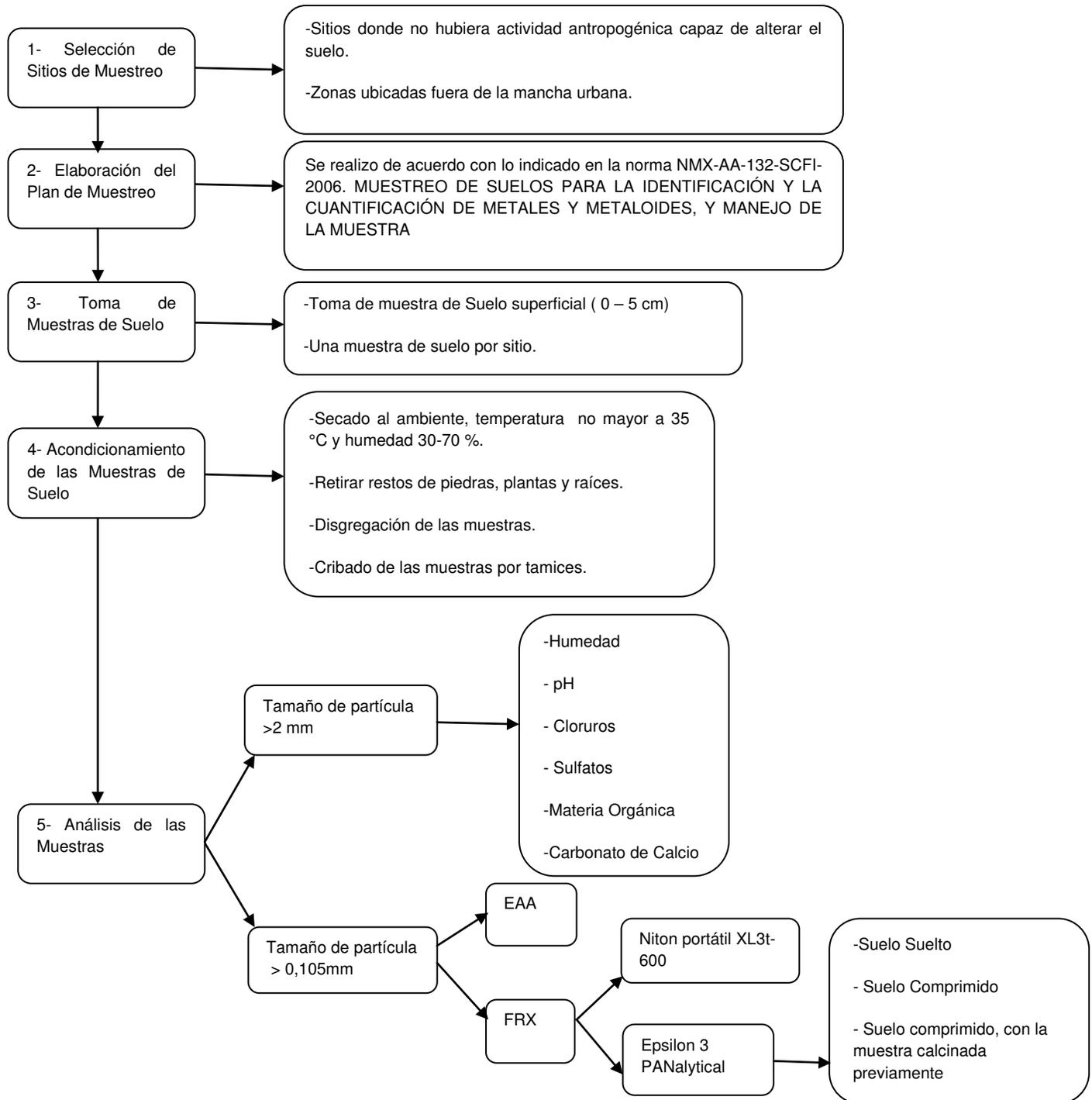
### **1.2.10 Legislación Ambiental Mexicana en materia de contaminación de suelos**

Los problemas de contaminación ambiental de origen antropogénico surgen por el resultado de las actividades del hombre, por lo que es necesario contrarrestar este grave problema, orientando a la sociedad a evitar la alteración del medio ambiente con sustancias o productos en un efecto negativo. Pretendiendo lograr este objetivo con la promulgación de leyes y normas que regulen la calidad del ambiente y sancionar al culpable de ocasionar daños negativos al medio ambiente.

En el Apéndice A se incluyen las Leyes y Normas Mexicanas sobre el tema.

## 2. Metodología

En la Figura 2 se muestran las actividades realizadas en el proyecto.



**Figura 2. Diagrama de flujo de las actividades realizadas en esta investigación.**

---

## 2.1 Selección de Sitios de Muestreo

Para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo se comenzó por elaborar un plan de acción, que se dividió en dos etapas. La primera se lleva a cabo en el campo, ejecutando el muestreo en los sitios seleccionados. Los puntos de muestreo se ubicaron de acuerdo a las vías de comunicación (carreteras, terracerías, etc.) y la factibilidad de acceso al sitio. Se obtuvieron las muestras de suelo en municipios aledaños, alrededor de la mancha poblacional del Área Metropolitana de Monterrey (AAM) y en sitios hacia el sur y este del estado de Nuevo León. La segunda etapa fue llevada a cabo en el Laboratorio del Departamento de Ingeniería Ambiental y en el Laboratorio de Materiales, del Instituto de Ingeniería Civil, UANL, en donde las muestras de suelo se analizaron por Fluorescencia de Rayos X (FRX), colaborando también el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas UANL donde se analizaron por espectroscopía de absorción atómica.

Para la realización de la primera etapa del presente trabajo, se tomaron en cuenta los siguientes criterios para el muestreo.

- Como ruta de muestreo, se eligieron las diferentes vías de comunicación como son carreteras federales, estatales y de terracería, para poder acceder a los sitios.
- Se buscaron sitios en donde no hubiera actividad antropogénica que pueda cambiar o alterar la concentración de metales pesados.
- La distancia entre cada punto de muestreo fue de aproximadamente 20 km, según las vías de comunicación, esto para poder abarcar una buena zona y obtener resultados de diferentes tipo de suelo para poder realizar una comparación con los valores que presenta la normatividad mexicana.
- Cada muestra fue tomada a más de 30 metros alejada de las vías de comunicación, dependiendo de la factibilidad del terreno; esto para evitar tomar muestras posiblemente alteradas al momento de la construcción de las vías de comunicación.

---

La toma de muestras se realizó superficialmente a una profundidad de 0 a 5 centímetros y de manera aleatoria tomando en cuenta que la NMX-AA-132-SCFI-2006 indica estos parámetros para los muestreos de Fondo.

Las muestras de suelo se dividieron en grupos, según la ruta de las vías de comunicación en los que se tomó cada muestra, con la finalidad de llevar un orden en el presente estudio, como se presenta a continuación:

- Grupo 1; Santiago – Linares: M-1, M-2, M-3, M-4, M-5 y M-6.
- Grupo 2; Linares – Galeana: M-7, M-8, M-9 y M-10.
- Grupo 3; García: M-11, M-12 y M-13.
- Grupo 4; Mina – Cadereyta: M-14, M-15, M-16, M-17, M-18, M-19 y M-20.
- Grupo 5; Cadereyta – China: M-21, M-22, M-23, M-24 y M-25.

## **2.2 Elaboración del Plan de Muestreo**

Para la elaboración del Plan de Muestreo de Suelo se realizaron de acuerdo con lo indicado en la NMX-AA-132-SCFI-2006, que establece las especificaciones para la obtención y el manejo de muestras.

El Plan de Muestreo de suelos, es un programa que organiza y reúne la información necesaria para definir las medidas a realizar durante el proceso de muestreo, detallando los criterios para la toma de muestra:

- a) Selección del tipo de muestreo que se realizara
- b) Propósito del muestreo, así como la selección de los parámetros a determinar tanto en campo como en laboratorio.
- c) Ubicación de los sitios muestreados seleccionados, utilizando Google Earth para obtener imágenes digitales.

- 
- d) La selección del punto de muestreo apoyado de las vías de acceso, para poder llegar al sitio.
  - e) La selección de la profundidad del muestreo.
  - f) Tipo de equipo necesario para realizar el muestreo, así como recipientes, etiquetas y registro de las muestras.
  - g) La toma de fotografías de los muestreos, para contar con evidencias de cada punto muestreado.
  - h) El uso del GPS para la obtención de coordenadas de cada punto de muestreo.
  - i) La cadena de custodia de las muestras.

### **2.3 Toma de Muestras de Suelo**

Se consultó la norma NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y manejo de la Muestra, utilizándose para desarrollar el proceso de la toma de muestras de suelo.

Las muestras de suelo se tomaron en municipios aledaños del AMM, con el fin de obtener muestras de fondo total representativas en suelos prístinos.

El material y equipo para la recopilación de las muestras de suelo fue:

- a) Cucharones de plástico o pala 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) Se utilizó GPS para ubicar los puntos de muestreo seleccionados en cada sitio.

Para la toma de muestra de cada sitio, se buscaron sitios en los que la posibilidad de haber sido afectados por actividades antropogénicas fuera mínima, para esto se buscaban puntos cerrados por la vegetación.

En ocasiones no fue posible tomar una muestra cada 20 kilómetros como se estableció anteriormente, ya que nos encontramos con sitios a los que no era posible llegar a tener acceso por que eran privados, lugares muy cerrados a causa de la vegetación o en otras ocasiones localidades que fueron rellenados por diferente material y de la misma manera utilizados como un basurero, por lo que la distancia, en esos casos en particular, de la toma de muestras fue variable.

El muestreo se realizó tomando una cantidad suficiente de material, superior a 500 g de muestra, para después del tamizado disponer con suficiente muestra para realizar los análisis necesarios.

La muestra fue colectada con la ayuda de un cucharón o pala, cuidando la limpieza del material antes y después del muestreo para evitar posible contaminación de la porción colectada.

Para tomar las muestras de suelo fue necesario el uso de guantes de plástico, ya que se retiraba material de mayor tamaño a los 2 mm y de la misma manera raíces y hojas. Se tomaron fotografías del sitio de muestro para tener evidencias del punto seleccionado de la toma de muestras de suelo. Las bolsas en las que se depositaron las muestras fueron debidamente etiquetadas con la clave, hora y fecha de muestreo correspondiente, de igual manera se

---

llevó registro en una bitácora de campo en la que también se especificó las coordenadas proporcionadas por el GPS para cada punto de muestreo.

El muestreo realizado fue superficial, con una profundidad máxima a los 5 centímetros, tomando una muestra simple de manera aleatoria en cada sitio. Este tipo de muestreo se encuentra establecido en la norma NMX-AA-132-SCFI-2006.

#### **2.4 Acondicionamiento de las Muestras de Suelo**

El acondicionamiento o preparación de las muestras de suelo es tan importante como el muestreo y análisis, ya que se debe de evitar en todo momento la contaminación de las mismas. En este proceso se incluye la recepción, el registro, secado, cribado, homogeneizado y cuarteo, y el almacenamiento de las muestras.

Al llegar las muestras al laboratorio, fueron registradas con la clave de identificación de campo marcada en la etiqueta de cada muestra. Después, se realizó el secado de las muestras al ambiente, extendiéndose sobre charolas de plástico, en condiciones de sombra, una humedad de entre 30 y 70% y a una temperatura no mayor a los 35° C.

Una vez secadas las muestras, se procedió a retirar las piedras y los restos de las plantas, para pasarse a realizar el proceso de tamizado. El primer tamaño de partícula tomado fue el que paso la malla 10, al cual le corresponde un tamaño de partícula menor a los 2 mm, siendo esta fracción conveniente según la norma para los análisis requeridos.

Las muestras de suelo se tamizaron, las fracciones colectadas corresponden a las siguientes mallas: 10 (2mm), 20 (0,840mm), 40 (0,420 mm), 60 (0,250 mm), 100 (0,149 mm) y 140 (0,105 mm).

---

Una vez tamizadas las muestras de suelo, cada fracción se colocó en una bolsa etiquetándose adecuadamente, posteriormente las muestras fueron pesadas y se registró su peso en la bitácora

En la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, se indica en uno de sus apartados que para realizar los análisis químicos a las muestras de suelo, se debe de utilizar la fracción correspondiente a un tamaño de partícula menor a 2 mm.

Cabe señalar que para cumplir con uno de los principales propósitos de esta investigación, que es determinar la correlación de los métodos instrumentales de EAA y FRX para la determinación de vanadio se utilizó la fracción de partícula de menos tamaño, es decir menor a 0,105 mm.

Las muestras fueron almacenadas cuidadosamente, evitando exponerlas a condiciones de luz solar y los análisis se realizaron en un tiempo no mayor a 30 días como recomienda la normatividad.

## **2.5 Análisis de las Muestras**

Siguiendo las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, a la fracción de tamaño menor a 2 mm, se les realizaron análisis complementarios volumétricos de cloruros y sulfatos además de humedad, pH al extracto de suelo, y mediante calcinación de la muestra se determinó materia orgánica y carbonatos, éstos análisis realizados para la caracterización de las muestras de suelo estudiadas y reducción de interferencias que pudieran ocasionar al momento de analizar por medio de FRX.

Los análisis de cloruros, sulfatos, pH, humedad, materia orgánica y carbonatos se realizaron con un tamaño de partícula menor a los 2 mm.

Los métodos de análisis realizados a las muestras de suelo, se describen a continuación:

---

### **2.5.1 Determinación de Cloruros**

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

### **2.5.2 Determinación de Sulfatos**

El análisis de determinación de sulfatos se desarrolló, de acuerdo a la norma NOM-021-SEMARNAT-2000, utilizando el método turbidimétrico. Se tomó un extracto de 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, utilizando una celda de 5 cm de paso de luz, a una longitud de onda de 420 nm.

### **2.5.3 Determinación de Humedad**

Para determinar la humedad del suelo se llevó a cabo el método proveniente de la norma NOM-021-SEMARNAT-2000, utilizando el proceso gravimétrico, en el cual se calculó la pérdida de peso de la muestra del suelo húmedo y seco, a 105 °C en un periodo de 24 horas. La diferencia de peso se reportó como porcentaje de humedad.

---

#### **2.5.4 Determinación de pH**

Para la determinación del valor de pH de las muestras de suelo, se siguió el procedimiento del método USEPA 9045 (2000), especificando la medición de pH para suelos calcáreos, con una relación de 1:2 (suelo: agua), adicionando solución 0,01 M de CaCl<sub>2</sub> y agitando durante 30 minutos. Posteriormente se dejó reposar durante 1 hora, permitiendo que se sedimentaran las partículas del suelo y a continuación se utilizó un potenciómetro con su electrodo, el cual se calibro en estándares de pH antes de la determinación del valor de pH.

#### **2.5.5 Pérdida por Calcinación**

Este proceso de pérdida por calcinación (o ignición) se utilizó para determinar el porcentaje de la materia orgánica y carbonatos, tomando una porción de la muestra de suelo de un tamaño de partícula menor a 2 mm.

El método de pérdida por ignición resulta un método económico, dado que no se utilizan reactivos químicos y requiere poco tiempo de trabajo para su realización. Este método resulta razonablemente preciso en la estimación de MO del suelo si se consideran precauciones para evitar errores por higroscopicidad y contenido de sales (Rosell y colaboradores, 2001).

##### **2.5.5.1 Materia Orgánica**

En el análisis de la materia orgánica de las muestras de suelo se llevó el material de la muestra a peso constante, fue calcinado a 550°C durante una hora, enfriado en un desecador y pesado nuevamente, la diferencia de peso se empleó para calcular el porcentaje de material perdido por ignición (Dean, 1974).

Las propiedades de la materia orgánica del suelo son influenciadas por el clima, la topografía, el material parental, la vegetación y el tiempo (Jenny, 1961).

---

### **2.5.5.2 Carbonatos**

Para la determinación de carbonatos por pérdida de ignición se llevó el crisol de porcelana a peso constante, posteriormente se le añadió un poco de muestra de suelo y se pesó el contenido llevado a la mufla y calcinado a 950 °C durante una hora, se realizó el pesado nuevamente y con la diferencia de peso se calculó el porcentaje de material perdido por calcinación.

### **2.5.6 Determinación de Concentración de fondo total**

Para realizar la determinación de fondo total se realizaron análisis a las muestras de suelo, a un tamaño de partícula < 0,105 mm con Fluorescencia de Rayos X (FRX) analizándose los tres elementos seleccionados cadmio, plomo y vanadio, empleando dos equipos NITON portátil y EPSILON, en este último se analizó la muestra en distintas formas como: suelo suelto, suelo comprimido (pastilla) y suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla).

Para la técnica de espectroscopía de absorción atómica (EAA), el tamaño de partícula empleado fue menor a 0.105 mm, analizándose solamente el vanadio, los resultados obtenidos por dichas técnicas se compararon entre sí.

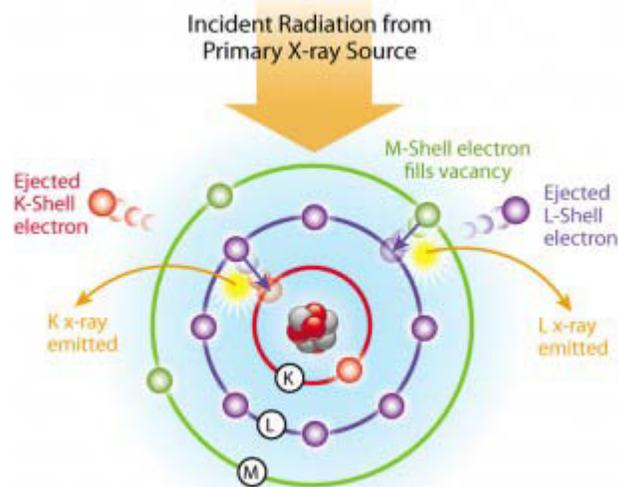
#### **2.5.6.1 Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (FRX)**

En los últimos años se han desarrollado técnicas de análisis que nos permiten llevar a cabo el estudio de muestras complejas de una manera eficiente en periodos de tiempo muy cortos. Una de ellas es la Fluorescencia de rayos X.

FRX es un método de análisis no destructivo para determinaciones de composición elemental tanto cuantitativas como cualitativas. Aplica a sólidos, líquidos y polvos. El rango elementos detectables cubre desde el sodio (Na) al uranio (U) y el intervalo de concentración en porcentaje a partes por millón (Wiley y Sons, 2000).

---

La fluorescencia de rayos X es una técnica de espectroscopía atómica. Esta se basa 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, el cual pasa de un estado basal (estable) a otro de mayor energía (inestable) de lo que resultan transiciones en diferentes estados energéticos en el átomo, los cuales son únicos para cada átomo en particular. Esta característica se utiliza para la identificación de los analitos o compuestos que queremos analizar, por lo que es de gran utilidad en el análisis cualitativo.



**Figura 3. Operación de la técnica de FRX (Manual de operación del equipo portátil Niton XL3t-600).**

Los equipos de Fluorescencia de rayos X portátiles continúan ganando aceptación como complemento a las pruebas de laboratorio tradicionales para análisis de metales en suelos. Este tipo de análisis resultan menos costosos ya que no consumen tiempos ni reactivos (Anger y colaboradores, 2011).

La metodología empleando equipos portátiles de FRX ha sido aceptada por la comunidad medioambiental como una técnica viable para el análisis de una variedad de materiales tóxicos y muestras ambientales (suelo, agua, polvos, etc).

---

Es una técnica no destructiva, a sus beneficios se agrega que los análisis confirmatorios pueden realizarse a la misma muestra que se analizó en el sitio, aunque esta técnica es menos sensible que los métodos de laboratorio, los resultados son suficientes para conocer el nivel de acción que el sitio requiere en la mayoría de las situaciones (Melquiades & Appoloni, 2004).

Se ha demostrado que la técnica de Fluorescencia de rayos X portátil proporciona análisis fiables y efectivos para análisis ambientales, dando énfasis al análisis in situ de metales traza. Este método fue usado exitosamente por el equipo de respuesta ambiental de la USEPA/ERT (United States Environmental Protection Agency/ Environmental Response Team) en el análisis en el sitio, de metales contaminantes en suelos y sedimentos para programas de remoción y evaluación (Kalnicky y Singhvi, 2001).

Se realizó análisis esta técnica a través de dos diferentes equipos, para la determinación de las concentraciones de cadmio, plomo y vanadio totales, en un equipo portátil Niton XL3t-600 y otro equipo fijo Epsilon-3 PANalytical, se analizaron las 25 muestras de suelo con un tamaño de partícula menor a 0,105 mm, se utilizó este tamaño de partícula debido a que se presentaron las mayores concentraciones en éstas, en estudios previos realizados en el Departamento de Ingeniería Ambiental, UANL.

Para la determinación de metales en las muestras con tamaño de partícula <0,105, se utilizó un equipo portátil de fluorescencia de rayos X, marca NITON XL3t-600, para el análisis se realizaron tres lecturas a cada una de las muestras de suelo con la finalidad de observar la variación entre una lectura y otra, para finalmente obtener un promedio de las lecturas.

El método de análisis se basa en utilizar una fuente de radiación producida por un tubo de rayos X, la cual permite que los átomos presentes en la muestra analizada sean excitados de manera que los electrones de las capas internas pasan a niveles de energía superiores. Los electrones de otras capas externas, minimizan su energía ocupando los huecos de los electrones, de forma que la

---

energía asociada a dichas transiciones hace que se emita energía en forma de fotones. A estas emisiones se les llama radiación secundaria o emisiones de fluorescencia, las cuales son características de los átomos que las generan y dependen de la concentración de los átomos en la muestra, formando un espectro de dispersión de energía, donde aparecen en forma simultánea todas las líneas asociadas a los elementos químicos presentes.

Las muestras también fueron analizadas con un equipo de fluorescencia de Rayos X marca Epsilon 3 de PANalytical, que es un equipo de dispersión de energía, con un tamaño de partícula <0,105 mm. Las muestras medidas se analizaron en forma de:

- a) Suelo suelto,
- b) Suelo comprimido (pastilla) y
- c) Suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente. (pastilla)

#### **2.5.6.1.1 Características de Equipos**

Para el análisis de Vanadio, Plomo y Cadmio en las muestras de suelo se utilizaron los equipos:

El espectrómetro de Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva Modelo Epsilon 3 de la marca Panalytical, el cual tiene un rango de análisis elemental desde el sodio hasta el uranio y el rango de concentración puede ser medido en partes por millón o porcentaje. El equipo consta de un Tubo de rayos X de tipo metal-cerámico, los materiales del ánodo son Rodio, Plata, Molibdeno. Voltaje: 50 kV, corriente: 1 mA, max. 9W, y consta de seis filtros seleccionables mediante el software, con un detector SDD (Silicon drift detector).

El analizador portátil de Fluorescencia de rayos X, modelo Niton XL3t de la marca Thermo Scientific, basado en un tubo de rayos X, con un intervalo analítico de 25 elementos (desde el azufre hasta el uranio), el material del ánodo es oro. Fuente de rayos X de 50 kV y 2 W con múltiples filtros. Cuenta

---

con un detector de material semiconductor de alto rendimiento. Funciona con baterías de ión Litio de 4 celdas (o 6 celdas), tienen un peso de 1.3 kg.

### **2.5.6.2 Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA)**

Básicamente la espectroscopía de absorción atómica (EAA) consiste en medir absorción de energía de un haz de radiación electromagnética en el rango ultravioleta-visible transmitido a través de la muestra previamente atomizada generalmente por una llama, de modo que los electrones de los átomos pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad específica de energía proporcionada por el haz incidente (Skoog y colaboradores, 2001).

El fundamento de la técnica se basa en que el átomo consiste de un núcleo y de un número determinado de electrones que llenan ciertos niveles cuánticos. La configuración electrónica más estable de un átomo corresponde a la de menor contenido energético conocido como “estado fundamental”.

Si un átomo que se encuentra en un estado fundamental absorbe una determinada energía, éste experimenta una transición hacia un estado particular de mayor energía. Como este estado es inestable, el átomo regresa a su configuración inicial, emitiendo una radiación de una determinada frecuencia.

La frecuencia de la energía radiante emitida corresponde a la diferencia de energía entre el estado excitado ( $E_1$ ) y el estado fundamental ( $E_0$ ) como se encuentra descrito en la ecuación de Planck:

$$E = E_1 - E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$h$  constante de Planck

$\nu$  frecuencia

$c$  velocidad de la luz

$\lambda$  longitud de onda

---

Según la teoría atómica, el átomo puede alcanzar diferentes estados ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ , ...) y de cada uno de ellos emitir una radiación ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...) característica, obteniéndose así un espectro atómico, caracterizado por presentar un gran número de líneas discretas. En absorción atómica es relevante solamente aquella longitud de onda correspondiente a una transición entre el estado fundamental de un átomo y el primer estado excitado y se conoce como longitud de onda de resonancia.

De la ecuación de Planck, se tiene que un átomo podrá absorber solamente radiación de una longitud de onda (frecuencia) específica. En absorción atómica interesa medir la absorción de esta radiación de resonancia al hacerla pasar a través de una población de átomos libres en estado fundamental. Estos absorberán parte de la radiación en forma proporcional a su concentración atómica.

Como la trayectoria de la radiación permanece constante y el coeficiente de absorción es característico para cada elemento, la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbentes.

La EAA constituye una de las técnicas más empleadas para la determinación de más de 60 elementos, principalmente en el rango de  $\mu\text{g/ml}$ - $\text{ng/ml}$  en una gran variedad de muestras. Entre algunas de sus múltiples aplicaciones tenemos el análisis de: aguas, muestras geológicas, muestras orgánicas, metales y aleaciones, petróleo y sus subproductos; y de amplia gama de muestras de industrias químicas y farmacéuticas.

Se analizaron las muestras de suelo recopiladas a una fracción  $< 0,105$  mm por la técnica de espectroscopia de absorción atómica, para obtener las concentraciones de vanadio, ya que los resultados reportados en la técnica de FRX en algunas muestras se presentó a niveles superiores al límite permisible, a diferencia de el cadmio que no se reportaron valores y para el plomo los valores se encuentra dentro del límite máximo permisible establecido por la normativa mexicana.

---

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 espectroscopia de absorción atómica, utilizando el método proveniente de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

## 2.6 Correlación lineal entre la técnica de EAA y FRX

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

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

$$r = \frac{\sum Z_x Z_y}{n}$$

Dónde:

Z es cada una de las puntuaciones,

r es la correlación y

n es el número de datos.

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 3, se presenta la interpretación de los valores del coeficiente de correlación de Pearson.

**Tabla 3. Interpretación de los valores del Coeficiente De Correlación De Pearson**

Correlación de Pearson	Significado
$r=1$	Correlación Perfecta
$0,8 < r < 1$	Correlación muy Alta
$0,6 < r < 0,8$	Correlación Alta
$0,4 < r < 0,6$	Correlación Moderada
$0,2 < r < 0,4$	Correlación Baja
$0 < r < 0,2$	Correlación muy Baja
$r=0$	Correlación Nula

Al 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 coeficiente de determinación  $R^2$  es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson y expresa la cantidad de variación común entre las dos variables.

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

---

Una vez obtenidos los resultados de las concentraciones de vanadio, se procedió a realizar el análisis de la correlación de las muestras analizadas, por espectroscopía de absorción atómica EAA y por medio de fluorescencia de rayos X FRX, tanto para los resultados del equipo portátil como para los tres resultados del fijo.

En esta investigación, la variable independiente fue la técnica de EAA, debido a que nos otorga resultados que son más certeros, esto debido al tratamiento previo que se le da a la muestra. La variable dependiente fue la técnica de FRX, esto debido a que esta técnica nos otorga resultados preliminares que son puntuales.

---

## **2.7 Comparación de resultados obtenidos con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.**

Uno de los objetivos de este proyecto es comparar las concentraciones de cadmio, plomo y vanadio totales, con las concentraciones de referencia totales ( $CR_T$ ) de la norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, ya que se obtendrán las concentraciones de fondo total ( $CF_T$ ); que son los niveles naturales.

Como se menciono anteriormente, la concentración de fondo total ( $CF_T$ ), se refiere a la masa del elemento químico regulado, expresada en mg, por unidad de masa del suelo en estudio, expresada en kg, base seca, que se encuentra en un suelo de manera natural.

La norma oficial mexicana define la Concentración de referencia total ( $CR_T$ ) como la masa del elemento químico regulado, expresada en mg, por unidad de masa del suelo en estudio, expresada en kg, base seca, por encima de la cual se considera existe riesgo de que se generen efectos adversos para la salud.

La norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio. En dicha norma se presenta una tabla con las concentraciones de referencia totales, para superficies menores o iguales a  $1000 \text{ m}^2$ , en la que se establecen límites para definir a un suelo como contaminado, (Tabla 4).

**Tabla 4. Concentraciones de Referencia Totales (CRT), por tipo de uso de suelo (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004)**

Contaminante	Uso Agrícola/ Residencial/ Comercial mg/kg	Uso Industrial mg/Kg
Arsénico	22	260
Bario	5400	67000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plata	390	5100
Plomo	400	800
Selenio	390	5100
Talio	5,2	67
Vanadio	78	1000

## 2.8 Comparación de resultados obtenidos con estudios previos dentro del Área Metropolitana de Monterrey

En este apartado se comparan los resultados de las concentraciones de cadmio, plomo y vanadio del suelo obtenidas por medio de la técnica de XRF portátil NITON XL3t-600, con dos estudios previos realizados en el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil, UANL, dependiendo también de su tipo de suelo que presenta cada zona donde se recopiló la muestra de suelo.

De la Peña Cerda (2014) realizó una evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial en parques y plazas públicas en tres municipios del área metropolitana de Monterrey.

La Tabla 5, muestra los sitios en donde se realizaron las muestras de suelo en dicho estudio (parques y plazas), mostrando el tipo de suelo de la zona, así como los resultados obtenidos de la técnica FRX, realizado con un equipo portátil NITON XL3t-600, a una fracción menor de 0,105 mm.

**Tabla 5. Resultados de análisis de suelo en el AMM (parques y plazas)**

Municipio	Identificación de la Muestra	Tipo de Suelo	Nombre de la Colonia	Coordenadas UTM	Plomo (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Vanadio (mg/Kg)
San Nicolás de los Garza	M1	Feozem	Cuauhtémoc 3er Sector	370189.00 m E	85,360	No reportado	73,37
				2846639.97 m N			
San Nicolás de los Garza	M2	Feozem	Cuauhtémoc	370062.02 m E	87,610	No reportado	100,28
				2846133.01 m N			
San Nicolás de los Garza	M3	Rendzina	Balcones de Anáhuac	368109.95 m E	173,200	No reportado	94,00
				2849476.05 m N			
San Nicolás de los Garza	M4	Rendzina	Balcones de Anáhuac	368074.96 m E	58,075	No reportado	92,13
				2849638.01 m N			
San Nicolás de los Garza	M5	Feozem	Tabachines	369477.96 m E	93,375	No reportado	96,85
				2849699.96 m N			
Monterrey	M6	Feozem	Victoria	369159.01 m E	<b>394,650</b>	No reportado	99,68
				2843185.95 m N			
San Nicolás de los Garza	M7	Rendzina	Del Lago	377108.00 m E	63,150	No reportado	91,20
				2846087.99 m N			
Monterrey	M8	Feozem	Mitrás	365683.98 m E	66,650	No reportado	109,30
				2844525.02 m N			
Monterrey	M9	Fluvisol	Arroyo Seco	370703.00 m E	33,850	No reportado	142,10
				2836685.95 m N			
Monterrey	M10	Xerosol	Contry	371319.99 m E	72,900	No reportado	<b>148,95</b>
				2836728.04 m N			

Monterrey	M11	Feozem	Buenos Aires	370984.95 m E	239,000	No reportado	77,20
				2839499.01 m N			
Apodaca	M12	Rendzina	Pueblo Nuevo	382753.96 m E	32,700	No reportado	77,00
				2849759.97 m N			
Apodaca	M13	Feozem	Las Palmas	373048.02 m E	51,150	No reportado	82,20
				2851492.97 m N			
Apodaca	M14	Feozem	Bosque Real II	375275.98 m E	69,200	No reportado	<b>28,80</b>
				2851695.05 m N			
Apodaca	M15	Feozem	Metroplex	374373.99 m E	<b>18,035</b>	No reportado	36,60
				2852666.05 m N			
Apodaca	M16	Feozem	Valle las Palmas	372882.01 m E	55,075	No reportado	94,50
				2852636.02 m N			

Fuente: De la Peña Cerda (2014). Evaluación de la Concentración de Plomo y Cadmio en suelo superficial en parques y plazas públicas en tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey. Tesis de Maestría.

En la anterior tabla se puede observar el reporte de concentraciones de suelo provenientes de parques y plazas, para el plomo, con un valor mínimo de 18,035 mg/kg para la muestra M15, en la colonia Metroplex, en el municipio de Apodaca y un valor máximo de 394,65 mg/kg para la muestra M6, en la colonia Victoria del municipio de Monterrey, encontrándose dentro de los límites máximos permisibles de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Por otro lado, para las concentraciones de cadmio no se reportó resultado alguno. Así mismo, en cuanto a los valores del vanadio, presenta concentraciones que varían entre 28,8 mg/kg para la muestra M14, en la colonia Bosque Real II del municipio de Apodaca y 148,95 mg/kg para la muestra M10, en la colonia Contry del municipio de Monterrey, presentándose concentraciones que se encuentran por encima de la normativa mexicana (78 mg de V/Kg).

Por otro lado Almaguer Chávez (2011) realizó un estudio sobre la 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.

En la Tabla 6, se enumeran los sitios en donde se obtuvieron las muestras de suelo en el estudio en la periferia de empresas, observándose el tipo de suelo en el área de estudio, así como los resultados obtenidos de la técnica FRX, realizado con un equipo portátil NITON XL3t-600, a una fracción menor de 0,105 mm.

**Tabla 6. Resultados de análisis de suelo en el AMM (periferia de empresas).**

Empresa	Tipo de Suelo	Identificación de la Muestra	Coordenadas UTM	Plomo (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Vanadio (mg/Kg)
Empresa No. 1 Localizada en el Municipio de García	Xerosol	M1	14343796 m E	12682,66	No reportado	No reportado
			2849886 m N			
		M2	14343791 m E	15900	12	210
			2849868 m N			
		M3	14343812 m E	14400	16	180
			2849860 m N			
		M4	14343852 m E	14000	No reportado	270
			2849843 m N			
		M5	14343891 m E	4039,93	No reportado	170
			2849825 m N			
		M6	14343946 m E	1482,33	No reportado	110
			2849822 m N			
		M7	14343924 m E	7997,79	22	160
			2849829 m N			
		M8	14343895 m E	8425,83	No reportado	130
			2849837 m N			
		M9	14343867 m E	11080,28	No reportado	310
			2849850 m N			
Empresa No. 2 Localizada en el Municipio de Santa Catarina	Xerosol	M10	14354920 m E	525	No reportado	160
			2840091 m N			
		M11	14354906 m E	2629	No reportado	No reportado
			2840090 m N			
M12	14354951 m E	2076	No reportado	No reportado		
	2840070 m N					
M13	14355209 m E	1640	No reportado	No reportado		

			2840083 m N			
Empresa No. 3 Localizada en el Municipio de Ciénega de Flores	Castañozem	M14	14377452 m E	2339	No reportado	85
			2863052 m N			
		M15	14377425 m E	5583	No reportado	90
			2863014 m N			
Empresa No. 4 Localizada en el Municipio de Pesquería	Castañozem	M16	14390115 m E	263	No reportado	No reportado
			2854267 m N			
		M17	14390074 m E	374	No reportado	No reportado
			2854209 m N			
		M18	14390010 m E	212	No reportado	75
			2854105 m N			
		M19	14389974 m E	62	No reportado	No reportado
			2854047 m N			
		M20	14389886 m E	66	No reportado	70
			2854750 m N			
		M21	14390091 m E	103	No reportado	No reportado
			2853906 m N			
Empresa No. 5 Localizada en el Municipio de Pesquería	Litosol	M22	14394162 m E	3468	No reportado	140
			2852670 m N			
		M23	14394159 m E	8792	No reportado	No reportado
			2852736 m N			
M24	14394190m E	7345	No reportado	No reportado		
	2852712 m N					

Fuente: Almaguer Chávez (2012). Caracterización de los niveles de Plomo presente en el suelo superficial, en la periferia de empresas, en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de Maestría.

