

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE



GENERACIÓN DE UN MODELO GEOESTADÍSTICO DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO DE LAS PARROQUIAS SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ.

Proyecto de grado previo a la obtención del grado académico o título de:

INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR

Emilia Carolina Lema Cruz

Carolina Alejandra Carrión Cortez

Sangolquí – Ecuador

RESUMEN

El plomo es conocido por sus muchas aplicaciones en procesos industriales y es incluido dentro de los cuatro metales más perjudiciales para la salud humana. El presente trabajo tiene como objetivo determinar a través de un modelo de predicción espacial los niveles de plomo existentes en el suelo de las parroquias San Rafael y Sangolquí, de ésta forma se podrá determinar si existe contaminación por plomo.

En base a tres criterios se colectaron 376 muestras de suelo las cuales fueron procesadas en laboratorio siguiendo la metodología del Standar Methods de digestión de metales para posteriormente realizar las lecturas de concentración de plomo en el equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst AA200. Con los valores de concentración y sus respectivas ubicaciones geográficas se procedió al análisis geoestadístico el cual fue apoyado en el software Microsoft Excel 2007, OpenGeoDa, Variowin 2.2.1 y ArcGis 9.3, para generar el modelo de predicción geoestadístico de plomo.

Se obtuvieron los errores de predicción los que indicaron una buena predicción ya que el error medio estandarizado fue similar al error medio cuadrático. Existieron casos especiales con concentraciones muy elevadas con respecto a la norma las cuales no se usaron por tratarse de contaminación puntual y alteraba el ajuste del modelo.

Bajo la misma metodología se realizó el análisis de cromo y zinc ya que las características de las industrias del área estaban relacionadas a estos metales.

SUMMARY

Lead is known for its many applications in industrial processes and it is included in the four more harmful metals to human health. This study aims to determine through a spatial prediction model the lead levels in the soil of San Rafael and Sangolquí towns and determining the presence of contamination in the study area. Based on three criteria a total of 376 soil samples collected were processed in the laboratory following the methodology of Standard Methods metal digestion and then were taken readings of lead concentration in the atomic absorption equipment Perkin Elmer Analyst AA200. Once the concentration values and their respective geographic locations were obtained, the geostatistical analysis started, such was supported by software in Microsoft Excel 2007, OpenGeoDa, Variowin 2.2.1 and ArcGIS 9.3.

The study showed prediction errors which shows a good prediction model because the standardized mean error is similar to the mean square error. There were special cases with really high lead concentrations comparing to the standard rules which were not used because were referred to a punctual contamination and the prediction model could be altered.

Under the same methodology was performed the analysis of chromium and zinc as the characteristics of the industries in the area were related to these metals.

CERTIFICACIÓN

Ing. Paulina Guevara

Ing. Marco Luna

Certifican:

Que el trabajo titulado “GENERACIÓN DE UN MODELO GEOESTADÍSTICO DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO DE LAS PARROQUIAS SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ”, realizado por las egresadas CARRIÓN CORTEZ CAROLINA ALEJANDRA y LEMA CRUZ EMILIA CAROLINA, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a su importante aplicación se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a CARRIÓN CORTEZ CAROLINA ALEJANDRA y LEMA CRUZ EMILIA CAROLINA, que lo entregue al Ingeniero Francisco León, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 30 de enero de 2013

Ing. Paulina Guevara
DIRECTOR

Ing. Marco Luna
CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, CARRIÓN CORTEZ CAROLINA ALEJANDRA y
LEMA CRUZ EMILIA CAROLINA

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado "GENERACIÓN DE UN MODELO GEOESTADÍSTICO DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO DE LAS PARROQUIAS SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 30 de enero de 2013

Carrión Cortez Carolina Alejandra Lema Cruz Emilia Carolina

A U T O R I Z A C I Ó N

**Nosotras, CARRIÓN CORTEZ CAROLINA ALEJANDRA y
LEMA CRUZ EMILIA CAROLINA**

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejercito la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “GENERACIÓN DE UN MODELO GEOESTADÍSTICO DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO DE LAS PARROQUIAS SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 30 de enero de 2013

Carrión Cortez Carolina Alejandra

Lema Cruz Emilia Carolina

DEDICATORIA

A MD, por presentarse en mi vida de las maneras más inesperadas, dándome respuestas en momentos confusos, haciendo de cada día un verdadero milagro.

A mis padres amados, Silvita y Toñito, seres fundamentales de mi corazón y mi mente, que con su infinito cariño han sabido siempre apoyarme en todos los rumbos que he tomado, y que en cada regreso me han hecho sentir la hija más amada de este mundo. A ellos quienes me han dado educación, valores y cimientos para emprender esta vida de manera sensata, a ustedes papitos que me dieron raíces y me dieron alas.

A mi niño Javi, ser de luz en mi vida, ejemplo de humanidad para todos y que hace soñar con sus relatos.

A mi novio Byron, por complementar mis momentos con los suyos mientras caminamos juntos. Por ser el mejor compañero y amigo que puedo tener, quien con su naturalidad ha sabido ganarse todo mi corazón; por su apoyo incondicional y por contagiarme de paz todos los días.

A la naturaleza por su belleza, a la música por su perfección y a los libros por su compañía...

Carolina A. Carrión Cortez

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelito José Eladio Cruz C. quien con su ejemplo de fortaleza, lealtad y responsabilidad siempre pudo sacarnos adelante, mi corazón estará plenamente agradecido y muy comprometido para ser la mejor mujer y profesional cada día de mi vida.

Para ese ser tan maravilloso que me dio la vida, mi madre Zoilita, que con mucho cariño y con su gran esfuerzo me ha sacado adelante y sobre todo por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado antes, durante y después de este proyecto.

A mi hermana Andrea, que “como las ramas de un árbol, crecemos en distintas direcciones pero nuestra raíz continúa siendo una sola.”

A mi bella familia, mi abuelita Rosita y mi tía Ubita, por ser la base de mi vida, por ese apoyo incondicional, ese amor verdadero, esa voz de aliento, ese abrazo incomparable, ese refugio seguro.

Al compañero de este nuevo camino Luis, por ser un gran apoyo fundamental e incondicional en todos los momentos de mi vida, al ser mi mejor amigo, por siempre estar a mi lado y sobre todo por su paciencia, con la cual saldremos adelante, mi lindo novio.

Para mi gran familia, porque han cumplido conmigo, ahora yo cumpliré con ustedes, les quiero mucho.

Emilia C. Lema Cruz

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Politécnica del Ejército por su legado en nuestra vida profesional.

A nuestros padres por su apoyo incondicional para la culminación de cada meta

A nuestra directora Ing. Paulina Guevara y Codirector Ing. Marco Luna quienes nos brindaron grandes aportes con sus conocimientos, su tiempo y nos han tendido una mano amiga para alcanzar este objetivo. Por la amistad entregada.

Un agradecimiento especial al Capitán Luis Montes quien nos brindó su desinteresada ayuda en el desarrollo de este proyecto, guiándonos ante cualquier adversidad.

A todos nuestros amigos de la universidad con los que compartimos momentos inolvidables.

A los profesores de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente quienes con sus enseñanzas nos han sabido guiar académica y profesionalmente.

Carolina A. Carrión Cortez

Emilia C. Lema Cruz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	3
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
1.6. OBJETIVOS.....	7
1.6.1. Objetivo General	7
1.6.2. Objetivos Específicos.....	7
1.7. METAS	7
CAPÍTULO 2	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. SUELOS	8
2.1.1. Formación, Composición y Estructura del Suelo.....	9
2.1.2. Tipos de Suelos.....	11
2.1.3. Análisis de Suelos	13
2.1.4. Usos del Suelo	18
2.2. DEGRADACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL SUELO.....	19
2.2.1. Degradación del Suelo.....	19
2.2.2. Contaminación Del Suelo	20
2.2.3. Origen de la Contaminación del Suelo	20
2.2.4. Agente Contaminante: Plomo.....	22
2.2.5. Agente Contaminante: Cromo	25
2.2.6. Agente Contaminante: Zinc.....	30
2.3. NORMATIVA	33
2.3.1. Normativa Internacional	34
2.3.2. Normativa Nacional.....	35
2.4. DESCONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS.....	37
2.5. GEOESTADÍSTICA	38
2.5.1. Estadística Espacial.....	39
2.5.2. Definición de Geoestadística.....	39
2.5.3. Análisis Exploratorio de Datos.....	40

2.5.4.	Análisis Estructural de Datos	43
2.5.5.	Predicción Espacial	49
2.5.6.	Kriging.....	50
CAPÍTULO 3	52
MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	52
3.1.	MUESTREO	52
3.1.1.	Toma de la muestra.....	56
3.2.	TRATAMIENTO DE LA MUESTRA	56
3.2.1.	Secado de la muestra	56
3.2.2.	Digestión de la muestra	57
3.2.3.	Cuantificación.....	61
3.3.	REACTIVOS Y ESTÁNDARES.....	65
3.3.1.	Preparación del Ácido Nítrico al 10%.....	65
3.3.2.	Preparación de la solución patrón para Pb, Cr y Zn.	65
3.3.3.	Estándares de Pb, Cr y Zn.....	67
3.4.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	70
3.4.1.	Tratamiento de la muestra.....	71
3.5.	GENERACIÓN DEL MODELO GEOESTADISTICO	78
3.5.1.	Procesamiento de Datos	78
CAPÍTULO 4	87
ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	88
4.2.	ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO PARA DATOS DE CONCENTRACIONES DE PLOMO, CROMO Y ZINC	90
4.2.1.	Análisis Exploratorio.....	90
4.2.2.	Análisis Estructural	96
4.2.3.	Predicción Espacial de concentraciones de Plomo, Cromo Y Zinc	100
4.2.4.	Validación Cruzada de los Datos de Concentración de Plomo, Cromo y Zinc.....	105
4.3.	IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN SUELO	108
4.3.1.	Parque automotor	108
4.3.2.	Sector Industrial	112
CAPÍTULO 5	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
CAPÍTULO 6	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2.1 Textura de fracción de suelo.....	12
Diagrama 2.3 Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos.....	48
Diagrama 4.1 Histograma de datos de concentraciones de plomo.....	93
Diagrama 4.2 Diagrama de caja de datos de concentraciones de plomo.....	94
Diagrama 4.3 Histograma de datos de concentraciones de cromo.....	94
Diagrama 4.4 Diagrama de caja de datos de concentraciones de cromo.....	95
Diagrama 4.5 Histograma de datos de concentraciones de zinc.....	95
Diagrama 4.6 Diagrama de caja de datos de concentraciones de zinc.....	96

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.1 División Política del Cantón Rumiñahui.....	6
Mapa 3.1 Muestreo en cuadrícula.....	53
Mapa 3.2 Muestreo Vial.....	54
Mapa 3.3 Muestreo Sector Industrial.....	55
Mapa 3.4 Zonas de muestreo.....	70
Mapa 4.1 Concentración de Plomo en las parroquias de San Rafael y Sangolquí.....	102
Mapa 4.2 Concentración de Cromo en las parroquias de San Rafael y Sangolquí.....	103
Mapa 4.3 Concentración de Zinc en las parroquias de San Rafael y Sangolquí.....	104
Mapa 4.4 Ubicación de tramos viales.....	111
Mapa 4.5 Ubicación Industrial.....	117

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1 Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales y oxidantes metálicos sobre hidróxidos de Fe amorfo	14
Imagen 3.1 Materiales de muestreo de campo	52
Imagen 3.2 Recolección de las muestras.....	56
Imagen 3.3 Procesos de secado de las muestras	56
Imagen 3.4 Materiales de laboratorio – Digestión -	58
Imagen 3.5 Proceso de pesado de la muestra	58
Imagen 3.6 Proceso de digestión de la muestra.....	59
Imagen 3.7 Proceso de Filtración de la muestra	60
Imagen 3.8 Muestra final	61
Imagen 3.9 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Pb.....	63
Imagen 3.10 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Cr	64
Imagen 3.11 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Zn.....	64
Imagen 3.12 Proceso elaboración del HNO₃ al 10%.....	65
Imagen 3.13 Proceso de elaboración del estándar de plomo	66
Imagen 3.14 Estándar de 100 ppm de Pb	66
Imagen 3.15 Estándar de 100ppm de Cr.....	66
Imagen 3.16 Estándar de 50ppm de Zn	67
Imagen 3.17 Proceso de elaboración de estándares de PB.....	68
Imagen 3.18 Estándares finales de Pb, Cr y Zn	69
Imagen 3.19 Homogenización de las muestras	71
Imagen 3.20 Materiales para pesar las muestras	72
Imagen 3.21 Proceso para obtener el contenido de humedad	73
Imagen 3.22 Materiales para uso de pH y Conductividad	74
Imagen 3.23 Solución estándar de pH=7 y pH=4	74
Imagen 3.24 Proceso para obtener la muestra	75
Imagen 3.25 Lectura de pH.....	76
Imagen 3.26 Lectura de conductividad	76
Imagen 3.27 Materiales para medir sulfatos, nitratos y fosfatos.....	77
Imagen 3.28 Archivo de extensión *.dat para el software Variowin 2.2.1.....	79
Imagen 3.29 Ventana de asignación de las coordenadas de los puntos muestreados	79
Imagen 3.30 Corrida del archivo *.dat	80
Imagen 3.31 Fijación de parámetros del semivariograma experimental.....	80
Imagen 3.32 Verificación de la distancia máxima mediante el cálculo de la nube del semivariograma	81
Imagen 3.33 Semivariograma experimental de las concentraciones de plomo	81
Imagen 3.34 Fijación de los parámetros del semivariograma teórico de las concentraciones de plomo.....	82
Imagen 3.35 Modelos disponibles para ajuste de semivariograma experimental ...	82
Imagen 3.36 Verificación de la tabla de atributos del shape generado.....	83
Imagen 3.37 Inicio de la extensión Geostatistical Wizard.....	84
Imagen 3.38 Selección del semivariograma y fijación de sus parámetros	84

Imagen 3.39	Búsqueda del vecino más cercano	85
Imagen 3.40	Validación cruzada y errores de predicción	86
Imagen 4.1	Semivariograma experimental de datos de concentraciones de plomo	96
Imagen 4.2	Modelo teórico esférico de datos de concentraciones de plomo	97
Imagen 4.3	Semivariograma experimental de datos de concentraciones de cromo	98
Imagen 4.4	Modelo teórico exponencial de datos de concentraciones de cromo ...	98
Imagen 4.5	Semivariograma experimental de datos de concentraciones de zinc ..	99
Imagen 4.6	Modelo teórico exponencial de datos de concentraciones de zinc	100
Imagen 4.7	Errores de predicción de datos de concentraciones de plomo	100
Imagen 4.8	Errores de predicción de datos de concentraciones de cromo	101
Imagen 4.9	Errores de predicción de datos de concentraciones de zinc	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Movilidad relativa de los metales	15
Tabla 2.2 Reacción acidez-alcalinidad	15
Tabla 2.3 Características de suelos ácidos y alcalinos.....	16
Tabla 2.4 Grados de salinidad	18
Tabla 2.5 Umbrales de contaminación en mg kg ⁻¹ de por metales pesados (Kabata-Pendias y Pendias, 1995)	34
Tabla 2.6 Criterios de Calidad de Suelo	36
Tabla 2.7 Criterios de Remedación o Restauración	36
Tabla 2.8 Esquema General de Datos Georeferenciado.....	40
Tabla 3.1 Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Plomo.....	62
Tabla 3.2 Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Cromo	62
Tabla 3.3 Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Zinc	62
Tabla 3.4 Datos de calibración para plomo.....	63
Tabla 3.5 Datos de calibración para Cromo	63
Tabla 3.6 Datos de calibración para Zinc	64
Tabla 3.7 Estándares de Pb.....	67
Tabla 3.8 Estándares de Cr	68
Tabla 3.9 Estándares de Zn.....	69
Tabla 3.10 Datos a utilizar en el espectrofotómetro	78
Tabla 4.1 Datos iniciales de la concentración de plomo en la muestra	87
Tabla 4.2 Resultados de los Parámetros Físico – Químicos	89
Tabla 4.3 Resultados de análisis de nitratos, fosfatos y sulfatos	89
Tabla 4.4 Resultados de contenido de humedad.....	90
Tabla 4.5 Estadísticos descriptivos de datos de concentraciones de plomo	90
Tabla 4.6 Estadísticos descriptivos de datos de concentraciones de cromo	91
Tabla 4.7 Estadísticos descriptivos de datos de concentraciones de zinc	92
Tabla 4.8 Parámetros del semivariograma experimental.....	97
Tabla 4.9 Parámetros del semivariograma teórico esférico	97
Tabla 4.10 Parámetros del semivariograma experimental.....	98
Tabla 4.11 Parámetros del semivariograma teórico exponencial.....	99
Tabla 4.12 Parámetros del semivariograma experimental.....	99
Tabla 4.13 Parámetros del semivariograma teórico exponencial.....	100
Tabla 4.14 Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de plomo. Fuente: Los Autores	105
Tabla 4.15 Validación del modelo de concentraciones de plomo (ppm).....	105
Tabla 4.16 Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de cromo. Fuente: Los Autores	106
Tabla 4.17 Validación del modelo de concentraciones de cromo	106
Tabla 4.18 Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de zinc. Fuente: Los Autores.....	107
Tabla 4.19 Validación del modelo de concentraciones de zinc	107
Tabla 4.20 Contaminación vial.....	110

GLOSARIO

Absorbancia	Es la cantidad de intensidad de luz que absorbe una muestra, es adimensional.
Coefficiente de correlación	Número ubicado entre -1 y $+1$ que mide la dependencia recíproca entre dos variables que se observan al mismo tiempo. Un valor de $+1$ significa que las variables tienen una relación lineal directa perfecta; un valor de -1 significa que existe una relación lineal inversa perfecta;
Curva de calibración	Representación gráfica de la señal de medida como una función de la cantidad de sustancia.
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
Factor de dilución	Igual al volumen final de la dilución dividido entre la cantidad alicuotada para la dilución.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Georeferenciar:	Asignar un par de coordenadas geográficas (x,y) a un objeto o estructura, en un sistema de proyección
OMS:	Organización Mundial de la Salud
Ppm	Partes por millón, unidad de concentración expresadas como mg/L.
Raster:	Estructura de datos basados en celdas compuestas de filas y columnas formando un mosaico regular, representando una unidad de superficie que agrupa el valor medio de la variable representada (altitud, reflectancia, etc)
Tel:	Tetraetilo
TULAS:	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

En la Constitución Política de la República del Ecuador del 2008, en el Capítulo Segundo “Biodiversidad y Recursos Naturales” en su Art.396 expresa: “El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles”. De acuerdo a lo anteriormente descrito es importante analizar los niveles de contaminación de plomo en el suelo de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ provocado por el incremento del parque automotor y las diferentes industrias que se han ido implementando. Cabe señalar que la parroquia de SANGOLQUÍ en un inicio no era considerada como zona industrial.

Se debe tener presente que en nuestro país, las autoridades ambientales no aplican correctamente lo que cita el Art. 42 del T.U.L.A.S (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario) que textualmente dice “Determinar, a nivel nacional, los límites permisibles para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado; emisiones al aire incluyendo ruido, vibraciones y otras formas de energía; vertidos, aplicación o disposición de líquidos, sólidos o combinación, en el suelo”.

El Plomo es un metal blando, es decir que su densidad es baja y se descomponen con la acción de la temperatura y el agua; además forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones, especialmente en combustibles y en algunos procesos industriales. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). (Wright J., 2003)

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los metales se encuentran naturalmente en diversas concentraciones en rocas y suelos. Con el advenimiento de la industrialización, ha aumentado notoriamente el uso de metales pesados ya que presentan propiedades adecuadas para diversos fines. Esto ha producido el incremento de las concentraciones de dichos metales en el ambiente, lo cual es casi imposible de revertir por su persistencia en el mismo.

Teniendo en cuenta el uso de insumos que contengan metales pesados tanto en el sector industrial como en el parque automotor, sus emisiones pueden contaminar el ambiente con Plomo, si estas concentraciones superan los límites permisibles, pueden afectar a la salud de los seres humanos. Por ejemplo el uso del suelo puede verse afectado por actividades industriales, agrícolas, comerciales y residenciales.

Dentro de los metales más dañinos a la salud humana destaca el Plomo el cual puede causar los siguientes efectos:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones
- Abortos y abortos sutiles
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños

Los suelos pueden contaminarse con metales por contacto directo con residuos de actividades industriales, lixiviado de residuos, por depósito de lodos, etc. (Grupo Ambiental Montevideo, Informe Ambiental Montevideo XXI, 2003)

Debido al incremento del sector industrial y el aumento del parque automotor en las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ, el riesgo de una posible contaminación de plomo en los suelos de las parroquias antes mencionadas es inminente. Estos suelos actualmente son utilizados para fines de agricultura, recreación, comercial y residencial.

Es importante determinar los niveles de plomo que existe en el suelo de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ, a fin de determinar si están dentro de los niveles máximos permisibles según el uso de suelo (Tabla No.2 y 3 del Libro VI anexo 2 del T.U.L.A.S), de ésta forma se podrá determinar si existe contaminación por plomo.

1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Debido al incremento del parque industrial y automotor en las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ, el suelo de estas parroquias tiene una concentración mayor a 100 mg/Kg de plomo.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Al no haberse encontrado estudios sobre contaminación de plomo en los suelos de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ, y debido al incremento del sector industrial y el aumento del parque automotor, el riesgo de una posible contaminación de plomo en estos suelos es inminente. Se ha comprobado que una exposición a altas concentraciones de plomo, el ingreso de ésta sustancia al organismo es casi inevitable; al ingresar a las vías respiratorias y posteriormente al torrente sanguíneo ocasiona serios problemas como es el caso de plumbemia que es la aumento de niveles de plomo en la sangre, además de anemia, osteoporosis grave, y abortos. Ante éstos antecedentes y a la importancia que tiene ésta problemática que afecta directamente a la población, es necesario establecer si la contaminación con plomo en el suelo está dentro de los límites permisibles de concentraciones de plomo, a fin de precautelar la integridad de los seres vivos que habitan en este sector, dando prioridad a la salud de los seres humanos.

Es necesario establecer un modelo de concentración de plomo en el suelo con técnicas geoestadísticas, para determinar el nivel de afectación al que se encuentran expuestas los pobladores que habitan en las parroquias antes mencionadas. La normativa de los niveles permisibles de plomo (Libro VI, Anexo 2 del TULAS), en referencia del tipo de uso del suelo, permite comparar los niveles permisibles suscritos en la normativa con los valores tomados en campo para su análisis correspondiente y sus posterior correctivo.

La importancia de realizar un modelo de predicción geoestadística de plomo para determinar e identificar los sectores más afectados por el aumento de las fuentes emisoras fijas (parque industrial) y fuentes emisoras móviles (parque automotor) analizando el aumento del nivel de octanaje de las gasolinas y el diésel y cual genera una disminución del uso del plomo para su fabricación, permitirá obtener un análisis del escenario de las zonas afectadas y facilitar a las autoridades pertinentes tomar medidas correctivas en beneficio de la sociedad. Los hidrocarburos que aportan con plomo al ambiente son los combustibles como la gasolina, diésel y el gas natural; además el polietileno (plásticos), asfaltos,

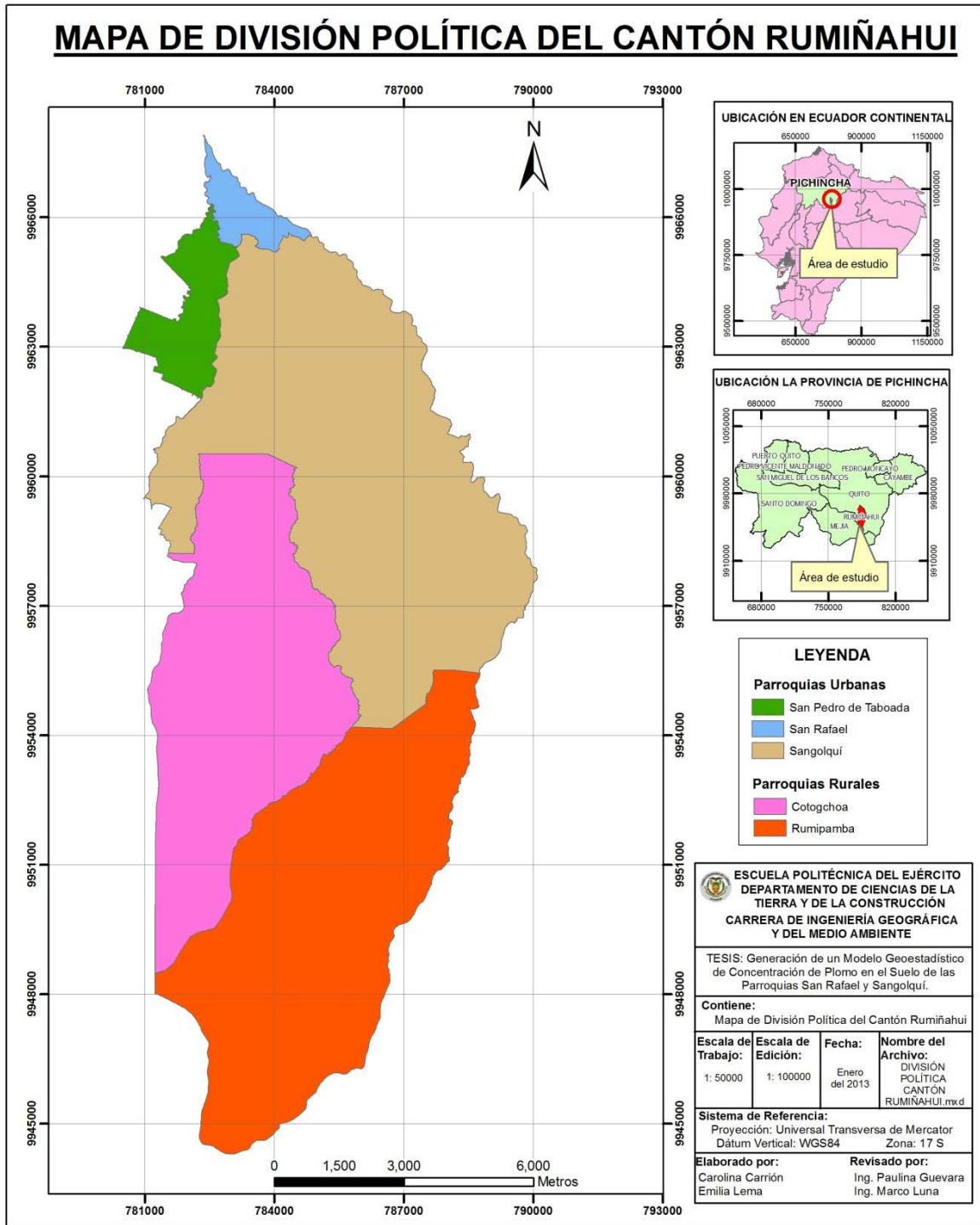
disolventes de grasas, antisépticos. Hacia el año 1995 la gasolina de bajo octanaje se la mezclaba con tetraetilo (TEL) de plomo para subir el octanaje, pero debido a que el TEL es un químico altamente tóxico y prohibido su uso se dejó de utilizar éste compuesto en el Ecuador.