Las concentraciones de plomo reportado en el estudio de suelos realizado en la periferia de empresas, muestran valores que varían entre 62 mg/kg para la muestra M19, y como valor máximo 15900 mg/kg para la muestra M2. La empresa No. 1, localizada en el municipio de García, cuenta en la zona con un

---

tipo de suelo Xerosol, los valores encontrados son 12682,66 mg/kg de la muestra M1, 14400 mg/kg de la muestra M3, 14000 mg/kg para la muestra M4, 4039,93 mg/kg de la muestra M5, 1482,33 mg/kg para la muestra M6, 7997,79 mg/kg de la muestra M7, 8425,83 mg/kg para la muestra M8, y 11080,28 mg/kg para la muestra M9 se encuentran por encima del límite permisible que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Para la empresa No. 2, localizada en el municipio de Santa Catarina, el tipo de suelo es Xerosol, tres de los cuatro valores se encuentran por encima del límite permisible establecido por la normativa mexicana como son, 2629 mg/kg para la muestra M11, 2076 mg/kg de la muestra M12 y 1640 mg/kg para la muestra M13. Las concentraciones de los valores reportados de la empresa No. 3, localizada en el municipio de Ciénega de Flores, el tipo de suelo al que pertenece la zona es Castañozem, presenta resultados superiores a la normativa mexicana 2339 mg/kg para la muestra M14 y 5583 mg/kg para la muestra M15. En cuanto a la empresa No. 4, localizada en el municipio de Pesquería, el tipo de suelo es Castañozem, las muestras de suelo (M16, M17, M18, M19, M20 y M21) presentan concentraciones de plomo dentro al límite máximo permisible. Las muestras de suelo obtenidas de la empresa No. 5 localizada en el municipio de Pesquería, el tipo de suelo de la zona es Litosol, presentan concentraciones de plomo superiores a las permisibles por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, para la muestra M22 se presenta una concentración de 3468 mg/kg, para la muestra M23 reportan un valor de 8792 mg/kg y 7345 mg/kg para la muestra M24. El límite máximo permisible es de 800 mg de Pb/kg, para un sitio de uso industrial.

Solo se reportaron tres resultados para las concentraciones de cadmio, el más alto fue 22 mg/kg para la muestra M7, empresa localizada en el municipio de García, la normativa mexicana presenta un límite permisible en uso industrial de 450 mg de Cd/kg.

---

Se reportaron 14 de 24 resultados de concentración de vanadio en este estudio que van desde 70 mg/kg para la muestra M20, empresa localizada en el municipio de Pesquería, hasta un valor 310 mg/kg, empresa localizada en el municipio de García. Las concentraciones se encuentran dentro del límite máximo permisible que reporta la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, ya que para uso industrial establece una concentración de 1000 mg de V/kg.

---

### 3. Resultados y Discusión

En este capítulo se discutirán los resultados de los análisis de las muestras de suelo.

Como se mencionó anteriormente las muestras de suelos se tomaron alrededor del Área Metropolitana de Monterrey y en terrenos o sitios que difícilmente fuesen alterados por el hombre, por lo que se optó por sitios baldíos, recopilándose aleatoriamente apoyado por las vías de comunicación (carreteras, terracerías, etc.) cada 20 o 25 kilómetros aproximadamente tratando de abarcar una zona representativa para el presente estudio.

Los sitios muestreados se observan en la Figura 4, se aprecian las 25 muestras de suelo tomadas alrededor de la mancha urbana del Área Metropolitana de Monterrey.

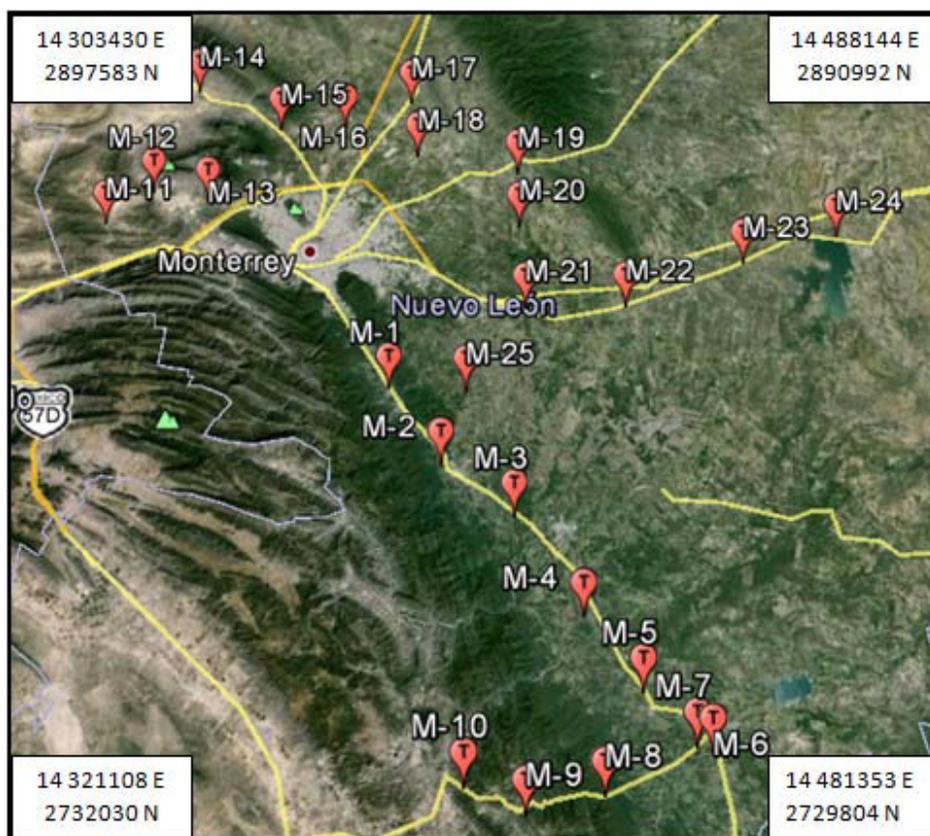


Figura 4. Muestras de Suelo. (Google Earth)

En la Tabla 7 se observa la identificación de la muestra, el municipio, lugar donde se recopiló dicha muestra de suelo, coordenadas en unidades UTM, tipo de suelo y geología.

**Tabla 7. Identificación de Muestras de Suelo**

Identificación de la Muestra	Municipio	Sitio	Ubicación Coordenadas UTM		Tipo de Suelo	Tipo de Geología
			E	N		
M-1	Santiago	En la cabecera municipal; Santiago	143840.50 E	2813277 N	Regosol	Aluvión
M-2	Allende	En la periferia del municipio; Allende	143941.00 E	2798076 N	Regosol	Lutita
M-3	Montemorelos – Rayones	Entronque hacia Bioparque Estrella	144076.71 E	2788049 N	Cambisol	Conglomerado
M-4	Montemorelos –Hualahuises	Entronque Ejido El Coyote	144201.82 E	2769078 N	Vertisol	Lutita
M-5	Hualahuises	Ejido La Laja	144305.68 E	2755232 N	Vertisol	-
M-6	Linares	Camino al Ejido El Perico	144424.70 E	2744457 N	Vertisol	Conglomerado
M-7	Linares	En la periferia del municipio; Linares	144397.71 E	2745606 N	Rendzina	Conglomerado
M-8	Linares - Iturbide	Carretera Km 24-25	144234.63 E	2736984 N	Fluvisol	Conglomerado
M-9	Iturbide	Camino Santa Rosa	144097.20 E	2733806 N	Litosol	Lutita
M-10	Iturbide - Galeana	En la periferia del municipio; Galeana	14 3990.04 E	2738570 N	Feozem	-
M-11	García	Camino a Rinconada km. 10	143276.82 E	2848658 N	Castañozem	Aluvión
M-12	García	Cerca del Panteón del Municipio	143365.34 E	2855869 N	Yermosol	Aluvión

M-13	García	Av. Lincoln rumbo Monterrey	14 3473.63 E	2853703 N	Xerosol	Aluvión
M-14	Mina	Carretera a Monclova Km. 39	14 3440.28 E	2878875 N	Xerosol	Aluvión
M-15	Abasolo	En la periferia del municipio; Abasolo	14 3609.67 E	2869806 N	Feozem	Aluvión
M-16	Salina-Ciénega de Flores	Camino Ejido Lázaro Cárdenas Km. 8	14 3737.56 E	2870252 N	Rendzina	Conglomerado
M-17	Ciénega de Flores	Carretera a Sabinas Hidalgo Km. 39	14 3868.59 E	2875923 N	Castañozem	Aluvión
M-18	General Zuazua	Carretera a Marín Km. 9	14 3883.82 E	2863805 N	Castañozem	Aluvión
M-19	Dr. González	En la periferia de Dr. González	14 4082.79 E	2859672 N	Rendzina	Lutita
M-20	Dr. González - Cadereyta	Entronque Ramones – Pesquería	14 4085.74 E	2847909 N	Xerosol	Aluvión
M-21	Cadereyta – China	Carretera Libre Km. 41	14 4097.73 E	2830320 N	Rendzina	Lutita
M-22	Cadereyta – China	Carretera Libre Km. 61	14 4290.41 E	2830410 N	Chernozem	Lutita
M-23	Cadereyta – China	Carretera Libre Km. 86	14 4520.14 E	2839667 N	Vertisol	Lutita
M-24	Cadereyta – China	Carretera Libre Km. 107	14 4704.91 E	2845488 N	Regosol	Lutita-Arenisca
M-25	Cadereyta - Allende	Terracería Quinta Querubines km. 2.3	14 3985.51 E	2812939 N	Cambisol	Lutita

---

## 3.1 Descripción de los Sitios Muestreados

### 3.1.1 Grupo 1

Las muestras de suelo recopiladas para este Grupo 1 son desde la M-1 hasta la M-6, comenzando el muestreo en el municipio de Santiago, cruzando por Allende y Montemorelos, por ultimo finalizando el trayecto en el municipio de Linares.

#### 3.1.1.1 Muestra M-1

Ubicación: Municipio de Santiago Nuevo León

Coordenadas UTM: 14 384050 Este 2813277 Norte

La carta geológica de Allende, indica que la muestra M-1, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 25.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Allende (Figura 47), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Rc + I / 2$ . El suelo predominante es Regosol calcárico (*Rc*), como suelo secundario Litosol (*I*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La Muestra M-1 contaba con gran cantidad de materia orgánica que se retiro antes de tomar la muestra, se mostraba un poco húmeda y un color café. Esta muestra fue recopilada a una distancia aproximada de 70 metros de la carretera nacional hacia arriba ya que se tomo en una loma fuera de la mancha urbana del municipio, el lugar donde se tomo la muestra se encontraba con vegetación muy cerrada.

#### 3.1.1.2 Muestra M-2

Ubicación: Carca del Municipio de Allende, Nuevo León.

Coordenadas UTM: 14 394100 Este 2798076 Norte

La carta geológica de Allende, indica que la muestra M-2, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 26.

---

La muestra se ubica en la carta edafológica de Allende (Figura 48), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Re + Hh / 2$ , suelo predominante Regosol eútrico (*Re*), suelo secundario Feozem háplico (*Hh*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

Dicha muestra se tomó a una distancia aproximada de 280 metros hacia la carretera nacional, el sitio donde se recopiló se encontraba en un lugar con mucha vegetación. Cerca del sitio se encuentran pocas casas habitacionales. La muestra de suelo obtenida contaba con poca humedad, gran cantidad de hojas y raíces que se tuvo que retirar y un color café.

### **3.1.1.3 Muestra M-3**

Ubicación: Entronque Montemorelos – Rayones rumbo al Bioparque Estrella

Coordenadas UTM: 14 407671 Este 2788049 Norte

La carta geológica de Montemorelos, indica que la muestra M-3, se encuentra sobre una roca sedimentaria de tipo Conglomerado (*cg*), representado en la Figura 27.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Montemorelos (Figura 49), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Bk + Vc / 3$ , el suelo predominante es Cambisol calcárico (*Bk*), como secundario Vertisol crómico (*Vc*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

Esta muestra se tomó a una distancia aproximada de 170 metros hacia la carretera nacional y a más de 40 metros de la carretera rumbo al Bioparque Estrella. La muestra de suelo contenía gran humedad, un color café muy oscuro y poca cantidad de materia orgánica. El sitio donde se recopiló la muestra se encontraba en lugar ligeramente cerrado por la vegetación, fue tomada debajo de un árbol seco y presentaba cierta humedad.

---

#### **3.1.1.4 Muestra M-4**

Ubicación: Rancho Gamo, Entronque Carretera Nacional - Ejido el Coyote

Coordenadas UTM: 14 420182 Este 2769078 Norte

La carta geológica de Montemorelos, indica que la muestra M-4, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 28.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Montemorelos (Figura 50), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Vc + Lc / 3$ , teniendo como suelo predominante Vertisol crómico (*Vc*), como suelo secundario Luvisol crómico (*Lc*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra M-4 fue tomada en el entronque de la Carretera Nacional – Ejido el Coyote a aproximadamente 2 kilómetros de la carretera nacional en el Rancho Gamo, el sitio donde se tomó la muestra estaba ligeramente cerrado por la vegetación. La muestra de suelo cuenta con un color café, contenía poca humedad y se tuvo que retirar gran cantidad de materia orgánica.

#### **3.1.1.5 Muestra M-5**

Ubicación: Rumbo al Ejido La Laja

Coordenadas UTM: 14 430568 Este 2755232 Norte

La muestra M-5 se ubica en la carta edafológica de Hualahuises (Figura 51), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Vp + Lc / 3$ , resultando como suelo predominante Vertisol pélico (*Vp*), como suelo secundario Luvisol crómico (*Lc*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

Esta muestra mostraba poca humedad, tenía poca materia orgánica y contaba con un color café. Se recopiló a aproximadamente 110 metros de la carretera nacional, la muestra se tomó donde se podía apreciar claramente el

---

perfil del suelo ya que a poca distancia se podía observar un campo agrícola. Presentándose muy poca vegetación en el punto de muestreo.

#### **3.1.1.6 Muestra M-6**

Ubicación: Camino al Perico (Linares)

Coordenadas UTM: 14 442470 Este 2744457 Norte

La carta geológica de Linares indica que la muestra M-6, se encuentra sobre una roca sedimentaria de tipo Conglomerado (*cg*), representado en la Figura 29.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Linares (Figura 52), resultando una clasificación de suelos correspondiente a Vp / 3, suelo Vertisol pélico y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

Dicha muestra fue recopilada a 1.5 kilómetros aproximadamente a la Carretera Nacional, y cerca del camino rumbo al ejido El Perico en el municipio de Linares, la muestra se recopiló en un lugar con poca vegetación. La muestra de suelo contaba con un color café, un poco húmeda y poca materia orgánica.

#### **3.1.2 Grupo 2**

Las muestras pertenecientes a este Grupo 2 son las M-7, M-8, M-9 y M-10, dichas muestras de suelo se tomaron entre los municipios de Linares y Galeana, Nuevo León.

##### **3.1.2.1 Muestra M-7**

Ubicación: Cerca del Club Campestre de Linares km 8 Carretera Linares - Galeana

Coordenadas UTM: 14 439771 Este 2745606 Norte

---

La carta geológica de Linares indica que la muestra M-7, se encuentra sobre una roca sedimentaria de tipo Conglomerado (*cg*), representado en la Figura 29.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Linares (Figura 52), resultando una clasificación de suelos correspondiente de  $E + I / 2$ , obteniendo un suelo predominante Rendzina (*E*), un suelo secundario Litosol (*I*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

A la muestra M-7 se le tuvo que retirar gran cantidad de raíces y hojas, contaba con un color café y estaba un poco húmeda. Se recopiló cerca del centro recreativo Club Campestre de Linares, en un sitio con una vegetación ligeramente cerrada pero con acceso disponible. Se encuentra a una distancia aproximada a la carretera Linares – San Roberto de 100 metros.

### **3.1.2.2 Muestra M-8**

Ubicación: Carretera Linares – Galeana (km 24 – 25)

Coordenadas UTM: 14 423463 Este 2736984 Norte

La carta geológica de Iturbide, indica que la muestra M-8, se encuentra sobre una roca sedimentaria de tipo Conglomerado (*cg*), representado en la Figura 30.

La ubicación de la muestra M-8, en la carta edafológica de Iturbide, (Figura 53), indica que la clasificación del suelo corresponde a  $Jc / 2$ , Fluvisol calcárico (*Jc*) y contiene una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra de suelo se recopiló a 45 metros aproximadamente de distancia hacia la carretera, ubicándose entre el kilómetro 24 y 25, cerca del punto de muestreo a una distancia entre 70 y 80 metros se encuentra el Cañón de Santa Rosa (Río). El punto de muestreo cuenta con acceso accesible ya que presenta una vegetación abierta. La muestra contenía un color café oscuro, se encontraba húmeda y contenía poca materia orgánica.

---

### 3.1.2.3 Muestra M-9

Ubicación: Iturbide (Camino a Santa Rosa)

Coordenadas UTM: 14 409720 Este 2733806 Norte

La carta geológica de Iturbide, indica que la muestra M-9, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 31.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Iturbide (Figura 54), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $I + Rc / 2$ , suelo predominante Litosol (*I*), un suelo secundario Regosol calcárico (*Rc*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra presentaba un color café. Se tuvo que retirar una buena cantidad de materia orgánica. Dicha muestra fue tomada a aproximadamente 850 metros de la carretera utilizada como base de apoyo para este estudio, cerca del municipio de Iturbide, se tomó el camino rumbo a Santa Rosa, el punto de muestreo se tomó metros arriba del camino en la Sierra Madre Oriental.

### 3.1.2.4 Muestra M-10

Ubicación: Carretera Linares – Galeana

Coordenadas UTM: 14 399004 Este 2738570 Norte

La muestra M-10 se ubica en la carta edafológica de Hualahuises (Figura 55), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Hc / 2$ , Feozem calcárico (*Hc*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra M-10 es la última muestra recopilada del Grupo 2, finalizando el trayecto rumbo a Galeana comenzado desde Linares, el punto de muestreo tiene una distancia aproximada hacia la carretera de 35 metros y una vegetación cerrada con un acceso no muy accesible. La muestra tenía un color café oscuro, con gran cantidad de materia orgánica que se tuvo que retirar como hojas y raíces.

---

### 3.1.3 Grupo 3

En este grupo se encuentran las muestras recopiladas en el municipio de García, Nuevo León, y afuera del mismo, son la M-11, M-12 y M-13, dichas muestras fueron tomas fuera de este municipio en sitios baldíos, utilizando la Avenida Lincoln como ruta para arribar al municipio mencionando.

#### 3.1.3.1 Muestra M-11

Ubicación: Municipio de García, Camino a Rinconada Km. 10.

Coordenadas UTM: 14 327682 Este 2848658 Norte

La carta geológica de Ramos Arizpe indica que la muestra M-11, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 32.

La muestra M-11 se ubica en la carta edafológica de Ramos Arizpe (Figura 56), resultando una clasificación de suelos correspondiente a *Kh / 2*, Castañozem háplico (*Kh*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra contenía un color café claro, no mostraba raíces u hojas en el mismo y no contenía material mayor de 2 mm. El sitio donde se recopiló la muestra se encontraba en una zona con escasa vegetación, con fácil acceso para obtener la muestra, se obtuvo en el camino del municipio de García hacia Rinconada en el kilómetro 10, alrededor del sitio no había construcción alguna, dicho punto de muestreo se encuentra a aproximadamente a 9 kilómetros de la Carretera Monterrey – Saltillo.

#### 3.1.3.2 Muestra M-12

Ubicación: Cerca del Panteón del Municipio de García.

Coordenadas UTM: 14 336534 Este 2855869 Norte

La carta geológica de Hidalgo indica que la muestra M-12, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 33.

---

La muestra se ubica en la carta edafológica de Hidalgo (Figura 57), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Yh - ls / 2$ , Yermosol háplico ( $Yh$ ), presenta un suelo ligeramente salino ( $ls$ ) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra recopilada en este sitio no contenía material de un tamaño mayor de 2 mm, se encontraba seco, de color café claro y sin contenido de restos de materia orgánica. La zona donde se tomó la muestra se encuentra entre las calles Juárez y Santa María, enfrente del panteón del municipio de García, a una distancia aproximada de 550 metros hacia el punto de muestreo.

### **3.1.3.3 Muestra M-13**

Ubicación: Cerca de Avenida Lincoln

Coordenadas UTM: 14 347363 Este 2853703 Norte

La carta geológica de Hidalgo indica que la muestra M-13, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión ( $al$ ), representado en la Figura 34.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Hidalgo (Figura 58), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Xh / 2$ , Xerosol háplico ( $Xh$ ) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

Dicha muestra fue obtenida a aproximadamente 75 metros de distancia de la Avenida Lincoln y en dicha zona se encontraba también a la misma distancia un fraccionamiento domiciliario. La muestra contenía poca materia orgánica, se encontraba seca y de color café claro.

### **3.1.4 Grupo 4**

A continuación se describirán las muestras M-14, M-15, M-16, M-17, M-18, M-19 y M-20, pertenecientes al Grupo 4, y colectadas en los municipios de Mina – Hidalgo – Abasolo – Carmen – Salinas Victoria – Ciénega de Flores – General Zuazua – Marín – Dr. González – Cadereyta.

---

#### **3.1.4.1 Muestra M-14**

Ubicación: Cerca de Municipio de Mina (Carretera Monclova Km. 39).

Coordenadas UTM: 14 344028 Este 2878875 Norte

La carta geológica de Mina indica que la muestra M-14, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 35.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Mina (Figura 59), resultando una clasificación de suelos correspondiente a *XI – Is / 3*, Xerosol lúvico (*XI*), presenta un suelo ligeramente salino (*Is*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra se apreciaba de color café claro, se encontraba seca y contenía poca cantidad de raíces. La vegetación en el sitio se encontraba ligeramente cerrada, y a una distancia aproximada hacia la carretera de 85 metros. No se apreciaban construcciones cerca del sitio.

#### **3.1.4.2 Muestra M-15**

Ubicación: Municipio de Abasolo

Coordenadas UTM: 14 360967 Este 2869806 Norte

La carta geológica de Hidalgo indica que la muestra M-15, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 36.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Hidalgo (Figura 60), resultando una clasificación de suelos correspondiente a *HI / 3*, Feozem lúvico (*HI*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

Levantada en el municipio de Abasolo, la muestra se encontraba seca, con un color café claro, con poco contenido de raíces y hojas, pero sin partículas con un tamaño mayor a 2 mm. El punto de muestreo tiene una distancia aproximada hacia la carretera Monterrey – Hidalgo de 1 km.

---

#### **3.1.4.3 Muestra M-16**

Ubicación: Camino a Ejido Lázaro Cárdenas Km 8

Coordenadas UTM: 14 373756 Este 2870252 Norte

La carta geológica de Apodaca indica que la muestra M-16, se encuentra sobre una roca sedimentaria de tipo Conglomerado (*cg*), representado en la Figura 37.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Apodaca (Figura 61), resultando una clasificación de suelos correspondiente a *E + I / 2*, suelo predominante Rendzina (*E*), suelo secundario Litosol (*I*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

Dicha muestra se obtuvo entre los municipios de Salinas Victoria y de Ciénega de Flores en el kilómetro 8 de la carretera, a una distancia aproximada de 600 metros del punto de muestreo a la carretera y alrededor de 15 metros del camino al Ejido Lázaro Cárdenas. La muestra contenía un color café, se encontraba seca y con poca cantidad de materia orgánica.

#### **3.1.4.4 Muestra M-17**

Ubicación: Carretera a Sabinas Hidalgo Km 39

Coordenadas UTM: 14 386859 Este 2875923 Norte

La carta geológica de Apodaca indica que la muestra M-17, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 38.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Apodaca (Figura 62), resultando una clasificación de suelos correspondiente a *Kh / 3*, Castañozem háplico (*Kh*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra M-17 se obtuvo en la carretera Monterrey – Nuevo Laredo entre los municipios de Ciénega de Flores y Salinas Victoria en el kilómetro 39, el punto de muestreo tiene una distancia hacia la carretera de 70 metros,

---

encontrándose una buena cantidad de vegetación en el sitio. La muestra mostraba un color café claro, seca y con un poco de raíces.

#### **3.1.4.5 Muestra M-18**

Ubicación: General Zuazua (Carretera a Marín) Km. 9

Coordenadas UTM: 14 388382 Este 2863805 Norte

La carta geológica de Apodaca indica que la muestra M-18, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 39.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Apodaca (Figura 63), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Kh + Xh / 3$ , suelo predominante Castañozem háplico (*Kh*), suelo secundario Xerosol háplico (*Xh*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

El punto de muestreo de dicha muestra se ubica en las afueras del municipio de General Zuazua cerca de la carretera rumbo a Marín, en el kilómetro 9, a una distancia aproximada hacia la carretera de 50 metros. Alrededor del sitio no existe ninguna construcción pero si existe vegetación aunque el acceso es accesible. La muestra se encontraba seca, de color café claro y poca cantidad de raíces.

#### **3.1.4.6 Muestra M-19**

Ubicación: Carretera Dr. González – Cerralvo km. 50

Coordenadas UTM: 14 408279 Este 2859672 Norte

La carta geológica de Doctor González indica que la muestra M-19, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 40.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Doctor González (Figura 64), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $E + I / 2$ , suelo predominante Rendzina (*E*), suelo secundario Litosol (*I*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

---

En la carretera rumbo a Cerralvo saliendo de Dr. González, se encuentra el punto de muestreo de la muestra M-19, encontrándose en el kilometro 50, aproximadamente a una distancia de la vía de comunicación de 325 metros, en la zona se pudo apreciar que una buena cantidad de vegetación pero con un accesible acceso a la muestra. La muestra se le encontraba seca, de color café claro, y con poca cantidad de materia orgánica, pero a su vez se le tuvo que retirar gran cantidad de grava perteneciente a la zona.

#### **3.1.4.7 Muestra M-20**

Ubicación: Carretera Dr. González – Cadereyta entronque Pesquería – Ramones

Coordenadas UTM: 14 408574 Este 2847909 Norte

La carta geológica de San Juan indica que la muestra M-20, se encuentra ubicada sobre un suelo de tipo Aluvión (*al*), representado en la Figura 41.

La muestra se ubica en la carta edafológica de San Juan (Figura 65), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Xl + Xk - Is / 2$ , suelo predominante Xerosol lúvico (*Xl*), suelo secundario Xerosol cálcico (*Xk*), presenta un suelo ligeramente salino (*Is*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra mencionada se obtuvo cerca del entronque de las carreteras de Dr. González – Cadereyta y Pesquería – Ramones, a una distancia aproximada del punto de muestreo hacia el entronque de 300 metros. La muestra se encontraba seca, de color café claro y con poca cantidad de raíces. Había gran cantidad de vegetación en la zona.

---

### 3.1.5 Grupo 5

Por último, se encuentra el Grupo 5 conformado por las muestras de suelo M-21, M-22, M-23 y M-24. Estas muestras se obtuvieron a lo largo de la carretera de Cadereyta a Reynosa y la muestra de suelo M-25, se obtuvo en la carretera de Cadereyta a Allende.

#### 3.1.5.1 Muestra M-21

Ubicación: Carretera Libre Cadereyta – Reynosa km. 41

Coordenadas UTM: 14 409773 Este 2830320 Norte

La carta geológica de San Juan, indica que la muestra M-21, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 42.

La muestra se ubica en la carta edafológica de San Juan (Figura 66), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $E + I / 2$ , suelo predominante Rendzina (*E*), suelo secundario Litosol (*I*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra M-21 se recopiló a una distancia aproximada de 80 metros hacia la carretera Cadereyta – Reynosa, esto en el km 41, dicha muestra contaba con un color café claro, se encontraba seca y contenía poca cantidad de materia orgánica, el sitio mostraba una vegetación intermedia.

#### 3.1.5.2 Muestra M-22

Ubicación: Carretera Cadereyta – Reynosa km. 61

Coordenadas UTM: 14 429041 Este 2830410 Norte

La carta geológica de San Juan indica que la muestra M-22, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 43.

La muestra se ubica en la carta edafológica de San Juan (Figura 67), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Cl / 3$ , Chernozem lúvico (*Cl*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

---

Dicha muestra de suelo presentaba un color café claro, contenía poca materia orgánica y se encontraba seca. El punto de muestreo se obtuvo a aproximadamente 70 metros de distancia a la carretera Cadereyta – Reynosa en el km. 61, el sitio mostraba una vegetación intermedia.

### **3.1.5.3 Muestra M-23**

Ubicación: Carretera Cadereyta – Reynosa Km. 86

Coordenadas UTM: 14 452014 Este 2839667 Norte

La carta geológica de Los Ramones indica que la muestra M-23, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 44.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Los Ramones (Figura 68), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Vc + XI - Is / 3$ , suelo predominante Vertisol crómico (*Vc*), suelo secundario Xerosol lúvico (*XI*), presenta un suelo ligeramente salino (*Is*), y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

La mencionada muestra de suelo se obtuvo a una distancia aproximada de la carretera hacia el punto de muestreo de 45 metros. Mostraba un color café claro y poca materia orgánica. La zona donde se obtuvo la muestra se encontraba con una vegetación intermedia.

### **3.1.5.4 Muestra M-24**

Ubicación: Carretera Cadereyta – Reynosa Km. 107

Coordenadas UTM: 14 470491 Este 2845488 Norte

La carta geológica de China indica que la muestra M-24, se encuentra sobre roca sedimentaria; Lutita (*lu*) – Arenisca (*ar*), representado en la Figura 45.

La muestra se ubica en la carta edafológica de China (Figura 69), resultando una clasificación de suelos correspondiente a  $Rc + I / 2$ , suelo

---

predominante Regosol calcárico (*Rc*), suelo secundario Litosol (*l*) y una clase textural media del suelo en los 30 cm superficiales.

La muestra M-24 se obtuvo cerca del municipio de China, Nuevo León, a una distancia aproximada de 40 metros, en el kilómetro 107. La muestra obtenida contenía poca materia orgánica, mostraba un color café claro y se encontraba seca. El sitio de donde se obtuvo dicha muestra contenía una buena cantidad de vegetación. Cruzando la carretera al lado contrario de donde se recopiló la muestra se encuentra la Presa del Cuchillo.

#### **3.1.5.5 Muestra M-25**

Ubicación: Terracería Quinta Querubines Km. 1.3

Coordenadas UTM: 14 398551 Este 2812939 Norte

La carta geológica de Allende indica que la muestra M-25, se encuentra sobre una roca sedimentaria; Lutita (*lu*), representado en la Figura 46.

La muestra se ubica en la carta edafológica de Allende (Figura 70), resultando una clasificación de suelos correspondiente a *Bk + Rc / 3*, suelo predominante Cambisol Calcálico (*Bk*), suelo secundario Regosol Calcárico (*Rc*) y una clase textural fina del suelo en los 30 cm superficiales.

El camino de la terracería Quinta Querubines, se encontraba en la carretera Cadereyta – Allende en el kilómetro 17. El sitio donde se obtuvo la muestra M-25 contaba con mucha vegetación y tenía una distancia aproximada hacia la carretera de 1.5 kilómetros. La muestra de suelo era de color café, contenía poca materia orgánica y se encontraba húmeda.

---

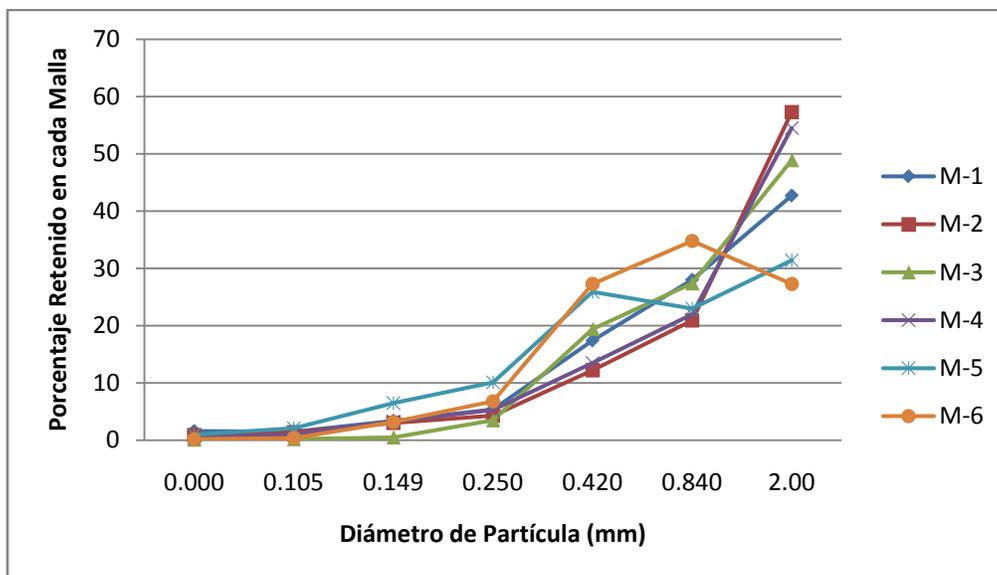
### 3.2 Granulometría

La granulometría de cada una de las muestras de suelo obtenidas se determinó con la finalidad de conocer la distribución de los tamaños de partícula. Los resultados se expresan en porcentajes.

Las fracciones de tamaño de partícula analizadas de cada muestra de suelo son: menores que 2 mm, 0,840 mm, 0,420 mm, 0,250 mm, 0,149 mm y 0,105 mm.

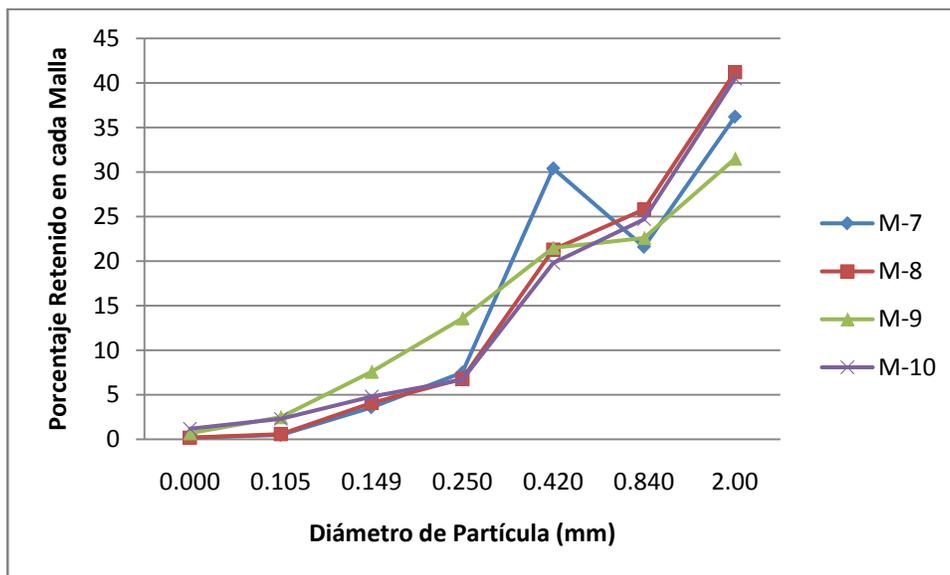
La Figura 5 muestra la gráfica del porcentaje de distribución retenido de los diferentes tamaños de partícula mencionados anteriormente. Las muestras de suelo representadas en esta gráfica del Grupo 1 Monterrey – Linares incluyen la M-1 a M-6. Se puede observar que para las muestras M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5, el mayor porcentaje de material fue retenido corresponde a la Malla No. 10 con un tamaño mayor que 2 mm. 42.7%, 57.3%, 48.9%, 54.5% y 31.4% respectivamente.

En cuanto a la muestra M-6, se aprecia que el mayor contenido de material se encuentra en la Malla No. 20, mayor que 0,840 mm, con un porcentaje de 34.8%.



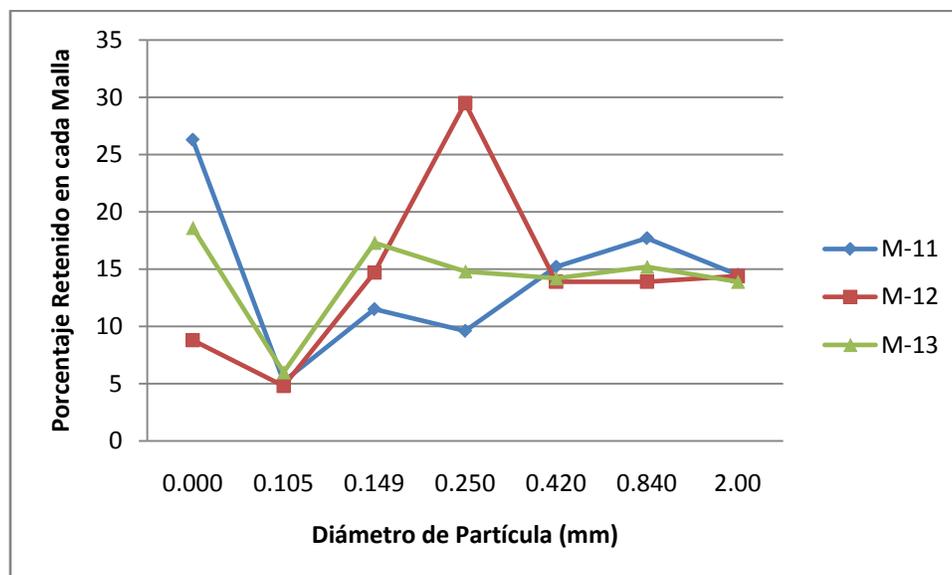
**Figura 5. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 1; Monterrey – Linares.**

En la Figura 6 se observa la gráfica de las muestras del Grupo 2 Linares – Galeana: M-7, M-8, M-9 y M-10. Todas las muestras contienen un porcentaje mayor del material retenido mayor que 2 mm., Malla 10, obteniendo 36.2%, 41.2%, 31.5% y 40.5% respectivamente.



**Figura 6. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 2; Linares – Galeana.**

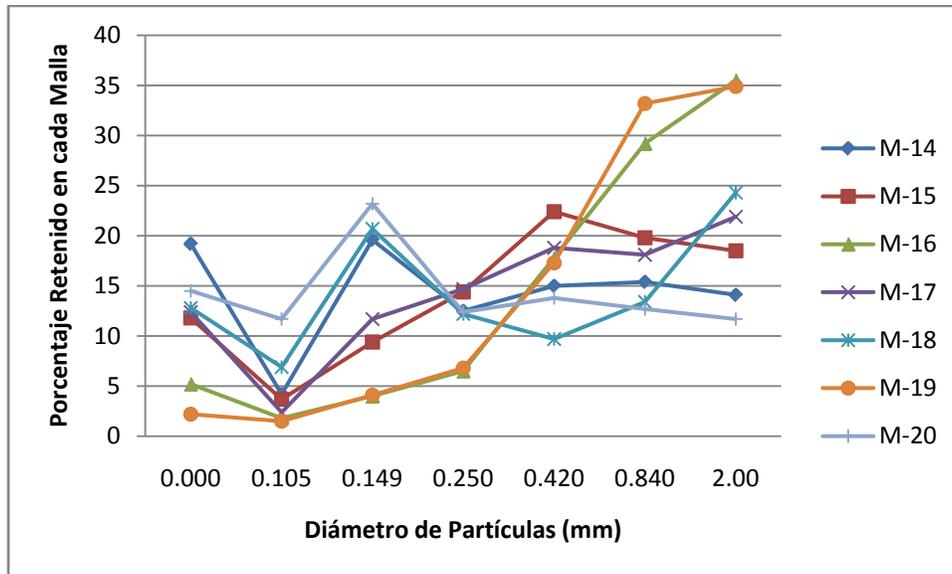
En la Figura 7 se reportan las muestras del Grupo 3, Municipio de García: M-11, M-12 y M-13. Se observa que las muestras M-11 y M-13 presentan el mayor porcentaje retenido en el tamaño de partícula menor que 0,105 mm, pasando la Malla 140, con 26.3% y 18.6% respectivamente, mientras que la muestra M-12, contiene su mayor porcentaje en la Malla 60 (abertura 0,250 mm) con 29.5%.



**Figura 7. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 3; García.**

Las 7 muestras obtenidas del Grupo 4 Mina - Cadereyta: M-14, M-15, M-16, M-17, M-18, M-19 y M-20, se encuentran graficadas en la Figura 8. Se observa que las muestras M-16, M-17, M-18 y M-19 contienen mayor porcentaje retenido en la Malla No. 10, mayor que 2 mm, con 35.5%, 21.9%, 24.3% y 34.9% respectivamente.

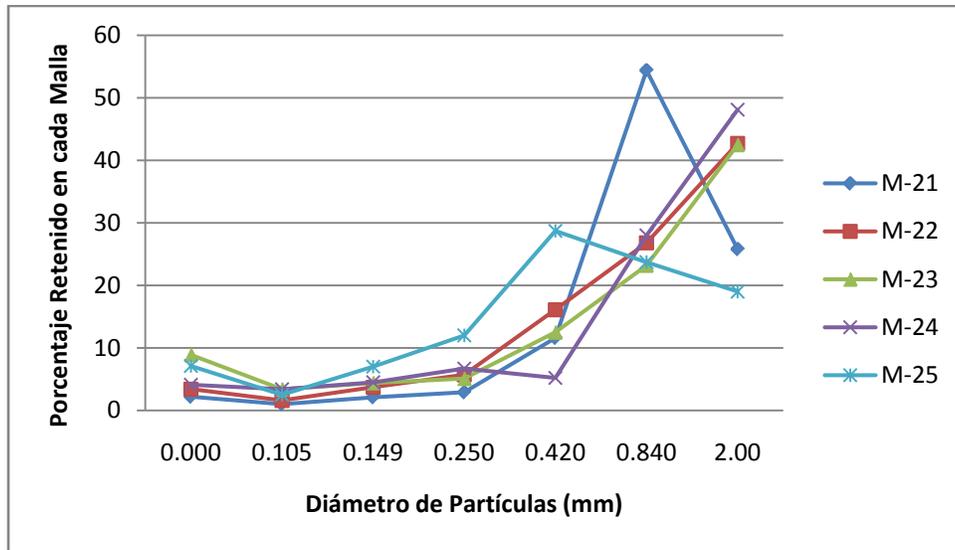
Las muestra M-14 con 19.6% y M-20 con 23.2%, presentan el contenido más alto de material en la Malla No. 100 (abertura 0,149 mm), mientras que la muestra M-15, cuenta con 22.4% de contenido, en la Malla No. 40. (Abertura 0,420 mm).



**Figura 8. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 4; Mina - Cadereyta.**

La composición granulométrica de las 5 muestras del Grupo 5, Cadereyta – China: M-21 a M-25, se encuentran representadas a continuación en la Figura 9, donde se puede distinguir que las muestras M-22, M-23 y M-24, indican un porcentaje mayor a 40% retenido en la Malla No. 10, que corresponde a partículas mayores que 2 mm.

La muestra M-21 indica 54.4% de contenido de material retenido en la Malla No. 20 (abertura mayor a 0,840 mm), en cuanto a la muestra M-25, tomada entre los municipios de Cadereyta y Allende, presenta un 28.7% de material retenido en la Malla No. 40 (abertura mayor que 0,420 mm).



**Figura 9. Gráfica del porcentaje de partícula retenido por cada fracción de muestra de suelo del Grupo 5; Cadereyta – China.**

### 3.3 Análisis de las Muestras

Para la caracterización de las muestras de suelo estudiados se realizaron las determinaciones de pH, humedad, materia orgánica, carbonato de calcio, sulfatos y cloruros (Tabla 8).

**Tabla 8. Valores de los Análisis complementarios realizados a las Muestras de Suelo analizadas**

Grupos	Muestra	pH	Humedad %	Cloruros Cl <sup>1-</sup> mg/kg	Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg	Perdida por Calcinación	
						Materia Orgánica 550 °C %	Carbonatos de Calcio CaCO <sub>3</sub> 900 °C %
Grupo 1	M-1	6.87	3.77	5.42	185.67	10.91	7.63
	M-2	8.05	4.43	0.00	17.40	9.38	10.16
	M-3	8.30	11.24	5.87	8.11	14.71	2.54
	M-4	7.94	7.93	0.00	16.44	15.30	6.71
	M-5	6.91	6.91	33.59	82.90	17.27	9.54
	M-6	7.76	12.21	23.74	8.76	18.77	10.94
Grupo 2	M-7	7.94	1.95	37.20	17.21	6.24	32.79
	M-8	7.65	15.30	0.00	27.54	27.37	1.69
	M-9	8.06	5.94	22.16	7.12	8.20	12.27
	M-10	7.86	7.41	5.63	43.95	16.53	16.76
Grupo 3	M-11	8.09	1.49	10.58	129.10	9.17	4.03
	M-12	7.82	1.35	5.28	16.85	4.55	7.46
	M-13	8.03	1.05	0.00	12.54	5.24	19.51
Grupo 4	M-14	8.03	1.99	0.00	4.81	5.36	10.39
	M-15	8.06	3.10	10.76	29.70	8.69	16.44
	M-16	8.05	4.12	5.44	64.70	10.30	9.26
	M-17	8.10	3.35	5.39	23.88	7.35	20.22
	M-18	8.08	1.67	5.30	14.64	4.80	4.16
	M-19	8.21	4.63	5.46	199.04	9.37	11.29
	M-20	7.72	1.46	0.00	69.25	7.41	1.31
Grupo 5	M-21	8.44	3.31	5.39	97.52	5.99	19.01
	M-22	7.95	4.52	65.49	11.44	9.71	7.57
	M-23	7.97	3.52	5.40	51.44	6.80	2.94
	M-24	7.98	4.81	114.97	899.38	8.51	4.24
	M-25	7.75	4.23	0.00	49.23	12.12	18.81

---

### 3.3.1 pH

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación de pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que constituyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, etc. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

El pH afecta directamente la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados alterando el equilibrio entre la especiación metálica, adsorción, solubilidad e intercambio de iones en el suelo. (McBride y colaboradores, 1997). Afecta también a los procesos de ingreso del metal a las raíces de las plantas (Rieuwerts y colaboradores, 1998).

Naidu y colaboradores (2006) comprobaron que los suelos con valores de pH más básicos presentan una adsorción más fuerte para los metales pesados que los valores de pH más ácidos. La mayoría de los metales pesados tienden a estar más disponibles a pH ácido con excepción del arsénico, molibdeno, selenio y cromo, los cuales presentan mayor disponibilidad en suelos a pH alcalinos.

Los valores de pH encontrados en el Grupo 1, se clasifican según la NOM-021-SEMARNAT-2000, como suelos neutros (pH 6,6 - 7,3) para los valores 6,87 (M-1) y 6,91 (M-5) y suelos medianamente alcalinos (pH 7,4 – 8,5) para los valores restantes que varían de 7,76 (M-6) a 8,3 (M-3).

En el Grupo 2, se reportaron valores que varían de 7,65 (M-8) a 8,06 (M-9), para el Grupo 3, los resultados de pH obtenidos varían de 7,82 (M-12) a 8,09 (M-11), en el Grupo 4, los resultados de pH reportan valores que varían de 7,72 (M-20) a 8,21 (M-19), y por último el Grupo 5, presenta valores que varían de 7,75 (M-25) a 8,44 (M-21), por lo que las muestras pertenecientes a dichos

Grupos, entran en la clasificación para suelos medianamente alcalinos (pH 7,4 – 8,5) (Figura 10).

El Pb se caracteriza por permanecer en formas insolubles en las capas superficiales del suelo. A valores altos de pH el Pb puede precipitar como hidróxido, fosfato y carbonato; a valores bajos de pH, este elemento se solubiliza muy lentamente (Lofts y colaboradores, 2005).

El Cd es un elemento más móvil que el Pb y el Cu, debido a su baja afinidad por las formas adsorbentes. La adsorción del Cd aumenta a medida que aumenta el pH; sin embargo, son la composición de la materia orgánica y de la fase mineral del suelo, las que ejercen significativamente en su especiación (Lofts y colaboradores, 2005).

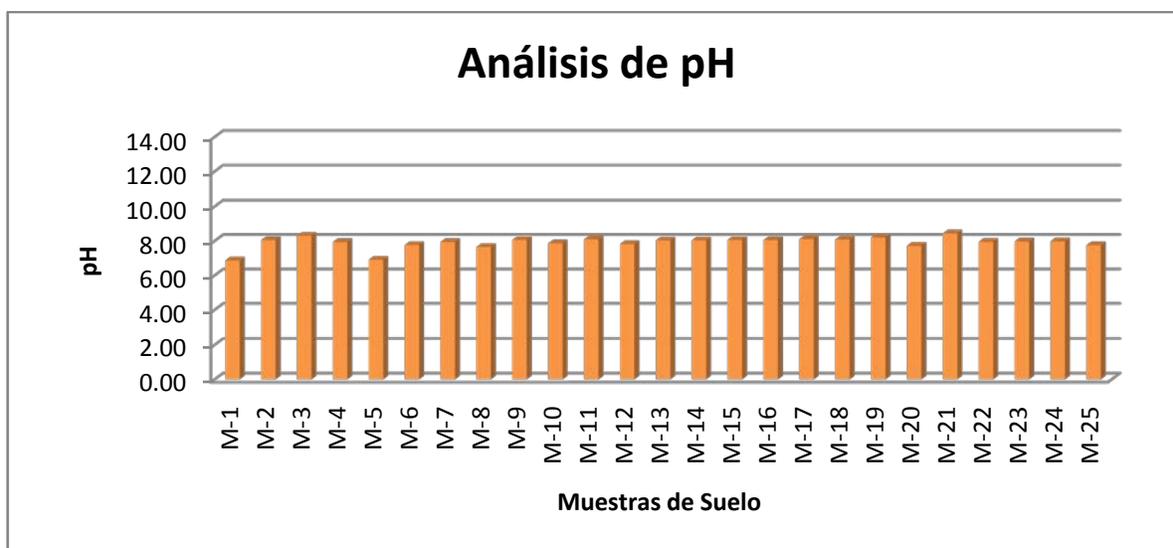


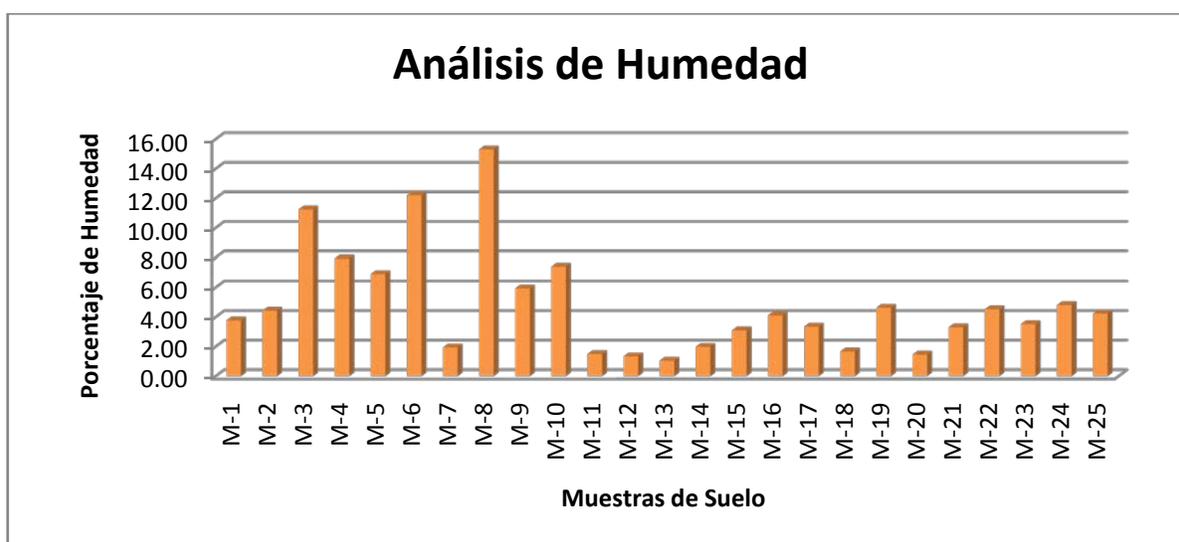
Figura 10. Valores de pH de las muestras de suelo.

### 3.3.2 Humedad

La USEPA en su método 6200 menciona que la humedad es un factor que puede causar interferencias en el análisis de FRX en las muestras de suelo. Cuando el contenido de humedad se encuentra entre el 5 y 20 por ciento se minimiza este error.

La humedad de las muestras obtenidas en el Grupo 1 varía entre 3,77% (M-1) a 12,21 (M-6), el porcentaje de humedad para las muestras del Grupo 2, varia de 1,95% (M-7) a 15,30 (M-8), en el Grupo 3, los resultados de las muestras presentan valores que van desde 1,05% (M-13) a 1,49% (M-11), los resultados obtenidos en las muestras del Grupo 4, presentan valores que varían entre 1,46% (M-20) y 4,63% (M-19), ya por último en el Grupo 5, las muestras presentan valores entre 3,31% (M-21) y 4,81% (M-24). La Figura 11 presenta los valores resultantes de humedad de las muestras de suelo

Los resultados de humedad de las muestras de suelo se encuentran en los rangos recomendados por el método 6200 de la USEPA (5 – 20 %), para el uso de las mediciones por FRX portátil.

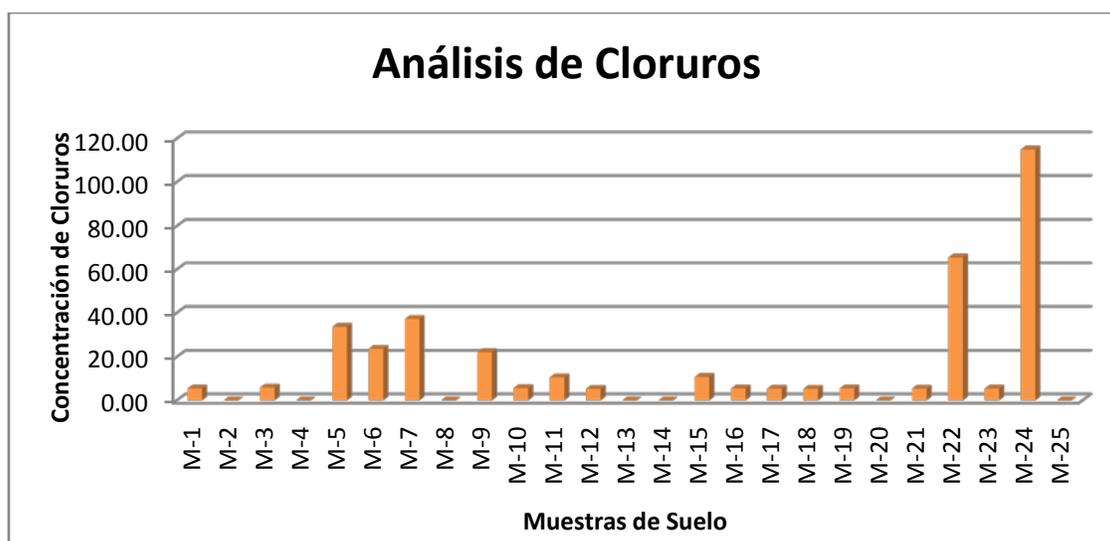


**Figura 11. Valores de Humedad de las muestras de suelo.**

### 3.3.3 Cloruros

Los cloruros son compuestos muy solubles, por esta razón, el cloro, en climas húmedos, se lava del suelo con facilidad. Los suelos ricos en sales solubles suelen contener gran cantidad de cloruros en solución y, como estos son muy solubles se desplazan hacia abajo cuando llueve y hacia arriba cuando el agua se evapora en la superficie del suelo.

Las concentraciones de cloruros obtenidas para las muestras del Grupo 1, varían desde no detectable (M-2 y M-4) hasta 33,59 mg/kg (M-5), en las muestras pertenecientes al Grupo 2, los valores obtenidos se encuentran desde no detectable (M-8) hasta 37,20 mg/kg (M-7), la máxima concentración en el Grupo 3, es 10,58 mg/Kg (M-11) y la mínima no fue detectable (M-13), en Grupo 4 los valores obtenidos varían entre no detectable (M-14 y M-20) hasta 10,76 mg/Kg (M-15), finalmente el Grupo 5 comprende concentraciones entre no detectable (M-25) hasta la muestra que contiene la concentración más alta de cloruros 114,97 mg/Kg (M-24). En la Figura 12 se aprecian los valores del análisis de cloruros de las muestras de suelo.



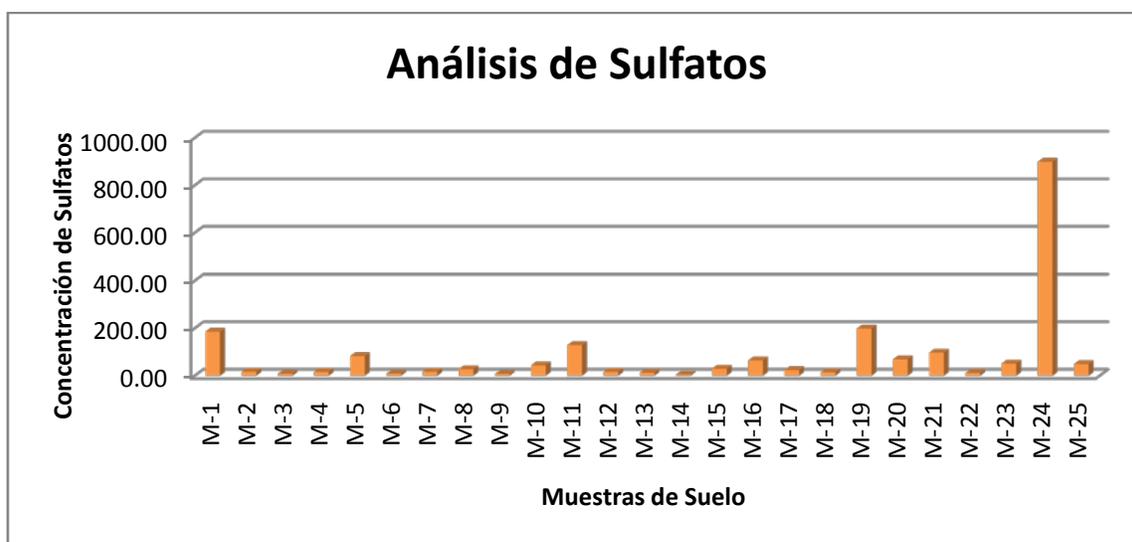
**Figura 12. Valores de Cloruros de las muestras de suelo.**

### 3.3.4 Sulfatos

Los sulfatos son la principal forma inorgánica del azufre en la mayoría de los suelos, aun que pueden estar presentes las formas elementales y de sulfuro bajo condiciones anaerobias.

Los sulfatos pueden estar presentes en formas solubles, adsorbidos en la superficie del suelo o como sales insolubles. Las concentraciones de sulfatos en suelos no contaminados normalmente no son altas.

Las concentraciones obtenidas de sulfatos se muestran en la Figura13, para las muestras del Grupo 1, comprenden desde 8,11 mg/Kg (M-3) hasta 185,67 mg/Kg (M-1), en el Grupo 2, se encontraron niveles que varían desde 7,12 mg/Kg (M-9) a 43,95 Mg/Kg (M-10), los resultados obtenidos en las muestras del Grupo 3 resultaron entre 12,54 mg/Kg (M-13) y 129,10 mg/Kg (M-11), los valores obtenidos en el Grupo 4 varían entre 4,81 mg/Kg (M-14) y 199,04 mg/Kg (M-19), por ultimo en el Grupo 5 se encuentran las concentraciones de sulfatos de 11,44 mg/Kg (M-22) hasta 899,38 mg/Kg (M-24) ésta ultima como la más alta concentración de todas las muestras de suelo.



**Figura 13. Valores de Sulfatos de las muestras de suelo.**

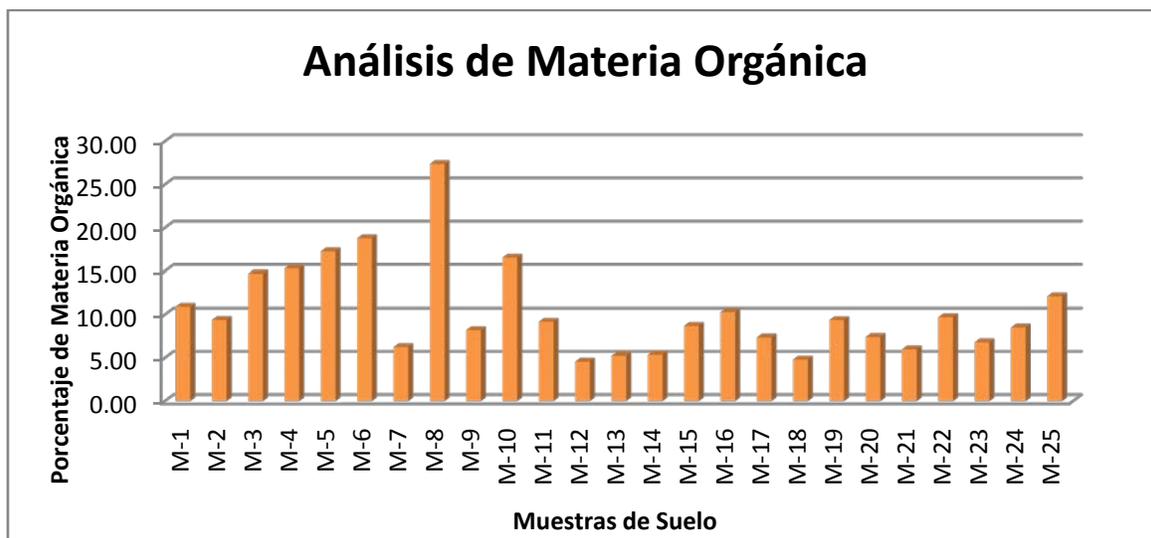
### 3.3.5 Materia Orgánica

La calidad de la materia orgánica del suelo es un factor importante respecto a la acumulación y liberación de metales pesados, tiene alta capacidad de acumulación de metales pesados, que al ser liberados de la materia orgánica entran en contacto directo con las plantas, las cuales proporcionan alimentos para el consumo humano, los que entrarían a causar problemas en animales y humanos.

Los porcentajes de materia orgánica presentes en las muestras de suelo del Grupo 1, tiene como mínimo 9,38% (M-2) y un porcentaje máximo de 18,77% (M-6), en el Grupo 2 varían entre 6,24% (M-7) y 27,37% (M-8), en el Grupo 3, variaron de 4,55% (M-12) a 9,17% (M-11), para las muestras obtenidas del Grupo 4, se encuentra como la menor 4,8% (M-18) y mayor 10,3% (M-16) y por último las muestras recopiladas del Grupo 5 varían entre 5,99% (M-21) y 12,12% (M-25) (Figura 14).

El porcentaje de materia orgánica mínimo de las muestras es 4,55% y el máximo 27,37% de las muestras M-12 y M-8 respectivamente.

La NOM-021-SEMARNAT-2000 clasifica los valores de referencia del contenido de materia orgánica entre 3,6% – 6,0% como alto y > 6,0% como muy alto, por lo que las concentraciones de materia orgánica varían entre alto y muy alto para las muestras de suelo obtenidas



**Figura 14. Valores de Materia Orgánica de las muestras de suelo.**

### 3.3.6 Carbonato de Calcio

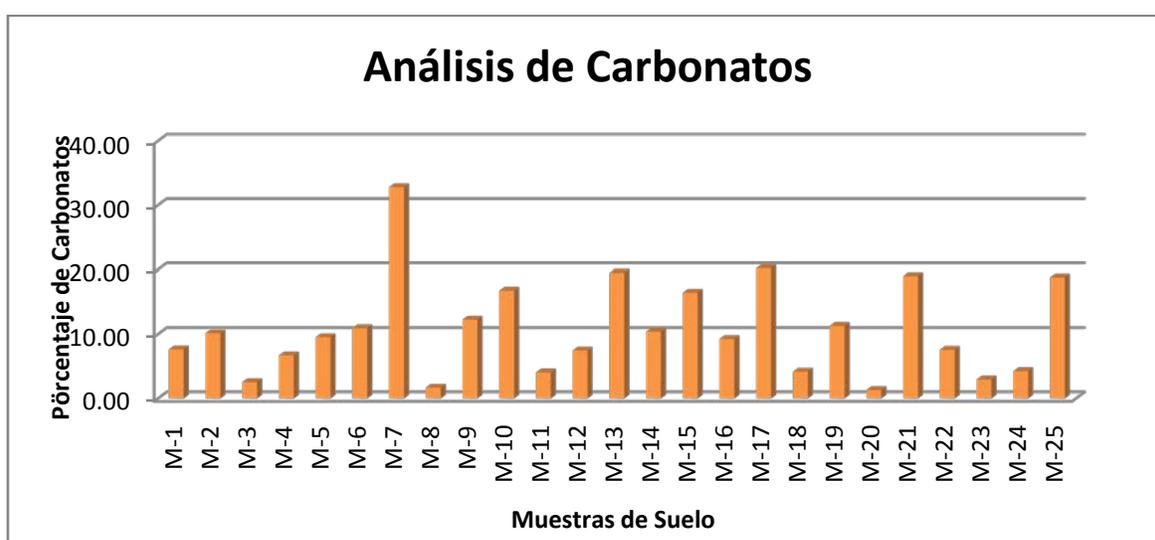
La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de los altos pH, y en estas condiciones tienden a precipitar los metales pesados. El Cd y otros

metales tienden a quedar adsorbidos por los carbonatos (Galán y Romero, 2008).

Los porcentajes de carbonatos de calcio presentes en las muestras de suelo obtenidas en el Grupo 1, varían entre 6,71% (M-4) y 10,94% (M-6), en las muestras de suelo del Grupo 2, los valores presenten se encuentran entre 1,69% (M-8) y 32,79% (M-7), dentro del Grupo 3 varían entre 4,03% (M-11) y 19,51% (M-13), para las muestras recopiladas del Grupo 4, se presentan valores entre 1,31% (M-20) y 20,22% (M-17), finalmente las muestras pertenecientes al Grupo 5, presentan valores que varían entre 2,94% (M-23) a 19,01% (M-21) (Figura 15).

El porcentaje de carbonatos de calcio mínimo de las muestras es 1,31% y el máximo es 32,79% de las muestras M-20 y M-7 respectivamente.

La NOM-021-SEMARNAT-2000, clasifica los valores entre 0,5% - 2,0% como bajo, de entre 2,1% - 15% como mediano y los valores entre 16% - 40% como alto, por lo que los porcentajes de  $\text{CaCO}_3$  de las muestras de suelo obtenidas, se presentan desde bajo a alto.



**Figura 15. Valores de Carbonatos de las muestras de suelo.**

### 3.4 Análisis por medio de FRX (equipo portátil)

Para el análisis por medio de espectroscopia de fluorescencia de rayos X se utilizó el equipo portátil NITON XL3t-600. Se realizaron tres lecturas con la finalidad de obtener un promedio a un tamaño de partícula <0,105 mm, de las 25 muestras de suelo.

En ninguna de las muestras se detectaron niveles de concentración de cadmio, aparecen por debajo del límite de detección del equipo. Los resultados obtenidos por FRX portátil, muestran que no sobrepasan el límite máximo permisible (37 mg/kg para Cadmio) establecido por NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

En las siguientes tablas se reportan los promedios de los niveles de concentración para plomo y vanadio respectivamente, de las muestras de suelo analizadas por medio del FRX portátil.

**Tabla 9. Concentración de Plomo en mg/kg por medio de FRX Niton XL3t-600**

Concentración de Plomo [Pb]									
Muestra	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio	Muestra	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
M-1	36,3	31,5	32,7	33,5	M-14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-2	12,8	14,3	N.D.	13,5	M-15	13,1	15,9	20,2	16,4
M-3	11,5	N.D.	14,1	12,8	M-16	N.D.	11,3	N.D.	11,3
M-4	N.D.	10,5	16,2	13,3	M-17	N.D.	N.D.	9,4	9,4
M-5	9,3	N.D.	8,9	9,1	M-18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M-19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M-20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-8	14,1	20,2	22,2	18,8	M-21	N.D.	9,3	N.D.	9,3
M-9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M-22	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M-23	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-11	44,3	29,8	40,5	38,2	M-24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-12	28,9	21,0	21,8	23,9	M-25	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-13	78,8	87,4	89,7	85,3					

N.D.= No Detectable

En la Tabla 9 se observan los resultados obtenidos por medio de FRX portátil, de las concentraciones del plomo, donde se presentan valores que no fueron detectables, variando como valor mínimo 9,1 mg/kg (M-5) y como

máximo un valor de 85,30 mg/kg (M-13). Los valores muestran que no sobrepasan el límite máximo permisible (400 mg/kg para Plomo) establecido por NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

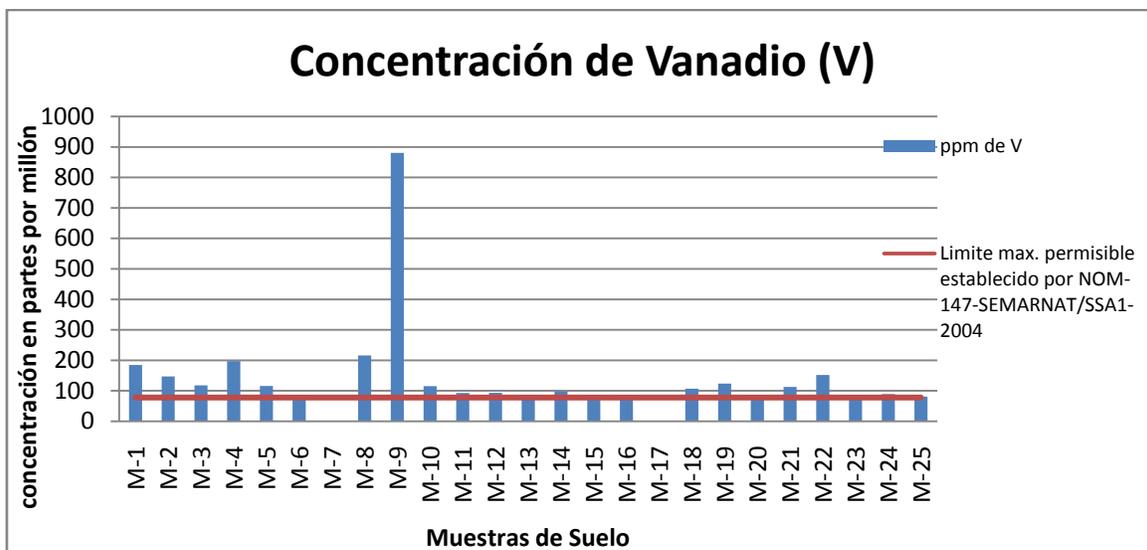
**Tabla 10. Concentración de Vanadio en mg/kg por medio de FRX Niton XL3t-600**

Concentración de Vanadio [V]									
Muestra	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio	Muestra	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
M-1	217,1	168,6	169,1	184,9	M-14	119,4	96,6	78,6	98,2
M-2	179	137,9	124,4	147,1	M-15	68,9	84,4	N.D.	76,7
M-3	105,4	152,9	94,9	117,7	M-16	88,9	N.D.	79,6	84,3
M-4	195,5	205,6	190,0	197	M-17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
M-5	122,4	112,6	111,9	115,7	M-18	100,6	101,6	118,3	106,8
M-6	86,6	63,7	85,6	78,7	M-19	106,1	116,1	149,1	123,8
M-7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M-20	74,8	N.D.	85	79,9
M-8	241,6	229,5	177,5	216,2	M-21	126,7	106,7	104,6	112,7
M-9	889,6	864,6	887,7	880,6	M-22	157,7	169,2	128,1	151,7
M-10	116,6	104,7	124,9	115,4	M-23	91,8	80,3	86,7	86,3
M-11	115,5	73,1	89,5	92,7	M-24	N.D.	82,8	95,2	89
M-12	107,0	86,6	85,9	93,2	M-25	92,7	69,2	N.D.	80,9
M-13	100,9	66,1	68,1	78,4					

N.D.= No Detectable

La Tabla 10 muestra los resultados obtenido por medio de FRX portátil, presentando las concentraciones del vanadio. La NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece como límite máximo permisible 78 mg/kg para el vanadio. La tabla muestra que 22 de las 25 muestras de suelo analizadas sobrepasan el límite, siendo el valor máximo 880,6 mg/kg (M-9).

En la siguiente Figura 16, se puede observar la concentración en mg/kg de cada muestra y el límite máximo permisible mencionado anteriormente.



**Figura 16. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (portátil).**

### 3.5 Análisis por medio de FRX, Epsilon-3

Para esta fase de análisis de fluorescencia de rayos X, se utilizó un equipo fijo llamado Epsilon-3. Se realizaron tres lecturas a la misma muestra preparada de diferente manera: suelo suelto, suelo comprimido (pastilla) y suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla), para un tamaño de partícula <0,105 mm.

#### 3.5.1 Resultados de Cadmio de Muestras por Suelo Suelto, Suelo comprimido (pastilla) y Suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla)

En el caso particular del cadmio, las lecturas realizadas a las muestras de suelo suelto, suelo comprimido (pastilla) y suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla), resultaron por debajo del límite de detección del equipo, por lo que en ninguna de las muestras analizadas fueron detectables, encontrándose así por debajo del límite máximo permisible según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (que indica un límite de 37 mg de Cd/Kg).

---

### 3.5.2 Resultados de Plomo de Muestras por Suelo Suelto, Suelo comprimido (pastilla) y Suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla)

El límite máximo permisible establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 para el plomo es de 400 mg de Pb/Kg. La Tabla 11 muestra los resultados obtenidos, para las lecturas realizadas a las muestras de suelo suelto, donde se aprecia que la máxima concentración de Pb es de 139,3 mg/kg (M-13) y como mínima 9,3 mg/kg (M-7). Estos valores no se acercan al límite máximo permisible.

**Tabla 11. Concentraciones de Plomo en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo suelto).**

Muestras	[Pb] mg/kg	Muestras	[Pb] mg/kg
M-1	74,6	M-14	27,9
M-2	46,4	M-15	55,7
M-3	46,4	M-16	37,1
M-4	46,4	M-17	27,9
M-5	37,1	M-18	18,6
M-6	37,1	M-19	37,1
M-7	9,3	M-20	18,6
M-8	92,8	M-21	27,9
M-9	18,6	M-22	27,9
M-10	37,1	M-23	27,9
M-11	74,3	M-24	27,9
M-12	46,4	M-25	37,1
M-13	139,3		

Las concentraciones obtenidas de las lecturas realizadas a las 25 muestras de suelo preparadas como suelo comprimido (pastilla) se encuentran en la Tabla 12. Se observa un resultado máximo 176,4 mg/kg de Pb (M-13), recolectada en el municipio de García, y como resultado mínimo 9,3 mg/Kg de Pb (M-7) recolectado cerca del municipio de Linares.