Las Universidades del país y por tanto la Escuela Politécnica del Ejército dentro de su misión contempla la educación, investigación y vinculación con la colectividad, apoyando proyectos dentro de éste marco. En tal virtud el tema “Generación de un Modelo Geoestadístico de Concentración de Plomo en el Suelo de las Parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ”, permite salvaguardar la salud humana, tomando en cuenta el aumento del parque industrial y automotor y su afectación a los suelos.

1.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la República del Ecuador, en la provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, en las parroquias Sangolquí y San Rafael (Mapa 1.1) con una superficie aproximada de 49 y 3 Km² respectivamente. Sangolquí se ubica en el centro norte del Cantón Rumiñahui y posee una población aproximada de 63000 habitantes; mientras que San Rafael está ubicada al norte del Cantón Rumiñahui y su población aproximada es de 3000 habitantes. (Censo INEC, 2010)

Además estas parroquias comparten varias características geográficas, históricas y poblacionales por su relación de proximidad. Es decir, se las ve como una sola zona vinculada por actividades económicas, sociales y comerciales.



Mapa 1.1 División Política del Cantón Rumiñahui

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

- Aplicar técnicas geoestadísticas y generar un modelo de concentración de plomo en el suelo de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar la concentración de plomo en los suelos de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ.
- Comparar los resultados obtenidos (datos obtenidos en campo), con las normas establecidas en el T.U.L.A.S., a fin de establecer o no una posible contaminación con plomo en estos suelos.
- Seleccionar el mejor interpolador para el modelo de concentración de plomo en los suelos de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ, utilizando técnicas de geoestadística.
- Validar el modelo de concentración de plomo en el suelo con puntos de chequeo tomados en campo.

1.7. METAS

- Un mapa de concentración de plomo Escala 1:10000 en los suelos de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ.
- Un histograma de plomo en el suelo que afectan a los habitantes de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ.
- Identificación de los sitios de posible contaminación de plomo en el suelo de las parroquias SAN RAFAEL y SANGOLQUÍ.
- Un mapa de Uso Actual del Suelo Escala 1:10000 de las parroquias SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. SUELOS

La etimología de la palabra suelo proviene del latín “solum” que significa piso y es el límite entre la hidrósfera y la atmósfera en el cual se asientan los organismos.

El concepto de suelo varía según la disciplina que lo estudie, pero su estudio debe proporcionar las bases para mejorar la productividad de los cultivos, prevenir la degradación del suelo mientras se preserva la calidad del recurso.

Otras definiciones de suelo son:

El suelo es un sistema trifásico con una fase sólida, compuesta de materia mineral y materia orgánica, una fase líquida (agua) y una fase gaseosa (aire), que constituyen el soporte mecánico y el sustento de las plantas (Juárez M., Sánchez J., Sánchez A., 2006)

Aquel horizonte de roca que, diariamente o casi diariamente, cambia sus relaciones bajo el influjo conjunto del agua, el aire y varias formas de organismos vivientes y muertos. (Juárez M., Sánchez J., Sánchez A., 2006)

El suelo es el resultado de la transformación de sustancias orgánicas y minerales sobre la superficie terrestre, bajo la influencia de factores ambientales

que operan un determinado tiempo, con una organización y morfología definida (Juárez M., Sánchez J., Sánchez A., 2006)

2.1.1. Formación, Composición y Estructura del Suelo

La formación de un suelo se llama “Pedogénesis” y se da gracias a procesos que se efectúan bajo la acción de factores específicos. Estos procesos modifican de manera lenta y continua a la roca madre de la siguiente manera:

- Disminuyen el tamaño de la partícula del material originario
- Reordenan las partículas minerales
- Adicionan materia orgánica
- Cambian el tipo de mineral
- Formación de horizontes

Los factores de formación de los suelos es una condición que influye sobre la roca madre y cambia sus características. Cinco factores más significativos han sido agrupados por los especialistas:

- **Material original:** El estado inicial del suelo puede ser mineral, orgánico o una mezcla de los dos. Éstas determinan las propiedades físicas y químicas del suelo y tendrán una importante influencia en el tipo de perfil que se formará.
- **Clima:** La humedad es una característica que determina el clima de un suelo. Influye sobre la formación del suelo ya que ejerce un fuerte control sobre las reacciones físicas y químicas. El agua permite el crecimiento de las plantas y otros organismos, transporta y rompe físicamente los materiales. La temperatura es un factor que determina la velocidad de las reacciones químicas.
- **Organismos:** Los organismos del suelo ayudan en el proceso de descomposición de la materia orgánica como restos animales y vegetales, la cual se va transformando progresivamente hasta llegar a formar el humus.
- **Relieve:** Este factor influye en el clima local y la vegetación dando lugar a variaciones en la exposición del suelo a nevadas y ventiscas, distribución

de la energía, agua pluvial, nutrientes y tipos de vegetación. También el drenaje y la cobertura vegetal del paisaje va a cambiar dependiendo del ángulo de la pendiente que forma el relieve.

- Tiempo: Éste factor tiene una influencia indirecta sobre la formación del suelo, determinando la duración con que se efectúan los factores antes tratados.

El corte vertical de los suelos se distingue por las capas que se forman desde la superficie hacia abajo. A estas capas se las llama horizonte y en la práctica, son caracterizados de acuerdo a sus propiedades de color, textura, estructura, límites y perfil.

El perfil es un parámetro de clasificación de los suelos dado que cada uno de los horizontes posee características propias en el proceso de formación del suelo.

- Horizonte orgánico (O): Formado a base de abundantes restos vegetales poco descompuestos depositados sobre la superficie.
- Horizonte mineral oscurecido por materia orgánica (A): Depósito de materia orgánica ya humificada por lo que es bastante porosa y constituye la capa superior del suelo. Está íntimamente relacionada con partículas minerales.
- Horizonte eluvial (E): Muestra una elevada proporción de minerales resistentes, es de color claro y tiende a la pérdida de mineral es de arcilla. Es de color claro.
- Horizonte mineral (B): Acumulaciones de parte de los materiales que proceden de los horizontes A y E debido a la pérdida de la estructura originaria del suelo. De color rojizo o pardo a causa de la presencia de óxidos de hierro.
- C: Capa mineral de material no consolidado, originario de la roca madre poco alterada.
- K: Capa con fuerte acumulación de carbonato cálcico y magnésico
- Y: Horizonte rico en yeso
- R: Es la roca madre consolidada

La estructura del suelo se refiere a la organización natural de las partículas del suelo en unidades de suelo discretas agregados que resultan de procesos pedogenéticos.(FAO, 2000) Los agregados son partículas orgánicas e inorgánicas de los suelos resultantes de la interacción físico – química y están separados entre sí mediante poros. Se reconocen a tres tipos de estructura del suelo.

- Granular simple o sin estructura: Son suelos con granos sueltos sin elementos finos y son típicos en horizontes arenosos.
- Maciza o estructura continua: Cuando el suelo se muestra como un bloque.
- Agregada o fragmentaria: Las partículas están dispuestas en agregados de mayor o menor estabilidad por lo que son los suelos más útiles al propiciar las mejores condiciones para la vida en el suelo y para el transporte y retención de fluidos.

Las formas de agregados que comúnmente se observan en los suelos son:

- Laminar: Agregados formados por láminas horizontales. No permiten el paso vertical del agua, raíces y el aire.
- Prismática: Son agregados conformados por pilares verticales. Impiden la penetración de las raíces debido a su gran dureza.
- Columnar: Formados por prismas que tienen su parte superior en forma de cúpula.
- Bloques angulares: Bloques de caras rectangulares y aristas rectas.
- Bloques subangulares: Bloques con caras curvas y aristas agudas.
- Granular compuesta: Son esferas imperfectas, ésta estructura propicia la actividad biológica.
- Migajosa: Estructura granular y por ende muy porosa.

2.1.2. Tipos de Suelos

Los tipos de suelos varían de acuerdo a su textura, esta se relaciona con las fracciones que predominan en el suelo dando lugar a las texturas arenosas, limosas y arcillosas las cuales se combinan de todas las maneras posibles y en diferentes proporciones dando origen a muchos otros tipos de texturas como limo

– arenosa, areno – arcillosa, etc., creando una confusión en la determinación del tipo de suelo dentro de un estudio edafológico.

Para estandarizar ésta tarea se utiliza de forma general un diagrama triangular para la descripción de la textura de fracción de suelo.

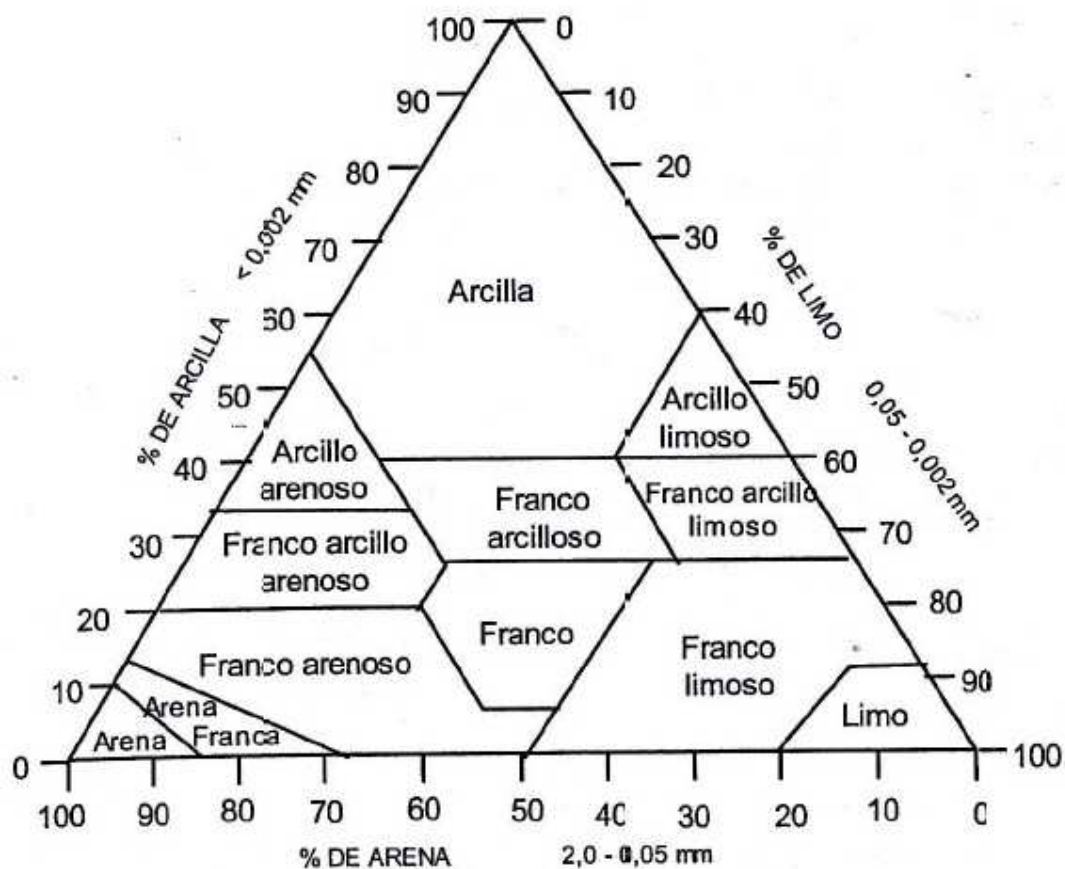


Diagrama 2.1 Textura de fracción de suelo

Fuente: FAO, 2000

Cada punto de estos triángulos de textura corresponde a una determinada textura, que viene determinada por un cierto porcentaje de arena, limo y arcilla como se observa en el diagrama anterior.

La textura es indudablemente la característica física del suelo más importante ya que perdura en el tiempo provocando importantes cambios a las

propiedades del mismo como son: porosidad, capacidad de retención de agua, abundancia de elementos nutritivos, color.

2.1.3. Análisis de Suelos

Contenido De Humedad

La humedad en suelos es la relación entre el peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca, expresada en valores de porcentaje

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100\% \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: Humedad de suelo (W)

Muestra real (Ww)

Muestra seca (Ws)

DETERMINACIÓN: Existen diferentes métodos para encontrar el contenido de humedad en una muestra como: secado al horno, se realiza con una estufa (horno) la cual se mantiene a temperatura constante de 105°C. durante 24 horas, esto genera resultados rápidos y con un nivel de aceptación bueno del resultado.

PH

El pH (potencial de Hidrógeno) se refiere a una medida de la concentración de hidrógeno expresada en términos logarítmicos $\text{pH} = -\log |\text{H}^+|$, su valor oscila entre 1 a 14. Siendo 7 el valor para un pH neutro, por debajo de 7 ácido y por encima de 7 alcalino. Por cada unidad de cambio en pH hay un cambio 10 veces en magnitud en la acidez o alcalinidad (por ejemplo: un pH 6.0 es diez veces más ácido que un pH 7).

El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino es una variable importante para definir la

movilidad del catión, debido a que en medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos (Alloway, 1995).

Por otra parte, algunos metales pueden estar en la disolución del suelo como aniones solubles. Tal es el caso de los siguientes metales: Se, V, As, Cr.

La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo (y por tanto, también sus solubilidad).

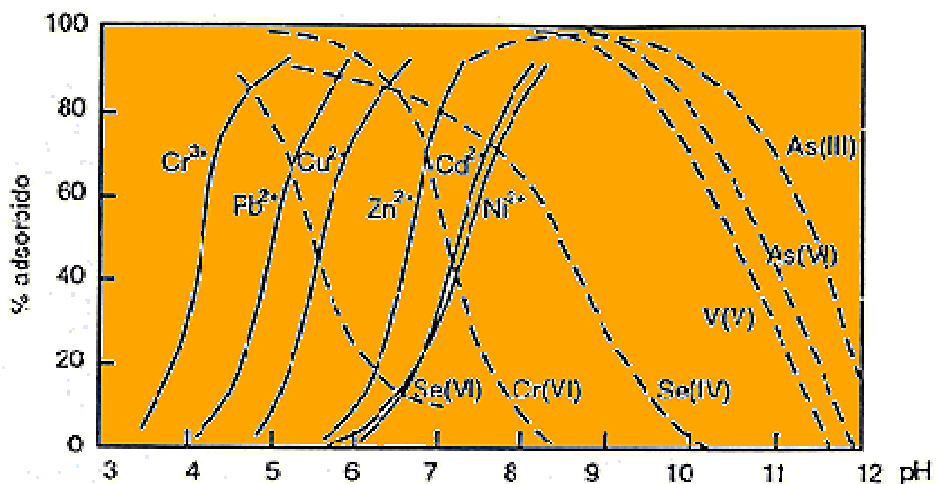


Imagen 2.1 Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales y oxidantes metálicos sobre hidróxidos de Fe amorfo

FUENTE: Mazione y Merry, 1989

Los diagramas Eh-pH se utilizan para mostrar la estabilidad de compuestos de metales pesados y proporciona un método fácil para predecir el comportamiento de los metales pesados frente a un de cambio en las condiciones ambientales, como se muestra en la siguiente tabla 2.1.

Tabla 2.1 Movilidad relativa de los metales

Fuente: Alloway, 1995

Movilidad relativa de los metales pesados según el Eh y pH del suelo				
Movilidad	Oxidante	Acido	Neutro y alcalino	Reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

DETERMINACIÓN: La medición del pH del suelo se puede hacer de diversas formas: en laboratorio, con aparatos especiales (in situ), con reactivos (ej. papel tornasol)

El equipo a utilizar es el pH metro en laboratorio, el cual nos genera la lectura de forma directa del pH.

Acidez Y Alcalinidad

Algunos efectos como resultado del nivel de pH sobre el suelo son la acidez y la alcalinidad, los cuales influyen sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando o disminuyendo la solubilidad del medio, una buena absorción y distribución de los nutrientes y de los metales pesados.

La reacción existente en acidez y alcalinidad están dados en la siguiente tabla: (T.U.L.A.S)

Tabla 2.2 Reacción acidez-alcalinidad

Fuente: TULAS, 1998

pH	Rango
Muy fuertemente Ácido	Menor a 4.5
Fuertemente Ácido	4.6 a 5.5
Medianamente Ácido	5.6 a 6

Ligeramente Ácido	6.1 a 6.5
Neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente Alcalino	7.4 a 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 a 8.4
Fuertemente Alcalino	8.5 a 9
Muy fuertemente Alcalino	Mayor a 9.1

A continuación se muestran algunas características de los suelos ácidos y alcalinos, como parte de la investigación.

Tabla 2.3 Características de suelos ácidos y alcalinos

Fuente: Los Autores

SUELOS ACIDOS (pH<7)	SUELOS ALCALINOS (pH>7)
Son característicos de lugares que presentan escasez de agua, originando una actividad biológica baja.	Son regiones donde hay alta concentración pluviométrica.
Lugares donde la meteorización de minerales produce cationes que no se lavan o lixivian, adicionalmente se pueden presentar en cuencas donde se drenan aguas.	Se presentan por compuestos ácidos formados en la descomposición de la materia orgánica,
Existe una gran disponibilidad de contenido de varios metales, especialmente abunda el hierro, manganeso, zinc y aluminio, que en exceso pueden ser muy tóxicos.	Carecen de varios elementos solubles esenciales para los vegetales como: hierro, manganeso, zinc, cobre y boro. Sin embargo hay una buena presencia de metales como As, Mo, Se, Cr.
Su estructura se vuelve inestable y presenta una alteración de minerales.	Disminuye la permeabilidad y la aireación, originando condiciones reductoras
En suelos de pH menores de 6,5 provoca una toxicidad de hidrógeno, hierro, manganeso; para suelos muy ácidos de pH menores de 5,5 genera una toxicidad de aluminio para las plantas.	Presenta una disminución de la solubilidad de todos los micro-nutrientes
Mientras más ácido es el suelo mejora la solubilidad de los metales como su absorción por las raíces de las plantas.	Presenta problemas con la succión del agua por las raíces de la planta y toxicidad de sodio. Llegan a producir sustancias ácidas por medio de las raíces de las plantas, lo cual genera que sean los formadores de las lluvias ácidas.

Conductividad Eléctrica (Ce)

La medida de la Conductividad Eléctrica de los extractos obtenidos de un suelo permite establecer la medida de la cantidad de corriente que pasa a través de la solución del suelo como una estimación aproximadamente cuantitativa de la cantidad de sales disueltas e ionizadas contenidas. La relación suelo-agua tiene influencia sobre la cantidad y composición de las sales extraídas, siendo necesario especificar la relación.

Es decir, el contenido de salino de una solución se conoce midiendo la conductividad eléctrica de la solución, utilizando la siguiente fórmula:

$$ST = 0,64 \cdot CE \quad (\text{Ec.2})$$

La conductividad eléctrica se expresa en: decisiemens/metro (dS/m), milimhos/centímetro (mmho/cm); manteniendo una relación de $1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmho/cm}$.

Mientras que el contenido total de sales esta expresado en: gramos / litro de disolución (g/l)

- **Suelos salinos.**

Los suelos salinos se presentan cuando tiene un exceso de sales solubles, cuyos iones en la solución del suelo impiden o dificultan el desarrollo normal de las plantas. Se consideran sales solubles las que están compuestas por los siguientes iones:

- Cationes: calcio, magnesio, sodio, potasio
- Aniones: cloruro, sulfato, bicarbonato, carbonato

Para distinguir suelos salinos de no salinos, se han sugerido varios límites arbitrarios de salinidad. Se acepta que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido en sales excede del 1%. La clasificación americana de suelos, Soil Taxonomy, adopta el valor de 2 dS/m como límite para el carácter salino a nivel de gran grupo y subgrupo, pues considera que a partir de

ese valor las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil quedan fuertemente influenciadas por el carácter salino. Mientras que el laboratorio de salinidad de los EE.UU. ha establecido el límite de 4 dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas.

Tabla 2.4 Grados de salinidad

Fuente: United States Salinity Laboratory de Riverside

TIPO DE SUELO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA
Suelo normal	< 2 dS/m
Suelo salino	> 2 dS/m
Salinidad ligera	2 – 4 dS/m
Salinidad mediana	4 – 8 dS/m
Salinidad fuerte	8 – 16 dS/m
Salinidad extrema	> 16 dS/m

2.1.4. Usos del Suelo

A nivel general se consideran las siguientes categorías de uso de suelo:

- **Uso residencial:** Es el que tiene como destino la vivienda permanente, en uso exclusivo o combinado con otros usos de suelo, en áreas del territorio, lotes independientes y edificaciones (individual y/o colectiva). (Ordenanza Sustitutiva de Reglamentación de Uso de Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues, 2009)
- **Uso comercial y de Servicios:** Es el destinado a actividades de intercambio de bienes y servicios en diferentes escalas y coberturas, en uso exclusivo o combinados con otros usos de suelo en: áreas del territorio, lotes independientes y edificaciones (individual y/o colectivo). (Ordenanza Sustitutiva de Reglamentación de Uso de Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues, 2009)
- **Uso Industrial, Pequeña Industria y Manufacturero:** Es el destinado a la elaboración, transformación, tratamiento y manipulación de materias primas para producir bienes o productos materiales. Producción y

desarrollo de sistemas informáticos, audiovisuales y similares; y, otras actividades productivas tecnológicas en el territorio. (Ordenanza Sustitutiva de Reglamentación de Uso de Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues, 2009)

- Equipamiento de servicios Públicos-Comunitarios: Es el destinado a actividades e instalaciones que generen bienes y servicios para satisfacer las necesidades de la población, garantizar el esparcimiento y mejorar la calidad de vida en la ciudad, independientemente de su carácter público o privado, en: áreas del territorio, lotes independientes y edificaciones (aisladas o complejos). (Ordenanza Sustitutiva de Reglamentación de Uso de Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues, 2009)
- Usos De Protección Ecológica y De Preservación Patrimonial: Es el uso de suelo designado para el mantenimiento de las características del ecosistema del medio natural en áreas que no han sido significativamente alteradas por la actividad humana y que por razones estratégicas de calidad ambiental y de equilibrio ecológico deben conservarse; así como también, las áreas, elementos y edificaciones que forman parte de un legado histórico y/o con valor patrimonial que requieren de su preservación. (Ordenanza Sustitutiva de Reglamentación de Uso de Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues, 2009)
- Uso de Aprovechamiento de Recursos Naturales: Es el uso destinado al manejo, extracción y transformación de recursos naturales que comprende todas aquellas actividades relacionadas con la explotación racional de los recursos naturales existentes en el territorio cantonal. (Ordenanza Sustitutiva de Reglamentación de Uso de Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues, 2009)

2.2. DEGRADACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL SUELO

2.2.1. Degradación del Suelo

Aquel proceso que disminuye su capacidad real y/o potencial para producir bienes o prestar servicios. (FAO, 2000)

La degradación es un cambio en las propiedades del suelo que ocasiona una reducción del margen de actuación de las funciones que un determinado suelo puede desempeñar. (Juárez M., Sánchez J., Sánchez A., 2006)

Se clasifican en tres grupos a las agresiones al que está sometido éste recurso.

- Contaminación por sustancias nocivas o poco biodegradables de diferente origen (residuos urbanos, agrícolas e industriales, agroquímicas, aguas de riego, deposición ácida, etc.)
- Deterioro de la estructura física o composición química, erosión, riesgos naturales, compactación por uso de maquinaria pesada.
- Uso inapropiado y consecuencias derivadas de actividades consumidoras de espacio.

2.2.2. Contaminación Del Suelo

Se define suelo contaminado “Aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y/o los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que causan cambios en sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas” (Juárez M., Sánchez J., Sánchez A., 2006)

La contaminación del suelo es un proceso de degradación que produce un impacto negativo debido a la existencia de compuestos químicos, sobre las propiedades que regulan los procesos biológicos del suelo.

2.2.3. Origen de la Contaminación del Suelo

La alteración natural del material originario del suelo puede convertirse en la causa de la contaminación, aquí es cuando se la llama endógena; a su vez,

cuando los aportes de contaminantes son externos se denomina exógena. La contaminación que se origina naturalmente se la considera de menos importancia.

Al hablar de contaminantes en el suelo no se puede dejar de lado las relaciones existentes entre los aspectos biogeoquímicos, biósfera, litósfera, atmósfera e hidrósfera ya que éstos pueden reducir el efecto de la contaminación, ser origen de la misma e incluso ser un medio de propagación.

La demanda energética del mundo actual, la actividad industrial y la deposición de residuos son las causas más comunes de contaminación exógena provocada.

Contaminación Por Producción Energética Y Actividades Industriales

Entre las principales causas de la contaminación del suelo, se encuentra la generación de energía y el aprovechamiento de esta en diferentes tipos de trabajos (actividades industriales, movilización, entre otras).