---

**Tabla 12. Concentraciones de Plomo en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo comprimido).**

Muestras	[Pb] mg/kg	Muestras	[Pb] mg/kg
M-1	83,6	M-14	37,1
M-2	55,7	M-15	55,7
M-3	46,4	M-16	37,1
M-4	55,7	M-17	27,9
M-5	46,4	M-18	27,9
M-6	37,1	M-19	37,1
M-7	9,3	M-20	18,6
M-8	92,8	M-21	27,9
M-9	27,9	M-22	37,1
M-10	37,1	M-23	27,9
M-11	92,8	M-24	37,1
M-12	64,9	M-25	37,1
M-13	176,4		

Los resultados representados en la tabla anterior, indican que ninguno de los valores sobre pasan el límite máximo permisible de 400 mg/kg de Pb, indicado por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

En lo que respecta a las concentraciones de plomo obtenidas de las muestras de suelo preparadas como suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente, se presentan valores por debajo de la norma mencionada anteriormente, encontrando como valor máximo 176,4 mg/kg de Pb (M-13) y como mínimo 9,3 mg/kg de Pb (M-7). Estos valores son comparables a los observados en el análisis de suelo comprimido sin calcinar. La Tabla 13 presenta los resultados obtenidos.

**Tabla 13. Concentraciones de Plomo en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (Suelo Comprimido, muestra calcinada previamente).**

Muestras	[Pb] mg/kg	Muestras	[Pb] mg/kg
M-1	74,3	M-14	46,4
M-2	46,4	M-15	55,7
M-3	46,4	M-16	37,1
M-4	55,7	M-17	27,9
M-5	46,4	M-18	18,6
M-6	37,1	M-19	37,1
M-7	9,3	M-20	18,6
M-8	83,6	M-21	27,9
M-9	27,9	M-22	27,9
M-10	37,1	M-23	18,6
M-11	92,8	M-24	27,9
M-12	55,7	M-25	37,1
M-13	176,4		

### **3.5.3 Resultados de Vanadio de Muestras por Suelo Suelto, Suelo comprimido (pastilla) y Suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente (pastilla)**

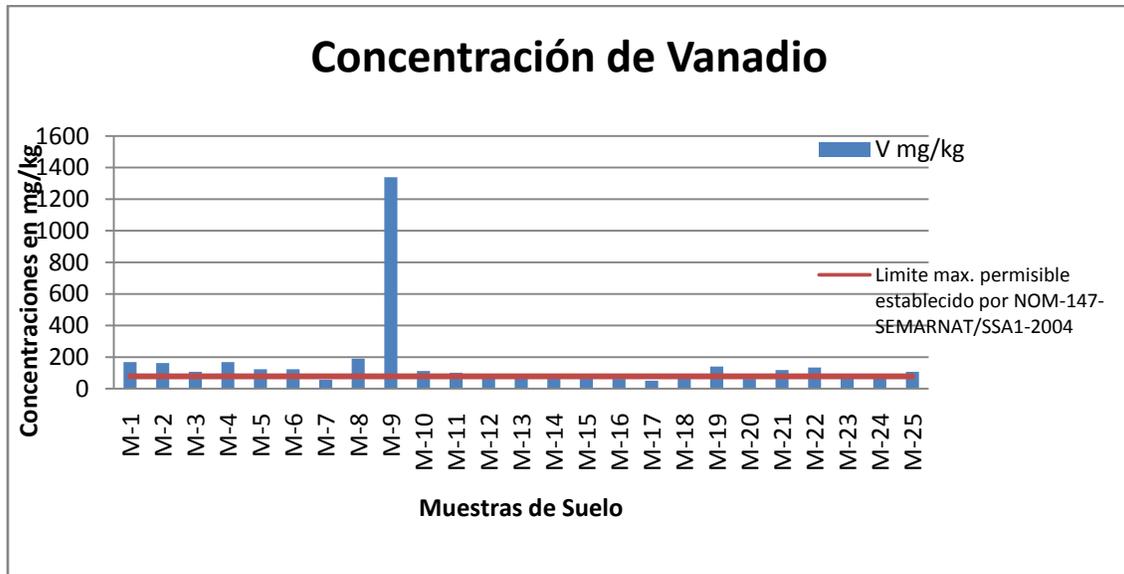
Los resultados de concentración de vanadio obtenidos en las muestras preparadas como suelo suelto, se presentan en la Tabla 14. Se aprecia que menos de la mitad de los resultados se encuentran por debajo del límite máximo permisible establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, la cual indica 78 mg/kg de vanadio. Los resultados que se encuentran por debajo del límite permisible son 56,0 (M-7), 72,8 (M-12), 72,8 (M-15), 61,6 (M-16), 50,4 (M-17), 67,2 (M-18), 61,6 (M-20) y 67,2 (M-23).

---

**Tabla 14. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo suelto).**

<b>Muestra</b>	<b>[V] mg/kg</b>	<b>Muestra</b>	<b>[V] mg/kg</b>
<b>M-1</b>	168,0	<b>M-14</b>	84,0
<b>M-2</b>	162,4	<b>M-15</b>	72,8
<b>M-3</b>	106,4	<b>M-16</b>	61,6
<b>M-4</b>	168,0	<b>M-17</b>	50,4
<b>M-5</b>	123,2	<b>M-18</b>	67,2
<b>M-6</b>	123,2	<b>M-19</b>	140,0
<b>M-7</b>	56,0	<b>M-20</b>	61,6
<b>M-8</b>	190,5	<b>M-21</b>	117,6
<b>M-9</b>	1338,8	<b>M-22</b>	134,4
<b>M-10</b>	112,0	<b>M-23</b>	67,2
<b>M-11</b>	100,8	<b>M-24</b>	84,0
<b>M-12</b>	72,8	<b>M-25</b>	106,4
<b>M-13</b>	84,0		

En la Figura 17, se muestra el límite máximo permisible para el Vanadio y las concentraciones en mg/kg para cada una de las muestras de suelo.



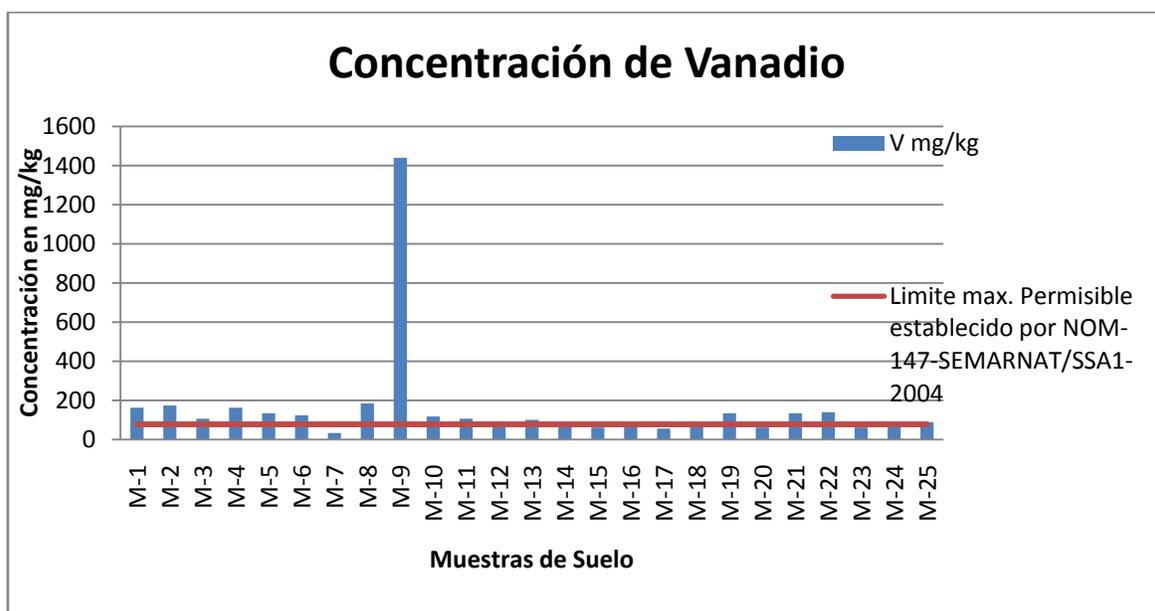
**Figura 17. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (suelo suelto).**

Las concentraciones de vanadio para las muestras de suelo preparadas como suelo comprimido (pastilla), indican como valor máximo 1439,6 mg/kg de V (M-9), muestra recopilada cerca del municipio de Iturbide y como valor mínimo 33,6 mg/kg de V (M-7). Esta muestra fue obtenida cerca del municipio de Linares (Tabla 15).

**Tabla 15. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (suelo comprimido).**

Muestra	[V] mg/kg	Muestra	[V] mg/kg
M-1	162,4	M-14	78,4
M-2	173,7	M-15	61,6
M-3	106,4	M-16	67,2
M-4	162,4	M-17	56,0
M-5	134,4	M-18	78,4
M-6	123,2	M-19	134,4
M-7	33,6	M-20	61,6
M-8	184,9	M-21	134,4
M-9	1439,6	M-22	140,0
M-10	117,6	M-23	61,6
M-11	106,4	M-24	84,0
M-12	89,6	M-25	89,6
M-13	100,8		

La Figura 18, nos muestra los resultados que sobre pasan el límite máximo permisible 78 mg/kg de V según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.



**Figura 18. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (suelo comprimido).**

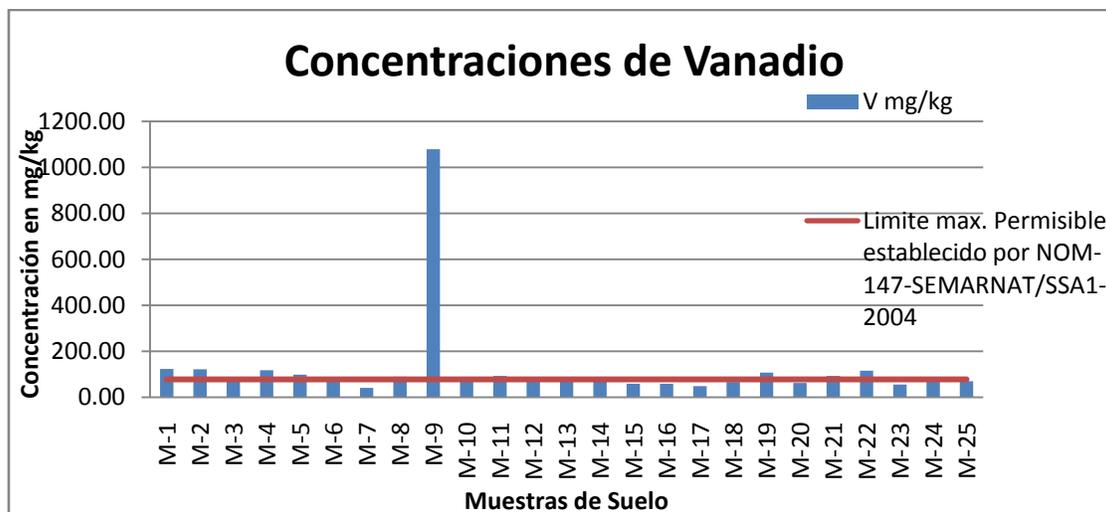
En la Figura 18 se observan los resultados obtenidos por medio de FRX en el equipo Epsilon-3, con las muestras preparadas como suelo comprimido (pastilla), indicando que 19 de las 25 muestras de suelo sobre pasan el límite máximo permisible (78 mg/kg de V) según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Los resultados de vanadio provenientes de las muestras preparadas como suelo comprimido, con previa calcinación, se observan en la Tabla 16 presentándose como valor mínimo 40,9 mg/kg de V (M-7) y como máximo 1079,2 mg/kg de V (M-9).

**Tabla 16. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX, Equipo Epsilon-3 (Suelo Comprimido, muestra calcinada previamente).**

Muestra	[V] mg/kg	Muestra	[V] mg/kg
M-1	123,2	M-14	85,0
M-2	121,7	M-15	58,7
M-3	81,2	M-16	58,6
M-4	117,9	M-17	48,7
M-5	98,4	M-18	66,3
M-6	86,6	M-19	106,9
M-7	40,9	M-20	62,3
M-8	89,5	M-21	92,7
M-9	1079,2	M-22	115,9
M-10	82,3	M-23	55,7
M-11	92,4	M-24	68,4
M-12	73,9	M-25	69,7
M-13	80,1		

En la siguiente Figura 19 se presentan los resultados obtenidos con respecto al límite máximo permisible (78 mg/kg de V) establecido por NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. En donde se aprecia que 15 de las 25 muestras de suelo se encuentran por encima de lo establecido por la norma.



**Figura 19. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por FRX (suelo comprimido, muestra calcinada previamente).**

### 3.6 Análisis por medio EAA para Vanadio

En este apartado sólo se realizaron los análisis de EAA para vanadio, ya que el cadmio y el plomo no mostraron valores que excedían la normativa mexicana en ninguna de las técnicas ya mencionadas.

Se determinaron las concentraciones de vanadio, para las muestras de suelo, a un tamaño de fracción menor a 0,105 mm. Se obtuvieron concentraciones que sobre pasan lo establecido por la normativa mexicana. El límite máximo permisible establecido es de 78 mg/kg, En la Tabla 17 se observan que los valores varían desde un mínimo de 35,3 mg/kg de V, (muestra M-7, obtenida cerca del Club Campestre de Linares, Carretera Linares – Galeana Km.8) hasta un valor máximo, que se presentó en la muestra M-9, con una concentración de 1054,9 mg/kg de V (obtenida en el municipio de Iturbide Camino a Santa Rosa).

---

**Tabla 17. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de EAA**

<b>Muestra</b>	<b>[V] mg/kg</b>	<b>Muestra</b>	<b>[V] mg/kg</b>
M-1	<b>122,48</b>	M-14	<b>80,66</b>
M-2	<b>117,01</b>	M-15	50,58
M-3	51,91	M-16	63,63
M-4	<b>109,7</b>	M-17	48,44
M-5	<b>100,61</b>	M-18	68,29
M-6	<b>81,01</b>	M-19	<b>119,7</b>
M-7	35,34	M-20	55,31
M-8	<b>138,18</b>	M-21	<b>96,56</b>
M-9	<b>1054,92</b>	M-22	<b>113,99</b>
M-10	<b>83,09</b>	M-23	48,02
M-11	76,58	M-24	66,58
M-12	77,11	M-25	63,27
M-13	60,68		

Las muestras de suelo que están por encima del límite permisible pertenecientes al Grupo 1 se encontraron las muestras, M-1 con 122,48 mg/kg de V, obtenida en el municipio de Santiago; M-2 con 117,01 mg/kg de V, obtenida en cerca del municipio de Allende; M-4 con 109,70 mg/kg de V, obtenida en el Rancho Gamo (Entronque Carretera Nacional - Ejido el Coyote); M-5 con 100,61 mg/kg de V, obtenida rumbo al Ejido la Laja, cerca del municipio de Hualahuises; M-6 con 81,01 mg/kg de V, obtenida en el camino al Perico (cerca del municipio de Linares)

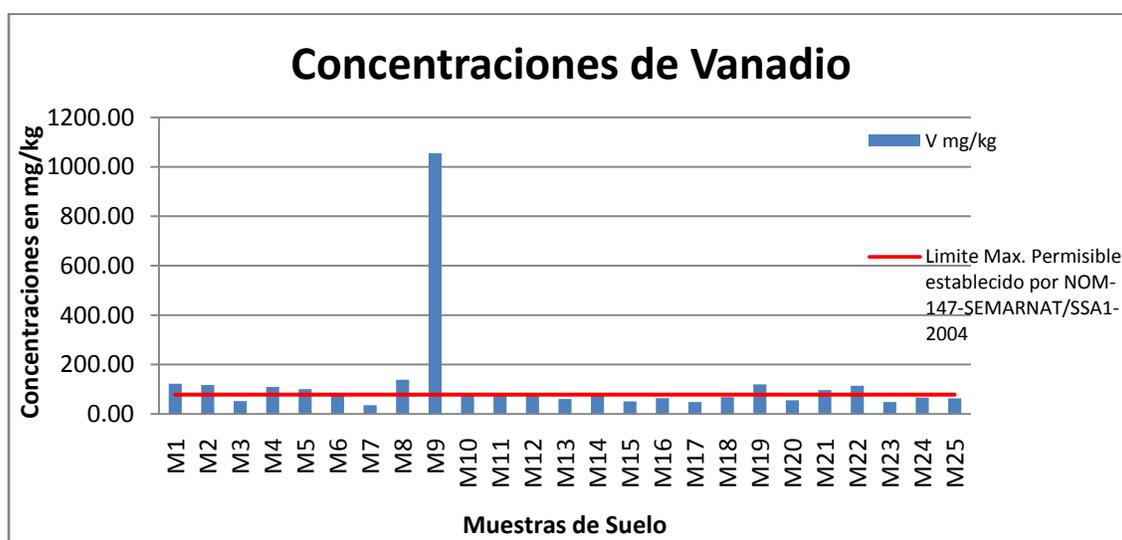
Dentro del Grupo 2 las muestras que se encuentran por encima del límite máximo permisible son, M-8 con 138,18 mg/kg de V, obtenida en la carretera Linares – Galeana (Km. 24 – 25); M-9 con la máxima concentración de 1054,92 mg/kg de V, obtenida en el municipio de Iturbide (Camino a Santa Rosa), M-10 con 83,09 mg/kg de V, obtenida en la carretera Linares – Galeana.

En el Grupo 3, muestras recopiladas en el municipio de García o cerca de mismo, presentan valores por del límite de la normativa mexicana, teniendo como concentración mínima 60,68 mg/Kg de V (M-13) y como máxima 77,11 mg/Kg de V (M-12).

Las concentraciones que se encuentran por encima del límite permisible para las muestras de suelo pertenecientes del Grupo 4 son: 80,66 mg/kg de V (para la muestra M-14) obtenida cerca de municipio de Mina (Carretera Monclova Km. 39); 119,70 mg/kg de V (para la muestra M-19) obtenida carretera Dr. González – Cerralvo km. 50.

Las muestras de suelo que pertenecen al Grupo 5 y se encuentran por encima del límite máximo permisible son: la muestra M-21 con 96,56 mg/kg de V, obtenida en la carretera libre Cadereyta – Reynosa km. 41 y la muestra M-22 con 113,99 mg/kg de V, obtenida carretera libre Cadereyta – Reynosa km. 61.

En la Figura 20, se puede apreciar las concentraciones de vanadio obtenidas de las muestras de suelo analizadas, donde 12 de 25 resultados sobre pasan el límite máximo permisible (78 mg/kg) establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.



**Figura 20. Concentraciones de Vanadio en mg/kg obtenidos por medio de EAA.**

A continuación se muestra la Tabla 18, indicando las concentraciones de Vanadio obtenidas por medio de FRX (NITON y Epsilon-3) y las concentraciones obtenidas por medio de EAA.

**Tabla 18. Concentraciones de Vanadio en mg/kg por medio de FRX y EAA.**

Resultados de Vanadio en mg/kg					
Muestra	FRX, NITON	FRX, Epsilon-3			EAA
		Suelo Suelto	Suelo Comprimido	Suelo Previamente Calcinado	
M-1	184,9	168,0	162,4	123,2	122,48
M-2	147,1	162,4	173,7	121,7	117,01
M-3	117,7	106,4	106,4	81,2	51,91
M-4	197,0	168,0	162,4	117,9	109,70
M-5	115,7	123,2	134,4	98,4	100,61
M-6	78,7	123,2	123,2	86,6	81,01
M-7	< LOD	56,0	33,6	40,9	35,34
M-8	216,2	190,5	184,9	89,5	138,18
M-9	880,6	1338,8	1439,6	1079,2	1054,92
M-10	115,4	112,0	117,6	82,3	83,09
M-11	92,7	100,8	106,4	92,4	76,58
M-12	93,2	72,8	89,6	73,9	77,11
M-13	78,4	84,0	100,8	80,1	60,68
M-14	98,2	84,0	78,4	85,0	80,66
M-15	76,7	72,8	61,6	58,7	50,58
M-16	84,3	61,6	67,2	58,9	63,63
M-17	< LOD	50,4	56,0	48,7	48,44
M-18	106,8	67,2	78,4	66,3	68,29
M-19	123,7	140,0	134,4	106,9	119,70
M-20	79,9	61,6	61,6	62,3	55,31
M-21	112,6	117,6	134,4	92,	96,56
M-22	151,7	134,4	140,0	115,9	113,99
M-23	86,3	67,2	61,6	55,7	48,02
M-24	89,0	84,0	84,0	68,4	66,58
M-25	80,9	106,4	89,6	69,7	63,27

---

### 3.7 Correlación Lineal entre las Técnicas EAA y FRX

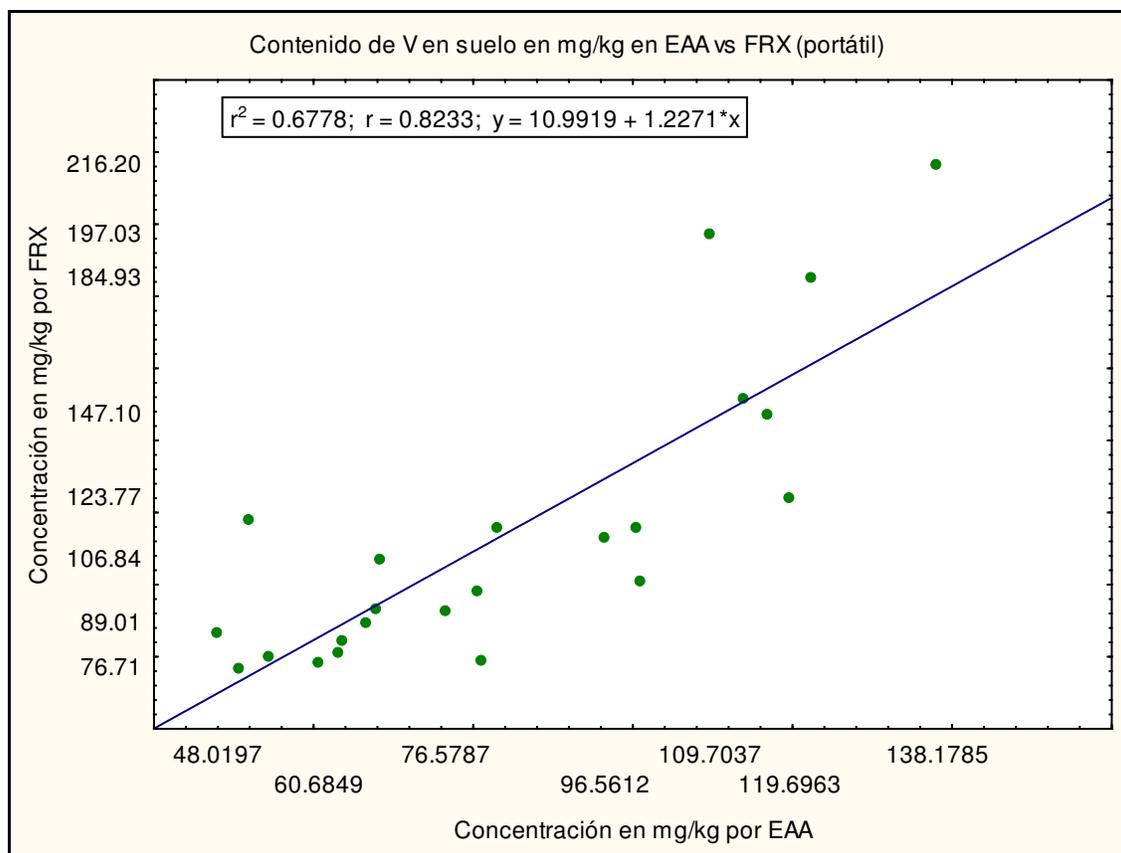
En este apartado se determinó la correlación existente entre los resultados de vanadio de las dos técnicas utilizadas en la investigación, graficándose las concentraciones obtenidas de EAA con los diferentes resultados de FRX, tanto como para el equipo portátil como para los del equipo fijo; éste con sus tres diferentes resultados (suelo suelto, suelo comprimido y suelo comprimido de la muestra calcinada previamente).

Se trabajó con 25 muestras de suelo, con un tamaño de partícula menor a 0,105 mm para los análisis de las técnicas utilizadas.

La correlación se llevo a cabo únicamente para concentraciones de vanadio, ya que, para cadmio no pudo realizarse debido a que los dos equipos utilizados de FRX no detectaron valores cuantificables en las muestras de suelo y para las concentraciones de plomo, si se encontraron resultados para este elemento, pero los valores están por debajo del límite máximo permisible, contrario a los valores de vanadio.

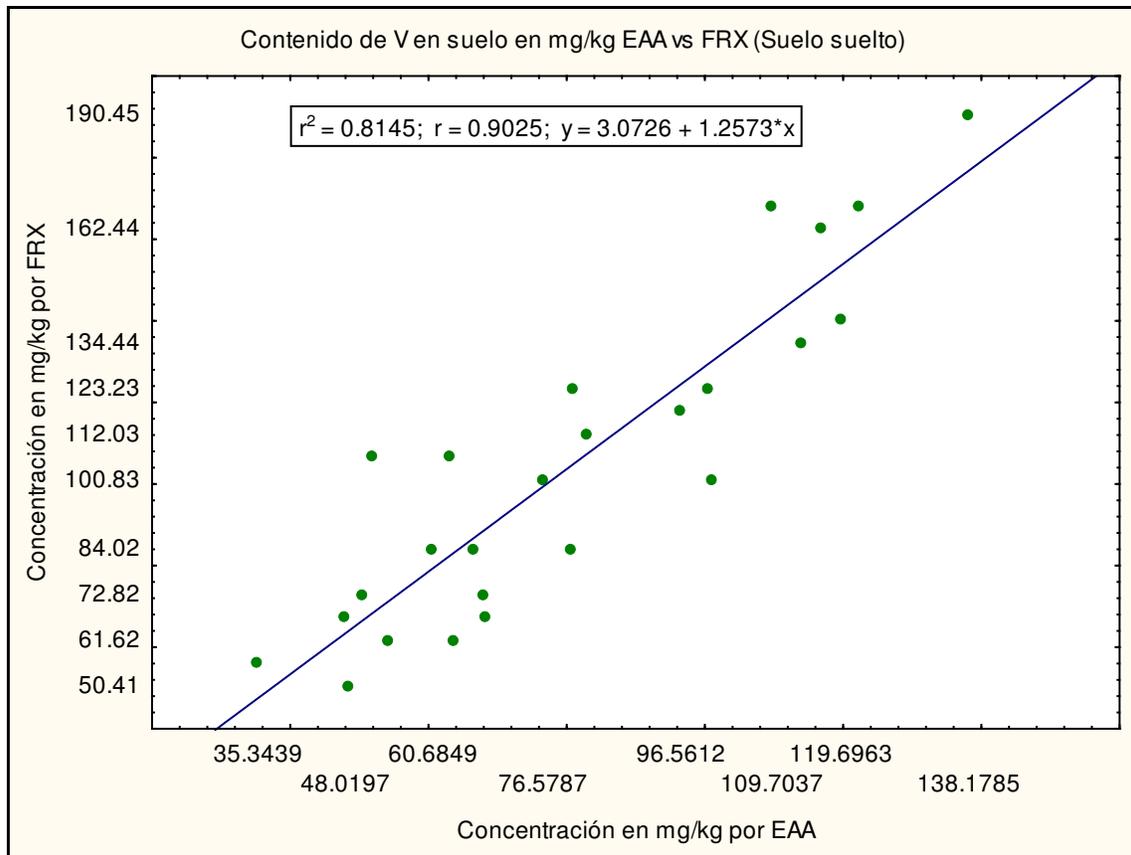
Al realizarse los diagramas de dispersión que muestran la comparación entre las concentraciones de vanadio obtenidas por los métodos de EAA y FRX, se calculo el coeficiente de correlación lineal ( $r$ ), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la ecuación de la línea de tendencia para cada uno de los diagramas de dispersión.

En la Figura 21, se observa el diagrama de dispersión con las concentraciones de vanadio de las 25 muestras de suelo, esto para EAA y los resultados de FRX (equipo portátil NITON), encontrando un valor de  $r= 0,8233$  y  $R^2= 0,6778$  representando una correlación estadísticamente válida entre ambas técnicas.



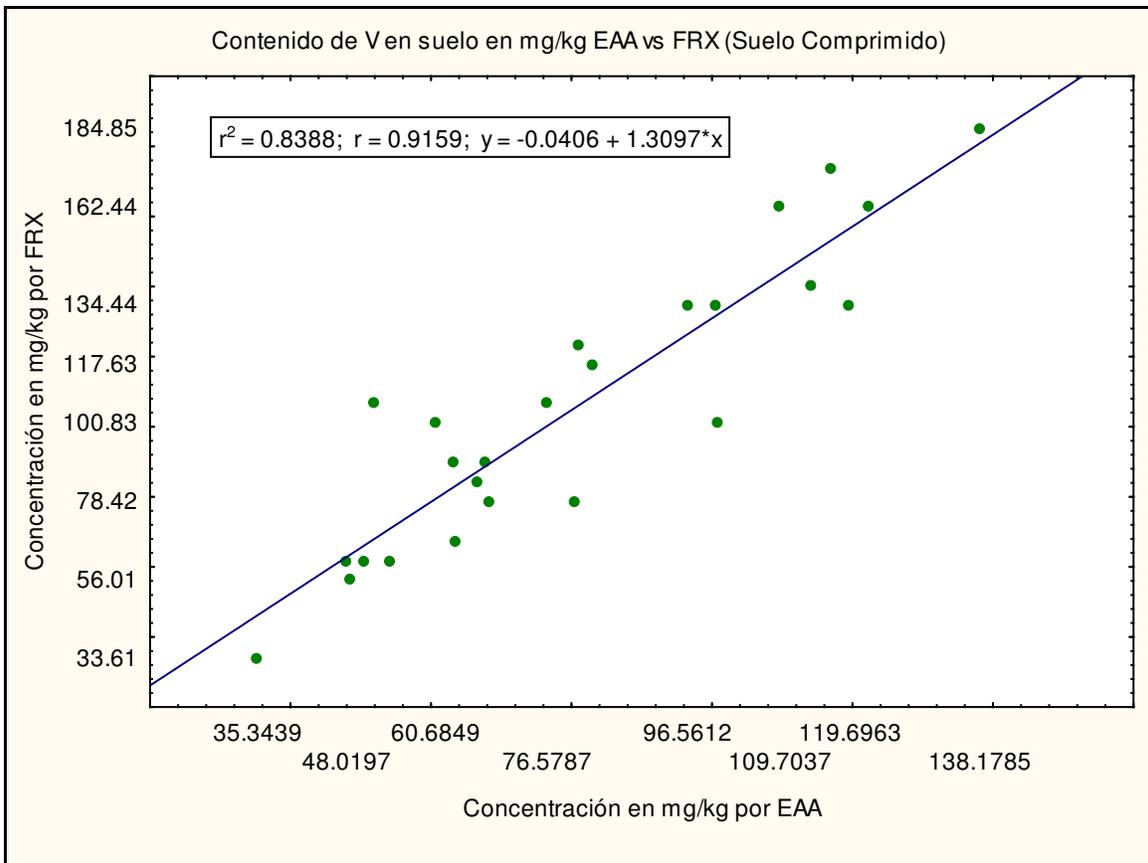
**Figura 21. Correlación Lineal entre EAA y FRX (portátil)**

Al realizarse el diagrama de dispersión entre EAA y FRX (suelo suelto), presentado en la Figura 22, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal  $r = 0,9025$  lo que indica que existe una muy alta correlación entre las dos técnicas y una  $R^2 = 0,8145$  indicando una buena predicción de la variable Y (FRX).



**Figura 22. Correlación lineal entre EAA vs FRX (suelo suelto)**

Se realizó el diagrama de dispersión entre EAA vs FRX (suelo comprimido), presentado en la Figura 23, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal  $r = 0,9159$  indicando una correlación estadísticamente válida entre ambas técnicas con una  $R^2 = 0,8388$  indicando una buena predicción de la variable Y (FRX). Es el coeficiente de correlación más alto que se presentó de los diagramas de dispersión realizados.



**Figura 23. Correlación lineal entre EAA vs FRX (suelo comprimido)**

En la Figura 24, se presenta el diagrama de dispersión entre EAA y FRX (suelo comprimido, de la muestra calcinada previamente), encontrando valores de  $r = 0,8794$  y  $R^2 = 0,7734$  presentando una correlación estadísticamente válida entre las dos técnicas.



---

### 3.8 Comparación de resultados obtenidos con estudios previos dentro del Área Metropolitana de Monterrey.

En este apartado se realiza la comparación de los resultados de los elementos seleccionados con estudios previos realizados en el Departamento de Ingeniería Ambiental, UANL. Resultados obtenidos de FRX portátil NITON, tomando en cuenta el tipo de suelo edafológico, en el que se encuentra cada muestra de suelo a comparar.

Para las concentraciones de cadmio obtenidas en los suelos prístinos y el estudio realizado en parques y plazas, presentan valores que no fueron detectables por el equipo para ninguna de las muestras, en cuanto al estudio realizado en la periferia de empresas, solamente en una muestra (M7) se detectó la presencia de cadmio, a 22 mg/kg, ubicado en un suelo de tipo Xerosol, los resultados se presentan en la Tabla 19, dicha empresa ubicada en el municipio de García.

El límite máximo permisible para Cadmio según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; para uso comercial/ residencial/ agrícola es 37 mg/kg y para uso industrial 450 mg/kg.

**Tabla 19. Resultados de las concentraciones de Cadmio en este estudio y estudios previos.**

Cadmio	Suelos Prístinos	Parques y Plazas	LMP NOM-147	Periferia Empresas	LMP NOM-147
Mínimo	No Detectable	No Detectable	37 mg/kg	-	450 mg/kg
Máximo	No Detectable	No Detectable	37 mg/kg	22 mg/kg	450 mg/kg

En cuanto a las concentraciones de Plomo, en la Tabla 20 se muestran las concentraciones mínimas y máximas de las diferentes investigaciones como también el límite máximo permisible establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; para uso comercial/ residencial/ agrícola es 400 mg/kg y para uso industrial 800 mg/kg. En este estudio realizado en suelos

prístinos los resultados presentan valores no detectables por el equipo, en las muestras de suelo restantes se muestra un valor mínimo de 9,1 mg/kg en la muestra M-5, localizada rumbo al Ejido la Laja cerca del municipio de Hualahuises, hasta un valor máximo de 85,3 mg/kg en la muestra M-13, localizada cerca de la Av. Lincoln, en el municipio de García, en el estudio previo de parques y plazas muestra como valor mínimo 18,035 mg/kg para la muestra M15, en la colonia Metroplex, municipio de Apodaca y un valor máximo de 394,65 mg/kg para la muestra M6, en la colonia Victoria del municipio de Monterrey, sin embargo, todos los valores de éstos estudios se encuentran dentro del límite máximo permisible de 400 mg de Pb/kg. Finalmente en el estudio realizado en la periferia de empresas los valores oscilan desde 62 mg/kg para la muestra M19, en una empresa localizada en el Municipio de Pesquería y como máximo 15900 mg/kg para la muestra M2, empresa localizada en el municipio de García, confirmándose la contaminación por actividad industrial, el límite máximo permisible reportado por la normativa mexicana para uso industrial es de 800 mg de Pb/kg.

**Tabla 20. Resultados de las concentraciones de Plomo en este estudio y estudios previos.**

Plomo	Suelos Prístinos	Parques y Plazas	LMP NOM-147	Periferia Empresas	LMP NOM-147
Mínimo	9,09 mg/kg	18,035 mg/kg	400 mg/kg	62 mg/kg	800 mg/kg
Máximo	85,3 mg/kg	394,65 mg/kg	400 mg/kg	15900 mg/kg	800 mg/kg

A continuación se presenta la Tabla 21, mostrándose una comparación de las concentraciones de Plomo obtenidas por FRX en equipo portátil NITON, de los suelos prístinos con los estudios previos (parques y plazas y periferia de empresas), tomando en cuenta el tipo de suelo edafológico.

**Tabla 21. Concentraciones de Plomo y tipo de suelo Edafológico.**

Suelo Edafológico	Suelos Prístinos	Parques y Plazas		Periferia de Empresas	
Regosol	<b>M-1 – 33,5</b>	-		-	
	<b>M-2 - 13,5</b>				
Cambisol	<b>M-3 - 12,7</b>	-		-	
Vertisol	<b>M-4 - 13,3</b>	-		-	
	<b>M-5 - 9,1</b>				
Fluvisol	<b>M-8 - 18,8</b>	<b>M9 - 33,85</b>		-	
Yermosol	<b>M-12 - 23,9</b>	-		-	
Feozem	<b>M-15 - 16,4</b>	M1 - 85,36	M11 - 239,00	-	
		M2 - 87,61	M13 - 51,15		
		M5 - 93,38	M14 - 69,20		
		<b>M6 - 394,65</b>	<b>M15 - 18,04</b>		
		M8 - 66,65	M16 - 55,08		
Rendzina	<b>M-16 - 11,3</b>	<b>M3 - 173,20</b>		-	
		M4 - 58,08			
	<b>M-21 - 9,3</b>	M7 - 63,15			
		<b>M12 - 32,70</b>			
Xerosol	<b>M-13 - 85,3</b>	<b>M10 - 72,90</b>		M1 - 12682,66	M8 - 8425,83
				<b>M2 - 15900</b>	M9 - 11080,28
				M3 - 14400	<b>M10 – 525</b>
				M4 - 14000	M11 – 2629
				M5 - 4039,93	M12 – 2076
				M6 - 1482,33	M13 – 1640
				M7 - 7997,79	
Castañozem	<b>M-11 - 38,2</b>	-		M14 - 2339	M18 – 212
				<b>M15 - 5583</b>	<b>M19 – 62</b>
				M16 – 263	M20 – 66
				M17 – 374	M21 – 103
Litosol	-	-		<b>M22 – 3468</b>	
				<b>M23 – 8792</b>	
				M24 – 7345	

Para los suelos Regosol, Cambisol, Vertisol y Yermosol, no se obtuvieron resultados en el estudio de parques y plazas ni tampoco para el estudio realizado en periferia de empresas, solamente se recopilaron muestras de suelo para suelos prístinos.