La combustión de carbón y productos petrolíferos emanan a la atmósfera partículas sólidas de residuos como óxidos de carbono (CO, CO₂), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), sustancias foto oxidantes (O₃), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), metales pesados (Pb, Cr, Zn, Cd), elementos radioactivos, partículas sólidas. Cada uno de estos sigue diferentes procesos de asimilación por parte del suelo.

Estos productos retornan a los ecosistemas terrestres cuando son transportados por las lluvias o de manera mecánica, el sitio de depósito depende de las características meteorológicas. Una vez que los contaminantes se encuentran en el suelo éstos pueden ser absorbidos, circular en su cavidad, ser absorbidos por los vegetales o incorporarse a cuerpos de agua.

La actividad minera induce a una notable contaminación a sus alrededores mediante la presencia de metales como Pb, Zn, Sn, As, etc. Reduce la capacidad

agrícola y la actividad biótica del suelo, incrementando así su susceptibilidad a la erosión, alterando el paisaje y modificando el curso de las aguas superficiales y subterráneas.

Contaminación Por Actividades Agrícolas Y Eliminación De Residuos

El uso descontrolado de fertilizantes genera una variedad de riesgos al ambiente como son:

- Cambios en la calidad del agua
- Incorporación de metales pesados a los suelos
- Acidificación de suelos y cuerpos de agua superficiales
- Alteración en el tipo y estructura de la vegetación natural
- Riesgos para la salud humana

Además del aumento de concentración de elementos traza provenientes de los fertilizantes, el empleo de fitosanitarios bajo fines de eliminación de enfermedades y plagas de las plantas, también se incorporan al suelo con carácter tóxico.

Las prácticas de riego originan problemas cuando el agua que se usa es de mala calidad, derivándose de aquí otras problemáticas como acumulación de iones de metales y compuestos que afectan al desarrollo de las plantas o cuando el agua contiene residuos industriales y urbanos y su contenido de metales pesados, detergentes entre otros contribuyen a la acumulación de contaminantes en el suelo.

2.2.4. Agente Contaminante: Plomo

Es un elemento químico con número atómico 82, peso atómico 207.19 y simbolizado dentro de la tabla periódica con la abreviación Pb (del latín Plumbum). Sus propiedades de elasticidad dependen de las variaciones de temperatura del ambiente, las cuales distienden sus átomos, o los extienden.

El plomo es un metal pesado que ocurre abundante y naturalmente en la corteza terrestre; es muy raro encontrarlo en su estado natural ya que por lo

general está combinado con otros elementos creándose los compuestos de plomo.

Se caracteriza por su color azulado que adquiere un tono grisáceo cuando se empaña. Tiene baja temperatura de fusión lo que significa que no se necesita de niveles altos de temperatura para que su estado pase de sólido a líquido. Además es resistente a la presencia de ácidos y a la corrosión atmosférica.

Este metal empezó a ser explotado debido a sus propiedades físicas de fácil moldeamiento y cambios de forma, siendo así empleado en varios procesos industriales. A pesar de encontrarse de forma natural, los niveles ambientales de éste metal ha ido incrementando debido a la actividad humana y a los usos que se le ha dado.

Usos Y Fuentes De Exposición

El plomo tiene varias aplicaciones y se utiliza tanto en forma sólida como líquida y al ser empleados dentro de los diferentes procesos de producción generan polvo, humos o vapores.

Según el riesgo de intoxicación, las actividades se pueden clasificar en operaciones de elevado riesgo y de riesgo moderado, para lo que se consideran las características físico-químicas del plomo, vías de entrada, intensidad de exposición y duración.

Así se puede considerar que las actividades de mayor riesgo son aquellas en las que el plomo metálico o inorgánico es calentado y se forman aerosoles y humos en grandes cantidades.

Actividades de elevado riesgo:

- Metalurgia del plomo, fundición y refinado.
- Recuperación de plomo y de residuos metálicos que lo contengan.
- Industrias de la construcción.

- Fabricación y reciclado de acumuladores eléctricos.
- Soldadura de objetos y aleaciones de plomo.
- Fabricación de explosivos.
- Fabricación y manipulación de arseniato de plomo como insecticida.
- Fabricación y utilización de pinturas, esmaltes y barnices compuestos de sales y óxidos de plomo.
- Industrias del plástico que utilicen aditivos a base de plomo.

Actividades de riesgo moderado:

- Fabricación de municiones de plomo y su utilización en locales cerrados.
- Trabajos de demolición, especialmente raspado, quemado y oxicorte de materiales recubiertos con pintura de plomo.
- Fabricación de cables y trefilados.

Toxicología

Existen tres vías de penetración del plomo al cuerpo humano:

- Vía respiratoria: Es la vía de entrada más importante, penetrando por inhalación de vapores, humos y partículas del polvo. El 50% del Pb depositado en los pulmones se encuentra en sangre circulante tras aproximadamente 50 horas, pasando un porcentaje a tejidos o siendo eliminado. El grado de absorción de plomo por esta vía depende de la concentración ambiental en el puesto de trabajo, del tiempo de exposición, de la forma física es decir si se presenta como vapores, humos oparticulado, del tipo de ventilación, y de las condiciones de trabajo como son la temperatura, humedad y ventilación ambientales, y nivel de esfuerzo físico.
- Vía oral: Las partículas de polvo de plomo son ingeridas a través de las manos, alimentos, bebidas o cigarrillos contaminados. Hay también un porcentaje de plomo que después de haber sido inhalado es posteriormente vertido al tubo digestivo por los mecanismos de aclaramiento pulmonar. Del 5 al 10% del plomo ingerido por esta vía pasa a sangre, siendo el resto eliminado por las heces. Por otra parte la

absorción de plomo por esta vía es más elevada en la mujer que en el hombre.

- Vía cutánea: La absorción por esta vía es débil en el caso del plomo inorgánico al contrario que en el del plomo orgánico.

2.2.5. Agente Contaminante: Cromo

Es un elemento natural que se presenta en rocas, plantas, suelos, animales, humos y gases volcánicos. En el ambiente existe como cromo trivalente que es un nutriente esencial para los seres humanos y como cromo hexavalente y cromo cero los cuales son usualmente de origen antropogénico.

El cromo ocupa el puesto 21 en abundancia entre los elementos en la corteza terrestre donde se lo encuentra combinado con hierro y oxígeno. Es un metal duro muy resistente a la corrosión, quebradizo y de color gris plateado brillante. Sus estados de oxidación son -2, 0, +2, +3 y +6 y su número atómico es 24.

Otra propiedad del cromo es que es inoxidable tanto al aire húmedo como al aire seco y aún si se lo calienta a altas intensidades se oxida en pequeño grado. Además tiene la capacidad de cristalizarse en el sistema regular y es antimagnético.

El metal fue descubierto en 1761 como cromato de plomo y su nombre proviene del griego chromos que significa "color" debido a los colores vivos de sus compuestos.

Usos Y Fuentes De Exposición

Fundamentalmente el cromo es utilizado en tres tipos de industrias que son la metalurgia, química y de materiales refractarios.

En la industria de la metalurgia el cromo es un elemento esencial para los aceros inoxidables y otras aleaciones metálicas. Gracias a la tenacidad y

resistencia del material son empleados en la fabricación de planchas de blindaje, proyectiles, cajas fuertes, prótesis metálicas para ortopedia.

En el campo de materiales refractarios los usos del cromo incluyen la fabricación de ladrillos para hornos metalúrgicos y otras aplicaciones afines que requieran la resistencia al calor.

Así también la cromita se usa como aislante en hornos industriales empleados en la refinación de metales, en la producción de aleaciones de diversos compuestos químicos. La industria química usa los derivados de cromo III y cromo VI en las operaciones de cromado, manufactura de pigmentos y colorantes, curtido de pieles y tratamiento de maderas.

El cromo en cantidades muy pequeñas se usa en lodos de perforación, inhibidores de la corrosión, tratamiento de aguas, materiales fotográficos, cintas magnéticas, textiles e insumos para las máquinas de fotocopiado.

Usualmente los niveles naturales de concentración de cromo en aire son bajos sin embargo, las emisiones de industrias químicas que usan o producen compuestos de cromo, los incineradores y la gestión inadecuada de los desechos peligrosos y el particulado de cemento aumentan éstas concentraciones convirtiéndose en un riesgo para los sitios aledaños.

El agua puede estar expuesta a concentraciones altas de cromo cuando la zona del cuerpo de agua tiene contacto con fuentes industriales o depósitos importantes de minerales de cromo. Los efluentes de industrias de cromado curtido, protección de maderas y textiles aportan cantidades considerables de cromo a las aguas superficiales. De igual manera cuando los desechos sólidos de las industrias no se tratan adecuadamente estos se convierten en fuentes importantes de contaminación a los mantos freáticos.

En suelos no contaminados las plantas contienen cromo en concentraciones muy bajas hasta no detectables. Algunos vegetales frescos, frutas, levadura,

granos y carne contienen cromo de manera natural y es por esto que la ingestión de alimentos es la principal vía de exposición al metal. Se toma en cuenta que ciertos métodos de procesamiento, almacenamiento y preparación de los alimentos pueden alterar su contenido de cromo. Un ejemplo es cuando los alimentos ácidos entran en contacto con latas, el material se puede disolver y pasar al alimento.

Otra fuente de exposición ambiental al cromo es el polvo de cemento, el tratamiento de madera y el polvo de las vías de transporte. También los cigarrillos registran cantidades muy pequeñas de cromo aunque la cantidad que es inhalada se desconoce.

Existen trabajos donde las personas pueden estar expuestas a concentraciones de cromo muy superiores a las normales y aquí el riesgo de exposición es directo a sus trabajadores:

- Técnicos de mantenimiento y reparación de máquinas de fotocopiado
- Personas que manejan el tóner en máquinas de fotocopiado
- Obreros que fabrican baterías
- Pintores
- Fabricantes de velas
- Impresoras
- Obreros de la fabricación de hule
- Trabajadores del cemento

La población en general corre el riesgo de ingerir cantidades de cromo mediante los alimentos o el agua, pero también se debe considerar la contaminación atmosférica debido a las emisiones industriales que utilicen cromo o compuestos de este; además influye evidentemente los desechos que se generan de aquí mismo.

Toxicología

El organismo puede asimilar el cromo de diferentes maneras como inhalación, ingestión y en menor medida por absorción mediante la piel. En el caso trabajadores de industrias las vías de más riesgo es inhalación y el contacto dérmico mientras que para la población en general es la vía oral la más peligrosa.

La manera de absorber el cromo vía respiratoria es cuando se inhala el aire que lo contiene. Las partículas de cromo metálico pueden depositarse en los pulmones, aquí existen dos posibilidades. Si se acumula en la parte superior del aparato respiratorio lo común es que las partículas absorbidas sean expulsadas mediante una tos; en cambio si las partículas llegaron al fondo de los pulmones, estas pueden permanecer ahí el tiempo necesario para ingresar al fluido sanguíneo. Los compuestos de cromo VI se absorbe más rápidamente que los de cromo III.

Cuando los alimentos o el agua que se ingiere contienen cromo se da la absorción del metal vía digestiva. En el tracto gastrointestinal tanto de los humanos como de los animales, se absorbe menos de 1% de cromo III y alrededor de 10% de cromo VI. La velocidad de absorción depende de la forma química, la solubilidad del compuesto y el tiempo de permanencia en el tracto gastrointestinal.

Por lo general el cromo no se absorbe a través de la piel pero algunos compuestos de cromo VI pueden ser posiblemente absorbidos a través de la piel de poblaciones expuestas ocupacionalmente.

Con respecto a la excreción de cromo absorbido, ocurre mayormente mediante la orina sin haber una importante retención en los órganos. En el cuerpo humano el riñón puede excretar aproximadamente el 60% del cromo VI absorbido durante las siguientes ocho horas, y en forma ya de cromo III. El 10% del cromo absorbido se elimina por excreción biliar y en cantidades muy pequeñas se elimina mediante el cabello, uñas y sudor. Así también el cromo ingerido con agua

y alimentos casi nunca es asimilado y se elimina mediante las heces después de unos días.

La salud humana se ve afectada por la presencia de cromo en su organismo dependiendo de condiciones como el estado de valencia en el momento de la exposición y de la solubilidad del compuesto. Solo el cromo VI y cromo III son importantes toxicológicamente.

El Cromo III es un nutriente esencial en el metabolismo de azúcares y grasas del cuerpo humano, además acelera la acción de la insulina como parte del proceso de tolerancia a la glucosa. En personas desnutridas o diabéticas es muy probable que exista una deficiencia de cromo; aunque esto sea poco común la deficiencia de cromo se manifiesta en las personas como con la intolerancia a la glucosa, reducción de la longevidad, disminución de la cuenta espermática, trastornos en la fertilidad, pérdida de peso, disfunción del sistema nervioso. Así también, el exceso a la exposición de cromo III puede afectar a la salud humana, produciendo cierta excesiva sensibilidad en la piel como el enrojecimiento y lesiones relacionadas.

El Cromo VI resulta más perjudicial. Sus afecciones son más específicas en el cuerpo humano.

- Ojos: Cuando su exposición es crónica es posible observar conjuntivitis, lagrimeo y dolor.

Piel: Por lo general las partes expuestas son las manos, antebrazo y las membranas del tabique nasal, es aquí donde se presentan las lesiones en forma de alergias, irritación y sensibilidad. Produce una úlcera profunda muy lenta de curar aunque no producen mucho dolor.(Albert Lilia, 2004)

Sistema Respiratorio: La larga exposición y en cantidades altas en el aire que se respira provoca irritaciones de la nariz la cual se manifiesta con estornudos, picazón, sangrado y úlceras. Si el tiempo de exposición es corto es posible que no cause daño alguno a la salud, pero si la persona

expuesta es alérgica al metal ésta puede desencadenar un ataque de asma.(Albert Lilia, 2004)

Tracto Gastrointestinal: Si se ingiere en cantidades mínimas no habrá efectos indeseables. Al contrario las cantidades elevadas que sean ingeridas produce vómitos con sangre, diarrea, colapso cardiovascular y hasta la muerte debido a un cuadro gastrointestinal agudo. (Albert Lilia, 2004)

- **Cáncer:** El cáncer al pulmón se le acredita a largas exposiciones de cromo como en casos de trabajadores de industrias. Esto también les puede sucedes a los animales.(Albert Lilia, 2004)

2.2.6. Agente Contaminante: Zinc

El zinc es un elemento natural de la corteza terrestre y es parte inherente del medio ambiente. Se presenta en las rocas, suelos, aire, agua, plantas, animales y seres humanos.

El zinc puro es un metal brillante blanco – azulado. En contacto con aire seco tiene brillo metálico y se cubre rápidamente de una capa gris para protegerse del aire húmedo y evitar la corrosión. Es blando y se comporta de forma irregular con los cambios de temperatura.

Se le denomina al zinc como un elemento esencial ya que desempeña un papel importante en los procesos biológicos de todo ser vivo. En dosis adecuadas de ingesta es fundamental para cumplir con ciclos vitales como la digestión, reproducción entre otros procesos naturales.

Desde el siglo XIII el zinc ha contribuido a brindar una mejor calidad de vida gracias a sus aplicaciones como la farmacéutica y sus usos para la fabricación de tabletas gripales, bloqueadores solares, champú y cosméticos.

Usos Y Fuentes De Exposición

Dependiendo del proceso de como haya sido obtenido (vía seca y vía húmeda) el zinc es usado en diferentes amplias ramas:

- Industrialmente: Vulcanización, catalizadores, como pigmento blanco en la industria de la cerámica, en la obtención de papel de copia, gomas, también se han propuesto determinados compuestos como sustitutos de los derivados alquílicos de plomo, aditivos antidetonantes del petróleo.
- Farmacéutico: Gracias a sus propiedades absorbentes y astringentes como para el caso de quemaduras, escoceduras, infecciones y enfermedades de la piel.
- Fines Terapéuticos: Vía oral, como antiespasmódico o como emético dosis mayores, en inyecciones uretrales y en casos de deficiencia. El óxido, estearato, oleato y sulfato se incorporan en lociones para aliviar los efectos de pruritos
- Agricultura: Algunos compuestos de zinc han logrado remplazar fungicidas a base de Hg y Cu los cuales son muy tóxicos.
- Galvanizado: La mayor cantidad de zinc que se produce está destinado al empleo en la galvanización del hierro y acero con objeto de proporcionar una cubierta resistente a la corrosión. Los objetos galvanizados (alambres, clavos, láminas, etc.) se emplean en la industria del automóvil, la construcción, equipamientos de oficinas y utensilios de cocina, etc. También se utilizan grandes cantidades en la obtención de aleaciones, y en polvo se utiliza como agente reductor.

En cuanto a las fuentes de exposición de zinc, está extensamente distribuido en alimentos y bebidas en concentraciones muy variables. Los productos de origen marino como los mariscos (ostras y crustáceos), son los alimentos más ricos en zinc, seguidos por las carnes rojas, derivados lácteos y huevos, y los cereales integrales. Los vegetales, en general, con excepción de las leguminosas, no son alimentos que presenten contenidos en zinc altos. Las verduras, hortalizas y frutas, grasas, pescados y dulces son fuentes pobres de zinc.

Los alimentos enlatados registran cantidades superiores de zinc. Este incremento de podría deberse a la posible existencia de un paso de zinc desde la soldadura del envase al producto.

En el servicio público de agua los contenidos en zinc, como ocurriría con los de hierro y cobre, pueden provenir en parte de la disolución de los terrenos y en parte de la cesión a partir de los materiales de las conducciones.

Sin embargo también se produce la pérdida de zinc donde se destaca al procesado de alimentos como la principal causa de éste evento. Un ejemplo son los cereales en el cual se reduce su concentración de zinc en el proceso de refinamiento.

Toxicología

En el cuerpo humano la mayor cantidad de zinc es intracelular y se distribuye en un 90% en los tejidos óseo y muscular; el resto, en la piel, hígado, páncreas, retina, células hemáticas y los tejidos gonadales en el varón. En cambio la sangre total contiene aproximadamente diez veces más zinc que el plasma.

El déficit de zinc en el organismo de un individuo puede causarse por diferentes razones como la insuficiencia del metal en la dieta, problemas en la absorción intestinal que conllevan al padecimiento de ciertas enfermedades como lesiones cutáneas, diarreas, pérdidas de cabello, conjuntivitis, fotofobia, opacidad corneal, irritabilidad, temblores y ataxia ocasiona. Los síntomas y signos de la deficiencia de zinc son: retraso en el crecimiento corporal, alteraciones en la madurez sexual y la capacidad reproductiva, depresión de la función inmune, anorexia, dermatitis, alteraciones esqueléticas, ceguera nocturna, diarrea y alopecia.

A pesar de la baja toxicidad del zinc y de su amplio rango de tolerancia entre concentraciones adecuadas y tóxicas, se pueden presentar alteraciones a causa de la ingestión de dosis altas por largos períodos de exposición.

Puede desarrollarse una toxicidad aguda en el cuerpo humano debido a inhalación de humos y polvos de compuestos de zinc en diferentes procesos industriales. Las dosis necesarias de compuestos de zinc para producir envenenamientos agudos son relativamente altas, y varían dependiendo del tipo de sal, la especie biológica, la vía de administración y la disponibilidad del metal. Los síntomas más frecuentes son fiebre, debilidad, depresión, vómitos, salivación, dolor de cabeza, sudoración y dolores en pecho y piernas.

Además bajo condiciones de ingestas excesivas y prolongadas del metal existe un alto riesgo de envenenamiento o toxicidad crónica del zinc. Este hecho se vuelve preocupante al no conocerse los síntomas, a pesar de que ya se citó que el zinc normalmente no se acumula en el organismo, y es excretado más o menos rápido.

2.3. NORMATIVA

Las normativas y métodos de referencia utilizados para análisis de los metales pesados son normas internacionales como la EPA 1986, las cuales ayudan a caracterizar la presencia de metales pesados en suelos. Los métodos analíticos aplicados a suelos contaminados se basan en procedimientos que en su mayoría son utilizados para análisis de aguas, lodos, sedimentos y suelos agrícolas.

La normativa presente define los métodos analíticos destacados para los metales de estudio como el plomo, cromo y zinc en las muestras de suelo, donde se especifica los rangos de concentración para la aplicación de las metodologías.

❖ Metodología de laboratorio.

Tomando como referencia los métodos estándar 3030 (digestión de metales) y 3111 (flama directa de aire-acetileno) se procederá a realizar el análisis correspondiente en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Geográfica la concentración de plomo en cada una de las muestras tomadas en campo.

Para realizar estos análisis, con el uso del equipo de espectrofotometría de absorción atómica se considera los siguientes aspectos:

- Preparación de solución patrón.
- Estándares de plomo.
- Digestión de la muestra.
- Determinación de la concentración en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica.

❖ **Caracterización de sitios contaminados.**

La caracterización de un sitio, implica actividades de muestreo y análisis que tienen como finalidad determinar la extensión y naturaleza de la contaminación.

Existen las Normas ASTM 5283-92 y ASTM 420-93 para muestreo de suelos las que proponen un plan de muestreo en el que se describe el sitio de muestreo, el tipo de muestreo, las normas empleadas para el muestro y análisis y un cronograma de ejecución del mismo.

2.3.1. Normativa Internacional

La legislación existente es muy poca sobre el uso de suelo, la bibliografía obtenida está basada a la de la Unión Europea, la EPA y a la Canadian Council of Ministers of the Environment donde se presentan algunos límites máximos que se consideran contaminantes para el suelo, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Umbrales de contaminación en mg kg⁻¹ de por metales pesados (Kabata-Pendias y Pendias, 1995)

FUENTE: Los autores

METAL	UE (máximo permitido)	EPA	Canadian Council of Ministers of the Environment
Cr	---	270	64
Pb	300	400	140
Zn	300		

Estudios realizados por la EPA (US Environmental Protection Agency) define al suelo contaminado con plomo como un riesgo debido a su ingesta directa, a su

incorporación a las cosechas, o a su entrada directa a los hogares. Identificando que el suelo no contaminado tiene concentraciones de plomo menores a 50 ppm, pero hay áreas urbanas en las que éstos llegan a exceder las 200 ppm (AAP 1993).

La norma de la EPA para plomo en el suelo residencia en áreas de juego es de 400 ppm por peso. Para áreas que no son de juegos la norma es de 1200 ppm. Esta regulación es aplicable a los proyectos de limpieza.

El nivel de análisis de plomo en suelo (SSL) representa un estimado conservador para un nivel que sería protector de la salud pública. Está basado en el análisis de la ruta de ingestión directa para niños.

2.3.2. Normativa Nacional

La Norma Técnica de calidad ambiental del recurso suelo, se acoge lo dispuesto en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario(TULAS), Libro VI. Norma de Calidad Ambiental, Anexo 2. Norma de Calidad del Recurso Suelo, numeral 4.2.1

Norma De Calidad Ambiental Del Recurso Suelo Y Criterios De Remediación Para Suelos Contaminados

El objetivo principal de la presente norma es preservar o conservar la calidad del recurso suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Los suelos contaminados deberán alcanzar los niveles de concentración establecidos en los criterios de remediación de suelos en la presente Norma. Los valores serán aplicados de acuerdo al uso de suelo donde se sitúa el área contaminada.

Criterios de Calidad del Suelo y Criterios de Remediación

- Criterios de Calidad del Suelo

Los criterios de calidad, son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante en el suelo. Para los propósitos de esta Norma, los valores de fondo se refieren a los niveles ambientales representativos para un contaminante en el suelo. Los valores pueden reflejar las variaciones geológicas naturales de áreas no desarrolladas o libres de la influencia de actividades industriales o urbanas generalizadas. Los criterios de calidad de un suelo se presentan a continuación:

Tabla 2.6 Criterios de Calidad de Suelo

Fuente: TULAS, 1998

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco) Suelo	
Parámetros Generales		
Conductividad	mmhos/cm	2
pH		6 a 8
Parámetros Inorgánicos		
Cromo Total	mg/kg	20
Plomo	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60

- Criterios de Remediación o Restauración del Suelo

Los criterios de Remediación o Restauración se establecen de acuerdo al uso que del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), y son presentados en la Tabla 2.7. Tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración.

Tabla 2.7 Criterios de Remediación o Restauración

Fuente: TULAS, 1998

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco)	USO DEL SUELO			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Parámetros Generales					
Conductividad	mmhos/cm.	2	2	4	4
pH		6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Parámetros Inorgánicos					
Cromo Total	mg/kg	65	65	90	90
Cromo VI	mg/kg	0.4	0.4	1.4	1.4
Plomo	mg/kg	100	100	150	150
Zinc	mg/kg	200	200	380	380

2.4. DESCONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS

Las prácticas que se han desarrollado para descontaminar un suelo se clasifican en técnicas “in situ” y “no in situ”.

- Técnicas In Situ:

- ✓ Volatilización: Se introduce al suelo contaminado tubos perforados que emiten un flujo de gas, aire caliente o vapor de agua para dar lugar al arrastre de compuestos volátiles. La eficacia de la misma se verá afectada por la permeabilidad y estado de humedad del suelo. Esta técnica está limitada a compuestos orgánicos volátiles.
- ✓ Biodegradación: Consiste en modificar las condiciones del suelo para estimular el incremento de la población de microorganismos y acelerar su actividad. De ésta manera su poder de degradar los contaminantes en el suelo será más eficaz.
- ✓ Vitrificación: Se aplica una corriente eléctrica para solidificar los contaminantes in situ hasta inmovilizarlos.
- ✓ Aislamiento: Consiste en instalar barreras físicas para retener los contaminantes. Así se minimiza el paso de los mismos tanto en profundidad como lateralmente y se evita su distribución.
- ✓ Fitorecuperación: Trata sobre recuperar un suelo a través de vegetales. Existe la fitoextracción y la fitodegradación.
La fitoextracción consiste en cultivar especies de plantas que absorben los metales pesados del suelo y los acumulan en su interior.
La fitodegradación incluye la participación de una especie vegetal para los procesos de degradación, adsorción, acumulación y volatilización de contaminantes.
- ✓ Tratamiento Electroquímico: Se trata de introducir en el suelo a suficiente profundidad, unos electrodos que crean un campo eléctrico que desplaza a los contaminantes.