---

En suelo de tipo Litosol, se obtuvieron resultados en el estudio realizado en la periferia de empresas, variando entre 3468 mg/kg y 8792 mg/kg. La muestra M-9 del presente estudio, se obtuvo en un suelo de este tipo, pero el resultado se encontró por debajo del límite de detección del equipo portátil NITON.

En el tipo de suelo Fluvisol, se recopilaron muestras presentándose en este estudio en la muestra M-8 con 18,8 mg de Pb/kg y en el estudio de parques y plazas en la muestra M-9, con una concentración de 33,85 mg de Pb/kg.

En suelo Feozem, se recopilaron muestras en éste estudio realizado en suelos prístinos presentándose solamente la muestra M-15 con 16,4 mg de Pb/Kg y en el estudio de parques y plazas en diez muestras de suelo, la concentración mínima es de 18,04 mg de Pb/kg (M15) y presenta dos muestras de concentraciones altas 239,00 mg de Pb/kg (M11) y 394,65 mg de Pb/kg (M6), sin embargo, dichas concentraciones se encuentran por debajo del límite máximo permisible según la normativa mexicana.

En suelo de tipo Rendzina, se recopilaron dos muestras para este estudio de suelos prístinos presentándose concentraciones de 11,3 mg de Pb/kg (M-16) y 9,3 mg de Pb/kg (M-21) y en el estudio de parques y plazas varían entre 32,70 (M12) y 173,20 (M3) mg de Pb/kg.

En suelo Castañozem, se recopiló una muestra en suelo prístinos presentándose una concentración de 38,2 mg de Pb/kg (M-11), mientras que en el estudio de periferia de empresas se recopilaron ocho muestras de suelo en este tipo de suelo, variando las muestras con una concentración mínima de 62 mg de Pb/kg (M19) y máxima de 5583 mg de Pb/kg (M15), colocándose la concentración muy por encima del límite máximo permisibles establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. (800 mg de Pb/Kg en uso industrial). Por otro lado, el estudio realizado en parques y plazas no se presenta muestras de este tipo de suelo.

En suelo de tipo Xerosol, se obtuvo una muestra para el estudio de suelos prístinos, obteniendo una concentración de 85,3 mg de Pb/kg (M-13), en

---

cuanto al estudio de parques y plazas también se presenta un resultado con una concentración de 72,90 mg de Pb/kg para la muestra M10. Por otro lado, en el estudio realizado en la periferia de empresas, las concentraciones varían entre 525 mg de Pb/kg (M10) y 15900 mg de Pb/kg (M2). Presentando concentraciones por encima del límite máximo permisible establecido por la normativa mexicana en la mayoría de las muestras de suelo.

Los resultados de las concentraciones de vanadio obtenidos de las muestras de suelo se presentan en la Tabla 22, donde se muestran los resultados mínimos y máximos de cada estudio y el límite máximo permisible establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; para uso comercial/residencial/ agrícola es 78 mg/kg y para uso industrial 1000 mg/kg. presentan muestras que contiene valores no detectables de las concentraciones de vanadio en suelos prístinos, el resto de las muestras presentan un rango de concentración como mínimo de 76,7 mg/kg para la muestra M-15, localizada en el municipio de Abasolo y un valor máximo de 880,6 mg/kg para la muestra M-9, localizada cerca del municipio de Iturbide, camino a Santa Rosa, tomando en cuenta que 22 de las 25 muestras analizadas se encuentran por encima de la normatividad mexicana, por su parte el estudio realizado en parques y plazas presenta valores que varían entre 28,8 mg/kg para la muestra M14, en la colonia Bosque Real II del municipio de Apodaca y 148,95 mg/kg para la muestra M10, en la colonia Contry del municipio de Monterrey, encontrándose vanadio en todas la muestras de suelo, presentándose en algunas con niveles superiores a los límites permisibles reportados por la normativa mexicana, el cual es 78 mg de V/kg. Finalmente en el estudio realizado en la periferia de empresas, 14 de las 24 muestras obtenidas presentan valores de concentraciones de vanadio con una variación entre 70 mg/kg para la muestra M20, empresa localizada en el municipio de Pesquería, hasta un valor 310 mg/kg, empresa localizada en el municipio de García. Las concentraciones se encuentran dentro del límite máximo permisible que reporta la normativa mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, ya que para uso industrial presenta una concentración de 1000 mg de V/kg.

---

**Tabla 22. Resultados de las concentraciones de Vanadio en este estudio y estudios previos.**

Vanadio	Suelos Prístinos	Parques y Plazas	LMP NOM-147	Periferia Empresas	LMP NOM-147
Mínimo	76,7 mg/kg	28,8 mg/kg	78 mg/kg	70 mg/kg	1000 mg/kg
Máximo	880,6 mg/kg	148,95 mg/kg	78 mg/kg	310 mg/kg	1000 mg/kg

A continuación se presenta la Tabla 23, mostrándose una comparación de las concentraciones de Vanadio obtenidas por FRX en equipo portátil NITON, de los suelos prístinos con los estudios previos (parques y plazas y periferia de empresas), tomando en cuenta el tipo de suelo edafológico.

**Tabla 23. Concentraciones de Vanadio y tipo de suelo Edafológico.**

Suelo Edafológico	Suelos Prístinos	Parques y Plazas		Periferia de Empresas	
Regosol	<b>M-1 - 184,9</b>	-	-	-	-
	M-2 - 147,1				
	<b>M-24 - 89,0</b>				
Cambisol	<b>M-3 - 117,7</b>	-	-	-	-
	<b>M-25 - 80,9</b>				
Vertisol	<b>M-4 - 197,0</b>	-	-	-	-
	M-5 - 115,7				
	<b>M-6 - 78,7</b>				
	M-23 - 86,3				
Fluvisol	<b>M-8 - 216,2</b>	<b>M9 - 142,10</b>		-	
Yermosol	<b>M-12 - 93,2</b>	-		-	
Chernozem	M-22 - 151,7	-		-	
Feozem	<b>M-10 - 115,4</b>	M1 - 73,37	M11 - 77,20	-	-
		M2 - 100,28	M13 - 82,20		
		M5 - 96,85	<b>M14 - 28,80</b>		
	<b>M-15 - 76,7</b>	M6 - 99,68	M15 - 36,60		
		<b>M8 - 109,30</b>			
		M16 - 94,50			
Rendzina	<b>M-16 - 84,3</b>	<b>M3 - 94,00</b>	M4 - 92,13	-	-
	<b>M-19 - 123,8</b>				
	M-21 - 112,7	M7 - 91,20	<b>M12 - 77,00</b>		
Xerosol	<b>M-13 - 78,4</b>	<b>M10 - 148,95</b>	-	M2 - 210	M7 - 160
	<b>M-14 - 98,2</b>			M3 - 180	M8 - 130
				M-20 - 79,9	M4 - 270
				M5 - 170	M10 - 160
	<b>M6 - 110</b>				
Castañozem	<b>M-11 - 92,7</b>	-		M14 - 85	M18 - 75
		-			
	<b>M-18 - 106,8</b>	-		<b>M15 - 90</b>	<b>M20 - 70</b>
		-			
Litosol	<b>M-9 - 880,6</b>	-		<b>M22 - 140</b>	

En las muestras recopiladas para este estudio en los suelos Regosol, Cambisol, Vertisol, Yermosol y Chernozem, no se puede hacer comparación

---

alguna con estudios previos, ya que no se tomaron muestras, en los tipos de suelo ya mencionados.

En suelo de tipo Fluvisol, se obtuvo una muestra en este estudio, obteniendo una concentración de 216,2 mg de V/Kg (M-8) y para el estudio en parques y plazas, se recopiló una muestra obteniendo una concentración de 142,10 mg de V/kg (M9).

En suelo Feozem, se tomaron dos muestras para este estudio, obteniendo concentraciones de 76,7 mg de V/Kg (M-15) como mínimo y como máximo 115,4 mg de V/Kg (M-10) y para el estudio realizado en parques y plazas, se obtuvo más de la mitad de muestras en este tipo de suelo, obteniendo concentraciones que varían entre 28,8 mg de V/Kg (M14) y 109,3 mg de V/Kg (M8).

En suelo de tipo Rendzina, se obtuvieron muestras en este estudio, donde las concentraciones varían entre 84,3 mg de V/Kg (M-16) y 123,8 mg de V/Kg (M-19) y en el estudio realizado en parques y plazas, se consiguieron muestras de suelo con concentraciones que varían entre 77,00 mg de V/Kg (M12) y 94,00 mg de V/Kg (M-3).

En suelo Xerosol, se recopilaron muestras en los tres estudios realizados, en este estudio las concentraciones varían entre 78,4 mg de V/Kg (M-13) y 98,2 mg de V/Kg (M-14), para el estudio realizado en parques y plazas se obtuvo una muestra con una concentración de 148,95 mg de V/Kg (M10) y por último, en el estudio realizado en la periferia de empresas las concentraciones varían entre 110 mg de V/Kg (M6) y 310 mg de V/Kg (M9).

En suelo de tipo Castañozem, en este estudio realizado se tomaron dos muestras cuyas concentraciones resultaron 92,7 mg de V/Kg (M-11) y 106,8 mg de V/Kg (M-18), por otro lado, en el estudio de periferia de empresas, se obtienen concentraciones de vanadio que van desde 110 mg de V/Kg (M6) hasta 310 mg de V/Kg (M9).

---

Por último en suelo de tipo Litosol, se recopiló una muestra para este estudio obteniendo una concentración de 880,6 mg de V/Kg (M-9) y para el estudio en la periferia de empresas se obtuvo una muestra con una concentración 140 mg de V/Kg (M22).

---

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

Las concentraciones de cadmio obtenidas en el presente estudio por fluorescencia de rayos x estuvieron por debajo del límite establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (37 mg/kg), ya que no se presentó resultado alguno en las muestras de suelos prístinos analizados por los equipos utilizados. Se descarta la incorporación del elemento por actividad antropogénica.

En todas las muestras de suelo analizadas por medio de FRX (Epsilon 3) fue detectado el plomo, sin embargo, con FRX portátil se encontraron muestras donde no se detectó el plomo.

Las concentraciones de plomo obtenidas por fluorescencia de rayos x presentan resultados para el equipo portátil un valor máximo de 85,3 mg/kg de Pb (M-13), en cuanto al equipo fijo, para suelo suelto presenta un valor máximo de 139,3 mg/kg de Pb (M-13), para suelo comprimido presenta una concentración mayor de 176,4 mg/kg de Pb (M-13) y por último para suelo comprimido, con la muestra calcinada previamente presenta un valor máximo de 176,4 mg/kg de Pb (M-13). Todos cuentan con su concentración máxima en la muestra M-13, localizada en el municipio de García, a alrededor de 75 metros de distancia de la Avenida Lincoln. Pudiendo alcanzar dichas concentraciones debido a la industria que se encuentra en la zona. Sin embargo, las concentraciones se encuentran por debajo del límite máximo establecido por NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (400 mg/kg).

Por otro lado, si englobamos los análisis de suelo suelto, suelo comprimido y suelo comprimido de la muestra calcinada previamente del equipo fijo (Epsilon 3), las concentraciones de plomo resultantes, se encuentran en un margen de concentraciones mínimas de 9,3 mg de Pb/kg y valores máximos de 55,7 mg de Pb/kg.

Las muestras de suelo que se encuentran aparte o fuera del margen de concentraciones de plomo son M-1, M-8, M-11 y M-13 ya que presentan

---

concentraciones de 74,3 mg/kg, 92,8 mg/kg, 74,3 mg/kg y 139,3 mg/kg respectivamente para suelo suelto, 83,6 mg/kg, 92,8 mg/kg, 92,8 mg/kg y 176,4 mg/kg respectivamente para suelo comprimido y por ultimo para suelo comprimido de la muestra calcina previamente 74,27 mg/kg, 83,55 mg/kg, 92,8 mg/kg y 176,4 mg/kg respectivamente

Sería importante realizar muestreos de suelo para analizar las concentraciones de plomo, en las zonas que se encuentran fuera de ese margen de concentraciones (9,3 mg/kg – 55,7 mg/kg), presentando resultados mayores.

En todas las muestras de suelo analizadas por medio de FRX (Epsilon 3) fue detectado el vanadio, en cambio, por medio de FRX portátil se encontraron dos muestras de suelo a las que no se les detectó el vanadio.

Las concentraciones de vanadio obtenidas por medio de FRX portátil (NITON) presentan 22 de 25 muestras de suelo que se encuentran por encima del límite máximo permisible establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (78 mg/kg). Teniendo como concentración más alta 880,6 mg/kg (M-9), y un margen de concentración que se concentra entre 76,7 mg/kg (M-15) y 216,2 mg/kg (M-8). Dejando fuera de este margen la muestra de suelo M-9.

Las concentraciones de vanadio obtenidas por medio de FRX fijo (Epsilon 3) presentan para suelo suelto 17 de 25 muestras de suelo por encima del límite máximo permisible. Presentando como concentración más alta 1338, 8 mg/kg (M-9) y un margen de concentración que se concentra entre 50,41mg/kg (M-17) y 190,5 mg/kg (M-8). Dejando fuera la muestra de suelo M-9.

Para suelo comprimido 19 de 25 muestras de suelo se encuentran por encima del límite máximo permisible. Presentando como concentración más alta 1439,6 mg/kg (M-9) y un margen de concentración que se concentra entre 56,0 mg/kg (M-17) y 184,9 mg/kg (M-8). Dejando fuera la muestra de suelo M-9.

---

Por último en cuanto a FRX (Epsilon 3), para suelo comprimido de la muestra calcinada previamente 15 de 25 muestras de suelo se encuentran por encima del límite máximo permisible establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (78 mg/kg). Presentando como concentración más alta 1079,2 mg/kg (M-9) y un margen de concentración que se concentra entre 40,9 mg/kg (M-7) y 123,2 mg/kg (M-1). Dejando fuera únicamente la muestra M-9.

Utilizando la técnica de EAA se obtuvieron concentraciones de vanadio, que varían en un rango entre 35,34 mg/kg (M-7) y 138,18 mg/kg (M-8), tomando en cuenta que la concentración de la muestra M-9 se dispara a 1054,92 mg/kg. De las 25 muestras de suelo analizadas, la mitad de estas (12) contienen concentraciones que se encuentra por encima del límite máximo permisible establecido por la normatividad mexicana (78 mg/kg de V).

Tomando en cuenta los resultados de los análisis de la técnica de EAA, sería de suma importancia realizar muestreos de suelo en el área de la muestra M-9, ya que presenta concentraciones muy por encima del límite permisible y de las demás muestras de suelo

Se puede mencionar, que efectivamente en algunos casos, el suelo presenta concentraciones de vanadio que se encuentra por encima del límite máximo permisible establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (78 mg/kg), por lo que sería bueno realizar un estudio más a detalle; tomando muestras de suelo a distancias más cortas de las establecidas en ésta investigación, para saber si se debe o no, modificar lo establecido en la normativa mexicana, ya que las concentraciones obtenidas son presuntamente naturales (sin modificación antropogénica).

El diagrama de dispersión entre EAA vs FRX (suelo comprimido) fue el que presentó el coeficiente de correlación más alto de los diagramas de dispersión realizados. Obteniendo un coeficiente de correlación lineal  $r = 0,9159$  indicando

---

una alta correlación entre ambas técnicas y una  $R^2= 0,8388$  indicando una buena predicción de la variable Y (FRX).

Los resultados obtenidos por FRX portátil, presentaron una correlación alta con los resultados de EAA ( $r=0,8233$ ), por lo que el uso de esta técnica en campo es factible resultando un método de bajo costo, rápido y que no es destructivo al realizar un barrido de los diversos elementos medibles por el mismo, sin necesidad de realizar un tratamiento previo en campo.

Los resultados de esta investigación constituyen un aporte para la toma de decisiones de las autoridades responsables del desarrollo urbano, ya que es importante conocer las concentraciones de los metales pesados con las que se presenta el sitio antes de la construcción. De la misma manera, para las autoridades competentes que se involucren en casos de pasivos ambientales o proyectos de restauración ambiental de suelos contaminados con estos elementos.

Actualmente se está realizando una obra de gran envergadura para el transporte de gas en el sureste de Nuevo León denominado como Gas Ramones. Cabe señalar, que dicha obra establece una relación de sitio con el presente trabajo en los trayectos entre los municipios de Montemorelos - Linares y Linares - Galeana. Aquí, para la instalación de los ductos ha sido necesario hacer cortes de suelo y rocas, así como atravesar carreteras, ríos y vencer laderas con pendientes abruptas. Es importante señalar que la campaña de muestreo del presente trabajo se realizó anterior a la operación de esta obra.

Las muestras pertenecientes a esta zona son M-4, M-5, M-6, M-7, M-8, M-9 y M-10, los resultados para las concentraciones de vanadio varían de 35,34 mg/kg (M-7) y 1054,92 mg/kg (M-9), estos resultados obtenidos por medio de EAA. Tomando en cuenta que 6 de las 7 muestras se encuentran por encima de las concentraciones de referencia total. Así mismo, las concentraciones de plomo de dichas muestras varían entre 9,3 mg/kg (M-7) y 92,8 mg/kg (M-8),

---

resultados obtenidos por FRX (polvo comprimido). Por último, no se reporto concentración para el cadmio.

Es importante señalar que en el trayecto entre Cadereyta - China a la altura de la refinería localizada en Cadereyta, las muestras M-21 y M-22 resultaron con concentraciones de Vanadio 96,56 mg de V/kg y 113,99 mg de V/kg respectivamente, superiores a la normatividad mexicana. Aquí se puede concluir que esta refinería, a través de derrames de gas o petróleo, podría ser la causa de dichas contaminación en este sitio en particular. Por lo que se puede recomendar de intensificar los estudios con muestreos más cercanos en dirección a la refinería, a través de ríos y arroyos con la finalidad de observar el comportamiento de los mismos y corroborar si esta es la fuente de la contaminación.

---

## 5. Bibliografía

1. Aciego, J., (2012). Indicadores Microbianos de la Calidad del suelo. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.
2. Alanís G., Cano y Cano G. y Rovalo M. (1996). Vegetación y Flora de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León: Impresora Monterrey S.A. de C.V.
3. Alloway, B.J., (1995). Soil processes and the behavior of metals. In B.J. Alloway (Ed) Heavy metals in soils. Blackie Academic. Professional, London.
4. Almaguer Chávez, Yamileth Carolina. (2012). Caracterización de los niveles de Plomo presente en el suelo superficial, en la periferia de empresas, en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
5. Anger I., Gament E., Mihalache M., Plopeanu G. y Ilie L. (2011) Rapid Determination Of Some Heavy Metals In Soil Using An X-Ray Fluorescence Portable Instrument, Research Journal Of Agricultural Science, 43 (3).
6. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (1993). Toxicological profile for lead. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta.
7. ATSDR, Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, (1995). Reseña Toxicológica del Vanadio.
8. Bowen, H.J.M. (1979). Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London.
9. 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.
10. Calzada Mendoza, J. M. (2007). Mapas geoquímicos de metales pesados de de suelos del Estado de Tlaxcala, México. Tesis Maestría. Centro de Geociencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
11. Chapa, Guerrero, J. R. (1993): Massenbewegungen an Steilhängen der Sierra Madre Oriental im Grossraum Monterrey, Mexiko. Tesis Doctoral, RWTH- Aachen, 164 p.

- 
12. Colombo L.D., Mangione S.B. 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.
  13. Contreras-Cadena, D., Gómez-Pech, C., Rangel-García, N., Ruiz-Hernández, A., Matinez-Bulit, P. y Barba-Behrens, N. (2014). La importancia del vanadio en los seres vivos. UNAM.
  14. Dantu, X. (2009) .Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, Serie Medio Ambiente. *J. Environmental Monitoring and Assessment*, 149:213-222.
  15. De Cserna, Z. (1956): Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey; 20th Intern. Geol. Cong., México, monography, 87 p.
  16. De Haan F.A.M. y Van Riemsdijk W.H. (1986): Behaviour of inorganic contaminants in soil. Contamination of soils, 1 st Int. TNO Conf., 1985. Eds. Assink, J.W. y Van de brink, W.J. Nijhoff, Dordrecht, Holanda, 19-36
  17. De la Peña Cerda, Verónica Roció. (2014). Evaluación de la Concentración de Plomo y Cadmio en suelo superficial en parques y plazas públicas en tres municipios del Área Metropolitana de Monterrey. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
  18. Dean, W.E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* 44: 242-248.
  19. Díaz Rengifo, J.A. (2001). Desarrollo de un sistema integrado para la monitorización 'inSitu' de metales pesados. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona
  20. Doert, U. (1987): Contribución al desarrollo estructural laramídico de la Sierra Madre Oriental media (Nuevo León, México). *Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra UANL Linares*, vol. 2: 201 – 204 p.

- 
21. Doménech X. (1997): Química del suelo. El impacto de los contaminantes. Ed. Miraguano, 11-18, 29-52, 119-122.
  22. Eguiluz, S., Aranda, M. y Marrett, R. (2000): Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México, Bol. Soc. Geol. Mex. Vol. LIII, 1 – 26 p.
  23. El-Moselhy, K. (2006). Distribution of vanadium in bottom sediments from the marine coastal area of the Egyptian Seas. Egyptian Journal of Aquatic Research, 32(1), 12-21.
  24. Galán E. y Romero A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla.
  25. García, I. y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
  26. Gómez, J.L., Ross J., Otero, M., Tumbarell O., Linchernat E. y Quevedo O. (2004). Determinación de vanadio por espectrometría de absorción atómica en fuel oils. Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 37, No. 1.
  27. Gulson B.L., Mizon K.J., Korsch M.J. y Howarth D. (1996). Non-orebody sources are significant contributors to blood lead of some children with low to moderate lead exposure in a mayor mining community. The science of the total environment. 181: 223-230.
  28. Halliwell D, Turoczy N y Stagnitti F (2000). Lead concentrations in Eucalyptus sp. In a small coastal town. Bull Environ. Contam. Toxicol. 65: 583-590.
  29. Han, F.X.; W.I. Kingery; H.M. Selim & P. Gerard. (2000). Accumulation of heavy metals in a long - term poultry waste amended soil. Soil Sci. 165:260-268.
  30. Hernández Hernández, Adela. (2011). Determinación de Metales Pesados en suelos de Natividad, Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Sierra Juárez.
  31. Humprey, W. E. y Díaz, T. (1956): Correlation of the mosozoic strata of northeast México. GCAGS, Transactions. 6, 32-34 p.

- 
32. Ibarra Martínez Sergio. (2007). Riesgos Geológicos en la Región Sursureste del Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México (Mederos). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León.
  33. IGg-UNAM (2001). "Diagnóstico Ambiental de la Planta Monterrey, IMMSA". Informe final para el Instituto Nacional de Ecología. LAFQA, Instituto de Geografía, UNAM, México. 500 pp.
  34. ISO 11047: Soil Quality. Determination of heavy metals by flame and flameless atomic absorption spectrometry.
  35. Jenny, H. (1961). Derivation of state factor equations of soil and ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 385-388.
  36. Kalnicky, D. J. y Singhvi R. (2001). Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials* 83 93–122
  37. Kjellstrom T. y Nordberg G.F. (1985). Kinetic model of cadmium metabolism. *Cadmium and Health, A Toxicological and Epidemiological Appraisal*. Vol I, Boca Raton,,: 179-97.
  38. La Dou J. (1999). *Medicina Laboral y Ambiental*. 2ª. Edición. México: Ed. El Manual Moderno.
  39. Levy B.S. y Wegman D. H. (1998). Eds. *Occupational Health, Recognising and Preventing Work Related Diseases*. 2<sup>nd</sup> Edition. Boston, USA: Little, Brown and Co.
  40. Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos: Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003; Última reforma publicada DOF 22-05-2015 (2015).
  41. Lofts, S.; Spurgeon, D. y Svendsen, C. (2005). Fractions Affected and Probabilistic Risk Assessment of Cu, Zn, Cd, and Pb in Soils Using the Free Ion Approach, *Environmental Science & Technology*, 39 (21), 8533-8540.
  42. López Artiguez M y, Repetto M. (1995). Estado actual de la toxicología del cadmio, *Toxicología avanzada*, Capítulo 10, Ediciones Díaz de Santos S.A., Madrid España, pp 393-405.

- 
43. McBride, M., S. Sauve, y W. Hendershot. (1997). Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*. 48 : 337 -346.
44. Meiburg, P.; Chapa Guerrero, J. R.; Grothehusmann, I.; Kustusch, T.; Lentzy, P.; De León Gómez, H.; H y Mansilla Teran, M. A. (1987): El basamento Precámbrico de Arramberri-Estructura clave para comprender el decollement de la cubierta Jurásica – Cretácica de la Sierra Madre Oriental.- *Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra UANL, Linares, 2: 15-22 p.*
45. Melquiades F. L. y Appoloni C. R. (2004). Application of XRF and field portable XRF for environmental analysis *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 262, No. 2.
46. Naidu R., Bolan N.S., Kookana R.S. y Tiller K.G. (2006). Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils, *European Journal of Soil Science*, Vol. 45.
47. NMX-AA-132-SCFi-2006- Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. Publicada en el Diario Oficial de la Federación, México, Secretaría de Economía, Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, el 5 de septiembre de (2006)
48. NOM-021-SEMARNAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, México, Secretaría de Economía, Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, 31 de diciembre de (2012).
49. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece 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. Publicada en el Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Economía. Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, México, el 2 de marzo de (2007)
50. Orroño, Inés. (2002). Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el

- 
- suelo, ubicación en la planta y toxicidad. Tesis de Doctorado, Facultad de ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
51. Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Alaniz-Álvarez, S., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J, Nieto-Samaniego, A. F. Y Morán-Zenteno, D. J. (1991): Geological Provinces of Mexico- A New Proposal and Bases for their Definition. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geología; Universidad Autónoma de Hidalgo, Instituto de Investigación en Ciencias de la Tierra; Sociedad Geológica de Mineralogía; y Secretaría de Educación Pública, Subsecretaría de Educación Superior e Investigación en Científica, Convención sobre la Evolución Geológica y Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hidalgo, Memoria, p. 143-144.
  52. Padilla y Sánchez, R. J. (1985): Las Estructuras de la Curvatura de Monterrey, Estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, y San Luis Potosí, UNAM, Inst. Geol. Rev. 6(1), 1 – 20 p.
  53. Pérez García, P.E. y Azcona Cruz, M.I., (2012). Los Efectos del Cadmio en la Salud. Rev. Esp. Med. Quir., Volumen 17, Núm. 3, pp. 199-205.
  54. Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados (PNRSC). (2010). [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/Documents/Programa\\_Nacional\\_Remediacion\\_Sitios.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/Documents/Programa_Nacional_Remediacion_Sitios.pdf).
  55. Ramírez, A. (2002). Toxicología del Cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Pags. 51 – 64.
  56. Rieuwerts J. S., Thonton I., Farago M. E. y Ashmore M. R. (1998). Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. Chemical Speciation and Bioavailability, 10 (2): 61-75.
  57. Rosell, R.; Gasparoni J. y Galantini. J. (2001). Soil organic matter evaluation. Pp. 311-322. En: R Lal; J Kimble; R Follett & B Stewart (eds.). Assessment Methods for Soil Carbon. Lewis Publishers, USA.

- 
58. Rubio C., Gutiérrez A.J., Martín-Izquierdo R.E., Revert C., Lozano G. y Hardisson A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. Universidad de La Laguna.
  59. Ruiz, G. (2007). Efectos de la inhalación del vanadio en diente (esmalte y dentina). Modelo en ratón. IX Congreso Nacional de Microscopía. Guanajuato.
  60. Sánchez Bascones, María Isabel. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del campo (Valladolid): contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
  61. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México.
  62. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2004). EVALUACION DE TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS CON METALES. 46 Pág. Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. INE, México.
  63. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2009), Metales Pesados, Agosto <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-agre-metales>
  64. Siebe, Ch. (1994b). "Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el D.R. 03, Tula, Hidalgo". Rev. Int. Contam. Ambient. 10: 15-21
  65. Skoog D. A., Holler F.J. y Crouch S. R., (2001). Principios de análisis instrumental, 6ta edición, Cengage Learning, México.
  66. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1997). Recent developments for in situ treatment of metal contaminated soils. Office of Solid Waste and Emergency Response. Technology Innovation Office. Washington D.C. 48 pp.

- 
67. USEPA 9045, (2000). Method pH in liquid and soil, Third update to the third edition of SW 846, Fed. Regis. 60, 37977,
  68. USEPA, (2007). Method 6200, Field portable X-Ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment.
  69. Valdés, P. F y Cabrera, M. (1999). La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila México, en Defensa del Ambiente, A. C. Texas Center for Policy Studies y CILADHAC, pp 50
  70. Viarengo, A (1985). Biochemical effects of trace metals. Marine. Pollution Bulletin 16: 153-158.
  71. Wenning, R. y Kirsch N. (1988) "Vanadium". In: Hans G. Seiler, Helmut Sigel and Astrid Sigel (Eds), Handbook on toxicity of inorganic compounds. New York., New York, pp. 749-765
  72. Who (1988). "Vanadium" in: Environmental Health Criteria. 81. Technical Report Series, Geneva: WHO.
  73. Who (2000). "Vanadium pentoxide and other inorganic vanadium compounds". Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) 29.
  74. Wiley J. y Sons L., (2000). X-ray Techniques: Overview Ron Jenkin in "Encyclopedia of Analytical Chemistry" R.A. Meyers (Ed.) pp. 13269–13288
  75. Zhu, B. y Alva A.K. (1993). Distribution of trace metals in some sandy soils under citrus production. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:350-355.

---

**Apéndice A**

**LEGISLACIÓN MEXICANA EN MATERIA DE  
CONTAMINACIÓN DE SUELOS**

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

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

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

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

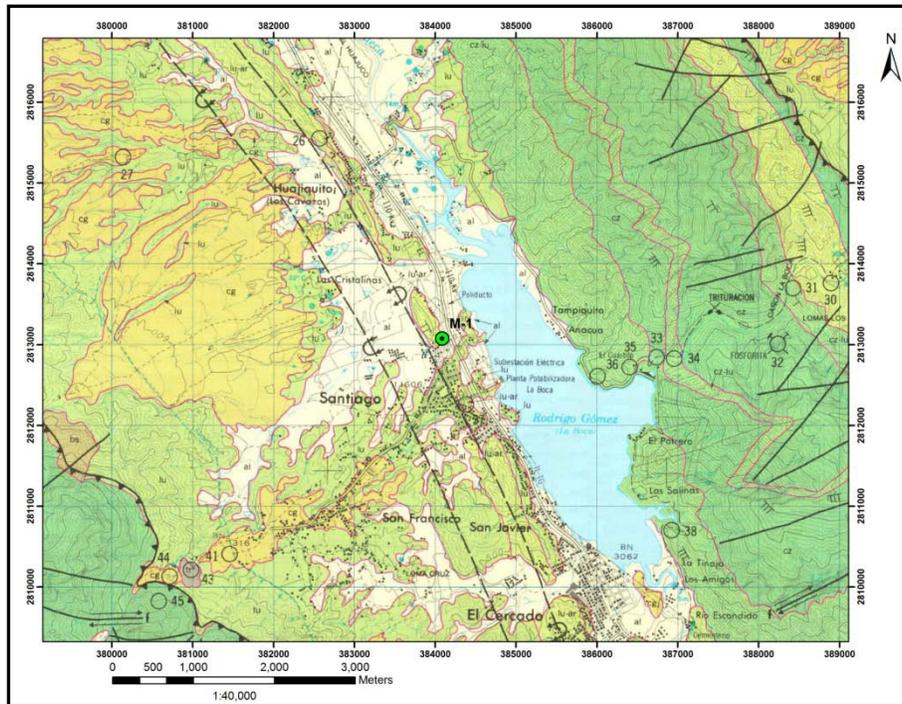
Artículo 135.-	Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran en los siguientes casos: I.- La ordenación y regulación del desarrollo urbano; II.- La operación de los sistemas de limita y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios; III.- la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen; IV.- El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.	LGEEPA
Artículo 139.-	Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.	LGEEPA
Artículo 140.-	La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Economía.	LGEEPA
Artículo 152 BIS.-	Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el periodo o zona respectiva.	LGEEPA
NMX-AA-132-SCFI-2006	Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides y manejo de la muestra	NMX
NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004	Establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelo contaminados por As, Ba, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Ti y V	NOM
Artículo 188.-	La Agencia integrará y mantendrá actualizado el inventario de sitios contaminados por residuos, que contendrá al menos los datos siguientes: I. Área geográfica; II. Vías de comunicación; III. Geología e hidrografía; IV. Áreas de protección o restricción legal; V. Localización de pozos de abastecimiento de agua, mapas de profundidad del nivel de agua subterránea y perímetros de protección de los pozos; VI. Mapas de uso y localizaciones de los sitios contaminados o parcialmente contaminados; y, VII. Localización de cuerpos de agua o captación de aguas superficiales	REGLAMENTO DE LA LEY AMBIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN 02/2008

<p>Artículo 122.-</p>	<p>Para el aprovechamiento sustentable del suelo y su vegetación se considerarán los siguientes criterios; II. El uso del suelo debe hacerse de manera en que éste mantenga su integridad física y su capacidad productiva;</p>	<p>LEY AMBIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN 06/2014</p>
<p>Artículo 167.-</p>	<p>Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios: II.- En los suelos contaminados por la presencia de minerales o residuos de competencia estatal, así como por el aprovechamiento de minerales y sustancias no reservadas a la Federación, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones originales, de tal manera que puedan ser utilizadas cualquier tipo de actividad prevista en los planes de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulten aplicables, sujetándose en todo caso a las recomendaciones que dicte la Secretaría.</p>	<p>LEY AMBIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN 06/2014</p>

---

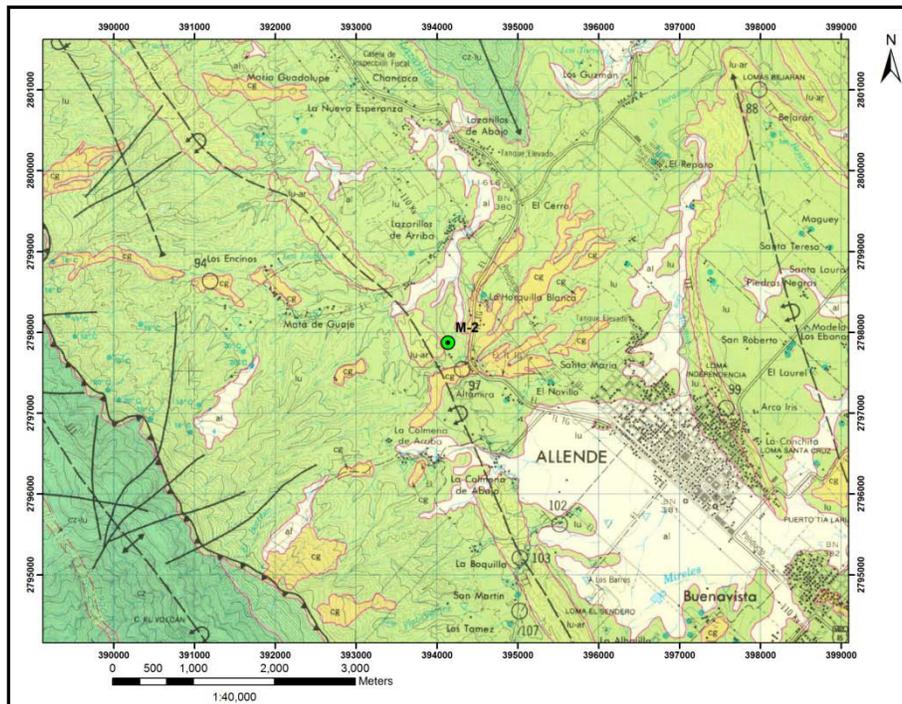
**Apéndice B**

**CARTAS GEOLOGICAS Y EDAFOLOGICAS**



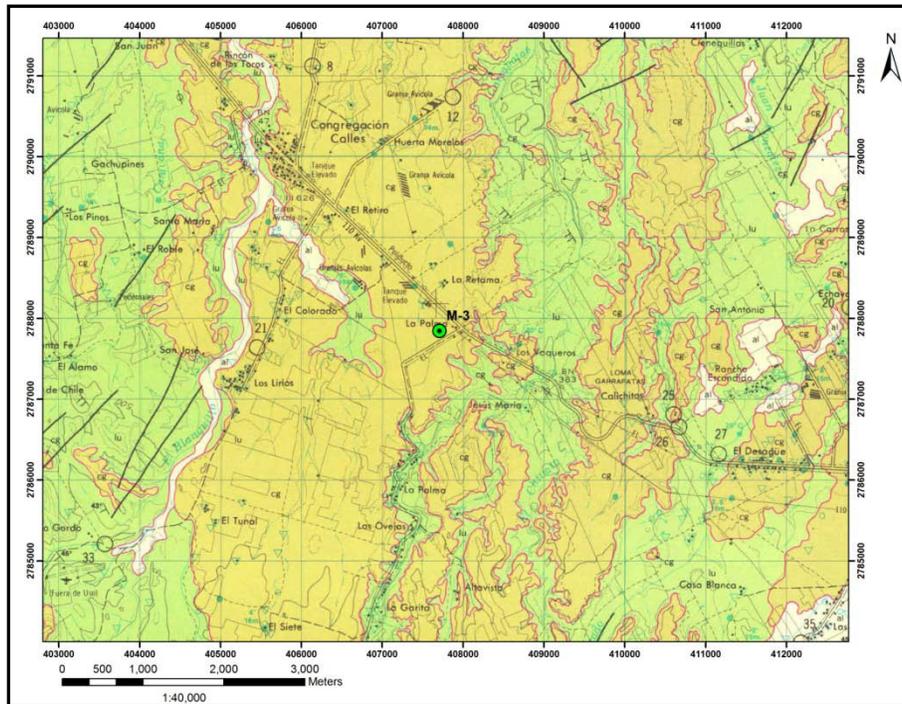
**Figura 25. Ubicación Geológica de la Muestra M-1.**

Fuente: Carta Geológica de Allende G14C36, escala 1:40000, INEGI, 1977.