- Técnicas No in Situ:

- ✓ Tratamiento en Campo: El suelo contaminado es retirado y extendido sobre otro suelo para que mediante biodegradación se descontamine.
- ✓ Tratamiento Térmico: De igual manera el suelo contaminado es retirado y es expuesto a altas temperaturas dentro de un incinerador. La temperatura rompe y volatiliza los contaminantes.
- ✓ Incorporación de Asfalto: Mantiene el principio del tratamiento térmico pero aquí se incorporan los suelos contaminados a una mezcla asfáltica caliente dando lugar a la descomposición de los contaminantes.
- ✓ Solidificación: Consiste en adicionar al suelo retirado un aditivo que encapsula a los contaminantes y detiene su movimiento, sin embargo no son destruidos.
- ✓ Extracción Química: El suelo retirado es mezclado con un disolvente tenso activo capaz de eliminar los contaminantes.
- ✓ Excavación: El suelo contaminado es retirado y colocado en otros sitios con poca permeabilidad para disminuir la movilidad de los contaminantes.

2.5. GEOESTADÍSTICA

Los métodos estadísticos constituyen uno de los medios por los que el hombre trata de comprender la generalidad de la vida. Los métodos objetivos y controlados que permiten abstraer grupos de tendencias de muchos individuos aislados, son llamados métodos estadísticos. Estos son fundamentalmente los mismos, independientemente de que se apliquen en el análisis de fenómenos físicos, en el estudio de mediciones educacionales, en el estudio de datos provenientes de experimentos biológicos, o del análisis cuantitativo del material en economía

La estadística descriptiva es un conjunto de procedimientos que tienen por objeto presentar masas de datos por medio de tablas, gráficos y/o medidas

deresumen. De acuerdo a lo anterior, la estadística descriptiva es la primera etapa a desarrollar en un análisis de información.

2.5.1. Estadística Espacial

Se basa en metodologías y técnicas de análisis de datos de variables estrictamente de carácter aleatorio en distintos sitios (puntos del espacio o agregaciones espaciales) distribuidos en el área de interés.

Las observaciones de una variable para estudios de estadística espacial se caracterizan por la correlación que existe entre ellas, es decir que no son espacialmente independientes entre sí.

La estadística espacial está subdividida en tres amplias áreas diferenciadas por las características del conjunto de variables del proceso estocástico. Éstas son la Geoestadística, Lattices (enmallados) y Patrones espaciales. Para éste estudio nos interesa profundizar en la primera.

2.5.2. Definición de Geoestadística

Es una rama de la estadística espacial donde el proceso estocástico de toma de muestras debe considerar un conjunto de datos continuo (puntos en el espacio, no agregaciones espaciales), las cuales deben ser seleccionados por el investigador.

Es una combinación de dos ciencias tales como: la Estadística y Geografía que conjuntamente con el uso de técnicas informáticas (software especializado en posicionamiento geográfico) se realizan análisis, es decir estimaciones, predicciones de variables y simulaciones de su comportamiento en el espacio (objetivos fundamentales de la geoestadística).

Tiene aplicaciones en ciencia geológicas, suelos, astronomía, estudios ambientales o cualquier campo que utilice como insumo datos distribuidos en

diferentes geo posiciones. Se debe establecer la ubicación espacial de las diferentes observaciones correspondientes a las variables del estudio. A este conjunto de datos que involucran coordenadas (latitud y longitud) de posicionamiento se los denomina Datos Georeferenciados.

Tabla 2.8 Esquema General de Datos Georeferenciado

Fuente: Los Autores

<i>Sitio</i>	<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Pb</i>	<i>Cr</i>	<i>Zn</i>
1	-	-	Pb_1	Cr_1	Zn_1
2	-	-	Pb_2	Cr_2	Zn_2
3	-	-	Pb_3	Cr_3	Zn_3
.	-	-	-	-	-
.	-	-	-	-	-
.	-	-	-	-	-
n	-	-	Pb_n	Cr_n	Zn_n

n: Cantidad total de localidades muestreadas.

La modelación espacial indica la dependencia entre las medidas de diferentes sitios, dicha modelación concierne con la predicción espacial en la que se realizan tres procesos básicos: el análisis exploratorio de datos, el análisis estructural y la predicción espacial.

2.5.3. Análisis Exploratorio de Datos

Posterior a la obtención de las medidas de las variables es decir los datos crudos, se realiza un análisis que consta de gráficos y medidas de estadística descriptiva para cerciorarse que los datos fueron tomados con criterio, ver su ubicación, identificar valores atípicos, detectar relaciones entre las variables e identificar la tendencia en el valor promedio de la variable. Además verificar la variabilidad, forma y observaciones extremas que se generan en el proceso estocástico.

Gráficos Exploratorios

Los métodos gráficos son útiles para retratar la distribución de las observaciones y su estructura espacial. A continuación se muestran algunos ejemplos.

- **Histograma:** Es una gráfica de áreas en donde en la escala horizontal se representan los intervalos de clase de los datos y en la escala vertical se ubican las frecuencias o frecuencias relativas. El área contenida en cada una de las celdas corresponde a los valores de frecuencia, por lo que todas las celdas se elaboran del mismo ancho y se dibujan de manera adyacente. Permite describir el comportamiento de un conjunto de datos en cuanto a su tendencia central, forma y dispersión. El histograma permite que de un vistazo se pueda tener una idea objetiva sobre la calidad de un producto.
- **Diagrama de Caja:** Es un gráfico, basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo, la "caja", y dos brazos. Suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución, si la mediana no está en el centro del rectángulo, la distribución no es simétrica.

Medidas Estadísticas Descriptivas

- **Medidas de Tendencia Central:** Son valores numéricos que tienden a localizar la parte central de un conjunto de datos.
 - ✓ **Media:** También denominada promedio, es la que se utiliza principalmente y se define como la suma de los valores de todas las observaciones divididas por el número total de datos.
 - ✓ **Mediana:** Es el valor que deja igual número de observaciones a su izquierda que a su derecha, es decir, divide al conjunto de datos en dos partes iguales.
 - ✓ **Moda:** Es el valor de la variable que más veces se repite, es decir, aquella cuya frecuencia absoluta es mayor. Puede haber más de una moda en una distribución.

- Medidas de Posición: Dividen un conjunto ordenado de datos en grupo con la misma cantidad de individuos.
 - ✓ Percentiles: Son 99 valores que dividen en cien porciones iguales el conjunto de datos ordenados. Ejemplo, el percentil de orden 15 deja por debajo al 15% de las observaciones, y por encima queda el 85%
 - ✓ Deciles: Son los nueve valores que dividen al conjunto de datos ordenados en diez porciones iguales, son también un caso particular de los percentiles, pues corresponden a los percentiles 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90
 - ✓ Cuartiles: Son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro porciones iguales, son un caso particular de los percentiles, correspondiendo a los percentiles 25, 50 y 75. El primer cuartil Q1 es el valor de la variable que deja a la izquierda el 25% de la distribución. El segundo cuartil Q2 (la mediana), es el valor de la variable que deja a la izquierda el 50% de la distribución. El tercer cuartil Q3 es el valor de la variable que deja a la izquierda el 75% de la distribución.
- Medidas de Dispersión: Indican la mayor o menor concentración de los datos con respecto a las medidas de centralización
 - ✓ Desviación Estándar: También llamada desviación típica, nos dice cuánto tienden a alejarse los valores puntuales del promedio en una distribución. Es "el promedio de la distancia de cada punto respecto del promedio"
 - ✓ Amplitud o Rango: Es la diferencia entre observaciones extremas.
 - ✓ Varianza: Mide el promedio de las desviaciones (al cuadrado) de las observaciones con respecto a la media.
 - ✓ Coeficiente de Variación: Es la razón entre la desviación típica y la media, mide la desviación típica en forma "qué tamaño tiene con respecto a la media". Es frecuente mostrarla en porcentaje.
 - ✓ Valor atípico: Es un registro mayor o menor de lo esperado que se detecta por tener un residuo que es un valor "inusual", muy grande o muy pequeño en relación con el resto de datos.

- Medidas de Forma: Las distribuciones pueden tener diferentes formas, y una manera de caracterizar la forma es observar su simetría. Una distribución de frecuencias puede ser simétrica o asimétrica.
 - ✓ Si $As = 0$ diremos que la distribución es simétrica, en ese caso las desviaciones a la derecha y a la izquierda de la media se compensan.
 - ✓ Si $As < 0$ diremos que es asimétrica negativa ya que la mayoría de las observaciones están a la derecha de la proyección de la media.
 - ✓ Si $As > 0$ diremos que es asimétrica positiva ya que la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media.

(Nociones Básicas de Estadística Utilizadas en Educación, Universidad de Chile, 2008)

2.5.4. Análisis Estructural de Datos

Es el segundo paso en un estudio Geoestadístico y está basado en tres funciones que son: covariograma, correlograma y semivariograma. Las mencionadas funciones se las analizan mediante el supuesto de estacionariedad.

Variable Regionalizada

Es cualquier variable que sea medida en el espacio y que presente una estructura de correlación.

- Generalmente se la define como $Z(x)$; en donde Z es la variable que posee una característica de interés, y la representación de x es un punto geográfico, obtenido mediante las coordenadas geográficas (Latitud y Longitud) en un espacio de 1, 2, 3 dimensiones; este punto es la ubicación donde se ha seleccionado dicha variable.

Momentos de una Variable Regionalizada

Se tiene que $Z = \{Z_{(x)}: x \in D, D \subseteq \mathbb{R}^d\}$ corresponde al proceso estocástico que especifica cualquier variable regionalizada y está definido por su función de distribución conjunta para un número de puntos n .

$$F(z_1, z_2, \dots, z_n) = \text{Prob} [Z(x_1) \leq z_1, Z(x_2) \leq z_2, \dots, Z(x_n) \leq z_n]$$

Para analizar la similitud entre las variables dentro de un mismo estudio se emplean los momentos univariados y bivariados (primer y segundo orden).

- Esperanza de la variable aleatoria $Z(x_i)$ o promedio (momento univariado):

$$E(Z(x_i)) = m(x_i)$$

- Varianza de la variable aleatoria $Z(x_i)$ (momento univariado):

$$V(Z(x_i)) = E[Z(x_i) - m(x_i)]^2 = \sigma^2$$

- La función autocovarianza de 2 variables aleatorias $Z(x_i)$ y $Z(x_j)$ (momento bivariado):

$$C(Z(x_i), Z(x_j)) = E[Z(x_i) - m(x_i)][Z(x_j) - m(x_j)]$$

- La función semivarianza de 2 variables aleatorias $Z(x_i)$ y $Z(x_j)$ (momento bivariado):

$$\gamma(Z(x_i), Z(x_j)) = 1/2 E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2$$

Donde $Z_{x_i} = z_i, Z_{x_j} = z_j$ y $i, j = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ para todos los casos anteriores.

ESTACIONARIEDAD

Se dice que la función aleatoria es estrictamente estacionaria si la función de distribución conjunta no sufre modificaciones por un movimiento de una magnitud cualquiera h , por lo que las funciones de densidad unidimensionales son independientes de la localización.

Una función aleatoria es estacionaria en sentido estricto si todas las variables aleatorias que la componen tienen la misma función de distribución de

probabilidad o lo que es lo mismo, el lugar concreto en el que se examinará el proceso no es relevante.

De manera formal:

$$Z(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)]$$

es igual a

$$Z(x) = [Z(x_1+h), Z(x_2+h), \dots, Z(x_n+h)]$$

La hipótesis de estacionariedad se la puede definir bajo los siguientes términos:

- Estacionariedad de segundo orden: Esto sucede cuando la covarianza existe y cumple lo siguiente:
 - ✓ El valor esperado o promedio existe y es constante.
 - ✓ La covarianza existe y depende de la distancia entre las dos localizaciones pero de los puntos concretos.
- Estacionariedad Débil o Intrínseca
 - ✓ $Z(x)$ tiene un valor constante para todo punto en el dominio, y por ende la esperanza de los incrementos es cero.
 - ✓ Para cualquier vector h , la varianza del incremento está definida y depende únicamente de la distancia.

ISOTROPÍA Y ANISOTROPÍA

Se tiene un conjunto de datos que representan una característica y han sido relacionados a una determinada localidad, mediante la ubicación geográfica de los mismos; si el comportamiento de este conjunto de datos es el mismo para las diferentes direcciones espaciales se dice que poseen una característica Isotrópica, pero si no es similar en las diferentes direcciones entonces los datos son de característica Anisotrópica. (Gómez P., 2009)

Funciones de Correlación Espacial

Son herramientas de análisis de la dependencia espacial entre los datos que se han medido de una o diferentes variables. El también llamado, análisis

estructural es el primer paso en un estudio geoestadístico y está basado en tres funciones que son: covariograma, correlograma y semivariograma.

Las mencionadas funciones se las analizan mediante el supuesto de estacionariedad.

- **Covariograma y Correlograma**

Cumplen la función de estudiar comportamientos espaciales pero siempre con el requerimiento previo de conocer ciertos parámetros estadísticos referentes a la población, tales como la media y la varianza, o en su defecto se requieren realizar estimaciones para los parámetros poblacionales, ya que en los correspondientes cálculos se involucran estos parámetros.

A partir de las fórmulas estadísticas ya conocidas, como es el caso de las que se usan para el cálculo de las covarianzas y correlación entre dos variables, se estiman los correlogramas y covariogramas, en los cuales se relaciona las variables regionalizadas y una distancia (h), distancia para los diferentes puntos entre las observaciones.

✓ Covariograma:

$$C(h) = COV(Z(x+h), Z(x)) = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(x+h) - m)(Z(x) - m)}{n}$$

$$C(h) = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(x+h) * Z(x))}{n} - m^2$$

✓ Correlograma:

$$r(h) = \frac{COV(Z(x+h), Z(x))}{S_{x+h} * S_x} = \frac{C(h)}{S_x^2} = \frac{C(h)}{C(0)}$$

- **Variograma y Semivariograma**

El variograma es una técnica de la geoestadística, que analiza el comportamiento de las variables espaciales, esto es el “acentuado”

posicionamiento geográfico que tienen los datos respecto a un determinado sector, y la distancia a la que una determinada observación es afectada por otra en una característica en particular. Establece la correlación entre dos puntos en el espacio, por esta razón exige la estacionariedad. Ésta función está denotada por:

$$2 \gamma(h) = E[Z(x+h) - Z(x)]^2$$

La mitad del variograma $\gamma(h)$, se conoce como la función de semivarianza y caracteriza las propiedades de dependencia espacial del proceso.

$$\gamma(h) = \frac{\sum [Z(x+h) - Z(x)]^2}{2n}$$

donde $Z(x)$ es el valor de variable en un punto x , $Z(x+h)$ es otro valor muestreado separado por la distancia h y n es número de parejas separado por dicha distancia.

La interpretación del semivariograma experimental se basa en el criterio de que a menor distancia entre los sitios, habrá mayor correlación espacial entre las observaciones. Es por eso que en presencia de autocorrelación se espera que para valores de h pequeños el semivariograma experimental tenga magnitudes menores a las que este toma cuando las distancias h se incrementan. (Giraldo, R.)

- **Parámetros de un Variograma**

- ✓ Efecto Nugget o Pepita (C_0): Representa la discontinuidad en el eje vertical. Esto indica que existe una perturbación en el modelo que no ha sido explicado, debido a que se involucran otras variables que no son consideradas por el investigador o simplemente no se las puede controlar, a lo que se le considera como "error" en el modelo. A medida que disminuya la distancia del efecto nugget el modelo será más explicativo.
- ✓ Sill o Meseta ($C_0 + C_1$): Es el valor para cual la función del semivariograma ya empieza a ser constante para cualquier punto h (distancia) que éste obtenga, ya que es el límite de este cuando la distancia h tiende a infinito. Cuando la meseta es finita se cumple con

la hipótesis de estacionariedad y en sentido contrario cuando es infinita la función define un fenómeno natural que cumple con la hipótesis intrínseca. Además es el estimador del parámetro poblacional llamado varianza.

- ✓ Si se interpreta la pepita como un error en las mediciones, esto explica porque se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad, la pepita no debe representar más del 50% de la meseta. (Giraldo, R.)
- ✓ Rango (a): Es el valor inicial que toma h cuando la función semivariograma empieza a ser constante. Este valor también indica las distancias a las que las observaciones que conforman la variable son afectadas por alguna característica. Mientras disminuye el rango, se acerca más al modelo de independencia espacial.
- ✓ A continuación se muestra un gráfico explicativo de los parámetros mencionados.

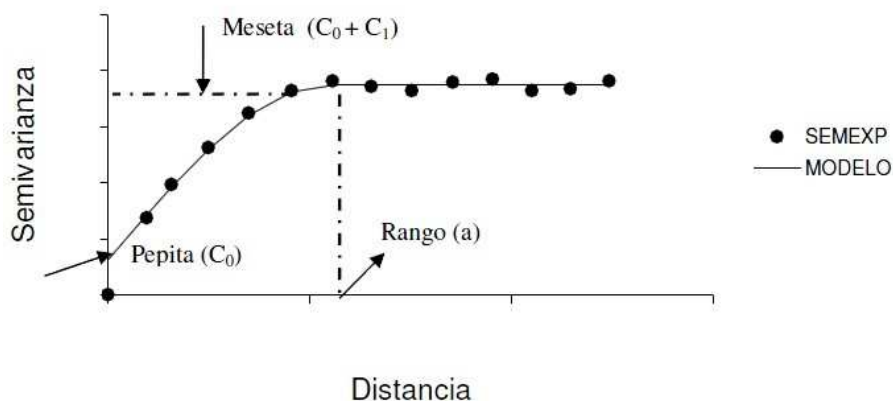


Diagrama 2.2 Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos.

Fuente: Giraldo, R.

Modelos Teóricos de Semivarianza

Son modelos acotados o no acotados que permiten el ajuste de modelos que generalicen lo observado en el semivariograma experimental a cualquier distancia.

• Modelos Acotados

- ✓ Esférico: El tipo de modelo esférico, a diferencia de los otros, empieza

hacerse constante en un punto aproximado de h , en donde ya no presenta ningún incremento, inicialmente crece de manera constante entre todos los puntos de la distancia o los valores que toma h .

$$r(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left(\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right); & h \leq a \\ C_0 + C_1; & h > a \end{cases}$$

- ✓ Exponencial: Este tipo de modelo acotado tiene un rápido incremento hasta llegar al punto donde existe la presencia de una meseta, cuyo comportamiento empieza hacerse constante. A medida que la distancia h incrementa la curva empieza a “suavizarse”. C_1 representa el valor de la meseta, al rango, y h la distancia.

$$r(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right)$$

- ✓ Gaussiano: La curva de la función tiene una estabilización infinita, es decir que tiene un incremento, de manera más tardía, en todos los puntos de (h). Este comportamiento es similar al de la variograma exponencial.

$$r(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-h^2}{a^2}\right) \right)$$

- **Modelos No Acotados**

Debido al comportamiento de la función que tiene tendencia al infinito, este tipo de variograma no presenta meseta o sill, este variograma nos indica que el fenómeno es no estacionario.

$$\gamma(h) = kh^\theta \quad 0 < \theta < 2$$

2.5.5. Predicción Espacial

De la teoría de la decisión se conoce que si Z_0 es una cantidad aleatoria y Z^*_0 es su predictor, entonces $L(Z_0; Z^*_0)$ representa la pérdida en que se incurre

cuando se predice Z_0 con Z^*_0 y el mejor predictor será el que minimice $E\{L(Z_0; Z^*_0) / Z\}$ con $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$, es decir el predictor óptimo es el que minimice la esperanza condicional de la función de pérdida. Si $L(Z_0; Z^*_0) = [Z_0 - Z^*_0]^2 \rightarrow Z^*_0 = E(Z_0/Z)$. La expresión anterior indica que para encontrar el predictor óptimo se requiere conocer la distribución conjunta de la $n+1$ variables aleatorias. (Giraldo, R.)

2.5.6. Kriging

El Kriging es un método de la estadística espacial que permite establecer predicciones, mediante interpolaciones de tipo lineal, a partir de un conjunto de puntos, que han sido seleccionados con una característica en común.

Esta técnica como otras que son usuales en Estadística, trata de disminuir el error cuadrático medio de predicción, lo cual permite tener un modelo de estimación fiable.

- Tipos de Kriging Lineales y sus Características:
 - ✓ Kriging Ordinario: Dado que se tiene un conjunto de observaciones, que pertenecen a una variable denominada Z , que representa una característica en común, y a este conjunto de observaciones se le asocia puntos geográficos, cuya variable es representada como $Z(x_i)$, entonces se desea estimar el valor de un punto x_0 que no ha sido incluido al momento de seleccionar la muestra.

Esta estimación se la realiza mediante la siguiente combinación lineal, donde λ_i indica un valor proporcional de las observaciones muestreadas, esta ponderación depende de la distancia entre observaciones pertenecientes a la muestra y el punto donde se realiza la estimación.

$$\begin{aligned} Z^*(x_0) &= \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \lambda_4 Z(x_4) + \lambda_5 Z(x_5) + \dots + \lambda_n Z(x_n) \\ &= \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \end{aligned}$$

- ✓ Kriging Simple: Considera el supuesto de media constante y conocida (m), además que el valor de la media poblacional sea igual a la media

muestral y la variable debe ser estacionaria. Al igual que en la técnica estadística diseño experimental existe un error, en donde la media del mismo es igual a cero, la diferencia es que los errores no son independientes.

Entonces la manera en que se predice la variable de interés se la calcula mediante la siguiente expresión:

$$Z^*_{(x_0)} = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) = m + [\sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m)]$$

- ✓ Kriging en Bloques: Este es el caso cuando existe una variable que necesita ser estimada, en un determinado sector, en donde la estimación deja de ser puntual y lo que se requiere hallar es el valor que en promedio represente a un conjunto de valores pertenecientes a un bloque.
- ✓ Kriging Universal: Existe el caso en que la variable que tiene la característica de interés no cumple con el supuesto de ser una variable estacionaria, en dicho caso no se puede aplicar los tipos de Kriging hasta ahora estudiados, y se hace uso del kriging universal.

$$Z^*_{(x_0)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

- ✓ Kriging Residual: Al igual que el kriging universal se aplica a variables regionalizadas no estacionarias cuando existe tendencia espacial en la esperanza matemática. Su hipótesis supone conocida ésta tendencia de donde se calculan los residuos.
- ✓ Kriging Indicador: Provee una estimación por mínimos cuadrados de la función de distribución condicional acumulativa para variables continuas y la función de probabilidades discretas para variables categóricas.

CAPÍTULO 3

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.1. MUESTREO

Es importante tener en cuenta: la manera de recolección de la muestra, su conservación, y su tratamiento.

Una vez definida el área de estudio y los sitios de interés (sector industrial y vías), se determinó un número total de 372 muestras distribuidas de la siguiente manera; 225 muestras en los vértices de una cuadrícula de 500 metros(Mapa 3.1), 100 muestras en el sector industrial. (Mapa 3.3) y 47 muestras cada 500 metros a lo largo de las vías más transitadas(Mapa 3.2).

Equipos y Materiales

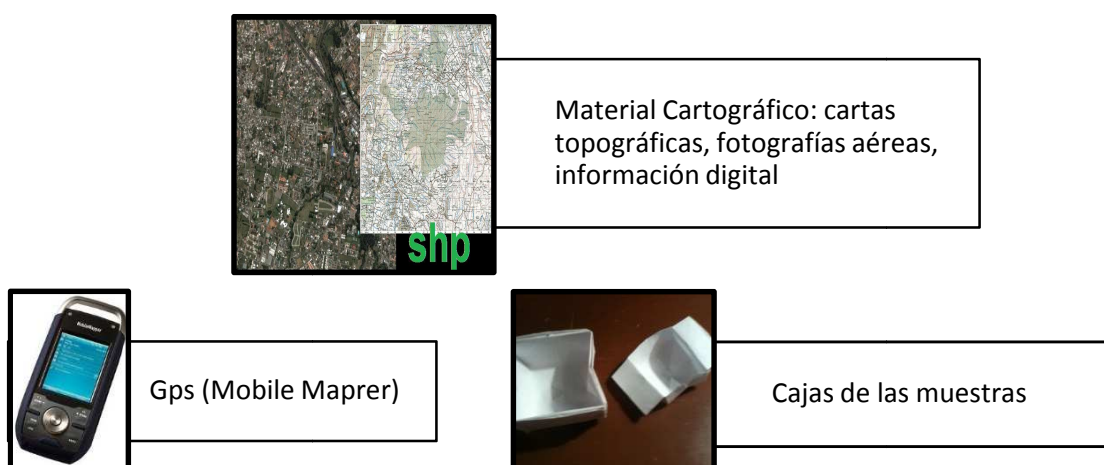
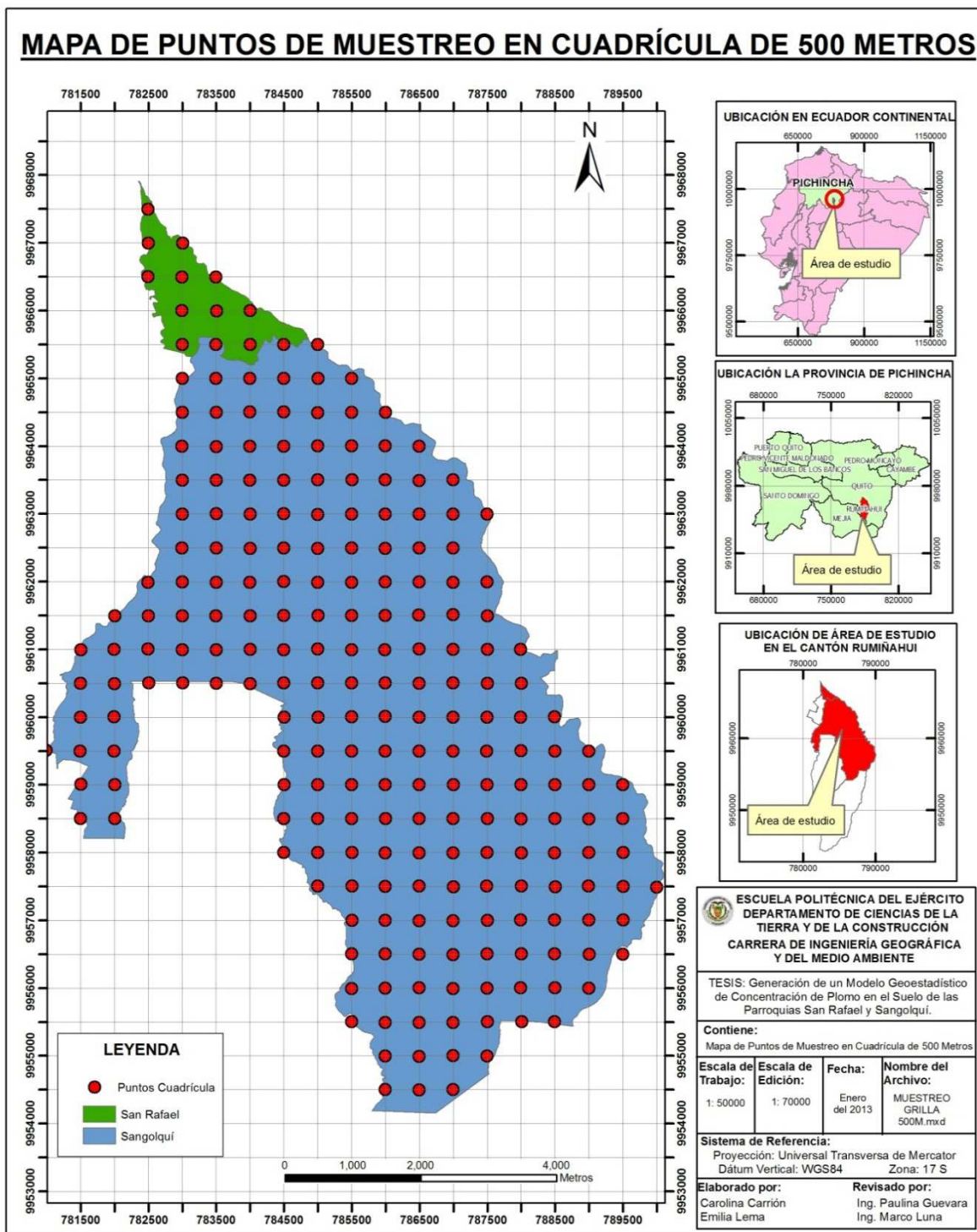
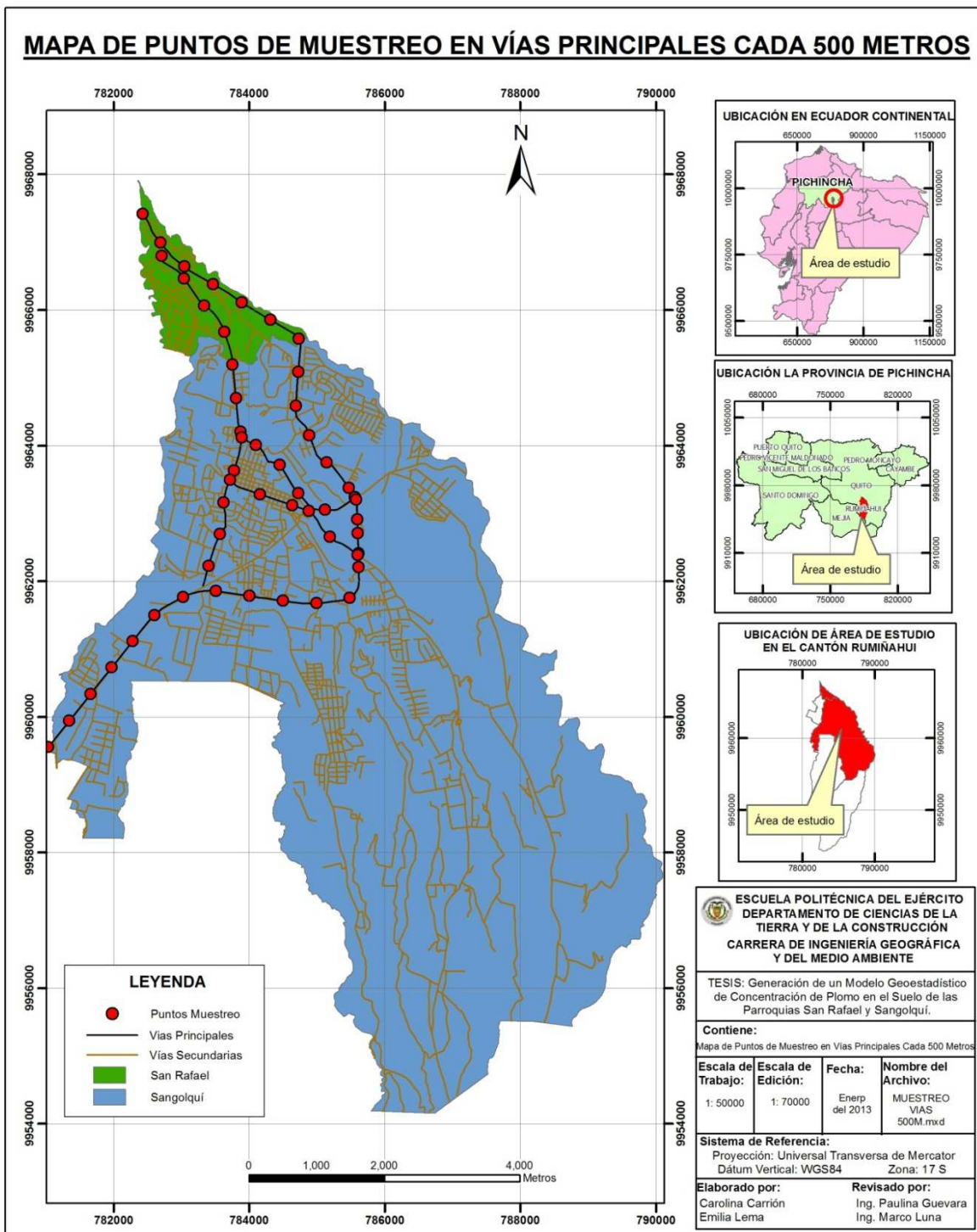


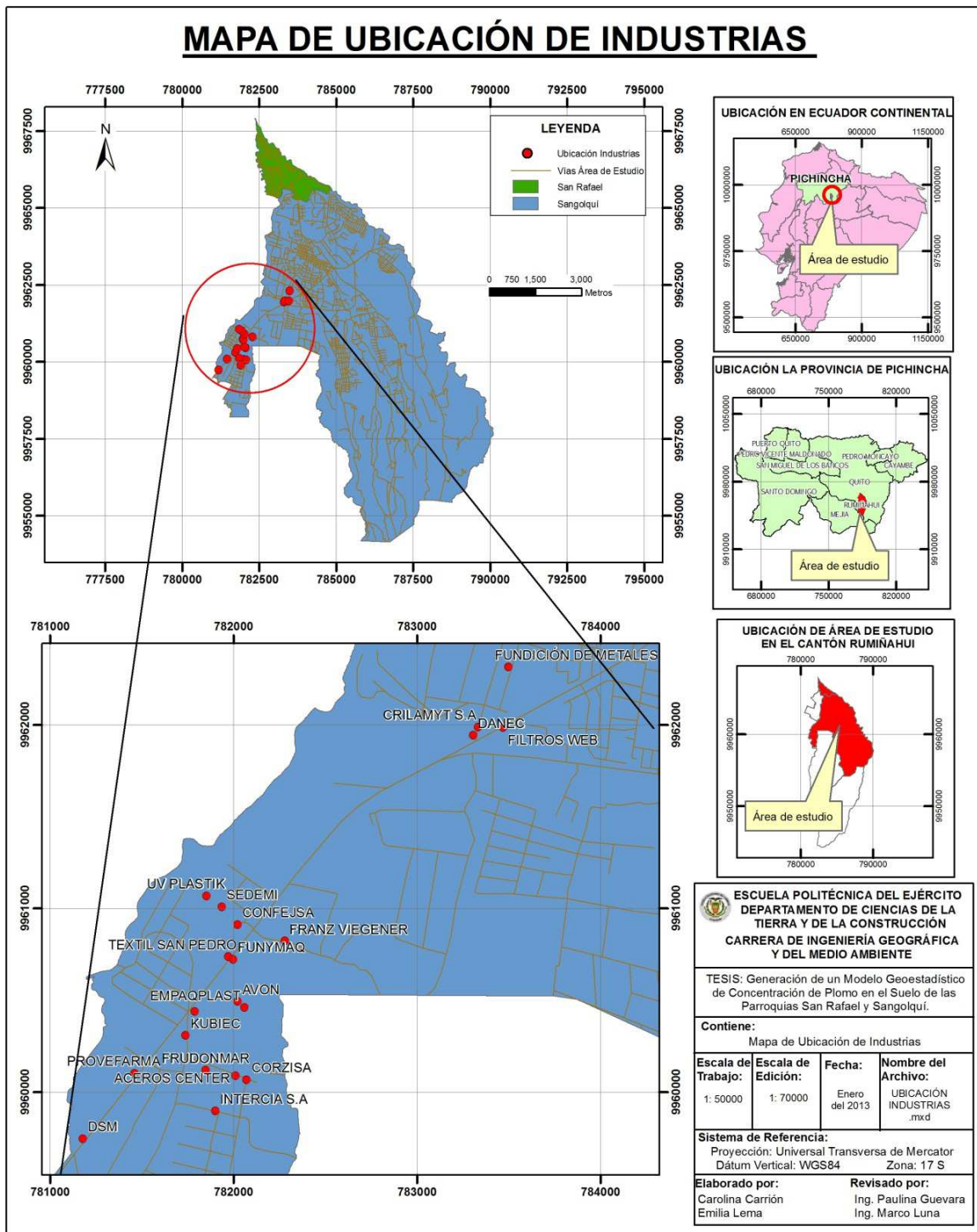
Imagen 3.1 Materiales de muestreo de campo



Mapa 3.1 Muestreo en cuadrícula



Mapa 3.2 Muestreo Vial



Mapa 3.3 Muestreo Sector Industrial

3.1.1. Toma de la muestra

Con la ayuda de un GPS navegador, se identificó los puntos de muestreo. Empleando cajas de papel, previamente etiquetadas se realizó la toma de muestras de suelo en cada punto.

Para el traslado de las muestras al laboratorio, se emplearon cajas con divisiones, a fin de evitar que las muestras se contaminen por un agente externo, o se mezclen entre diferentes muestras.

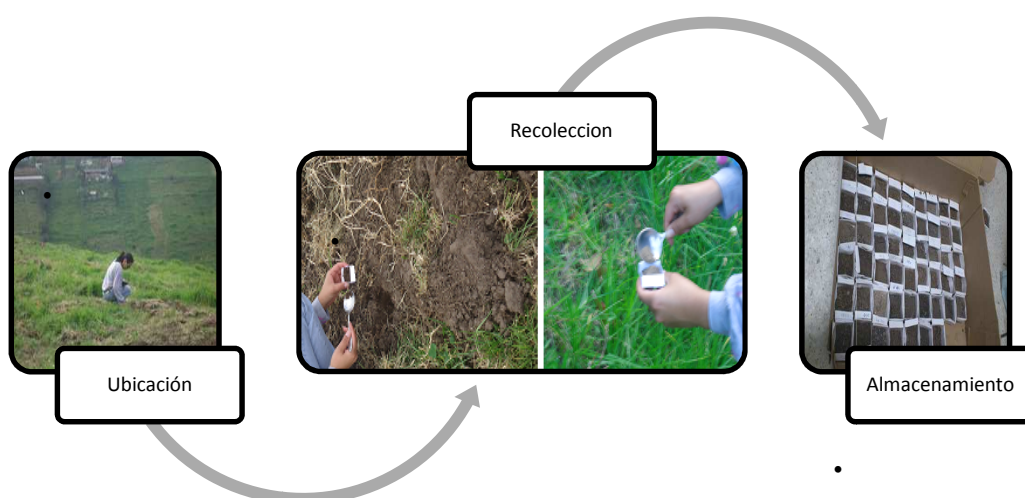


Imagen 3.2 Recolección de las muestras

3.2. TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

3.2.1. Secado de la muestra

Inicialmente las muestras fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 40°C por el lapso de 24 horas, a fin de eliminar la humedad. Los materiales utilizados fueron:



Imagen 3.3 Procesos de secado de las muestras

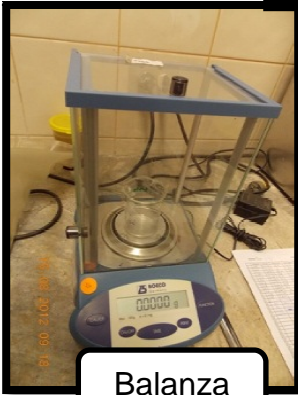
3.2.2. Digestión de la muestra

Materiales de uso personal



- Guantes de nitrilo
- Mandil
- Mascarilla con filtro

Material de Laboratorio



Balanza



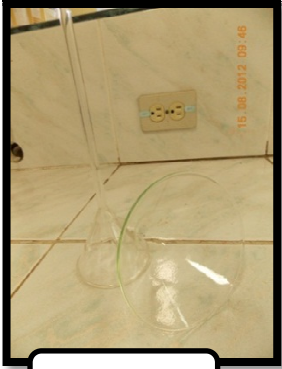
Vaso de precipitación



Mortero y espátula



Plancha



Embudo



Papel filtro

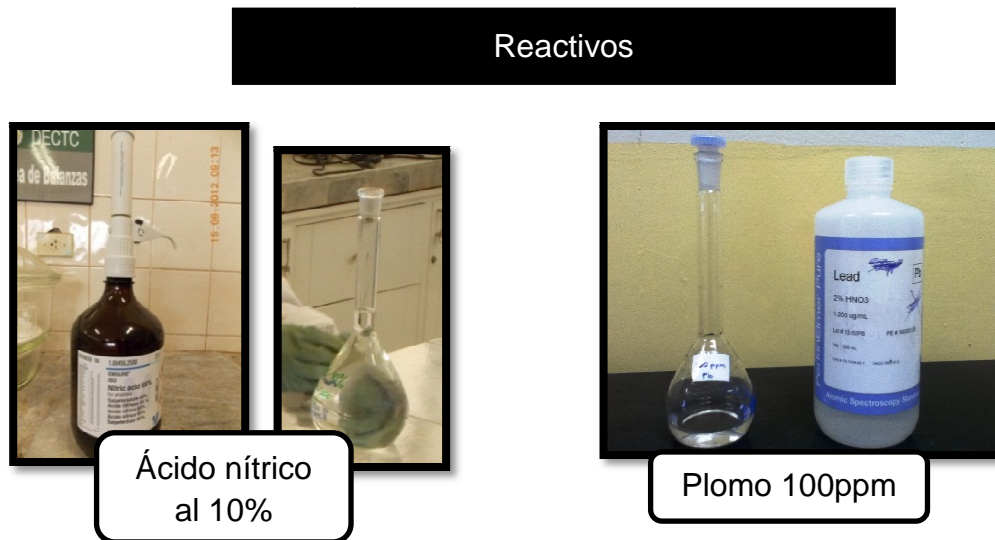


Imagen 3.4 Materiales de laboratorio – Digestión -

Una vez finalizado el proceso de secado, se retiran las muestras de la estufa y se procede a triturar con el mortero cada una de las muestra, con la finalidad de homogenizar el suelo y separar compuestos como rocas, materia vegetal y otros materiales que puedan alterar el análisis, de esta manera se obtiene una muestra más pura de suelo. Se pesa 2 gramos de cada muestra y se le coloca en el vaso de precipitación debidamente etiquetado.



Imagen 3.5 Proceso de pesado de la muestra

Para el proceso de digestión, se añade a la muestra 10ml de HNO_3 al 10%, se coloca en la plancha que se encuentra a 100°C de temperatura y en 0rpm. Se espera hasta que se volatilice el HNO_3 y quede una fina capa del mismo sobre el suelo, se adiciona nuevamente 10ml de HNO_3 al 10% y se retira de las planchas al primer hervor.

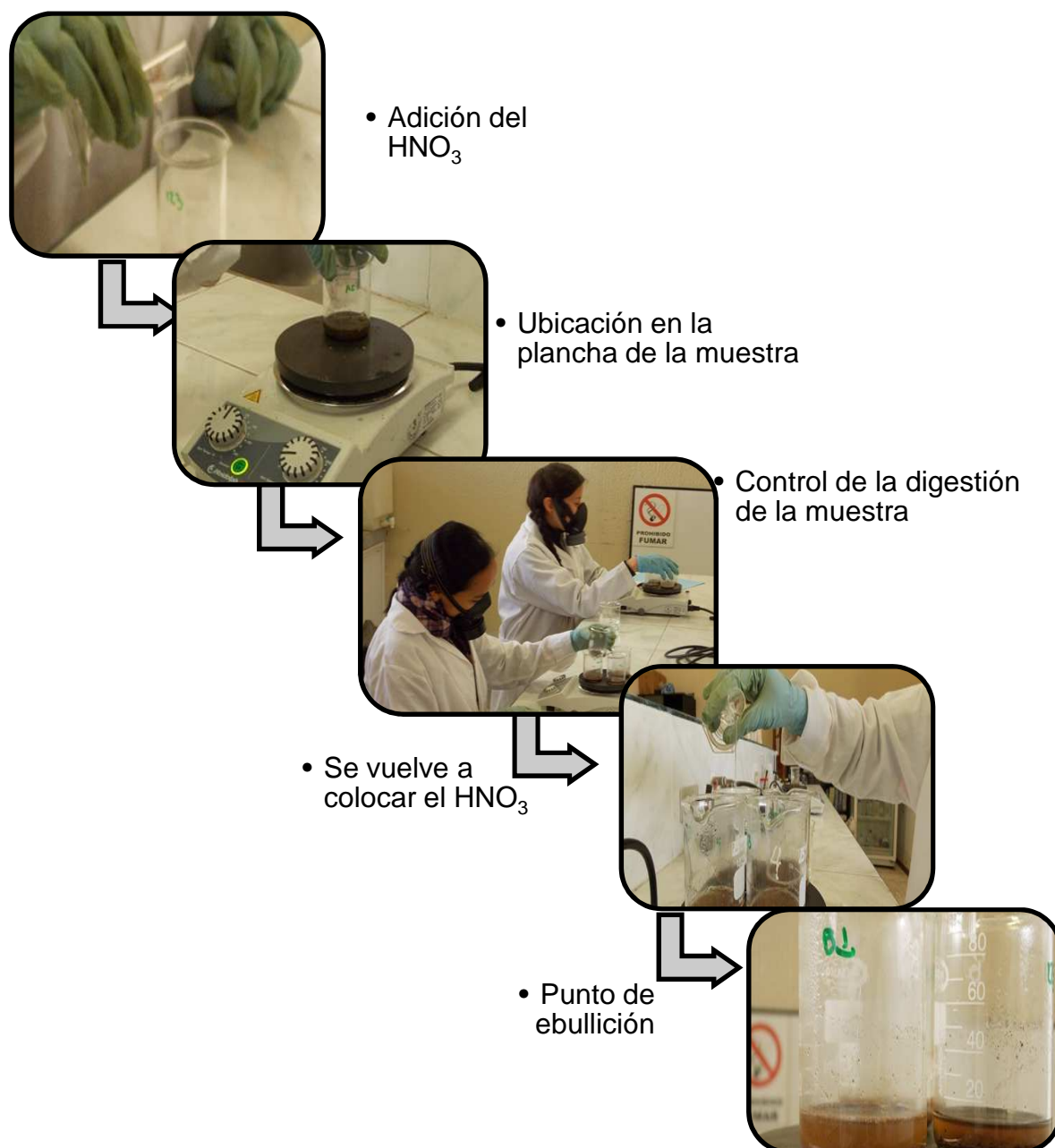


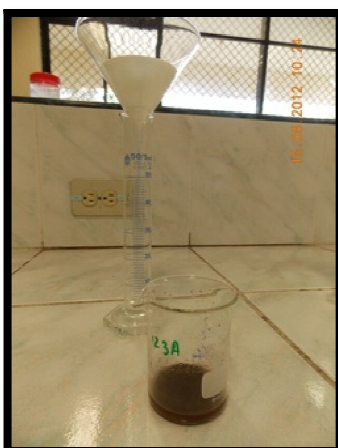
Imagen 3.6 Proceso de digestión de la muestra

El último paso, consiste en filtrar la muestra hasta obtener 10ml. de la solución de la muestra para su posterior lectura en el equipo de absorción atómica.

Materiales listos para filtrar la muestra



Colocación de la muestra en el embudo



Filtración de muestras



Imagen 3.7 Proceso de Filtración de la muestra

Se registra el valor exacto de aforo de cada solución en las hojas de anotaciones y finalmente almacenar en un tubo de ensayo, bien cerrado con el correspondiente identificador de la muestra.

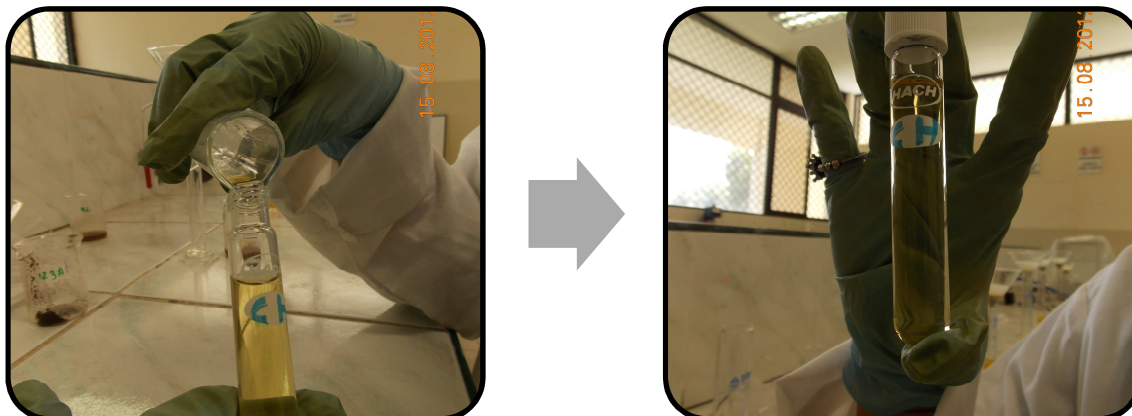


Imagen 3.8 Muestra final

Finalizado el grupo de muestras, se realiza el análisis de tres muestras fortificadas, a fin de validar el método empleado.

Para la primera muestra se pesa 2gr. de una muestra obtenida en la ESPE, a la segunda muestra se añade 0,8ml. de la concentración de 100ppm Pb, la tercera muestra no contiene muestra de suelo solo 0,8ml. de 100ppm Pb y HNO_3 . Para las tres muestras fortificadas se realiza el procedimiento anterior.

3.2.3. Cuantificación

Para la lectura de la concentración de Pb, Cr y Zn en el suelo, se utilizó el equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 200 con 10ml. de solución de cada muestra de suelo.

En las siguientes tablas se presentan las condiciones de trabajo establecidas, se utilizó un sistema de detección de llama de una combinación entre oxígeno y acetileno.

Tabla 3.1 Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Plomo**Fuente: Los Autores**

LECTURA DE PLOMO	
Longitud de onda:	283.31 nm
Flujo de Oxidante:	10 L/min
Flujo de Acetileno:	2.5 L/min
Flama directa:	Aire - Acetileno

Tabla 3.2 Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Cromo**Fuente: Fuente: Los Autores**

LECTURA DE CROMO	
Longitud de onda:	357.87 nm
Flujo de Oxidante:	8 L/min
Flujo de Acetileno:	4 L/min
Flama directa:	Aire - Acetileno

Tabla 3.3 Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Zinc**Fuente: Los Autores**

LECTURA DE ZINC	
Longitud de onda:	213.86 nm
Flujo de Oxidante:	10 L/min
Flujo de Acetileno:	2.5 L/min
Flama directa:	Aire - Acetileno

Para realizar la validación del método, se trabajó con muestras fortificadas, es decir a cada grupo de muestras digestadas se incrementa una muestra como blanco y se adicionó 0,8ml de plomo a 100ppm de concentración. De esta forma se verifica que el proceso de digestión y de lectura del contaminante en el equipo de absorción atómica no esté perdiendo el valor real del contaminante, es decir los 0.8ml.