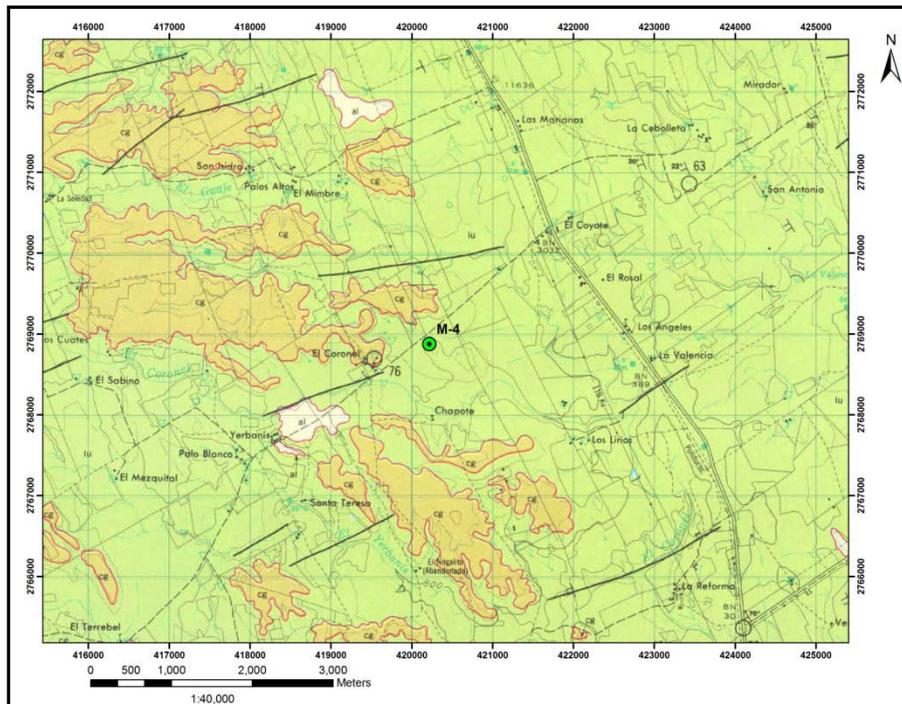
**Figura 26. Ubicación Geológica de la Muestra M-2.**

Fuente: Carta Geológica de Allende G14C36, escala 1:40000, INEGI, 1977.



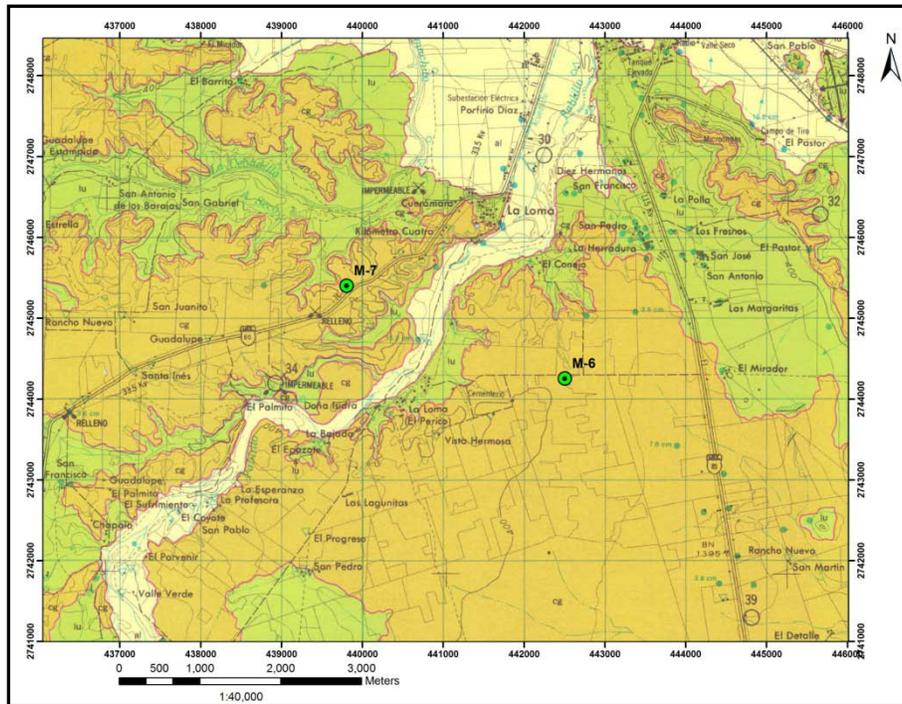
**Figura 27. Ubicación Geológica de la Muestra M-3.**

Fuente: Carta Geológica de Montemorelos G14C47, escala 1:40000, INEGI, 1976.



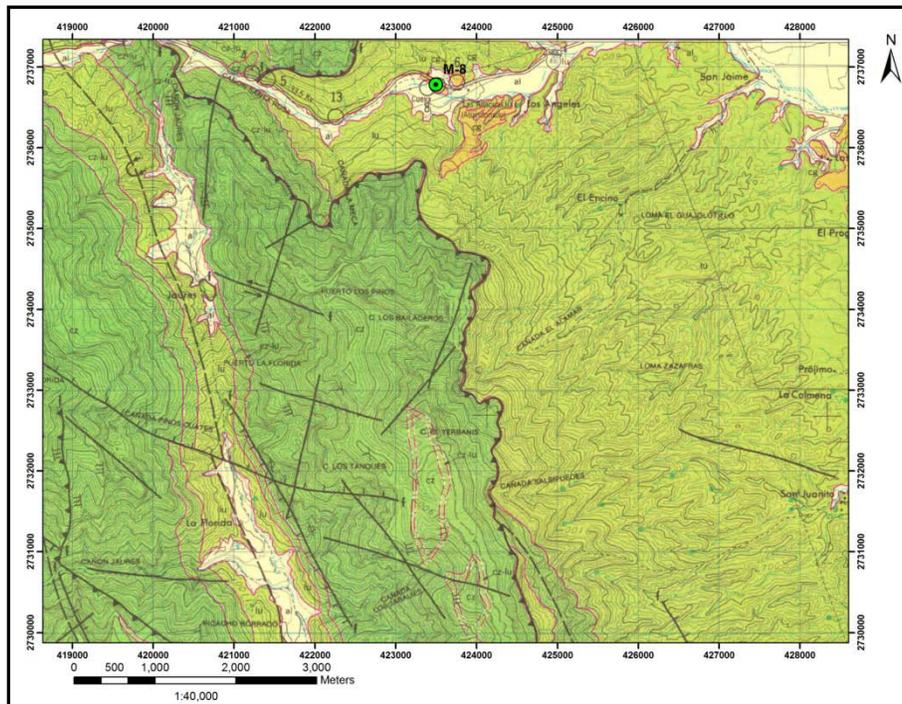
**Figura 28. Ubicación Geológica de la Muestra M-4.**

Fuente: Carta Geológica de Montemorelos G14C47, escala 1:40000, INEGI, 1976.



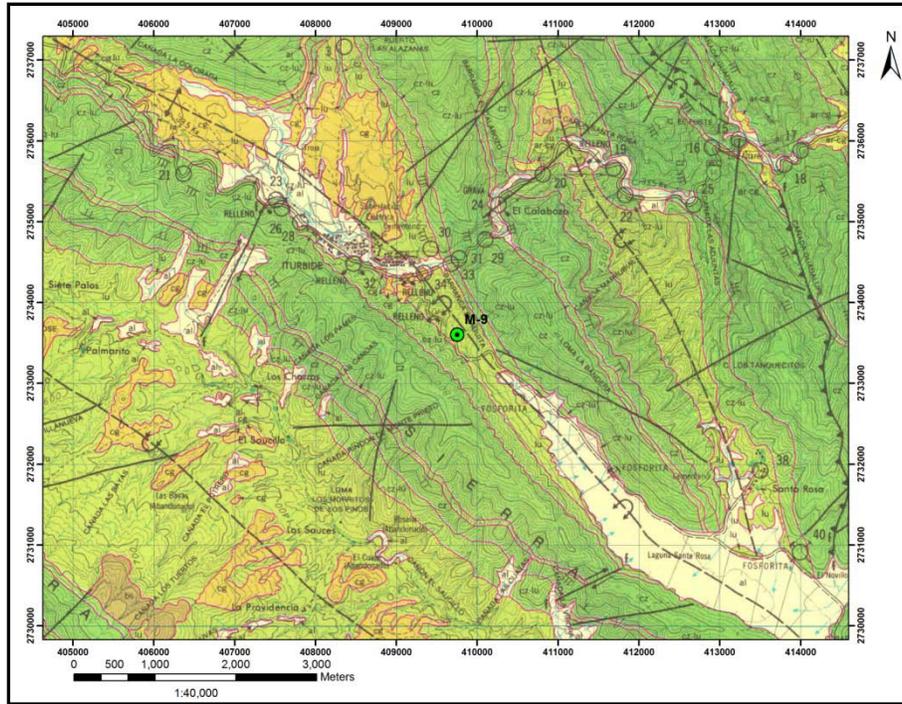
**Figura 29. Ubicación Geológica de la Muestra M-6 y M-7.**

Fuente: Carta Geológica de Linares G14C58, escala 1:40000, INEGI, 1978.



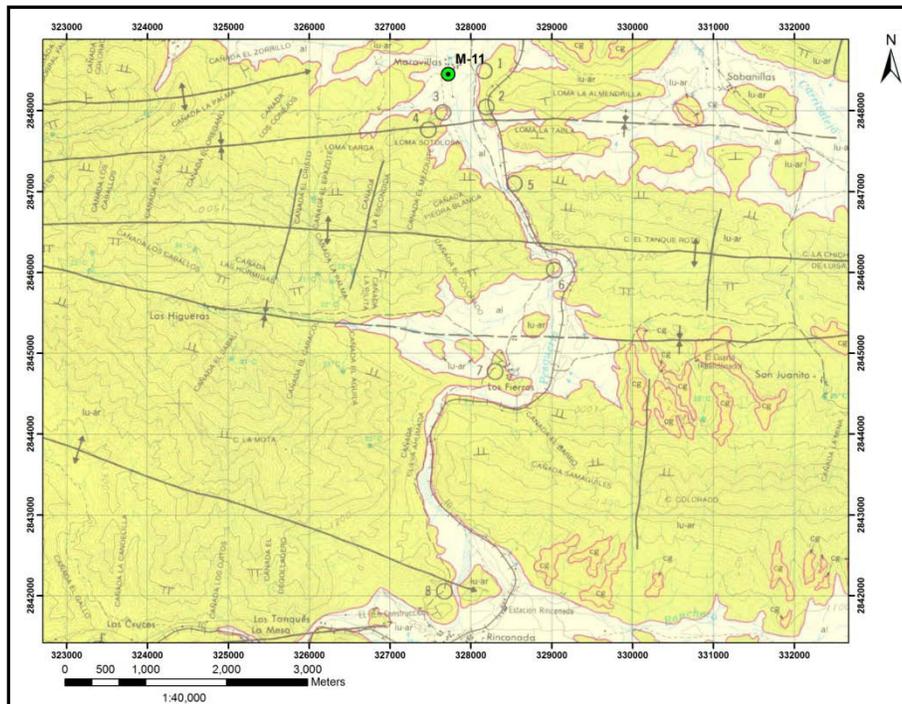
**Figura 30. Ubicación Geológica de la Muestra M-8.**

Fuente: Carta Geológica de Iturbide G14C67, escala 1:40000, INEGI, 1977.



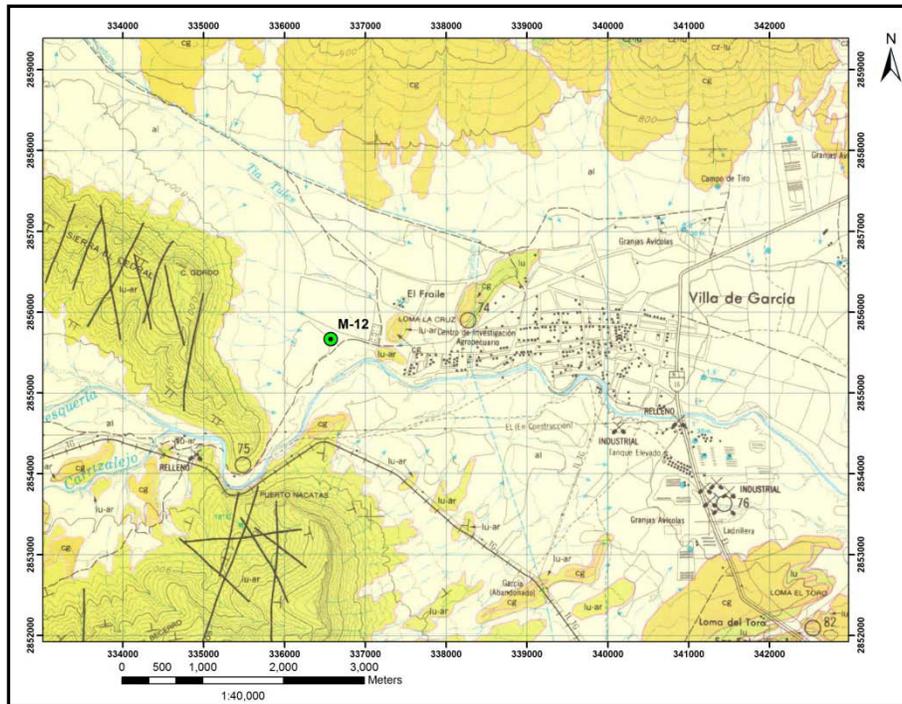
**Figura 31. Ubicación Geológica de la Muestra M-9.**

Fuente: Carta Geológica de Iturbide G14C67, escala 1:40000, INEGI, 1977.



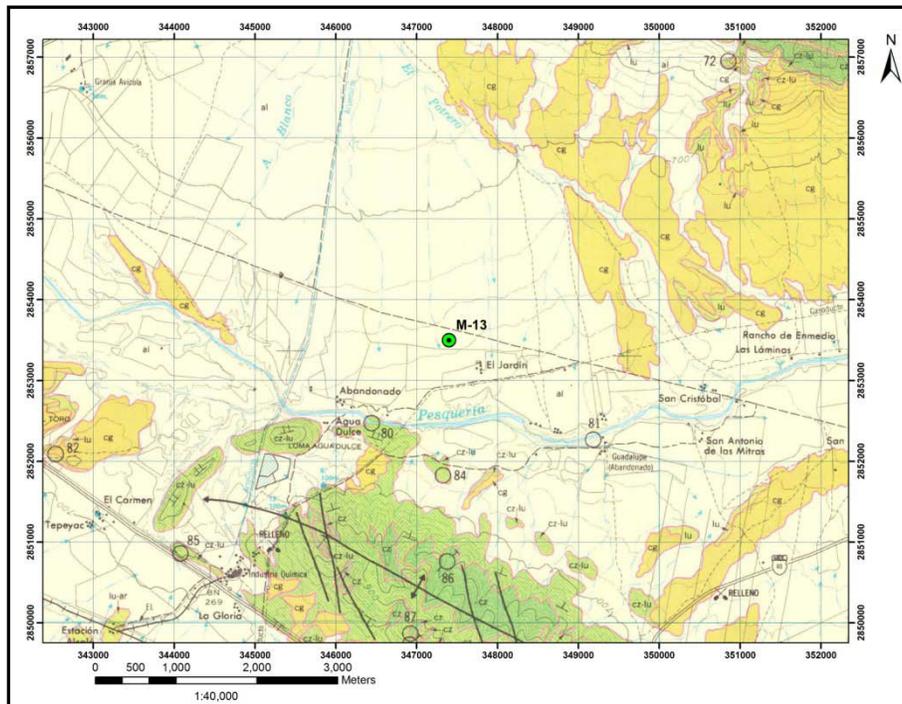
**Figura 32. Ubicación Geológica de la Muestra M-11.**

Fuente: Carta Geológica de Ramos Arizpe G14C24, escala 1:40000, INEGI, 1976.



**Figura 33. Ubicación Geológica de la Muestra M-12.**

Fuente: Carta Geológica de Hidalgo G14C15, escala 1:40000, INEGI, 1976.



**Figura 34. Ubicación Geológica de la Muestra M-13.**

Fuente: Carta Geológica de Hidalgo G14C15, escala 1:40000, INEGI, 1976.

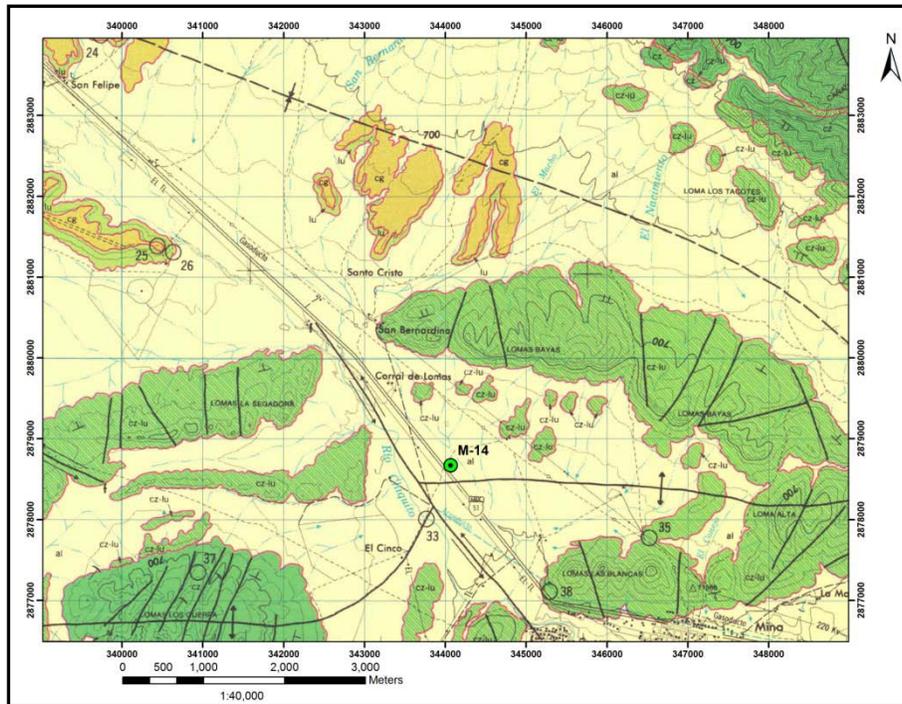


Figura 35. Ubicación Geológica de la Muestra M-14.

Fuente: Carta Geológica de Mina G14A85, escala 1:40000, INEGI, 1978.

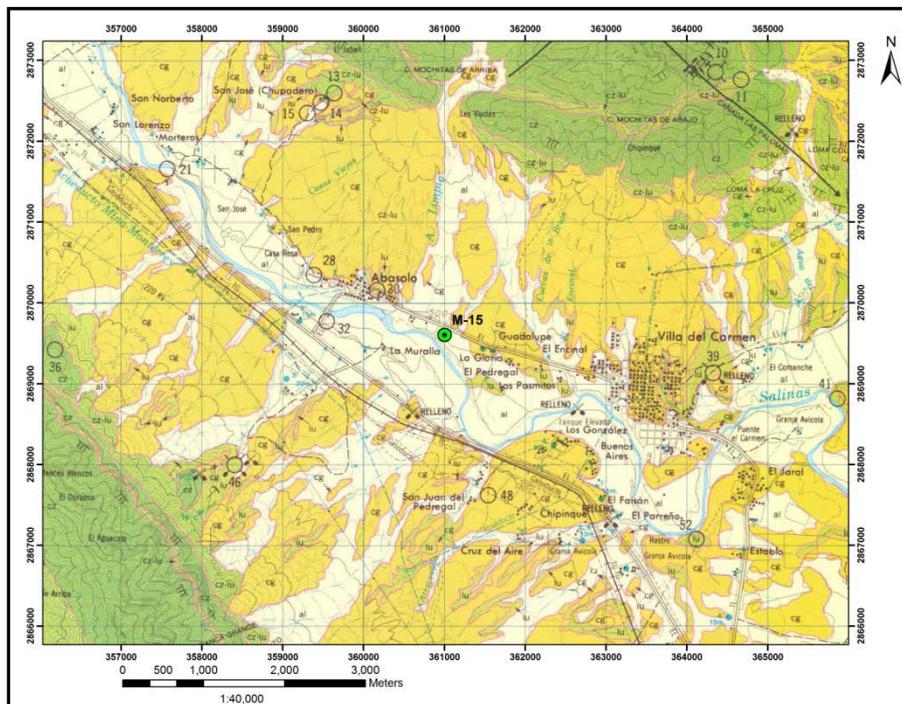
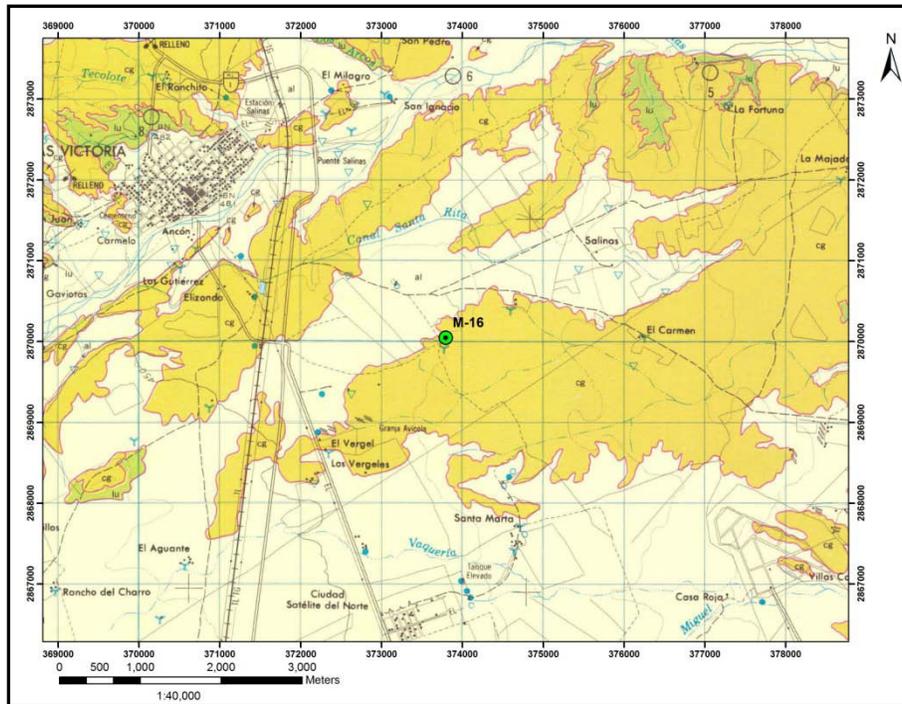


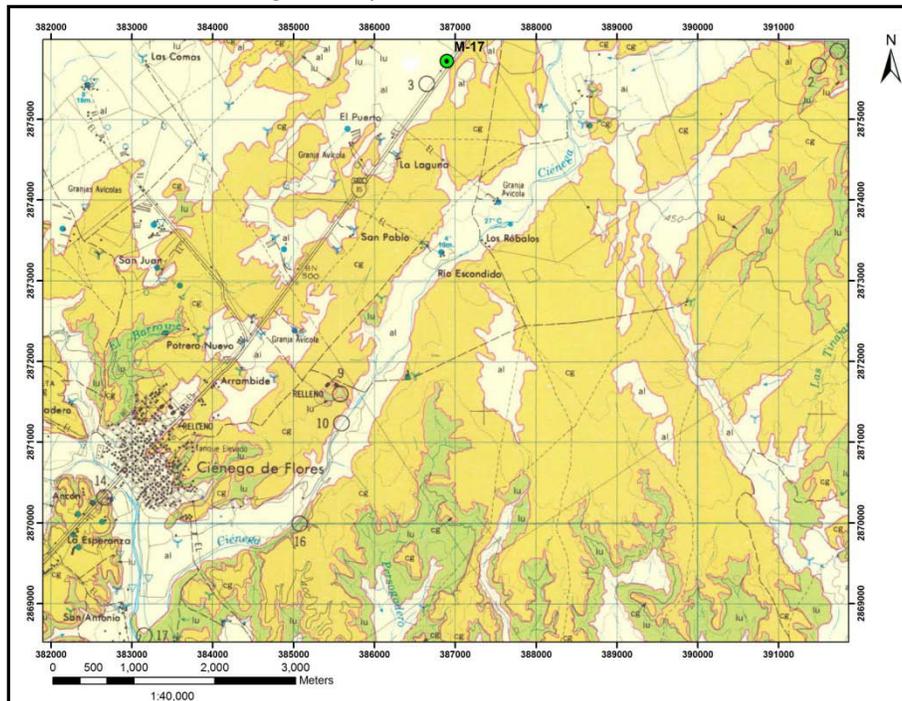
Figura 36. Ubicación Geológica de la Muestra M-15.

Fuente: Carta Geológica de Hidalgo G14C15, escala 1:40000, INEGI, 1976.



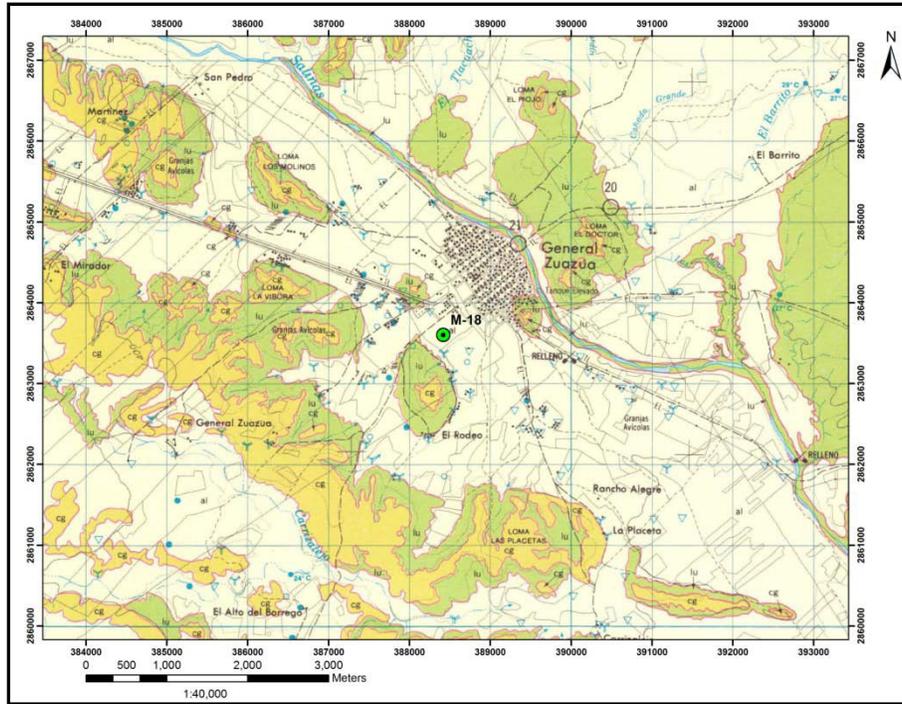
**Figura 37. Ubicación Geológica de la Muestra M-16.**

Fuente: Carta Geológica de Apodaca G14C16, escala 1:40000, INEGI, 1976.



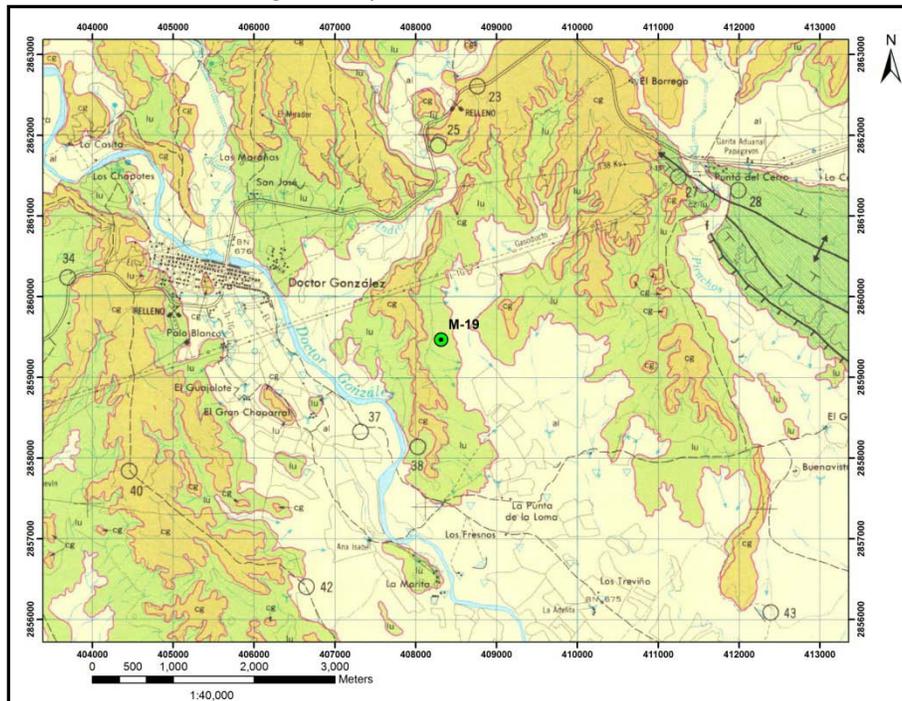
**Figura 38. Ubicación Geológica de la Muestra M-17.**

Fuente: Carta Geológica de Apodaca G14C16, escala 1:40000, INEGI, 1976.



**Figura 39. Ubicación Geológica de la Muestra M-18.**

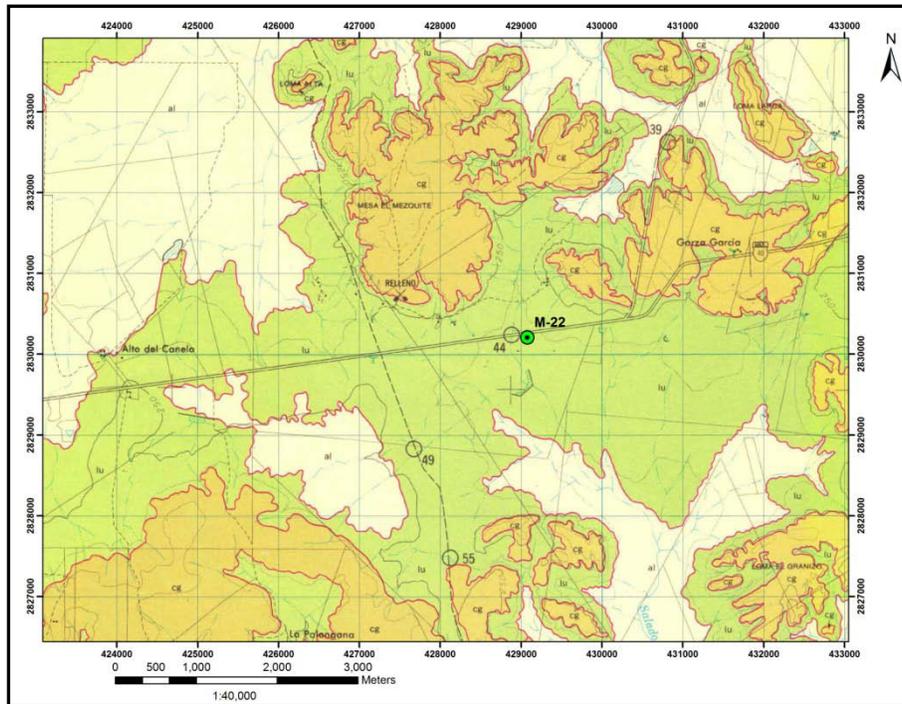
Fuente: Carta Geológica de Apodaca G14C16, escala 1:40000, INEGI, 1976.



**Figura 40. Ubicación Geológica de la Muestra M-19.**

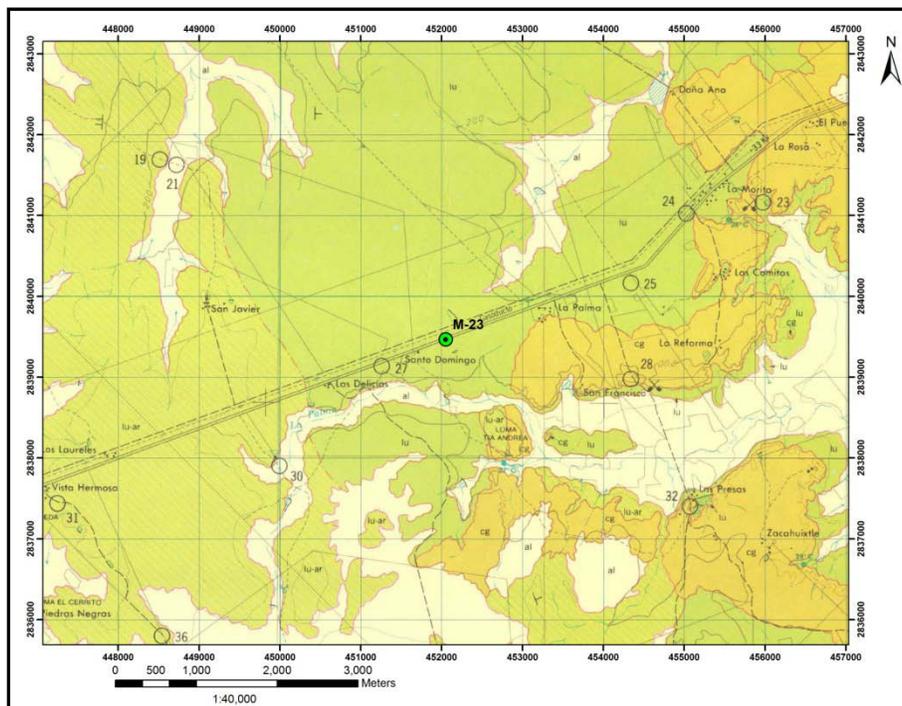
Fuente: Carta Geológica de Doctor González G14C17, escala 1:40000, INEGI, 1976.





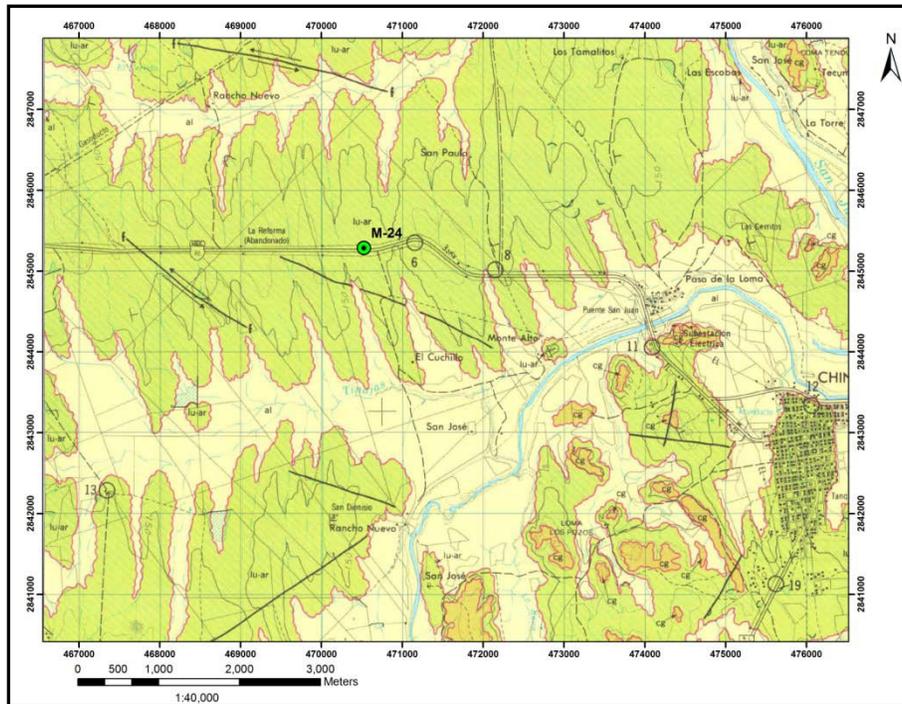
**Figura 43. Ubicación Geológica de la Muestra M-22.**

Fuente: Carta Geológica de San Juan G14C27, escala 1:40000, INEGI, 1976.