Así mismo se trabajó con los estándares en diferentes concentraciones según el metal a ser estudiado como se muestra en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6, los cuales sirven para elaborar la curva de calibración y realizar el proceso de validación del método

Tabla 3.4 Datos de calibración para plomo

Fuente: Los Autores

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	
ESTÁNDAR	ABSORBANCIA
1ppm	0.031
2ppm	0.086
5ppm	0.146
8ppm	0.209
10ppm	0.269

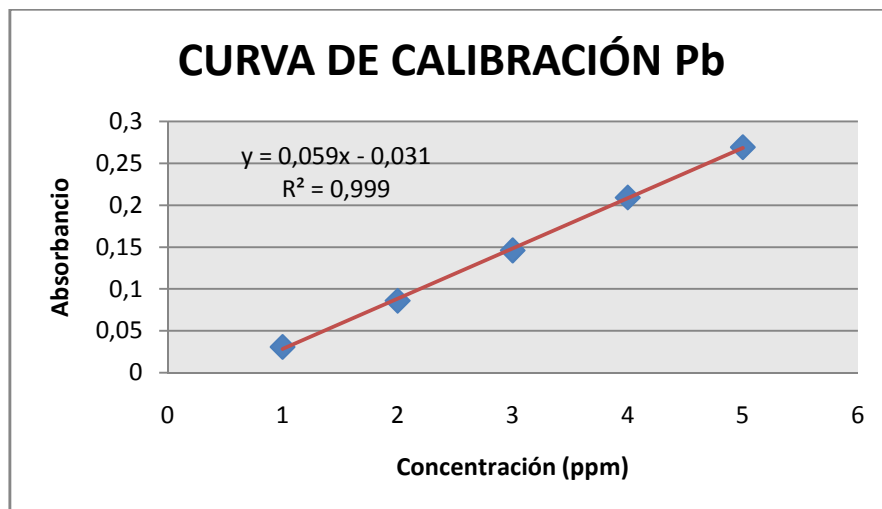


Imagen 3.9 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Pb

Tabla 3.5 Datos de calibración para Cromo

Fuente: Los Autores

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	
ESTÁNDAR	ABSORBANCIA
0.1ppm	0.003
1ppm	0.041
2ppm	0.088
4ppm	0.141
5ppm	0.190
10ppm	0.246

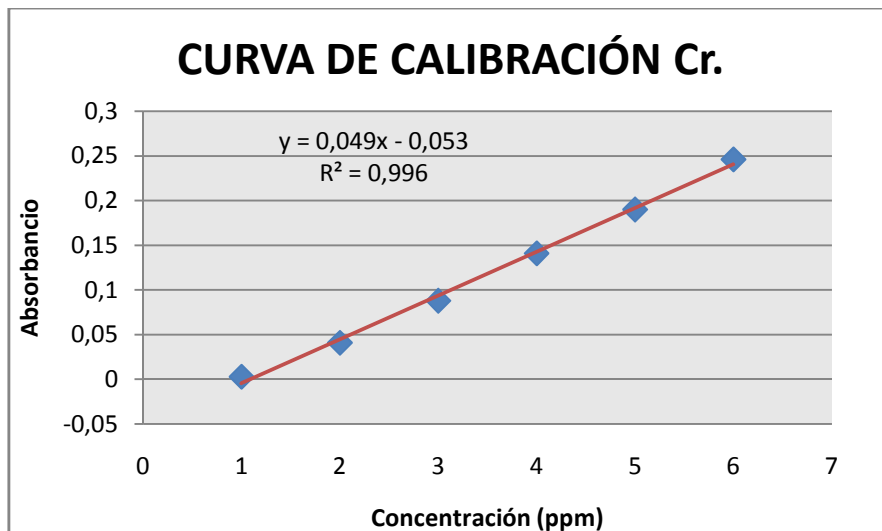


Imagen 3.10 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Cr

Tabla 3.6 Datos de calibración para Zinc

Fuente: Los Autores

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	
ESTÁNDAR	ABSORBANCIA
0.1ppm	0.036
0.25ppm	0.099
0.5ppm	0.190
1 ppm	0.273

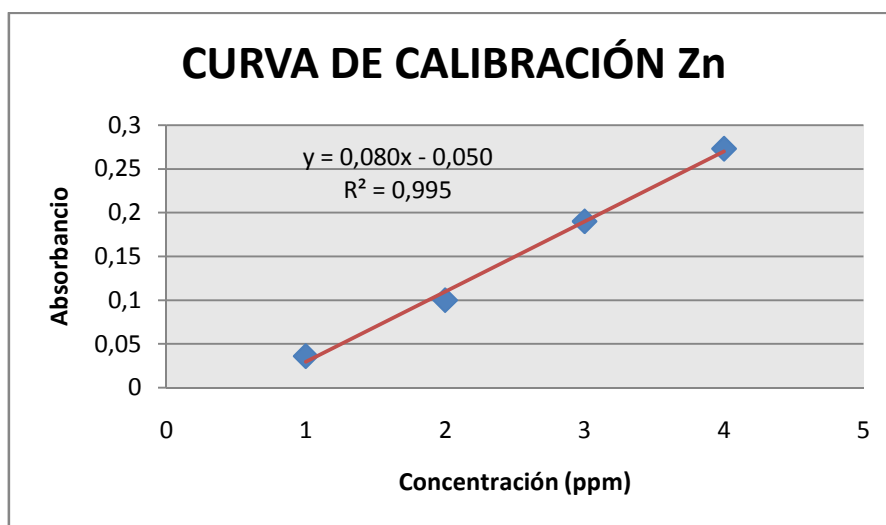


Imagen 3.11 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Zn

Al realizar la regresión lineal con el programa Microsoft Excel se obtiene una línea recta entre la absorbancia (abscisas) y la concentración del estándar en ppm (ordenada), como resultado obtenemos el coeficiente de correlación (R^2) el cual mientras más cercano se encuentre al valor de uno el análisis es aceptable y se obtiene una buena calibración del equipo.

3.3. REACTIVOS Y ESTÁNDARES

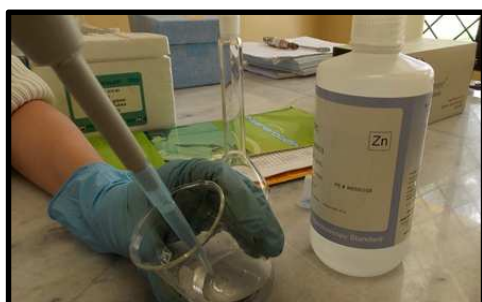
3.3.1. Preparación del Ácido Nítrico al 10%

Dependiendo de la capacidad del balón, se añade del HNO_3 (Ácido Nítrico Emsure al 65% 1.39 g/cm³) el valor correspondiente al 10% de su concentración, en este caso se utiliza un balón de 500ml. entonces el 10% es 50ml. los cuáles serán obtenidos de la solución HNO_3 al 65%, posteriormente aforar con el agua desmineralizada.

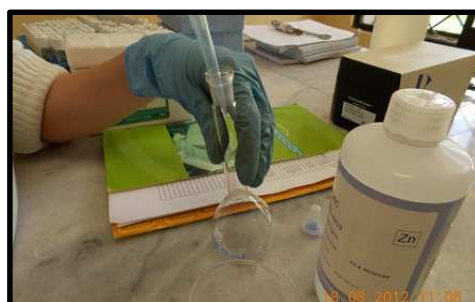


Imagen 3.12 Proceso elaboración del HNO_3 al 10%

3.3.2. Preparación de la solución patrón para Pb, Cr y Zn.



Extracción del volumen necesario



Colocamos en el balón de 100ml

Agregamos 10ml de HNO_3 puro

Aforar con agua desmineralizada

Imagen 3.13 Proceso de elaboración del estándar de plomo

A partir del estándar de 1000ppm de Pb, se toma un volumen de 10ml. se colocó en un balón de 100ml. aforando con HNO_3 al 10% de concentración.

**Imagen 3.14 Estándar de 100 ppm de Pb**

Del estándar de 1000ppm de Cr, se toma un volumen de 10ml. se colocó en un balón de 100ml. aforando con HNO_3 al 10% de concentración.

**Imagen 3.15 Estándar de 100ppm de Cr**

Del estándar de 1000ppm de Zn, se toma un volumen de 5ml. se colocó en un balón de 100ml. aforando con HNO₃ al 10% de concentración.



Imagen 3.16 Estándar de 50ppm de Zn

3.3.3. Estándares de Pb, Cr y Zn

Se utiliza la ecuación que rige las soluciones, cuando se tiene una misma sustancia a volúmenes y concentraciones diferentes:

Pb

Para elaborar los estándares se parte de la solución de 100ppm de Pb, se toman los siguientes valores:

Tabla 3.7 Estándares de Pb

Fuente: Los Autores

Pb	
Estándar (ppm)	Volumen de Pb 100ppm (ml)
1	0,25
2	0,2
5	1,25
8	2
10	2,5

Estos valores se colocan en balones de 25ml. adicionalmente se añade 2,5 ml de HNO₃ al 65% y se afora con agua desmineralizada.

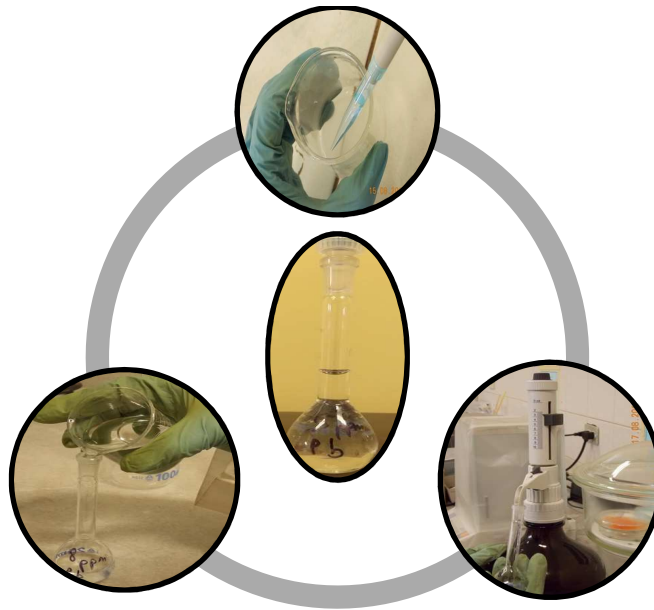


Imagen 3.17 Proceso de elaboración de estándares de Pb

Cr

A partir de la solución de Cr a una concentración de 100 ppm, se tomaron los siguientes volúmenes:

Tabla 3.8 Estándares de Cr

Fuente: Los Autores

Cr	
Estándar (ppm)	Volumen de Cr 100ppm (ml)
0,1	0,05
1	0,5
2	1
4	2
5	2,5
10	5

Se colocaron en balones de 50ml. aforando con HNO_3 al 10% de concentración.

Zn

De la solución de Zn a una concentración de 50 ppm, se tomaron los siguientes volúmenes:

Tabla 3.9 Estándares de Zn

Fuente: Los Autores

Zn	
Estándar (ppm)	Volumen de Zn de 50ppm (ml)
0,1	0,05
0,25	0,125
0,5	0,25
1	0,5

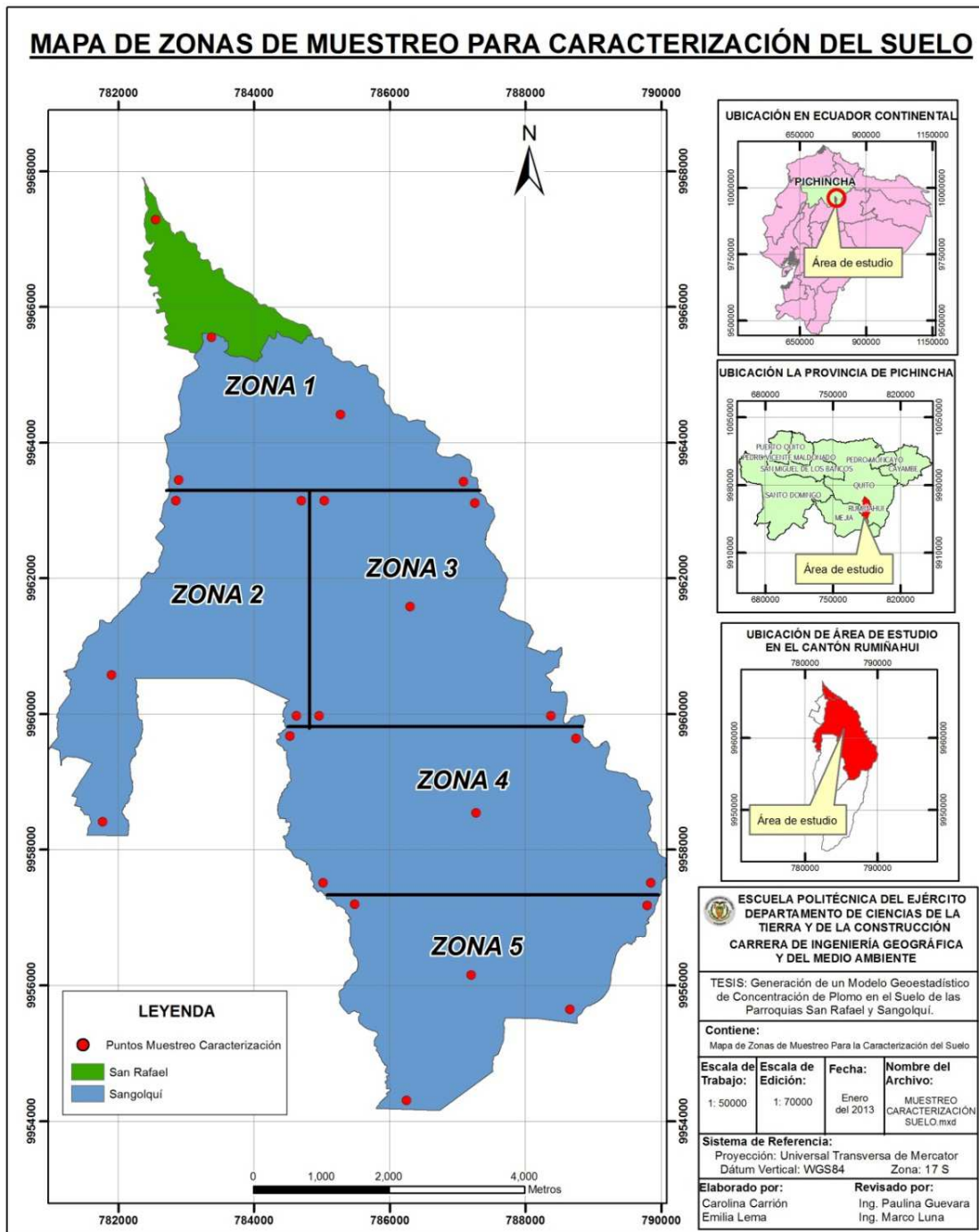
Se colocaron en balones de 50ml. aforando con HNO_3 al 10% de concentración.



Imagen 3.18 Estándares finales de Pb, Cr y Zn

3.4. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Para realizar la caracterización del suelo, se dividió al área de estudio en cinco zonas parcialmente iguales, de cada zona se recolectaron 5 muestras: cuatro esquineras y una central. De esta manera se espera tener cinco muestras representativas de toda el área de trabajo como se muestra en el siguiente Mapa 3.4.



Mapa 3.4 Zonas de muestreo

3.4.1. Tratamiento de la muestra

Homogenización de las muestras.

Con las muestras recolectadas, se empieza a homogenizar y crear una muestra representativa por zona. De cada muestra tomada se pesa 200gr. y se mezclan con las demás muestras que contienen a cada zona hasta obtener 1kg. de muestra para cada una de las cinco zonas propuestas.



Imagen 3.19 Homogenización de las muestras

Determinación del contenido de humedad.

Se pesa las cajas de papel aluminio, posteriormente se coloca aproximadamente 50gr. de la muestra, se registra su peso y se lo deja reposar en la estufa por 24 horas.

Al día siguiente se pesa nuevamente y se registra el nuevo valor. Por una diferencia de peso se calcula el porcentaje de humedad.

Equipos y Materiales



Estufa



Balanza



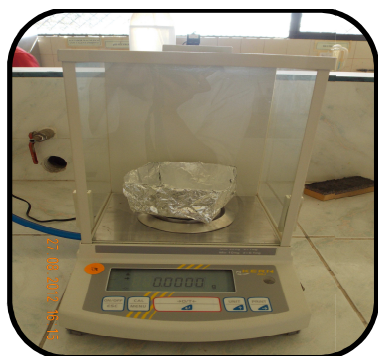
Cajas de papel
aluminio



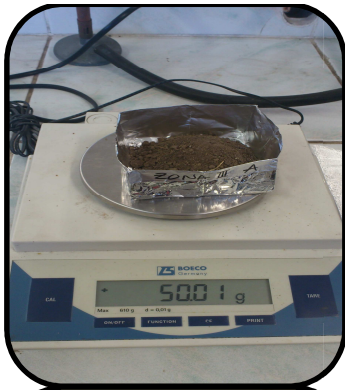
Espátula y
mortero

Imagen 3.20 Materiales para pesar las muestras

Procedimiento



- Identificar cada caja y obtener su peso



- Colocar el suelo obtenido en campo en cada caja y obtener su peso



- Introducir en la estufa a 105°C.

Imagen 3.21 Proceso para obtener el contenido de humedad

Determinación de pH y Conductividad

Equipo y Materiales



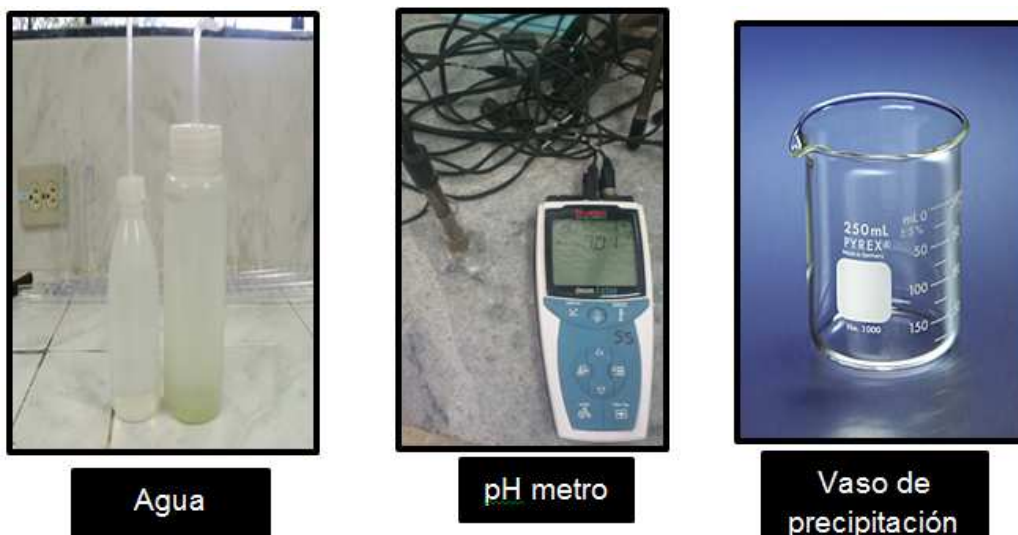
Balanza



Conductímetro



Probeta



Agua

pH metro

Vaso de precipitación

Imagen 3.22 Materiales para uso de pH y Conductividad

Reactivos



Imagen 3.23 Solución estándar de pH=7 y pH=4

Procedimiento

Se utiliza la relación entre suelo y agua para determinar valores de pH y conductividad, la relación se expresa 1:2 entre peso/volumen. Es decir; 100gr de la muestra de suelo en 200 ml de agua destilada, se agita la mezcla de esta manera poder filtrar por completo hasta obtener 100ml. de solución de la muestra.

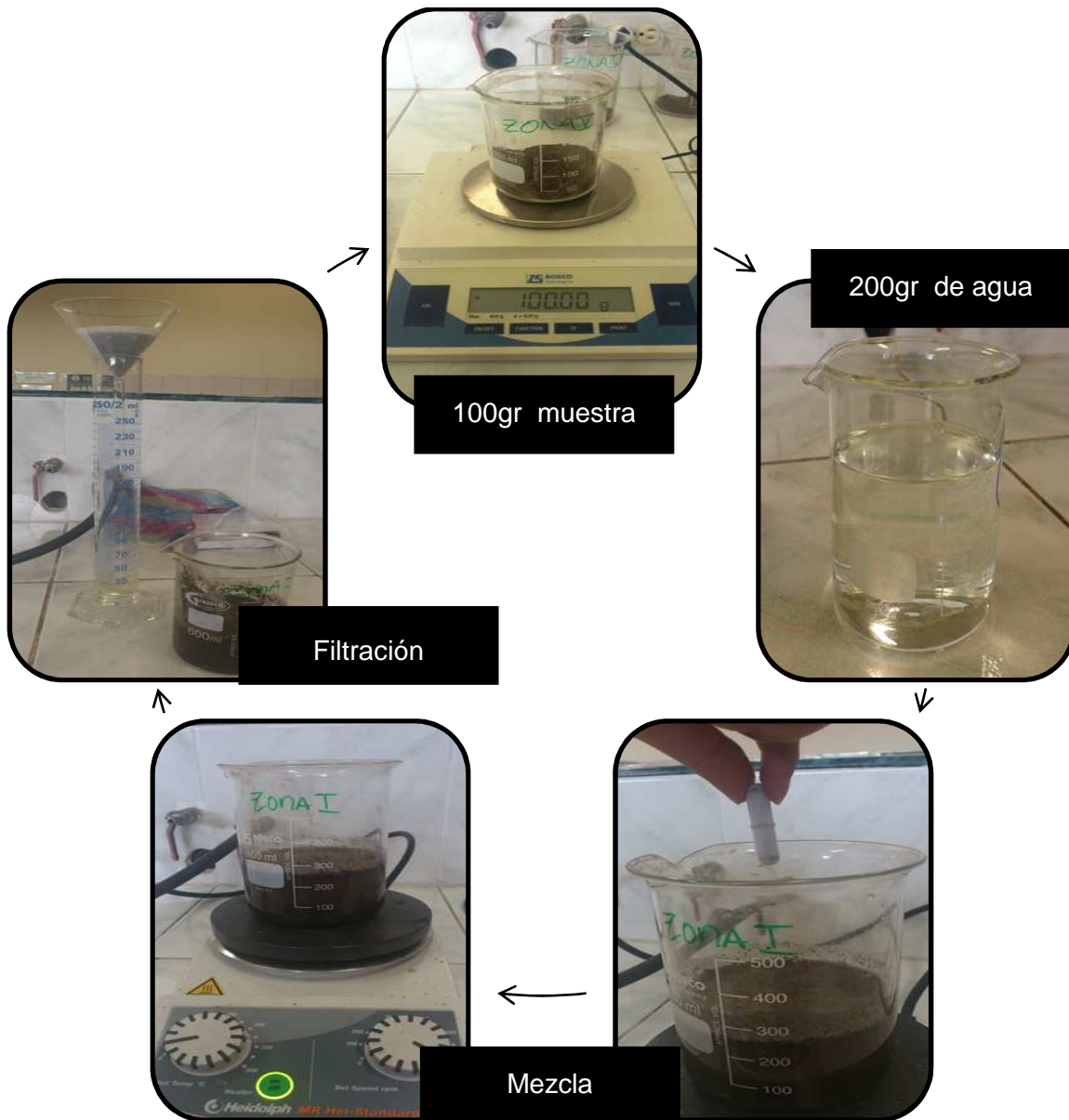


Imagen 3.24 Proceso para obtener la muestra

Es importante calibrar el pH metro con las soluciones estandarizadas Buffers de pH conocido pH = 4 (color rojo) y pH = 7 (color amarillo) la cual genera una precisión del pH metro de ± 0.05 . De los 100ml de solución de la muestra se obtiene 5ml para realizar la lectura, si el equipo se encuentra listo previamente calibrado con la opción measure se calcula el valor de pH de la solución. El agua destilada se utiliza para limpieza del electrodo del pH metro, se limpia antes y después de su uso.

Al final limpiar y secar el electrodo, este siempre debe de permanecer húmedo, por lo que es importante verificar si la tapa que le cubre está húmeda caso contrario se le puede añadir el buffer de pH 7.

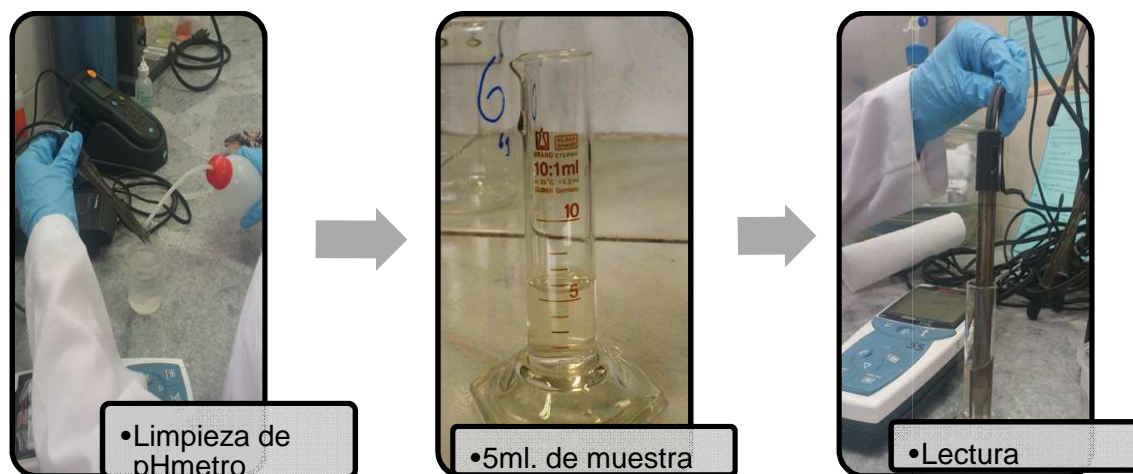


Imagen 3.25 Lectura de pH

Conductividad

El procedimiento es similar al utilizado para medir pH, la solución para calibrar el conductímetro contiene cloruro de sodio con una presión de lectura de 1000 ± 10 [microsiemens]. Se limpia el electrodo del equipo con agua destilada, para realizar la lectura se utiliza 5ml. de la solución de cada muestra.



Imagen 3.26 Lectura de conductividad

Determinación de Sulfatos, Nitratos Y Fosfatos

Equipo y Materiales



Celdas de Espectrofotómetro



Espectrofotómetro



Muestras



Embudo de vidrio colocado a un Kitasaco y bomba al vacío

Reactivos

Determinación de nitratos

Determinación de fosfatos

Determinación de Sulfatos

Nitra Ver 5

PhosVer 3

SulfaVer 4



Imagen 3.27 Materiales para medir sulfatos, nitratos y fosfatos

Procedimiento

De la solución de las muestra, extraer 25ml. y colocar en una celda. En el espectrofotómetro primero leer el blanco que está realizado con el agua destilada, posteriormente la primera lectura es de verificación de la muestra, la segunda lectura se añade el reactivo y se toma lectura. A continuación se muestran los datos ocupados en el espectrofotómetro para cada elemento:

Tabla 3.10 Datos a utilizar en el espectrofotómetro

Fuente: Los Autores

ELEMENTO	REACTIVO	CARACTERISITCAS DEL ESPECTROFOTÓMETRO	
		PROGRAMA	LONG. ONDA
Sulfatos	SulfaVER5	680	450nm.
Nitratos	NitraVER 5	353	400nm.
Fosfatos	PhosVER5	488	880nm.

3.5. GENERACIÓN DEL MODELO GEOESTADISTICO

3.5.1. Procesamiento de Datos

Una vez obtenidos los datos de concentración de los tres metales por cada muestra se procede a realizar el análisis exploratorio para lo cual se utilizó el software Excel 2007 y OpenGeoDa. Con éste análisis es posible identificar datos atípicos, frecuencia, variabilidad y forma de los datos. De aquí se toma la decisión de continuar con el siguiente análisis o antes rectificar las muestras que presenten un comportamiento anormal, mediante la toma de una nueva muestra.

Se realiza el análisis estructural que corresponde al cálculo y la modelación del semivariograma mediante la utilización del software Variowin 2.2.1., para lo cual se copiaron los datos desde el archivo en extensión *.xls, se pegaron a un archivo nuevo del Bloc de Notas y se guardó en formato *.dat. En la figura: Archivo .dat, se presenta como debe estar estructurado el mencionado archivo.

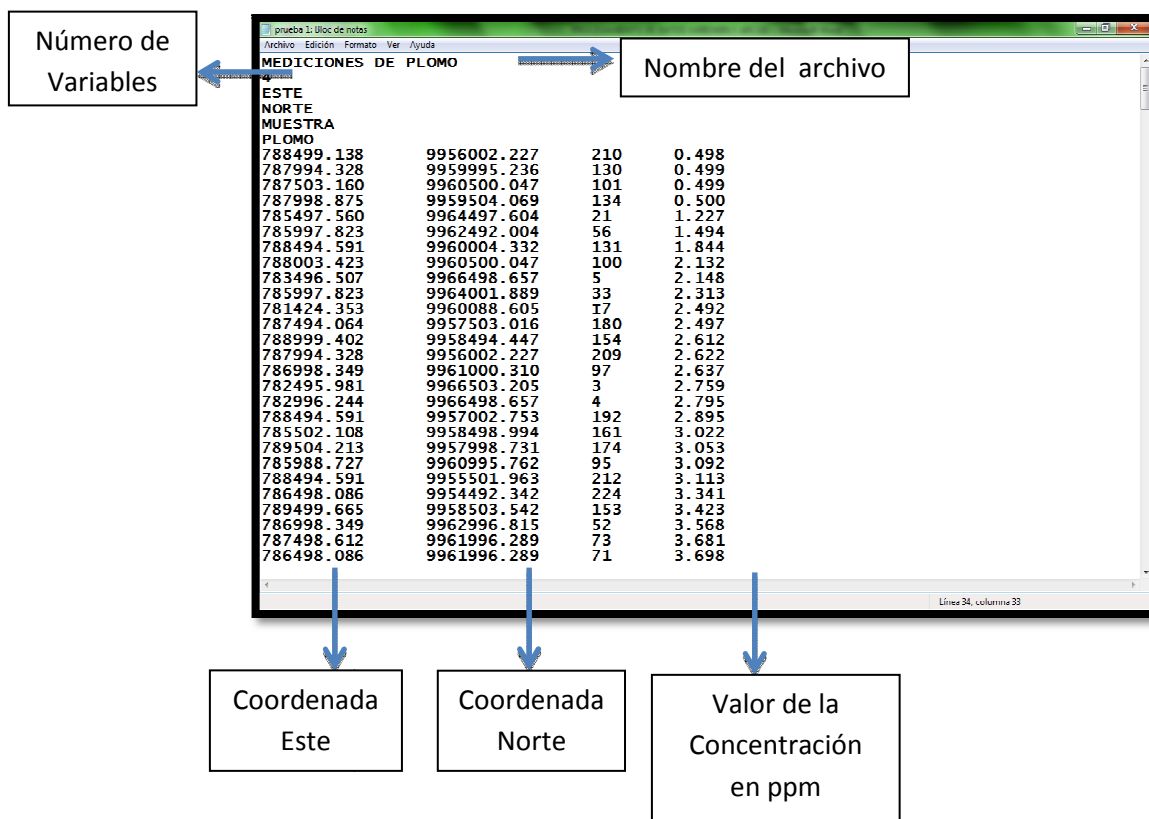


Imagen 3.28 Archivo de extensión *.dat para el software Variowin 2.2.1.

Se ingresa al módulo Prevar 2D del programa Variowin 2.21. Aquí se despliega un directorio donde se ubica el archivo *.dat con el que se trabajará. Ingresado ya el archivo se despliega el número de datos y variables.

Ir a la opción Settings y escoger XY Coordinates. Hacer coincidir correctamente en la columna de Coordenada X con la pestaña de ESTE y en la columna de Coordenada Y con la pestaña de NORTE.

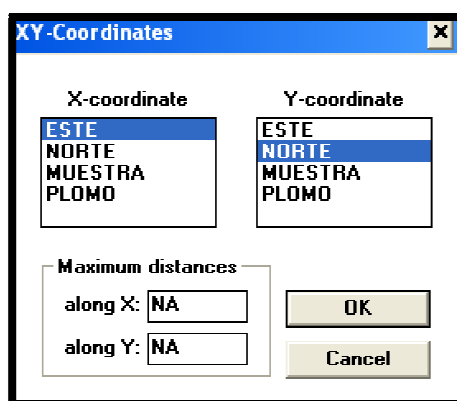


Imagen 3.29 Ventana de asignación de las coordenadas de los puntos muestreados

Aceptar e ir a la opción Run, el cual calcula automáticamente el número de combinaciones posibles entre los datos de muestreo. También genera el archivo de extensión *.pcf a ser utilizado en el siguiente módulo.

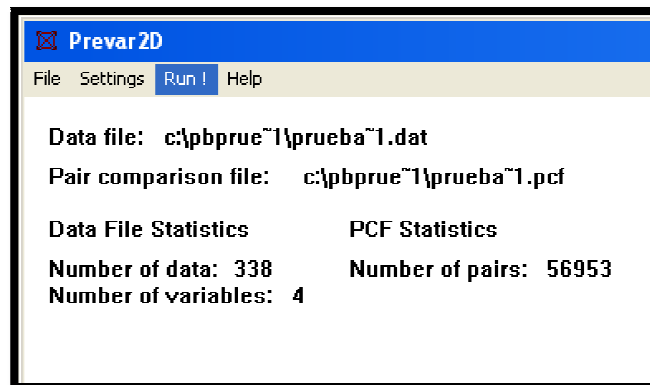


Imagen 3.30 Corrida del archivo *.dat

Se ingresa al módulo Vario 2D with PCF en donde se ubica el archivo *.pcf en el directorio desplegado.

En la pestaña Calculate escoger la opción Directional Variogram y se despliega la siguiente ventana.

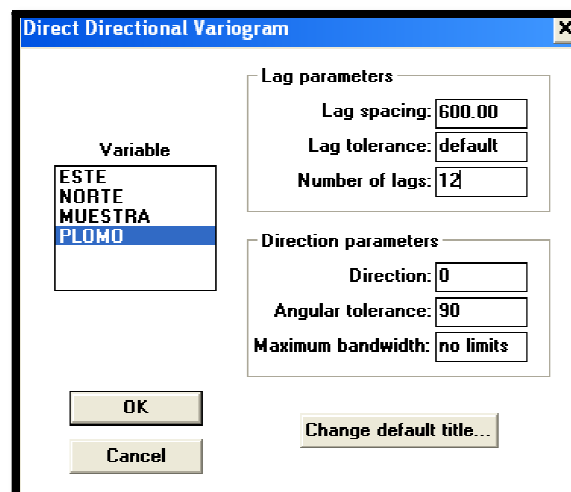


Imagen 3.31 Fijación de parámetros del semivariograma experimental

Escoger la variable correspondiente al análisis que se está realizando. También se asignan los valores de Lag spacing y Number of lags los cuales se calculan de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$-$$

(Ec. 3)

Previamente se debe contar con el valor de la distancia máxima para lo cual es necesario ir a la pestaña Calculate y escoger la opción Variogram Cloud. Una vez escogida la variable del estudio, en el recuadro de Maximum distance se ingresa un valor exagerado y el programa automáticamente despliega el valor en una ventana de diálogo, como se ve en el siguiente gráfico.

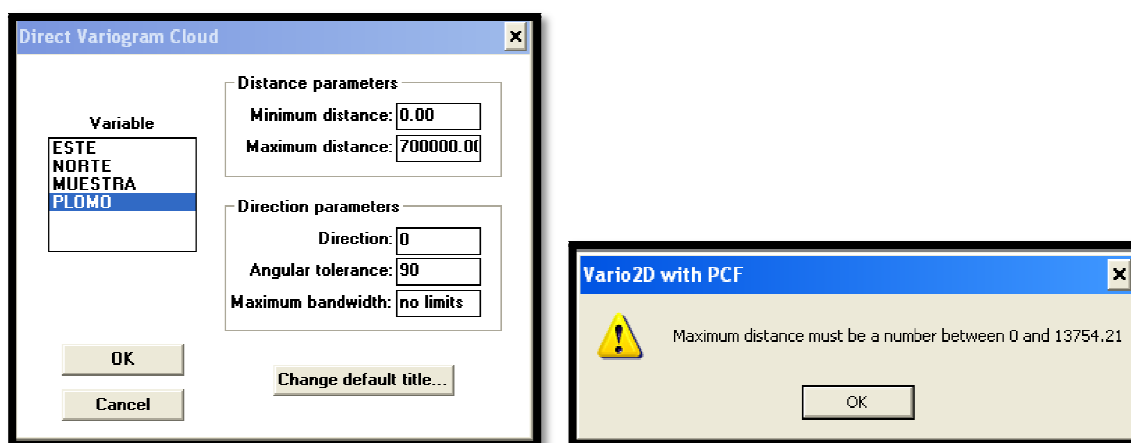


Imagen 3.32 Verificación de la distancia máxima mediante el cálculo de la nube del semivariograma

Una vez ingresados todos los valores mencionados se escoge OK y se despliega el gráfico del semivariograma experimental.

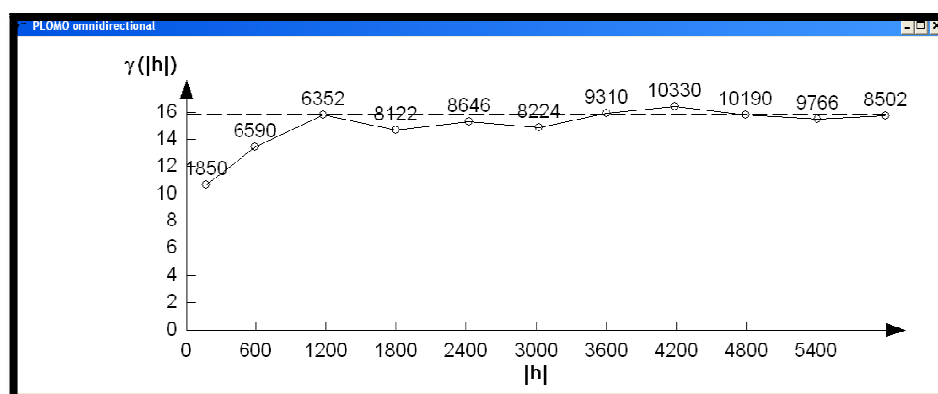


Imagen 3.33 Semivariograma experimental de las concentraciones de plomo

En la pestaña File escoger Save as y guardar el archivo con extensión *.var el cual será utilizado en el siguiente módulo.

Abrir el tercer módulo llamado Model y en el directorio que se despliega ubicar el archivo *.var correspondiente. Se despliega la siguiente ventana.

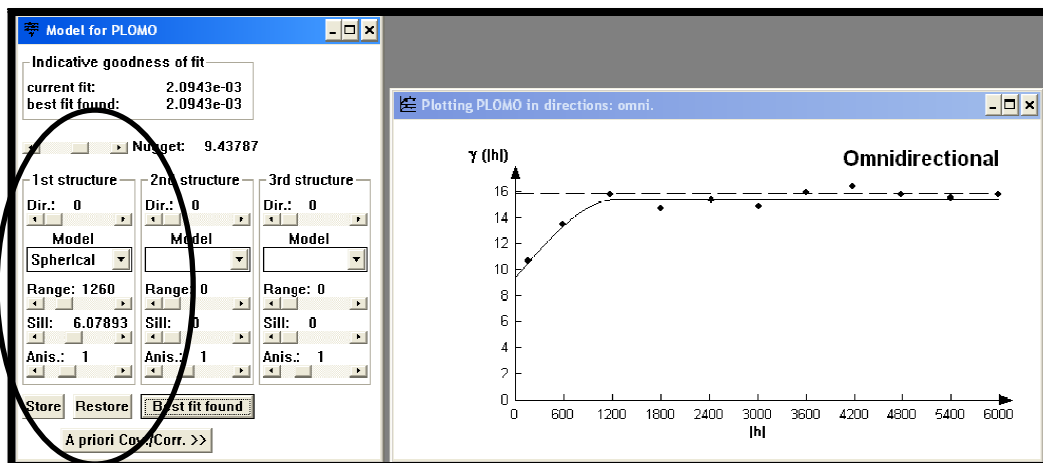


Imagen 3.34 Fijación de los parámetros del semivariograma teórico de las concentraciones de plomo

Primero se escoge el modelo de acuerdo a la tendencia que más se asemeja el semivariograma calculado. En la pestaña Model se despliegan para escoger un semivariograma de tipo esférico, exponencial, gaussiano o potencia.

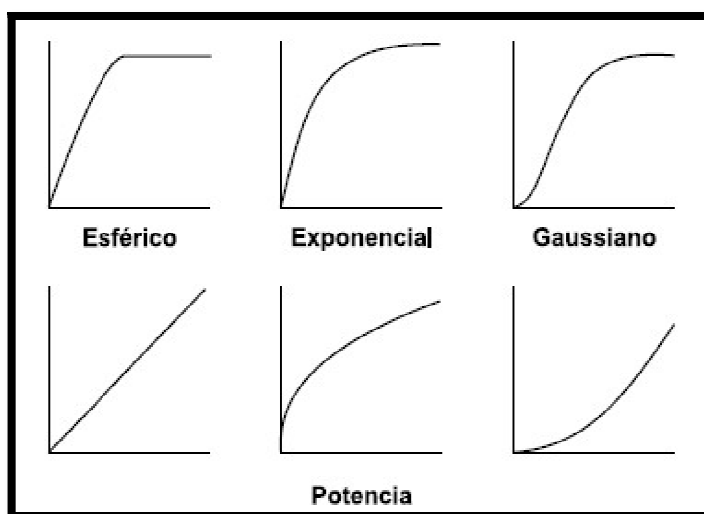


Imagen 3.35 Modelos disponibles para ajuste de semivariograma experimental

Fuente: Giraldo R.

Se procede a mover la barra de valores de Efecto Pepita (Nugget), Rango (Range) y Meseta (Sill) hasta que el valor IGF (Indicative godnees of fit o Índice de bondad de ajuste) sea el más aproximado a cero.

Con este procedimiento se han obtenido los parámetros del semivariograma ajustado con los cuales se realizará la predicción espacial con la ayuda del programa ArcGis 9.3.

Cargar desde un proyecto nuevo de ArcMap la base de datos de las muestras con su respectivo identificador, ubicación y valor de concentración.

Exportar a un archivo de tipo shape con el respectivo sistema de referencia en el que se está trabajando.

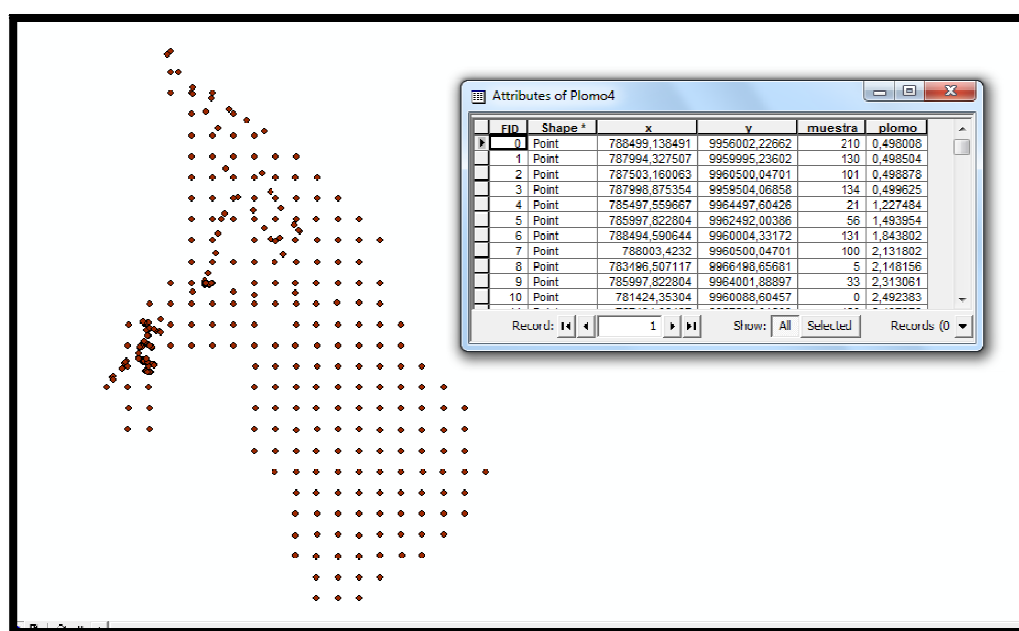


Imagen 3.36 Verificación de la tabla de atributos del shape generado

Activar la extensión Geostatistical Analysis y abrir la herramienta con la opción Geoestistical Wizard.

En la ventana seleccionar Kriging y en Input data seleccionar el shape con los datos. En la pestaña Attribute escoger el campo correspondiente a la variable

que se está analizando. Presionar Next. En la siguiente ventana que se despliega de igual manera solo se selecciona Next.

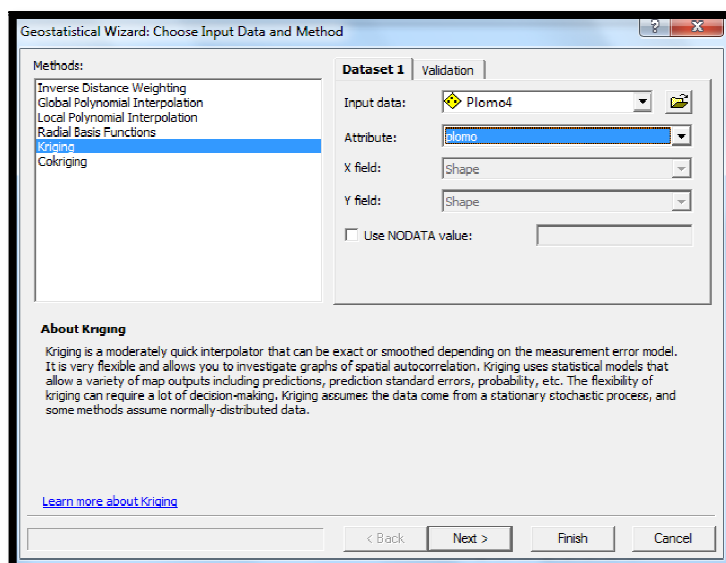


Imagen 3.37 Inicio de la extensión Geostatistical Wizard

Se tiene la ventana de Semivariogram/ Covariance Modeling y es donde se ingresan manualmente los parámetros obtenidos del semivariograma en el programa Variowin 2.21. , además de los valores de Lag spacing y Lag number. Dar clic en Next.

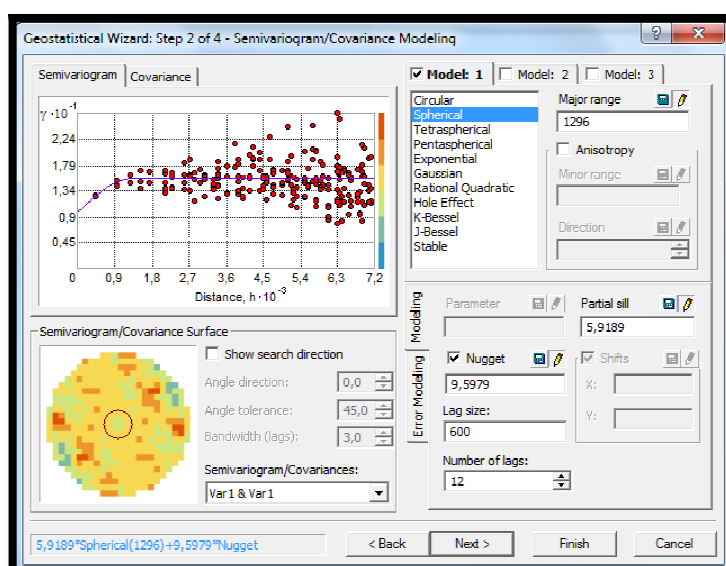


Imagen 3.38 Selección del semivariograma y fijación de sus parámetros

En la siguiente ventana de Searching Neighborhood, se presentan el número de vecinos que se toman para el cálculo de valores donde no existen mediciones. Dejar por defecto y hacer clic en Next.

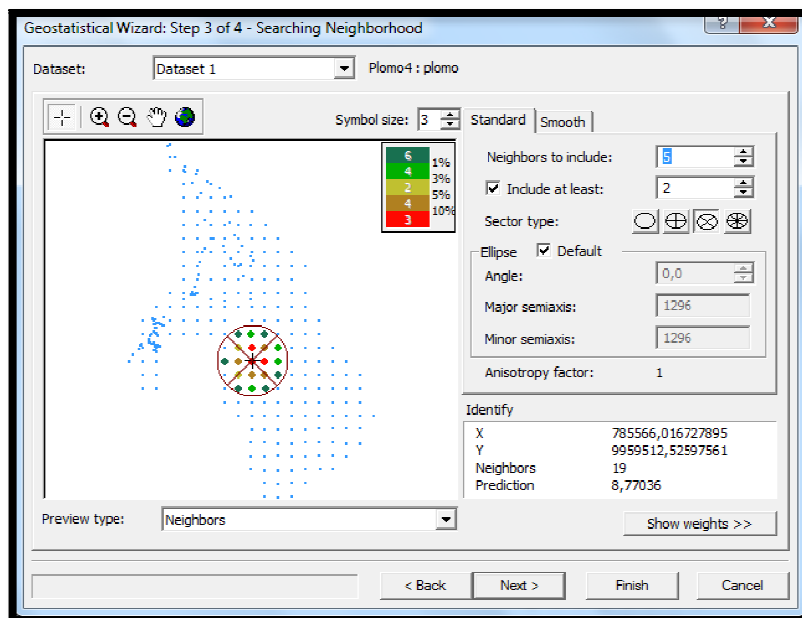


Imagen 3.39 Búsqueda del vecino más cercano

Se despliega la ventana Cross Validation donde se puede apreciar la calidad del modelo de acuerdo a los valores dados en la sección de Prediction Errors.

El Root-Mean-Square es el resultado de la suma de las distancias cuadradas entre los valores medidos y modelados a la raíz.

El Average Stándar Error representa el error promedio que existe al calcular un número arbitrario de modelos con los datos. Mientras más cerca estos valores se encuentran a los valores de estos dos parámetros mucho mejor es el modelo.

También indica el Root Mean Square Standarized el cual al ser un valor más cercano a 1 es un indicador de un buen modelo.

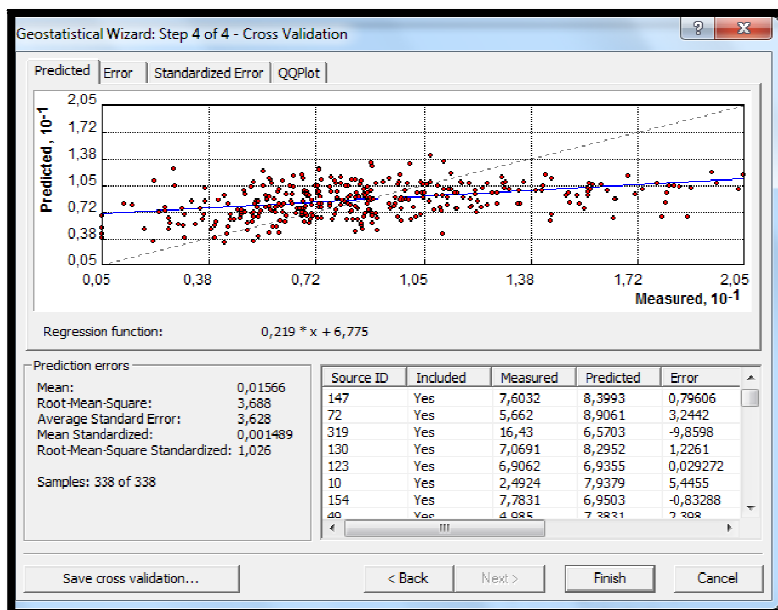


Imagen 3.40 Validación cruzada y errores de predicción

Se obtiene finalmente una capa tipo raster como resultado de la predicción espacial para la variable en cualquier punto dentro del área de estudio. A partir de esto se realizará un mapa de concentraciones de plomo en las Parroquias San Rafael y Sangolquí.

Como último paso se procede a la verificación del modelo en campo.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El proceso de cuantificación nos genera concentraciones primarias del contaminante en ppm, sin embargo es necesario tomar en cuenta dos aspectos: el primero si se realizó una dilución a la muestra y el segundo obtener el valor real del contaminante al multiplicar por el factor de conversión expresado con el peso de la muestra de suelo para el volumen del muestra del contaminante del suelo.