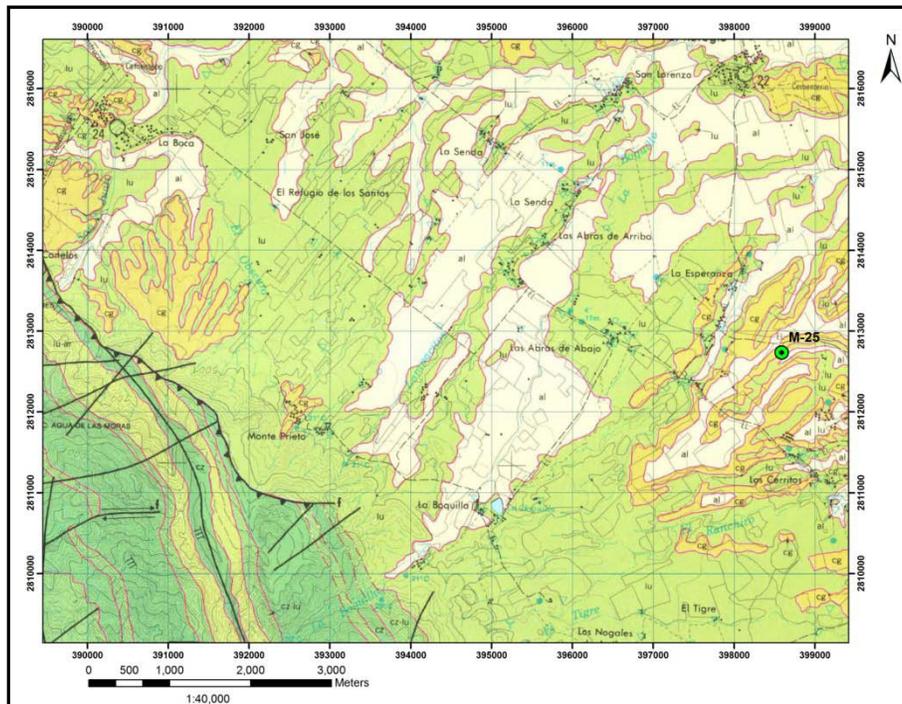
**Figura 44. Ubicación Geológica de la Muestra M-23.**

Fuente: Carta Geológica de Los Ramones G14C28, escala 1:40000, INEGI, 1976.



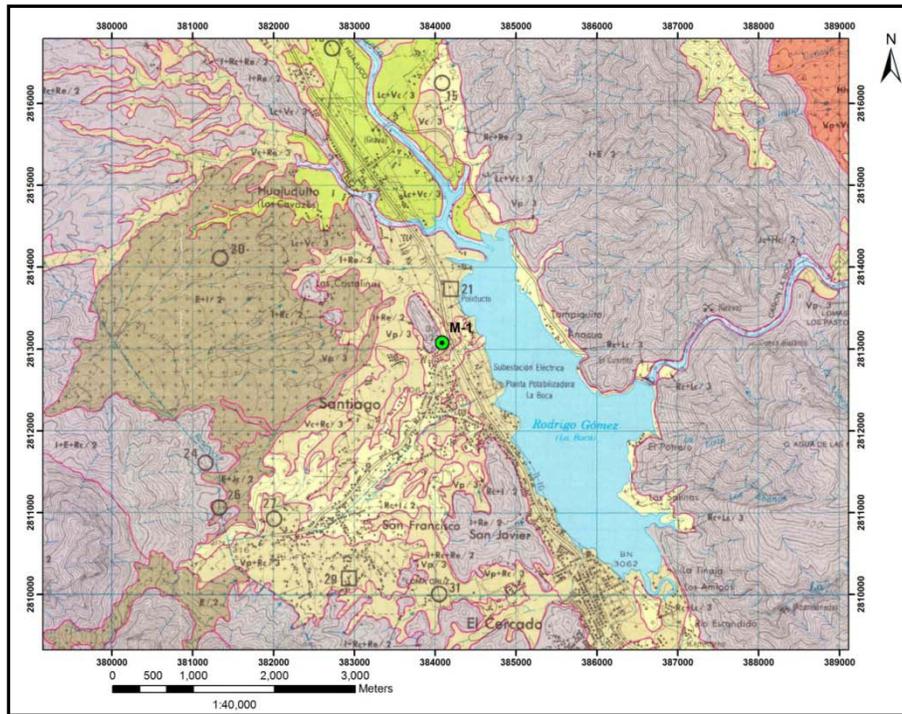
**Figura 45. Ubicación Geológica de la Muestra M-24.**

Fuente: Carta Geológica de China G14C29, escala 1:40000, INEGI, 1977.



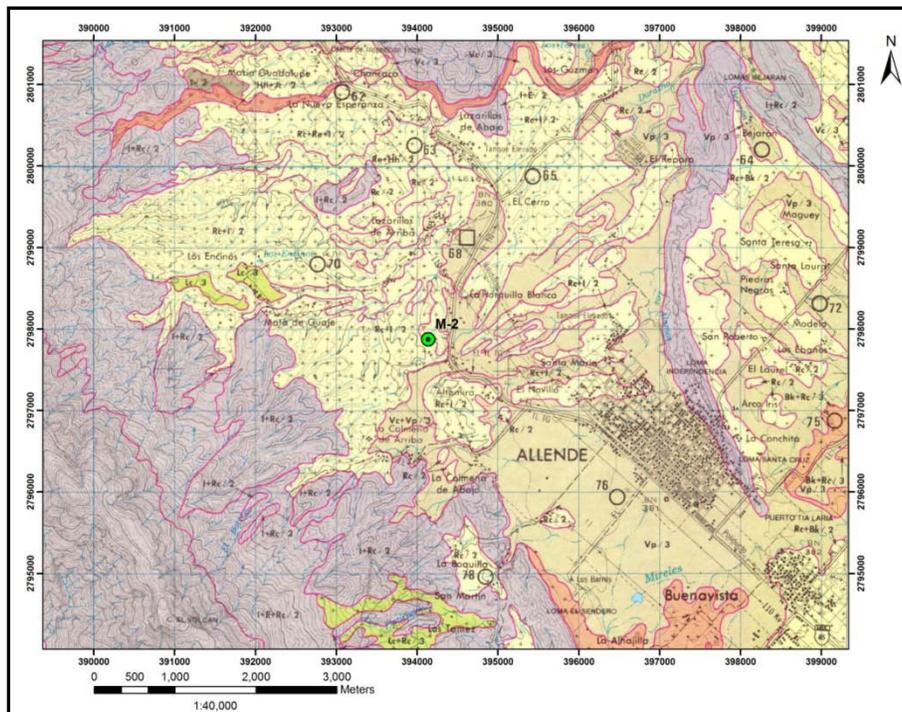
**Figura 46. Ubicación geológica de la Muestra M-25.**

Fuente: Carta Geológica de Allende G14C36, escala 1:40000, INEGI, 1977.



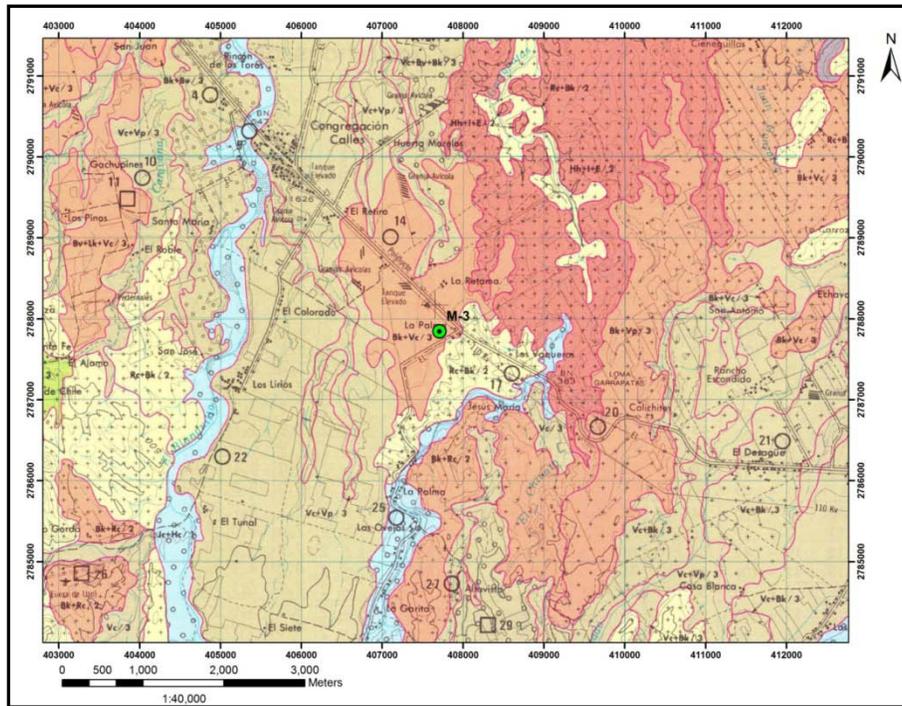
**Figura 47. Ubicación Edafológica de la Muestra M-1.**

Fuente: Carta Edafológica de Allende G14C36, escala 1:40000, INEGI, 1977.



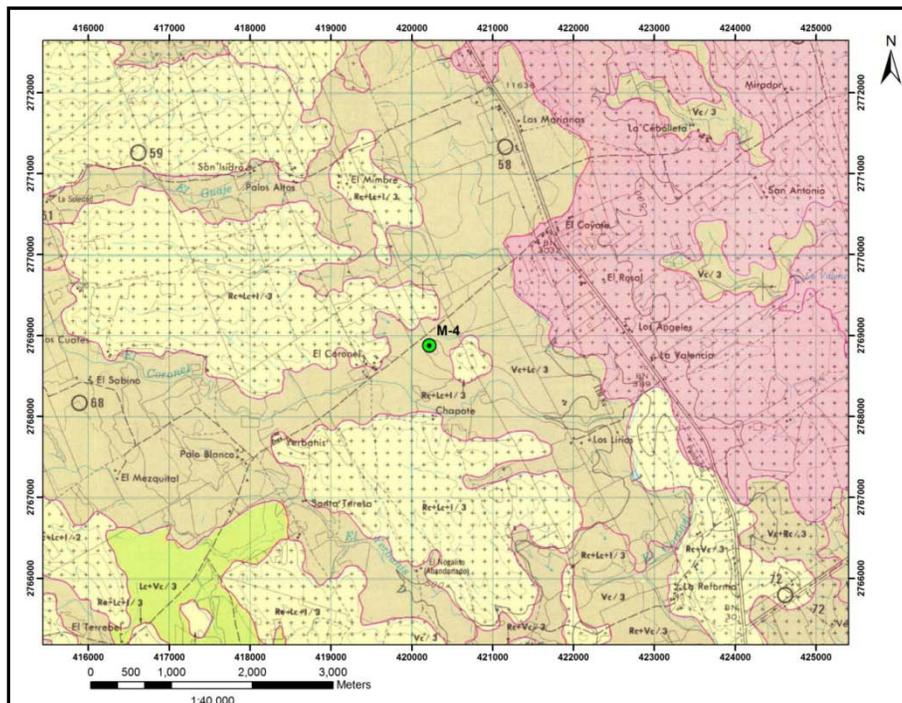
**Figura 48. Ubicación Edafológica de la Muestra M-2.**

Fuente: Carta Edafológica de Allende G14C36, escala 1:40000, INEGI, 1977.



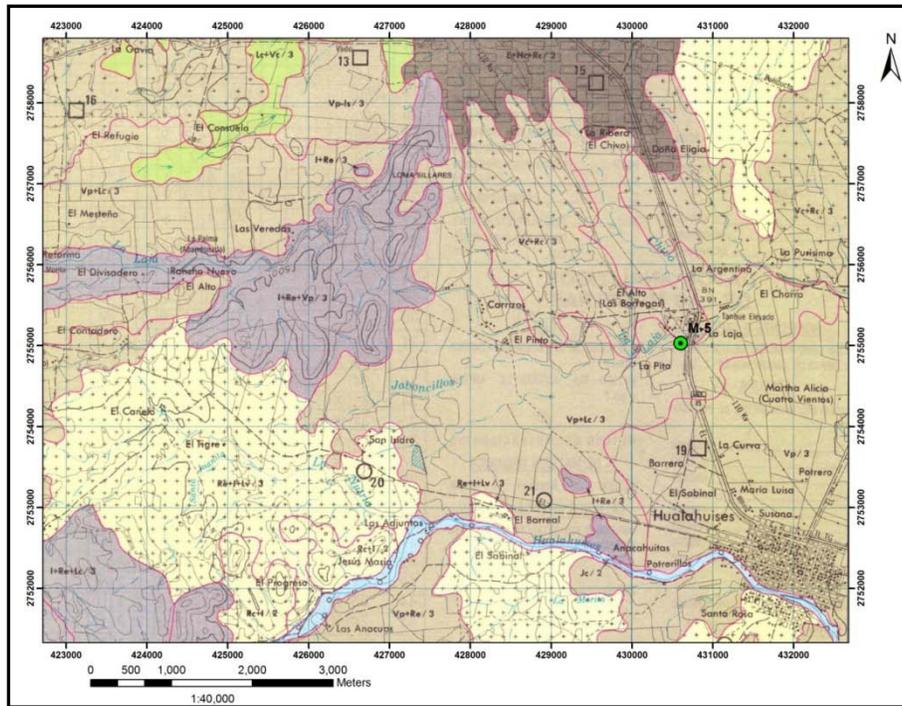
**Figura 49. Ubicación Edafológica de la Muestra M-3.**

Fuente: Carta Edafológica de Montemorelos G14C47, escala 1:40000, INEGI, 1977.



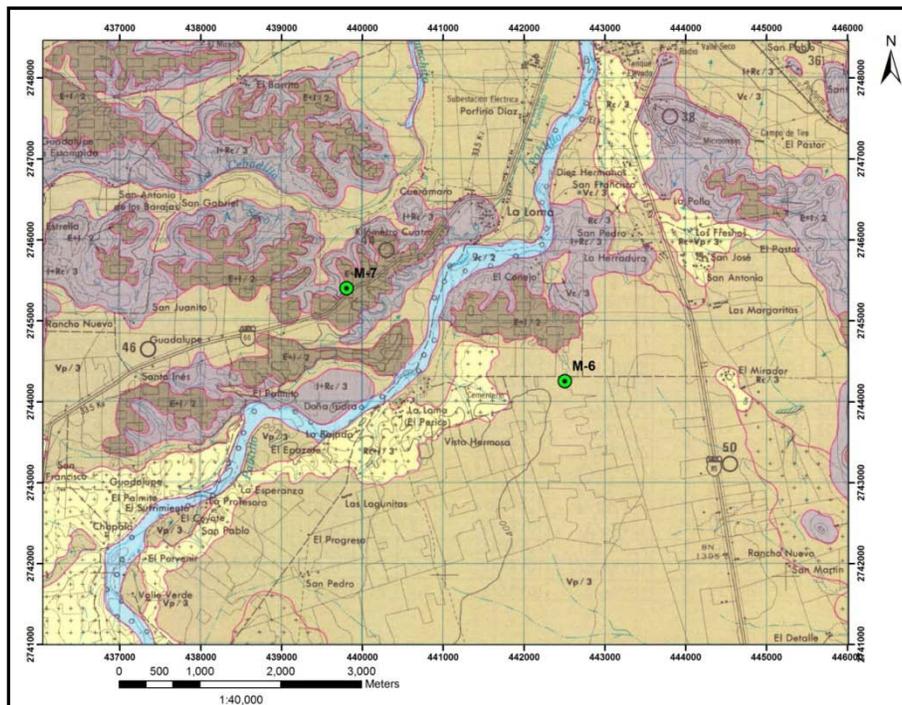
**Figura 50. Ubicación Edafológica de la Muestra M-4.**

Fuente: Carta Edafológica de Montemorelos G14C47, escala 1:40000, INEGI, 1977.



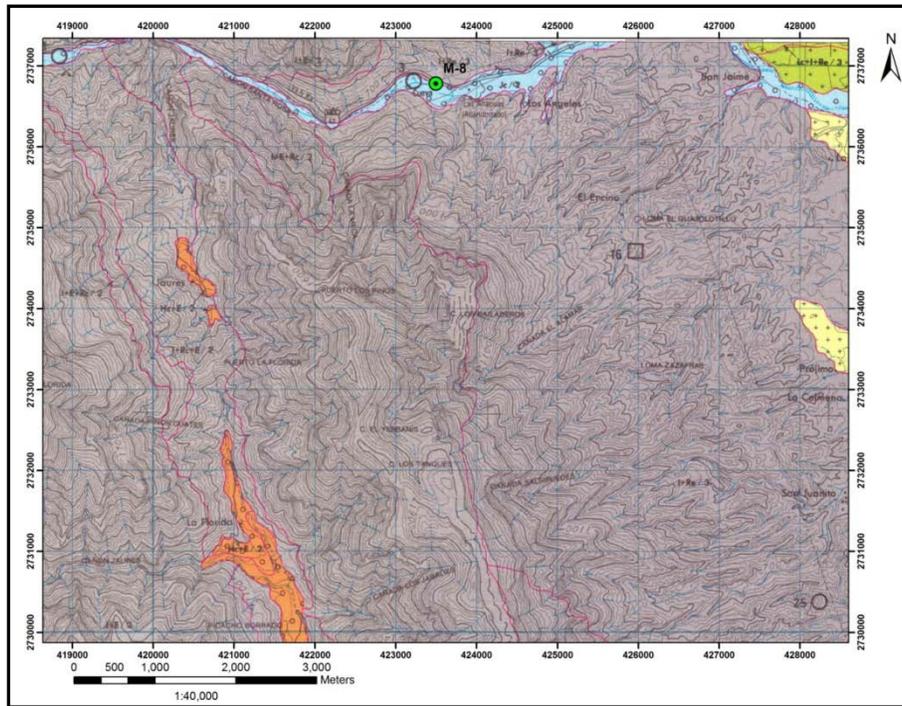
**Figura 51. Ubicación Edafológica de la Muestra M-5.**

Fuente: Carta Edafológica de Hualahuis G14C57, escala 1:40000, INEGI, 1977.



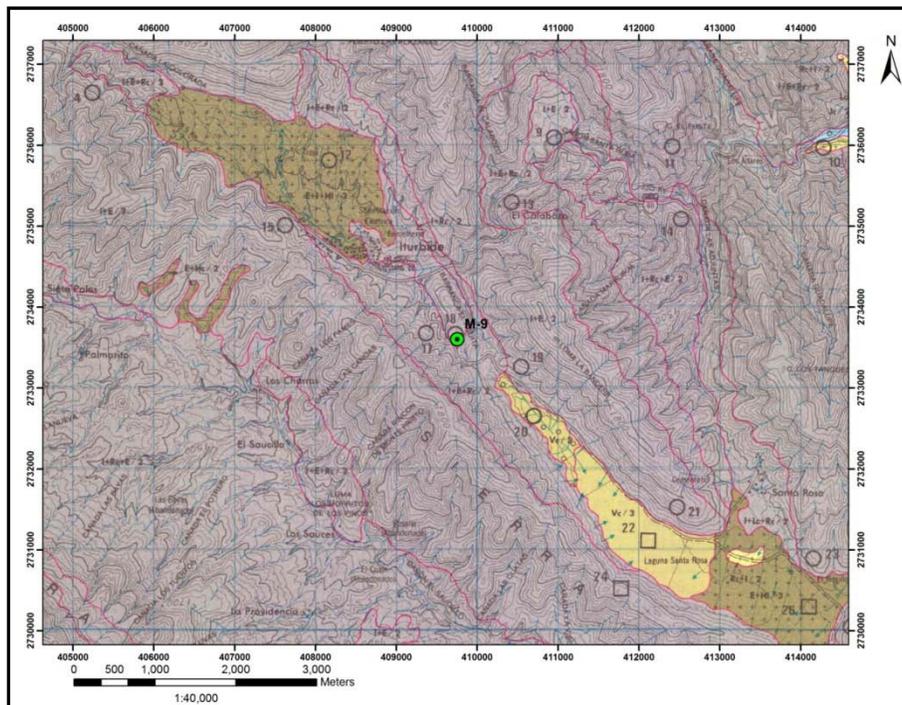
**Figura 52. Ubicación Edafológica de la Muestra M-6 y M-7.**

Fuente: Carta Edafológica de Linares G14C58, escala 1:40000, INEGI, 1977.



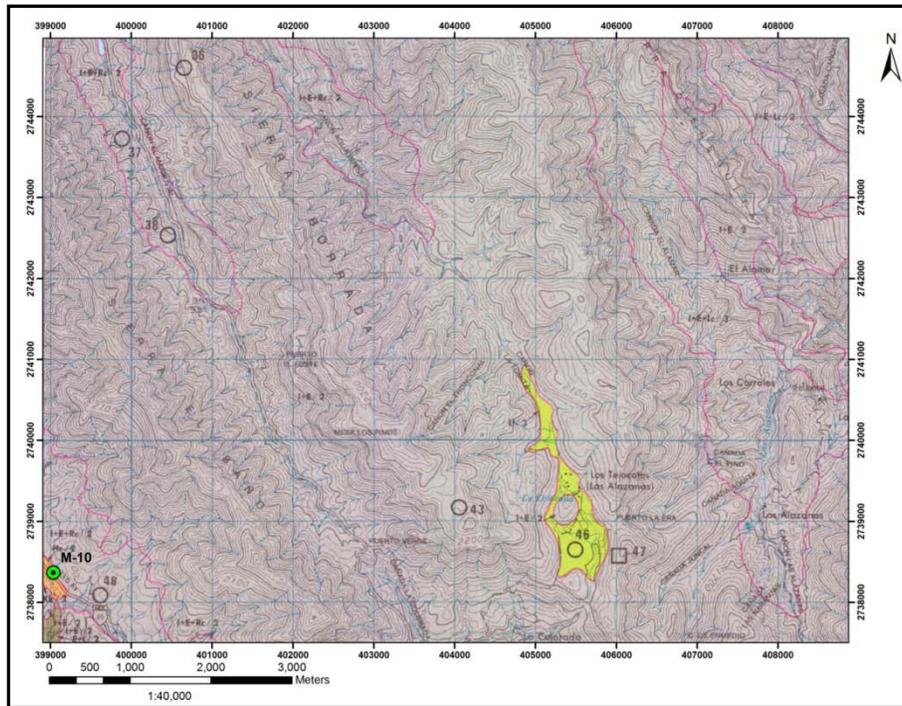
**Figura 53. Ubicación Edafológica de la Muestra M-8.**

Fuente: Carta Edafológica de Iturbide G14C67, escala 1:40000, INEGI, 1978.



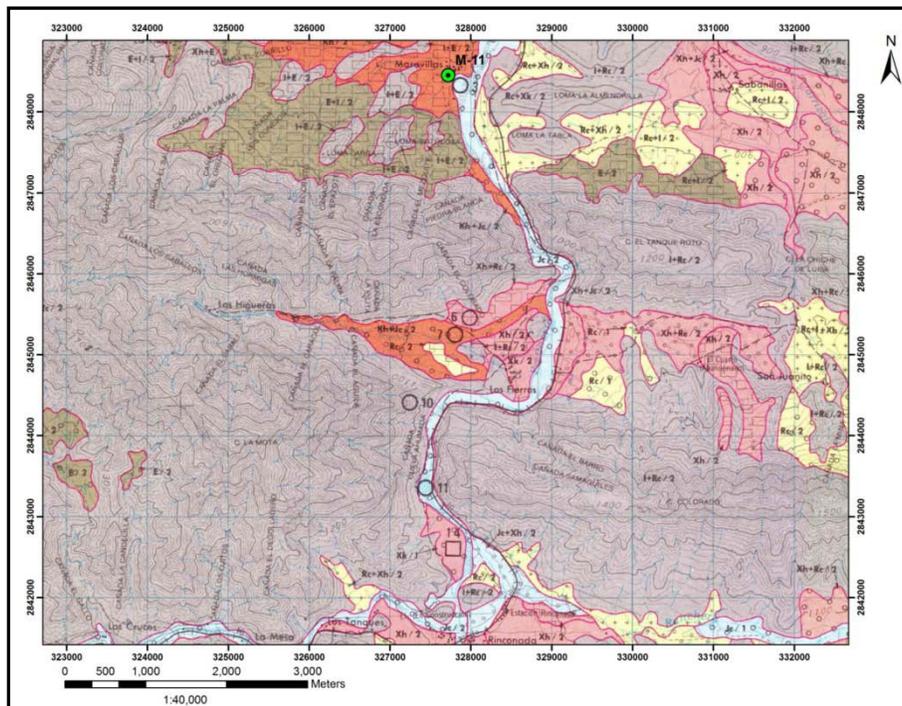
**Figura 54. Ubicación Edafológica de la Muestra M-9.**

Fuente: Carta Edafológica de Iturbide G14C67, escala 1:40000, INEGI, 1978.



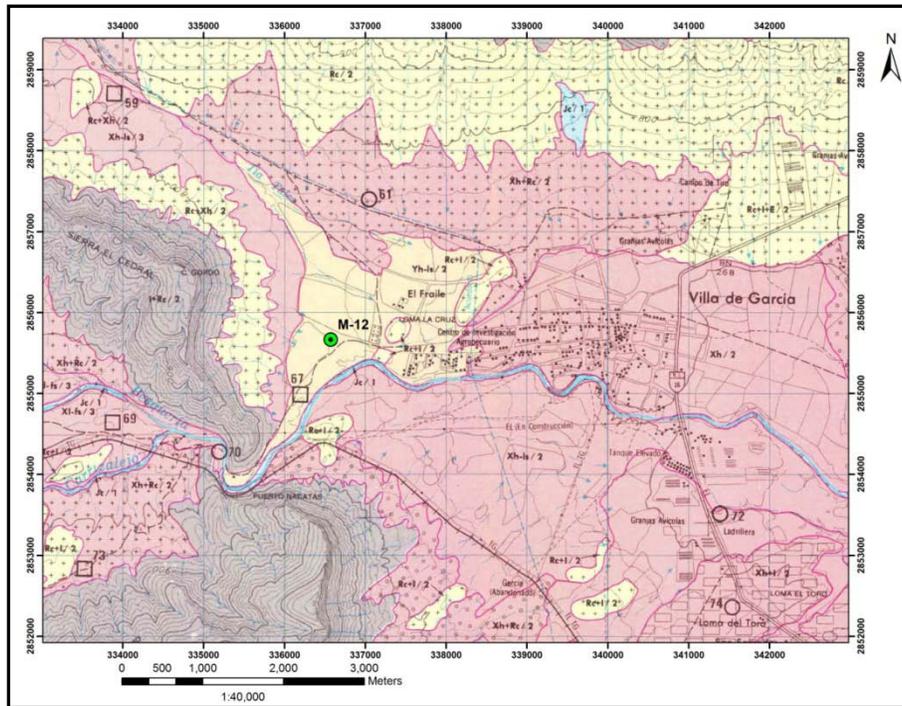
**Figura 55. Ubicación Edafológica de la Muestra M-10.**

Fuente: Carta Edafológica de Hualahuises G14C57, escala 1:40000, INEGI, 1977.



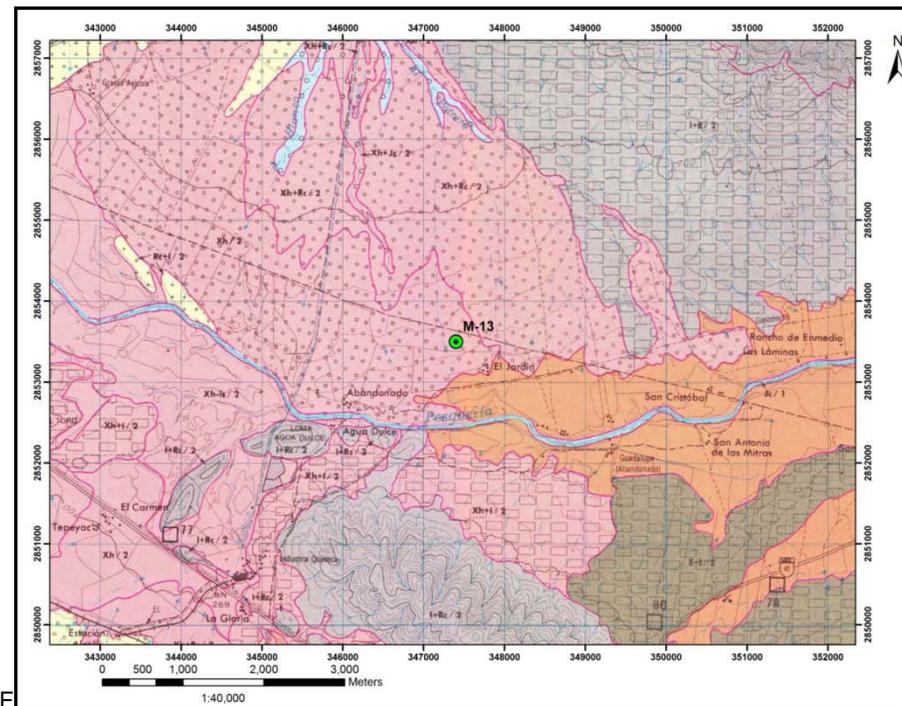
**Figura 56. Ubicación Edafológica de la Muestra M-11.**

Fuente: Carta Edafológica de Ramos Arizpe G14C24, escala 1:40000, INEGI, 1977.



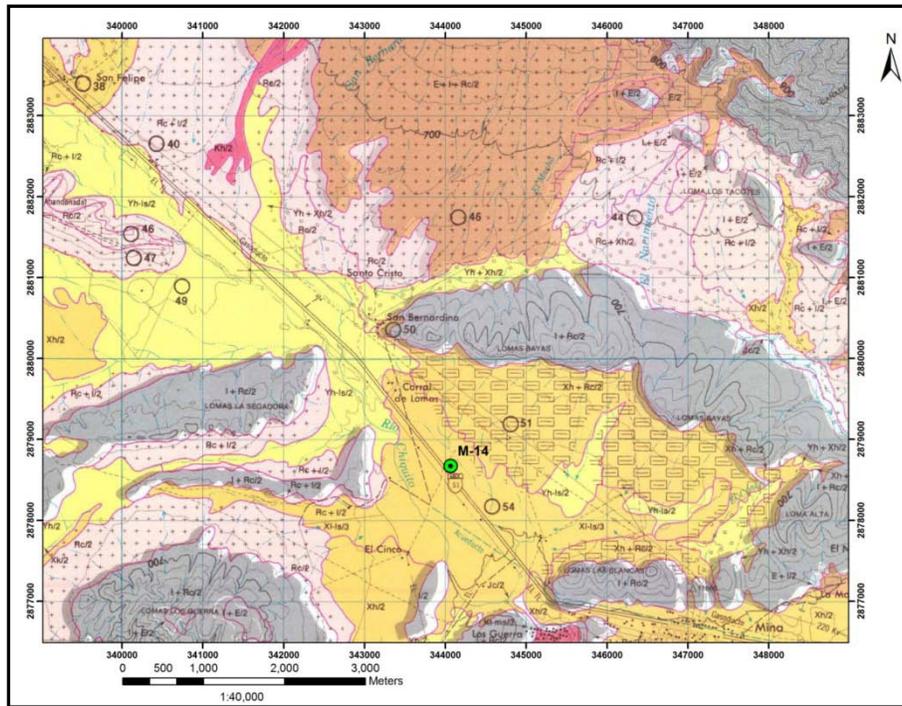
**Figura 57. Ubicación Edafológica de la Muestra M-12.**

Fuente: Carta Edafológica de Hidalgo G14C15, escala 1:40000, INEGI, 1977.



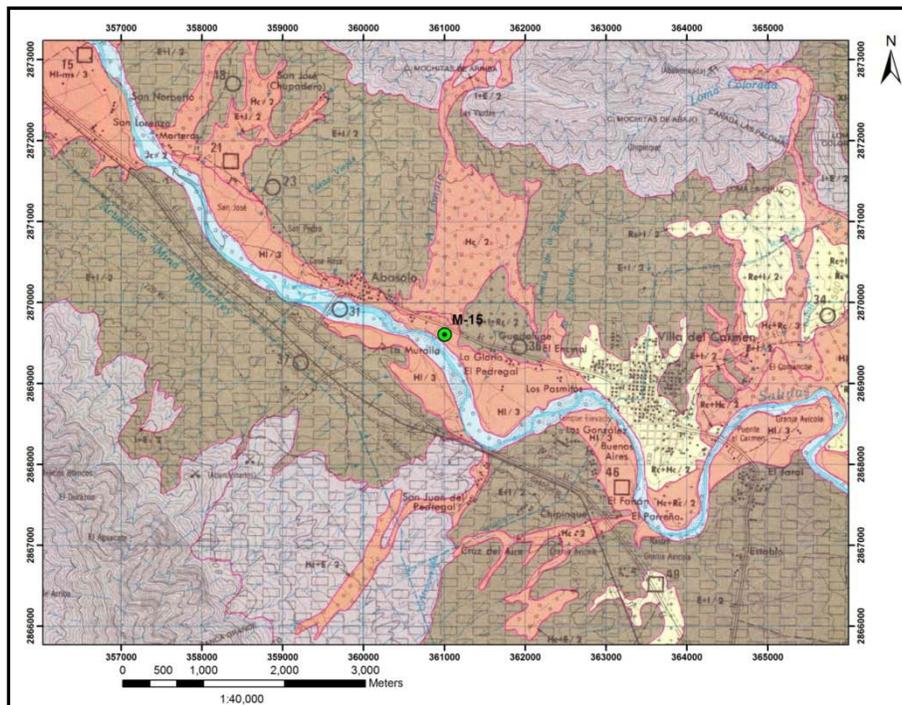
**Figura 58. Ubicación Edafológica de la Muestra M-13.**

Fuente: Carta Edafológica de Hidalgo G14C15, escala 1:40000, INEGI, 1977.



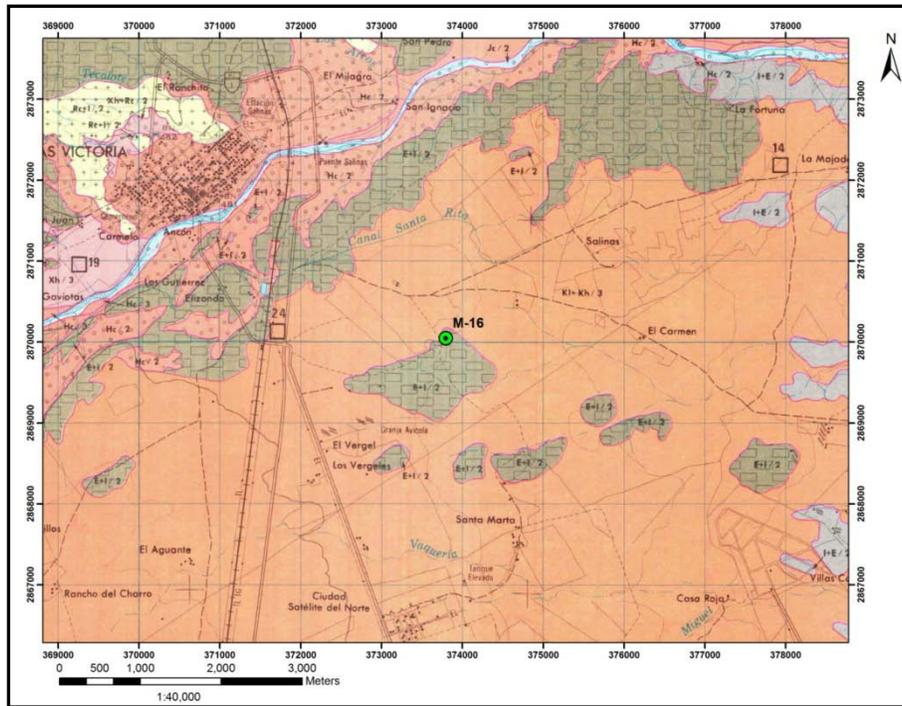
**Figura 59. Ubicación Edafológica de la Muestra M-14.**

Fuente: Carta Edafológica de Mina G14A85, escala 1:40000, INEGI, 1983.



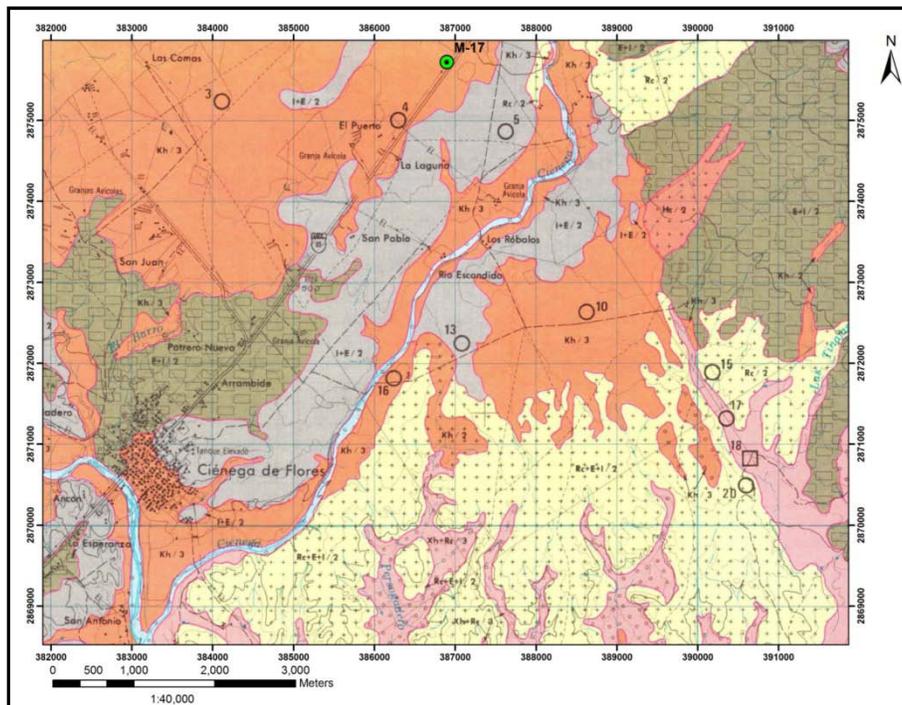
**Figura 60. Ubicación Edafológica de la Muestra M-15.**

Fuente: Carta Edafológica de Hidalgo G14C15, escala 1:40000, INEGI, 1977.



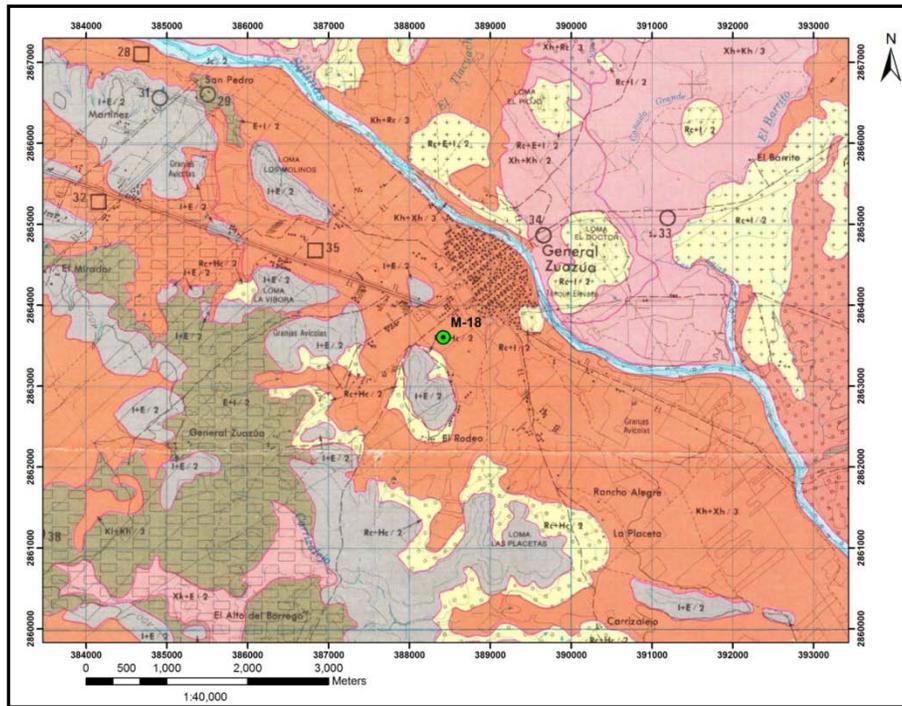
**Figura 61. Ubicación Edafológica de la Muestra M-16.**

Fuente: Carta Edafológica de Apodaca G14C16, escala 1:40000, INEGI, 1977.



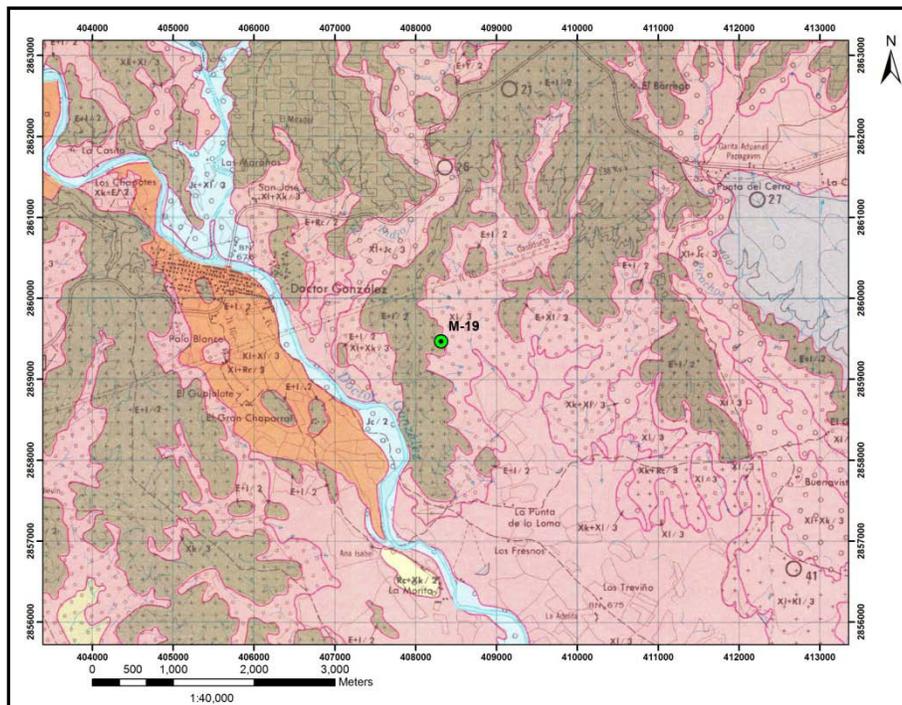
**Figura 62. Ubicación Edafológica de la Muestra M-17.**

Fuente: Carta Edafológica de Apodaca G14C16, escala 1:40000, INEGI, 1977.



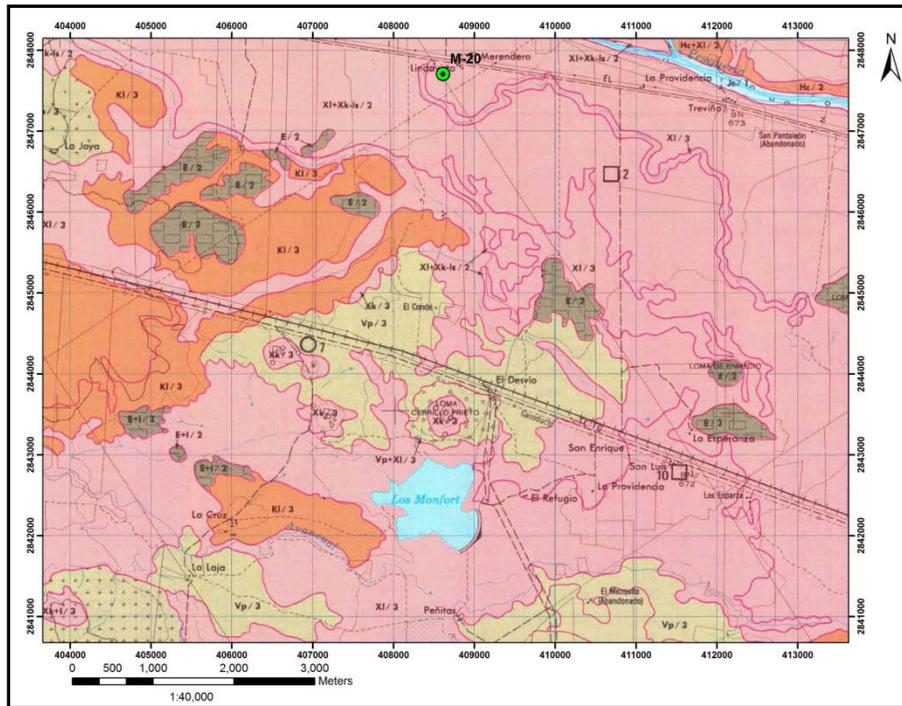
**Figura 63. Ubicación Edafológica de la Muestra M-18.**

Fuente: Carta Edafológica de Apodaca G14C16, escala 1:40000, INEGI, 1977.



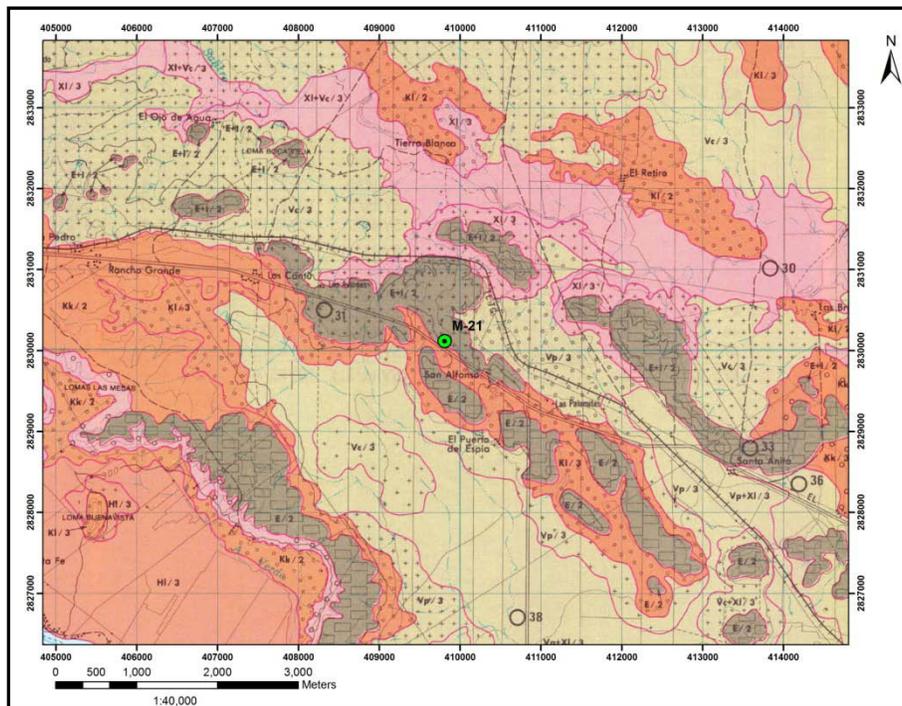
**Figura 64. Ubicación Edafológica de la Muestra M-19.**

Fuente: Carta Edafológica de Doctor González G14C17, escala 1:40000, INEGI, 1977.



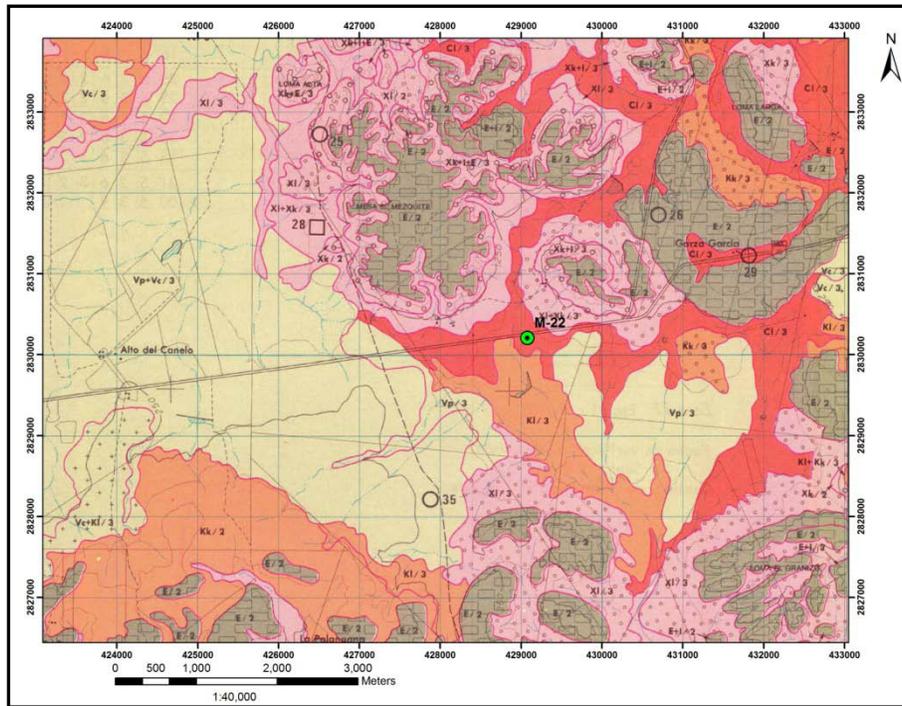
**Figura 65. Ubicación Edafológica de la Muestra M-20.**

Fuente: Carta Edafológica de San Juan G14C27, escala 1:40000, INEGI, 1977.



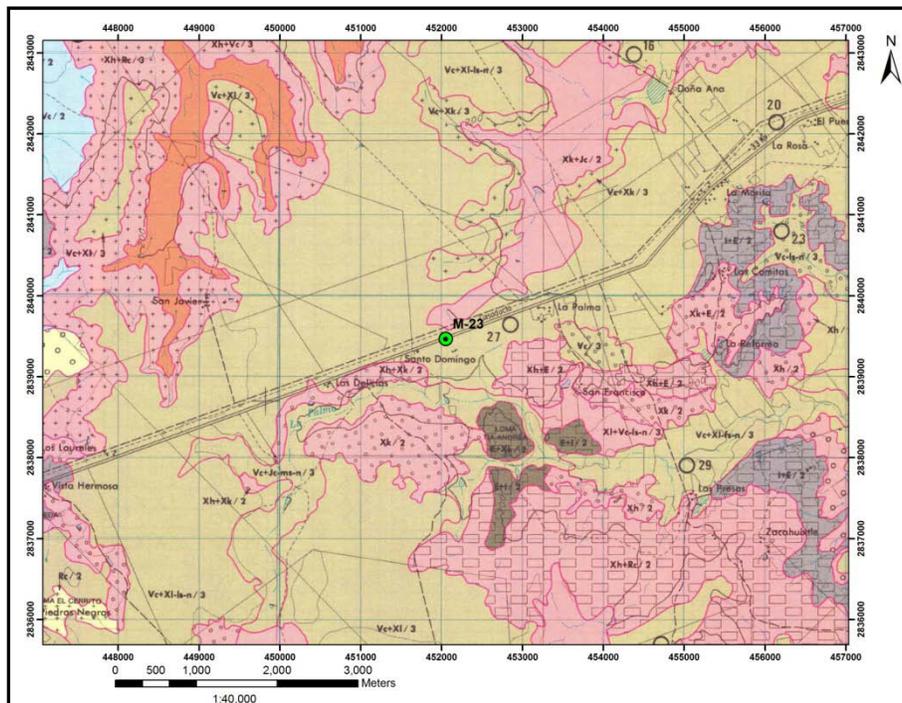
**Figura 66. Ubicación Edafológica de la Muestra M-21.**

Fuente: Carta Edafológica de San Juan G14C27, escala 1:40000, INEGI, 1977.



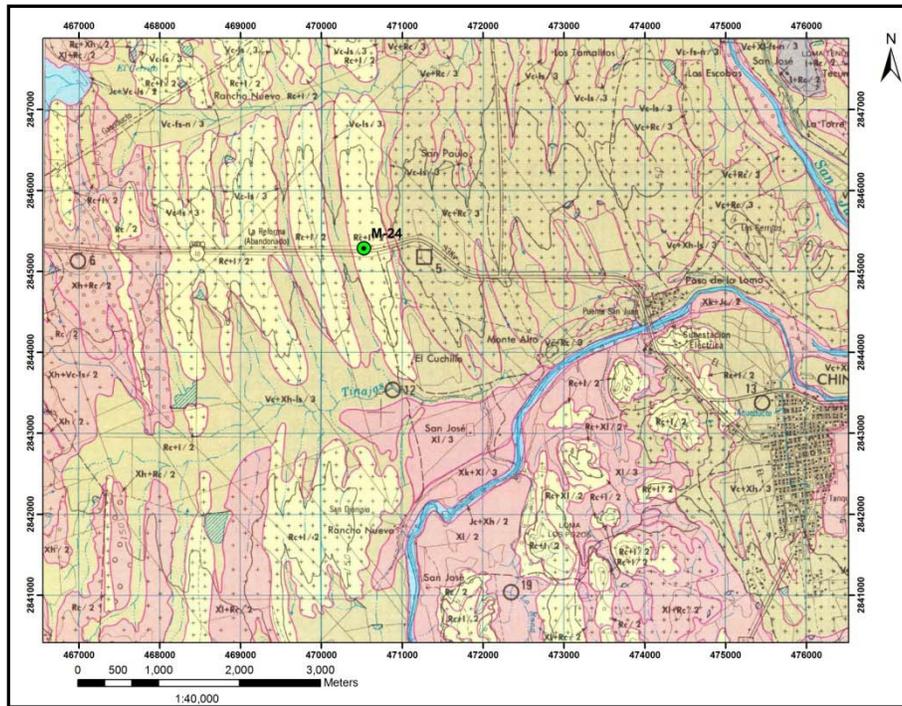
**Figura 67. Ubicación Edafológica de la Muestra M-22.**

Fuente: Carta Edafológica de San Juan G14C27, escala 1:40000, INEGI, 1977.



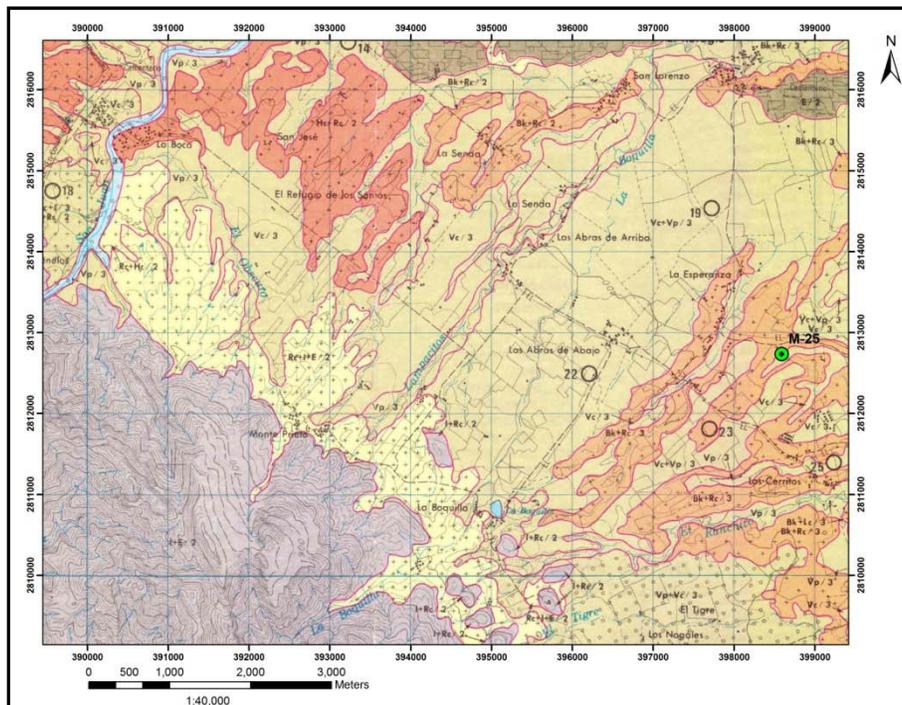
**Figura 68. Ubicación Edafológica de la Muestra M-23.**

Fuente: Carta Edafológica de Los Ramones G14C28, escala 1:40000, INEGI, 1977.



**Figura 69. Ubicación Edafológica de la Muestra M-24.**

Fuente: Carta Edafológica de China G14C29, escala 1:40000, INEGI, 1978.



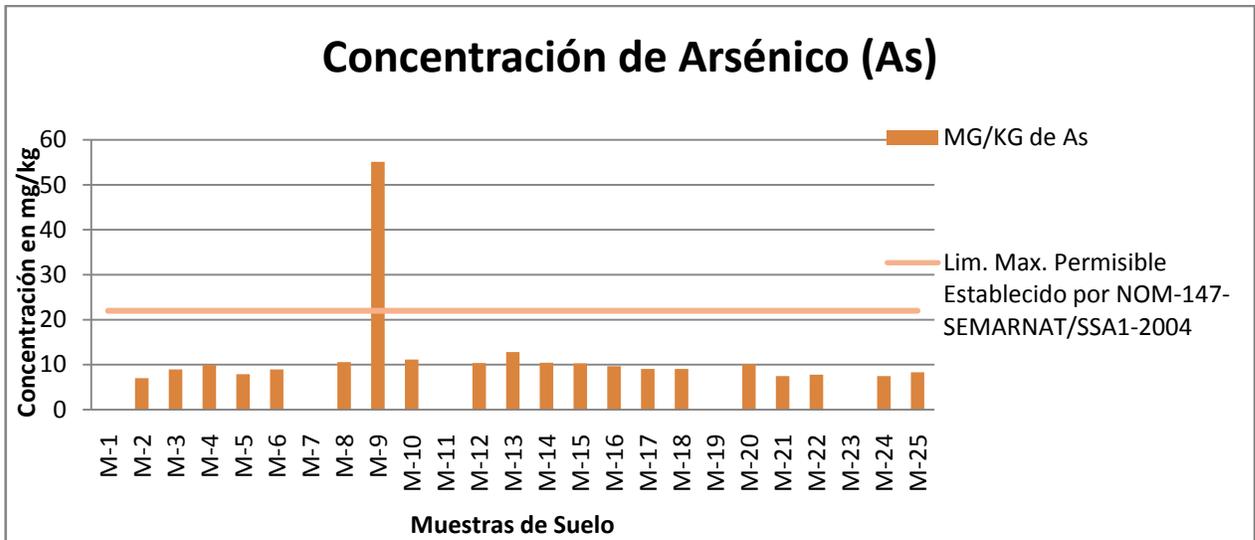
**Figura 70. Ubicación Edafológica de la Muestra M-25.**

Fuente: Carta Edafológica de Allende G14C36, escala 1:40000, INEGI, 1977.

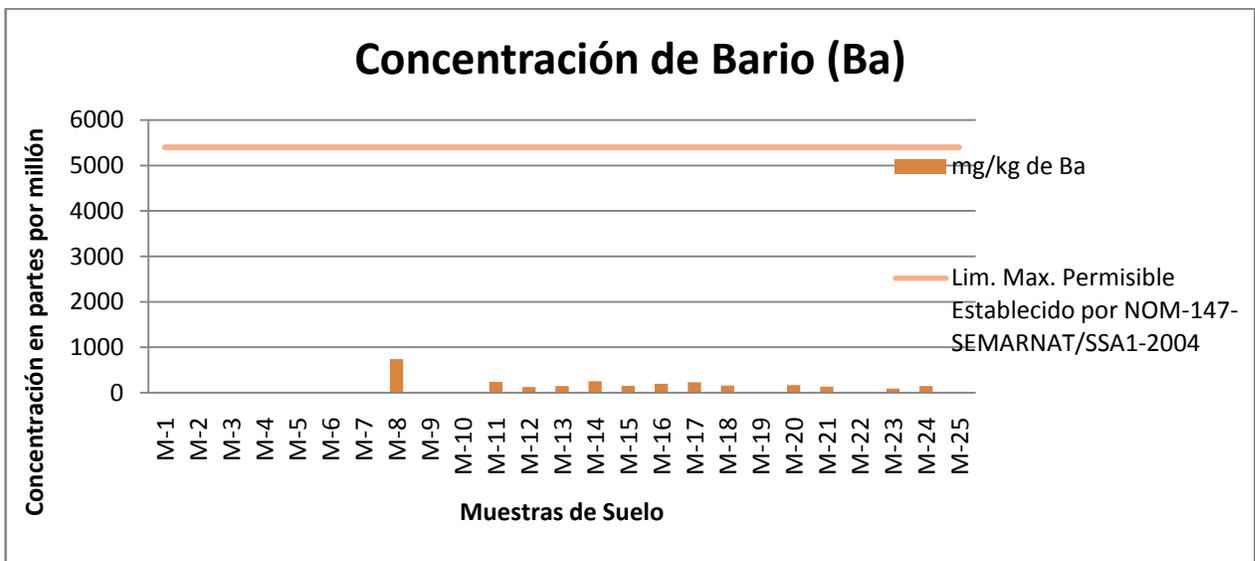
---

## Apéndice C

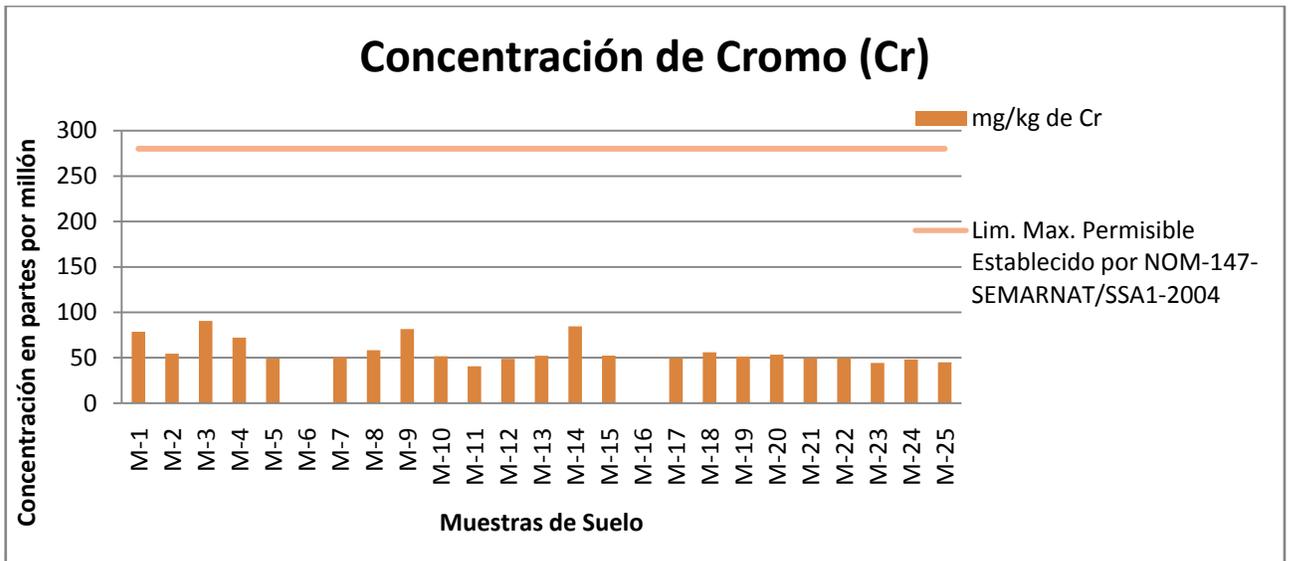
GRÁFICAS DE CONCENTRACIONES PROMEDIO  
OBTENIDAS POR FRX PORTÁTIL DE LOS METALES  
PESADOS QUE SE ENCUENTRAN EN LA TABLA DE  
CONCENTRACIONES DE REFERENCIA TOTALES ( $CR_T$ ),  
POR TIPO DE USO DE SUELO, (NOM-147-  
SEMARNAT/SSA1-2004) en mg/kg



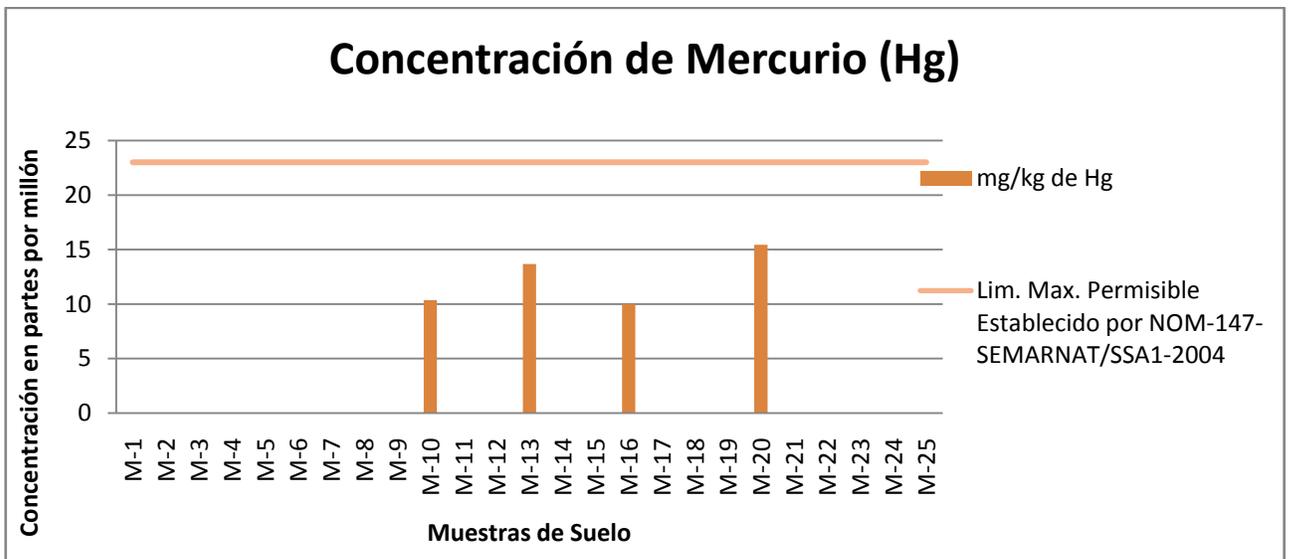
**Figura 71. Concentración de Arsénico (As)**



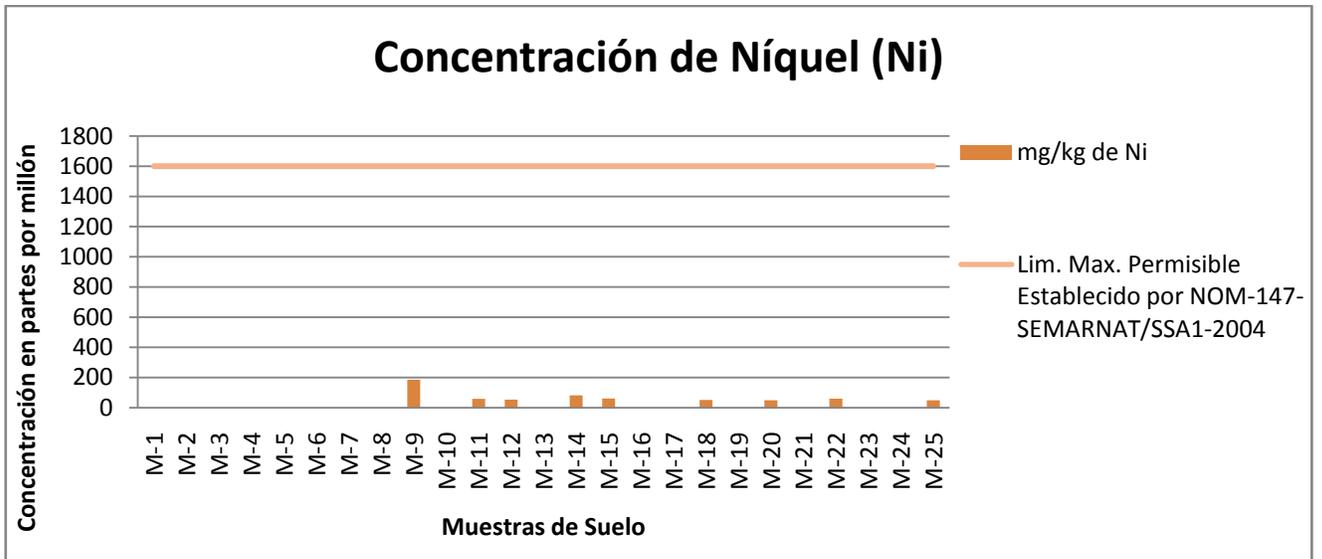
**Figura 72. Concentración de Bario (Ba).**



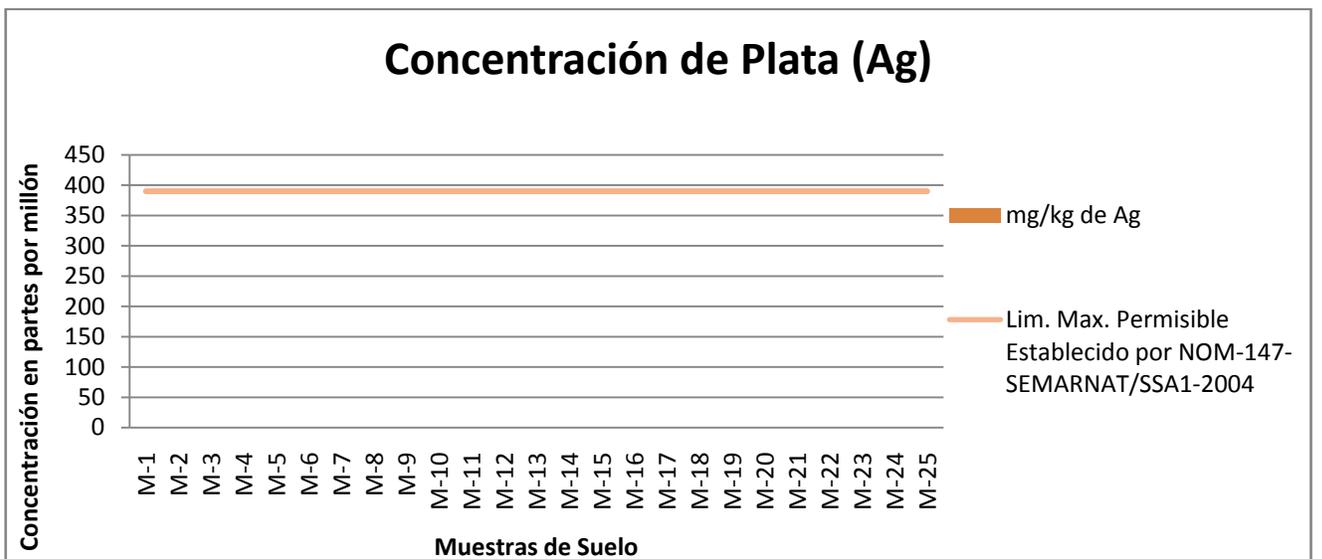
**Figura 73. Concentración de Cromo (Cr).**



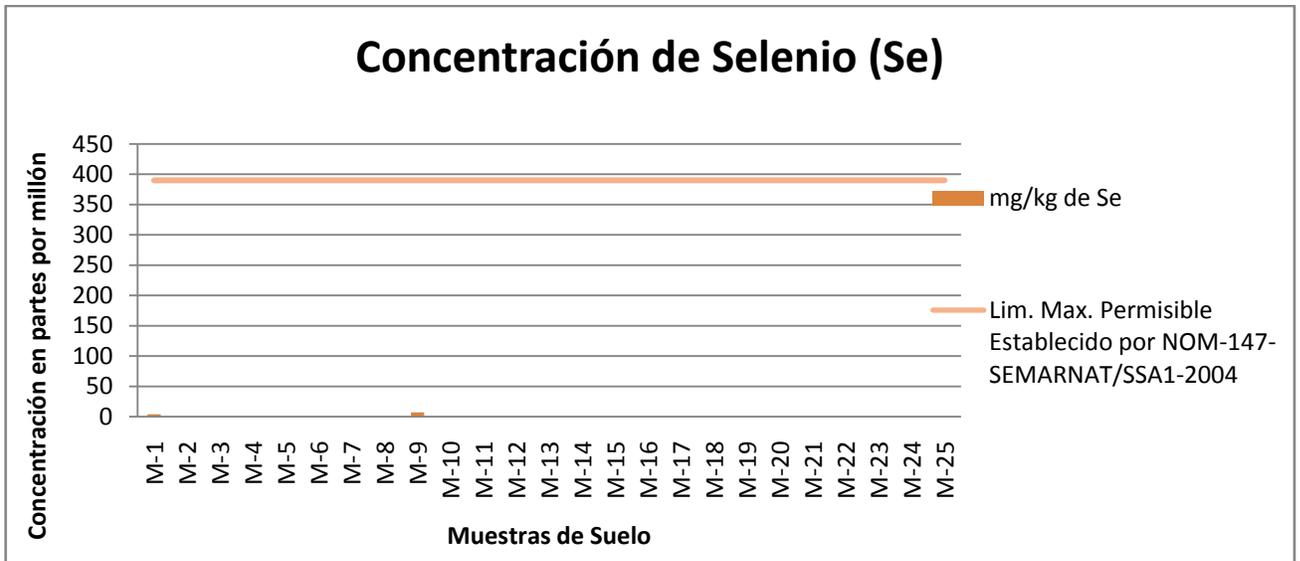
**Figura 74. Concentración de Mercurio (Hg).**



**Figura 75. Concentración de Níquel (Ni).**



**Figura 76. Concentración de Plata (Ag).**



**Figura 77. Concentración de Selenio (Se).**

---

**Apéndice D**

**EVIDENCIA FOTOGRÁFICA**



**Figura 78. Toma de Muestras.**



**Figura 79. Equipo de FRX portatil Niton XL3t.**



**Figura 80. Equipo de FRX Epsilon-3.**



**Figura 81. Muestras de Suelo Suelto.**



**Figura 82. Muestras de Suelo Comprimido (pastillas).**



**Figura 83. Equipo de EAA.**