Para el primer paso, el uso de los estándares en el equipo de absorción atómica permite limitar la lectura del contaminante, esto se realiza solo para las muestras que han sobrepasado el valor máximo del estándar y es necesario diluir la muestra a con una nueva concentración la cual no sobrepase el valor del estándar. Para calcular la concentración inicial (C_0) se realiza el siguiente cálculo:

Tabla 4.1 Datos iniciales de la concentración de plomo en la muestra

Fuente: Los Autores

				P_T	V_c	C_0	
ESTE	NORTE	LUGARES Muestra		Peso (gr)	Vol. (ml)	Plomo (ppm)	Observación
783871.090	9964204.730	VIAS	C6	2.0076	10.50	5.590	Diluida 1 en 5

La lectura de esta muestra vial sobrepasa el límite de 10ppm del estándar en Pb, la dilución se realiza para este caso 1ml. de la solución de la muestra en 4ml. de agua desmineralizada, de esta forma se obtiene 5ml. para realizar la lectura, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$[X_1] = \frac{\sum V_T}{V_C} \text{(Ec. 4)}$$

X_1 = Factor de dilución

$\sum V_T$ = Sumatoria de volumen total de la dilución

V_C = Volumen ocupado de la solución

Ejemplo

$$[X_1] = \frac{(1 + 4)}{1} = 5$$

Este factor de dilución $[X_1]$ se multiplica por el valor de la concentración obtenida en el equipo:

$$[C_o] = [5.590] * 5 = 27.95$$

El segundo paso se lo realiza a todas muestras para obtener el valor real de contaminación en la muestra se debe multiplicar por el factor de conversión de la siguiente manera:

$$[X] = \frac{[C_o] * V_c}{P_T} \text{ (Ec. 5)}$$

X = Concentración esperada

$[C_o]$ = Concentración inicial del contaminante

V_c = Volumen total del contaminante (ml)

P_T = Peso del suelo donde se realizó el análisis de contaminación (gr)

Ejemplo

$$[X] = \frac{[27.95] * 10.50}{2.0076} = 146.18$$

El valor de 146.18ppm, es la contaminación real encontrada en la muestra de suelo identificada como C6 perteneciente a una parte del tramo vial en Sangolquí.

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Identificar las propiedades físico-químicas del suelo de las parroquias de San Rafael y Sangolquí, amplía la visión del lugar de estudio.

A continuación, se detalla una tabla resumen de los resultados obtenidos de las variables en mención por las cinco zonas propuestas para la zona de estudio de San Rafael y Sangolquí:

Tabla 4.2 Resultados de los Parámetros Físico – Químicos

Fuente: Los Autores

ZONA	PARAMETRO		
	pH	CONDUCTIVIDAD [mmhos/cm]	TEMPERATURA [°C]
Zona I	7,03	6,76	19
Zona II	4,44	8,85	18,9
Zona III	7,06	4,19	19
Zona IV	7,1	3,59	19,2
Zona V	6,89	4,41	19,3

San Rafael y Sangolquí presentan unos suelos con características físicas, químicas y biológicas equitativos a pesar de la gran influencia y la creciente actividad industrial que se ha venido desarrollando en los últimos años. El Valle de los Chillos es una zona cálida de temperatura aproximada de 19°C se caracteriza por ser un área con un nivel de pH promedio de 6,5 considerado como ligeramente ácida. Su conductividad promedio es de 5,56 mmhos/cm lo que representa que el área de estudio presenta características de suelos salinos.

El análisis de sulfatos es 35.2, nitratos 3.68 y fosfatos 2686, se lo detalla en la siguiente tabla 4.3.

Tabla 4.3 Resultados de análisis de nitratos, fosfatos y sulfatos

Fuente: Los Autores

ZONA	PARÁMETRO		
	SULFATOS [mg/L]	NITRATOS [mg/L]	FOSFATOS [µg/L]
Zona I	39	1.6	2498
Zona II	46	1.6	1643
Zona III	31	4.4	1406
Zona IV	20	3.8	1738
Zona V	40	7	6145

También se midió el contenido de humedad de cada zona para obtener un promedio de este parámetro.

Tabla 4.4 Resultados de contenido de humedad

Fuente: Los Autores

Contenido de Humedad				
Zona	Peso Caja (gr.)	Peso Real(gr.)	Peso en Seco(gr.)	% de Humedad
I	0.69	50.08	49.28	1.638726807
I	1.31	50.09	49.91	0.372393503
II	0.64	50.00	48.55	3.026508036
II	2.26	50.00	49.50	1.067315834
III	0.85	50.00	47.74	4.819791
III	1.21	50.01	47.85	4.627038802
IV	1.13	50.08	49.19	1.847124349
IV	0.64	50.02	48.70	2.755101828
V	0.98	50.05	48.94	2.306280757
V	0.97	50.08	48.90	2.453485995
Promedio =				2.491376691

4.2. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO PARA DATOS DE CONCENTRACIONES DE PLOMO, CROMO Y ZINC

4.2.1. Análisis Exploratorio

Los análisis de los estadísticos descriptivos se los realizó en el software Excel 2007, de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Para Plomo:

Tabla 4.5 Estadísticos descriptivos de datos de concentraciones de plomo

Fuente: Los Autores

Estadísticos Descriptivos de Datos de Concentraciones de Plomo	
Media	8,68
Error típico	0,22
Mediana	8,19
Desviación estándar	3,99
Varianza de la muestra	15,88
Coefficiente de Variación	45,93
Curtosis	0,30

Coeficiente de asimetría	0,68
Rango	20,00
Mínimo	0,50
Máximo	20,50
Cuenta	338

La media y la mediana al ser valores similares indica que las observaciones presentan una distribución normal.

Ya que el histograma presenta una forma de campana, indica que el 99,7% de las observaciones se encuentra a tres desviaciones estándar de la media.

Como se puede apreciar el coeficiente de variación tiene un valor de 45,93% lo cual significa que en los valores extremos existe un error bajo de predicción.

El coeficiente de asimetría es mayor a cero por lo tanto, la curva es asimétricamente positiva por lo que las observaciones se tienden a concentrar más a la izquierda de la media.

La curtosis al tener un valor mayor a cero demuestra que se trata de una distribución leptocurtica, lo que significa que su distribución es más puntiaguda y con colas más anchas que la normal.

Para Cromo:

Tabla 4.6 Estadísticos descriptivos de datos de concentraciones de cromo

Fuente: Los Autores

Estadísticos Descriptivos de Datos de Concentraciones de Cromo	
Media	4,99
Error típico	0,09
Mediana	4,90
Desviación estándar	1,73
Varianza de la muestra	2,99
Coeficiente de variación	34,68 %
Curtosis	-0,15
Coeficiente de asimetría	0,33
Rango	8,25

Mínimo	1,51
Máximo	9,76
Cuenta	339

La media y la mediana al ser valores similares indica que las observaciones presentan una distribución normal.

Ya que el histograma presenta una forma de campana, indica que el 68,3% de las observaciones se encuentra a una desviación estándar de la media.

Como se puede apreciar el coeficiente de variación tiene un valor de 34,68% lo cual significa que en los valores atípicos existe un error moderado de predicción.

El coeficiente de asimetría es mayor a cero por lo tanto, la curva es asimétricamente positiva por lo que las observaciones se tienden a concentrar más a la izquierda de la media.

La curtosis al tener un valor menor a cero demuestra que se trata de una distribución platicúrtica, lo que significa que su forma es menos puntiaguada y con colas menos anchas que la normal con respecto a la distribución normal.

Para Zinc:

Tabla 4.7 Estadísticos descriptivos de datos de concentraciones de zinc

Fuente: Los Autores

Estadísticos Descriptivos de Datos de Concentraciones de Zinc	
Media	39.21
Error típico	3.03
Mediana	30.39
Desviación estándar	29.25
Varianza de la muestra	855.44
Coficiente de Variación	74.60
Curtosis	-0.5
Coficiente de asimetría	0.66
Rango	97.12

Mínimo	1.53
Máximo	98.65
Cuenta	93

Existe una mínima diferencia entre la media y la mediana, lo cual indica una dispersión entre los datos. Y está reflejada en el histograma, el cual se puede que tienen un sesgo hacia el lado izquierdo y, generando una porcentaje de confiabilidad de predicción pequeño debido a su gran dispersión en datos.

Como se puede apreciar el coeficiente de variación tiene un valor de 74,60% lo cual indica que en el error de predicción se va a generar algunos valores altos entre los valores atípicos.

El coeficiente de asimetría es mayor a cero por lo tanto, la curva es asimétricamente positiva por lo que los valores se tienden a reunir más en la parte izquierda que en la derecha de la media.

La curtosis al tener un valor menor a cero demuestra que se trata de una distribución platicúrtica, lo que significa que su forma es menos puntiaguada y con colas menos anchas que la normal con respecto a la distribución normal.

A continuación se indican los gráficos exploratorios obtenidos de los estadísticos descriptivos ya presentados antes, para lo cual se utilizó el software OpenGeoDa.

Para Plomo:

✓ Histograma

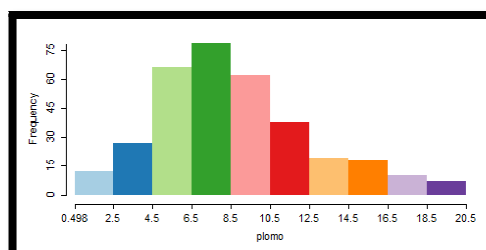
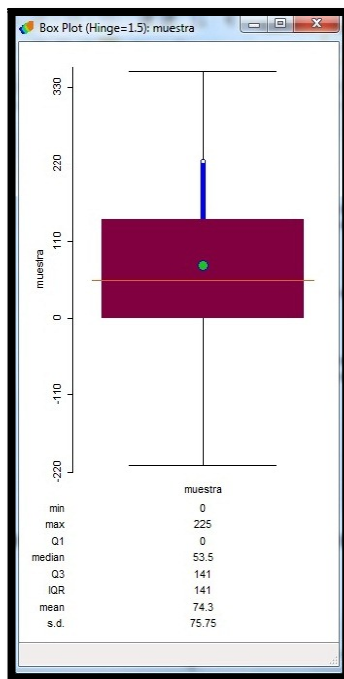


Diagrama 4.1 Histograma de datos de concentraciones de plomo

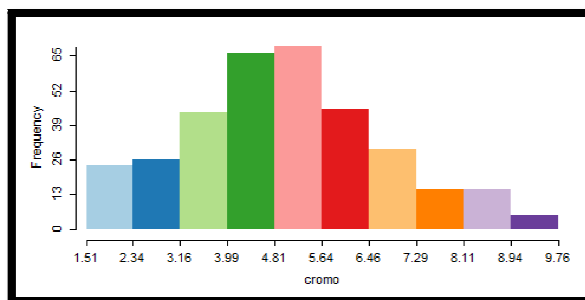
Fuente: Los Autores

✓ Diagrama de Caja

**Diagrama 4.2 Diagrama de caja de datos de concentraciones de plomo****Fuente: Los Autores**

Para Cromo:

✓ Histograma

**Diagrama 4.3 Histograma de datos de concentraciones de cromo****Fuente: Los Autores**

✓ Diagrama de Caja

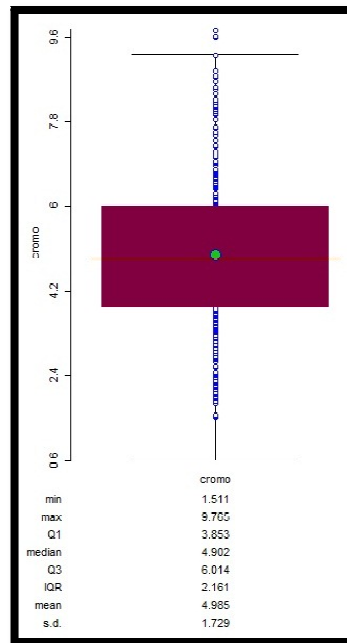


Diagrama 4.4 Diagrama de caja de datos de concentraciones de cromo

Fuente: Los Autores

Se observan unos pocos valores atípicos en el diagrama de caja los cuales si serán incluidos dentro del proceso geoestadístico ya que al haber realizado un detenido análisis y después de haber realizado varias pruebas concluimos que estos valores son significativos para la realización del modelo.

Para Zinc:

✓ Histograma

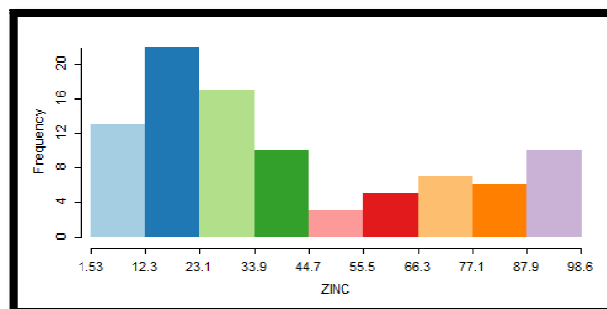


Diagrama 4.5 Histograma de datos de concentraciones de zinc

Fuente: Los Autores

✓ Diagrama de Caja

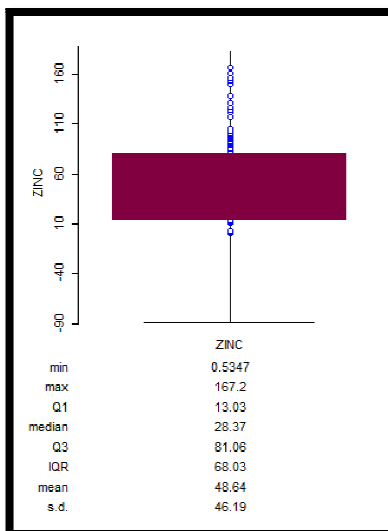


Diagrama 4.6 Diagrama de caja de datos de concentraciones de zinc

Fuente: Los Autores

4.2.2. Análisis Estructural

Se presenta el semivariograma experimental obtenido en el software Variowin. Este gráfico representa el valor de la distancia euclidiana entre un par de puntos con mayor dependencia espacial en función a su varianza. Además muestra el valor total de la varianza el cual está indicado por la línea entrecortada.

Para Plomo:

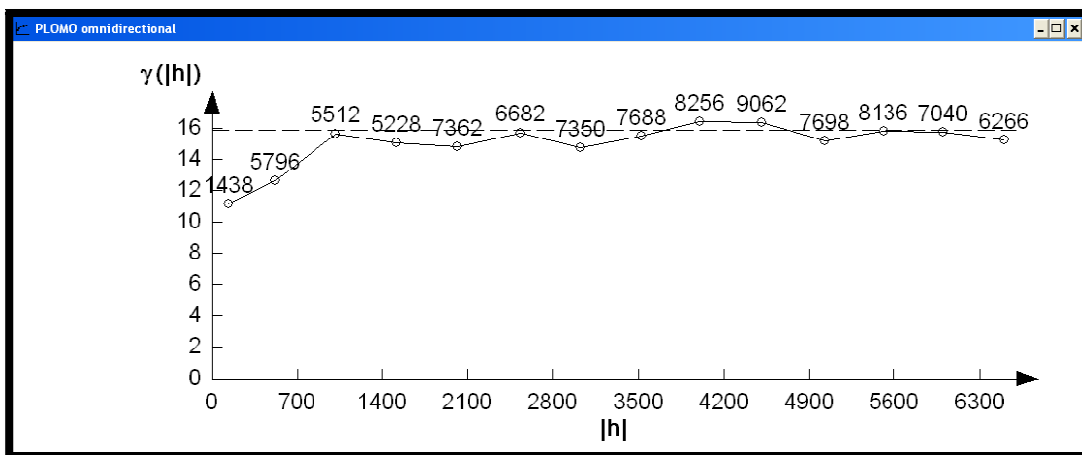


Imagen 4.1 Semivariograma experimental de datos de concentraciones de plomo

Este semivariograma experimental se generó con los siguientes parámetros:

Tabla 4.8 Parámetros del semivariograma experimental

Fuente: Los Autores

Parámetros Modelo Experimental	
Lag Spacing	500
Number Lag	13

De acuerdo a la tendencia del semivariograma experimental se determina que el semivariograma teórico que más se ajusta es el modelo de tipo esférico por lo cual se procede a obtener sus correspondientes parámetros.

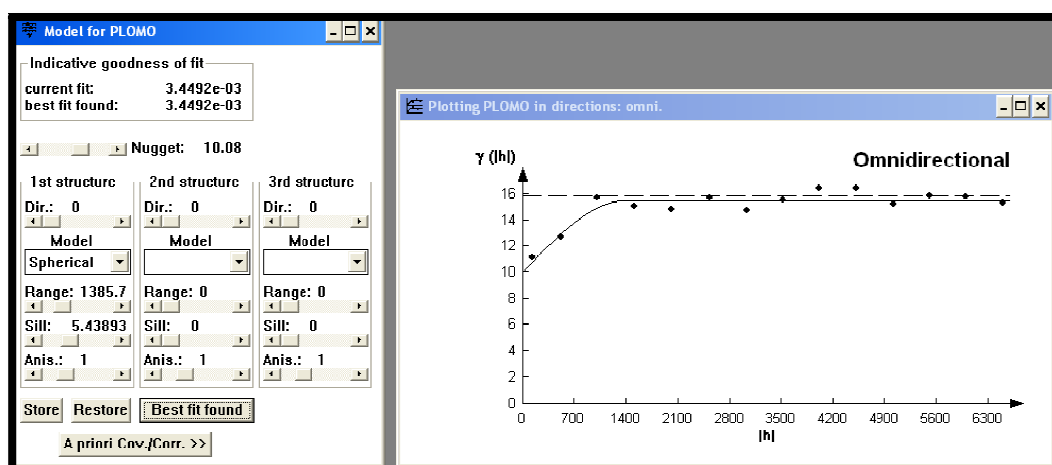


Imagen 4.2 Modelo teórico esférico de datos de concentraciones de plomo

Tabla 4.9 Parámetros del semivariograma teórico esférico

Fuente: Los Autores

Parámetros Modelo Teórico Esférico	
IGF	0,00345
Nugget	10,08
Range	1386
Sill	5,44

Para Cromo:

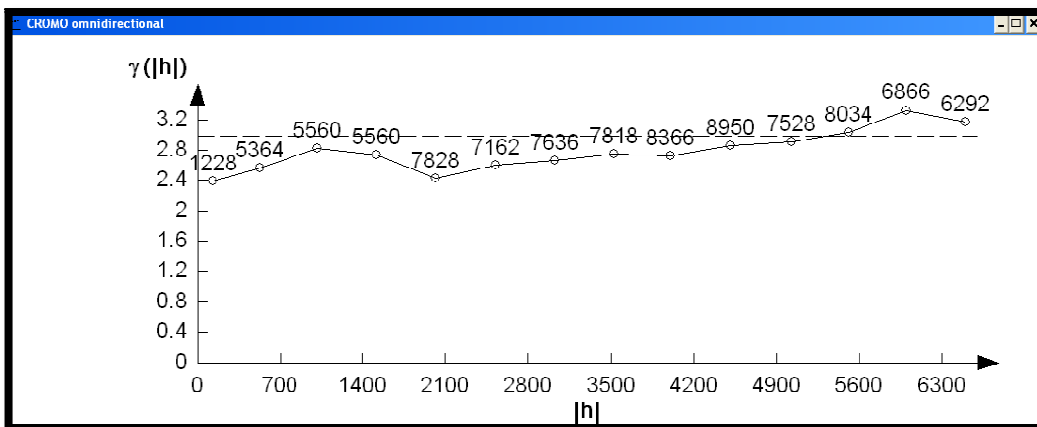


Imagen 4.3 Semivariograma experimental de datos de concentraciones de cromo

Este semivariograma experimental se generó con los siguientes parámetros:

Tabla 4.10 Parámetros del semivariograma experimental

Fuente: Los Autores

Parámetros Modelo Experimental	
Lag Spacing	500
Number Lag	13

De acuerdo a la tendencia del semivariograma experimental se determina que el semivariograma teórico que más se ajusta es el modelo de tipo exponencial por lo cual se procede a obtener sus correspondientes parámetros.

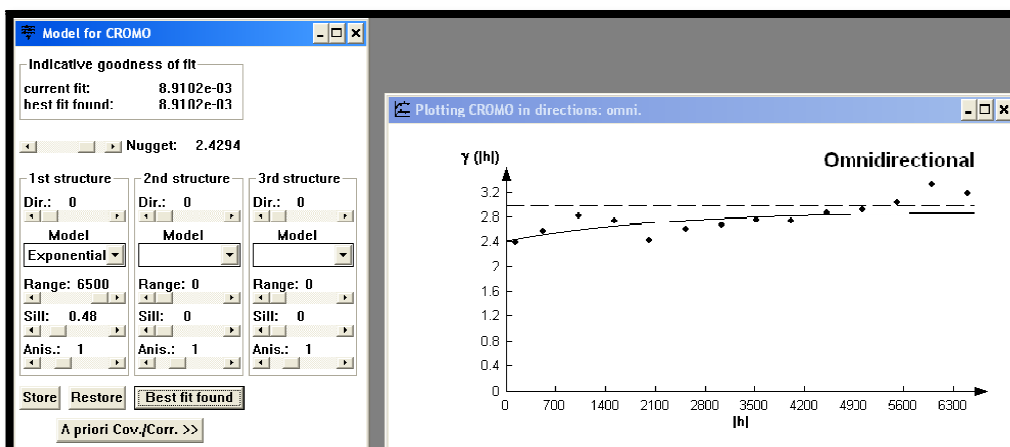


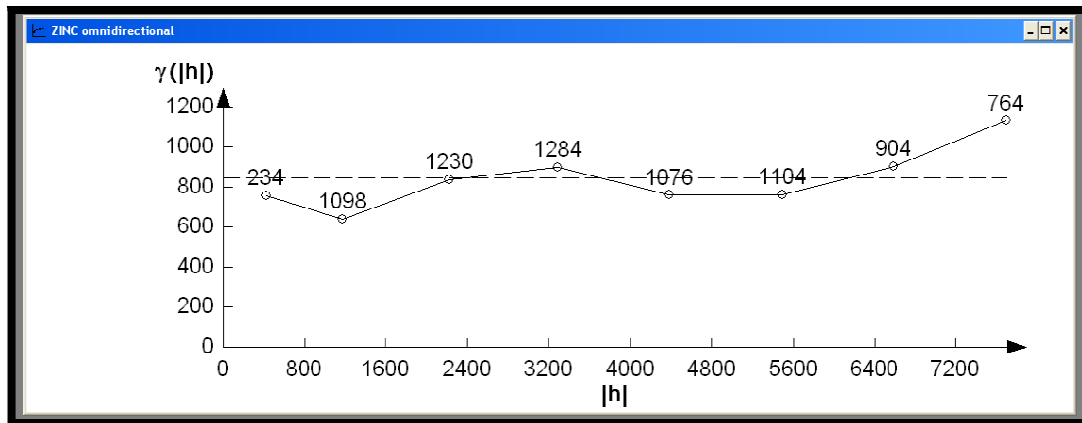
Imagen 4.4 Modelo teórico exponencial de datos de concentraciones de cromo

Tabla 4.11 Parámetros del semivariograma teórico exponencial

Fuente: Los Autores

Parámetros Modelo Teórico Exponencial	
IGF	0,0089102
Nugget	2,39
Range	6500
Sill	0,53

Para Zinc:

**Imagen 4.5 Semivariograma experimental de datos de concentraciones de zinc**

Este semivariograma experimental se generó con los siguientes parámetros:

Tabla 4.12 Parámetros del semivariograma experimental

Fuente: Los Autores

Parámetros Modelo Experimental	
Lag Spacing	500
Number Lag	8

De acuerdo a la tendencia del semivariograma experimental se determina que el semivariograma teórico que más se ajusta es el modelo de tipo gaussiano por lo cual se procede a obtener sus correspondientes parámetros.

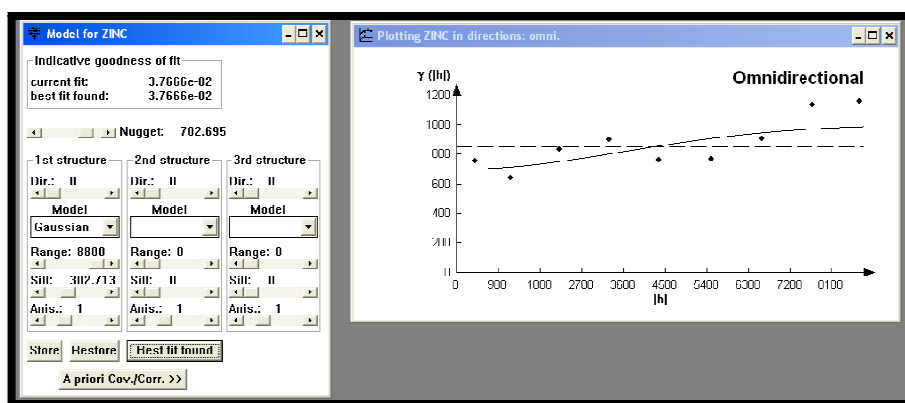


Imagen 4.6 Modelo teórico exponencial de datos de concentraciones de zinc

Tabla 4.13 Parámetros del semivariograma teórico exponencial

Fuente: Los Autores

Parámetros Modelo Teórico Exponencial	
IGF	0,037666
Nugget	702.695
Range	8800
Sill	302.713

4.2.3. Predicción Espacial de concentraciones de Plomo, Cromo Y Zinc

Una vez ingresados los valores del semivariograma teórico en la herramienta Geostatistical Wizard de ArcGIS 9.3, se obtienen los errores de predicción.

Para plomo:

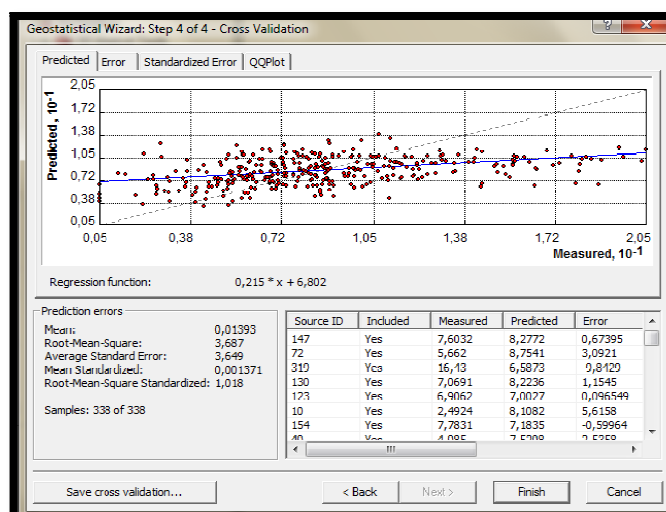


Imagen 4.7 Errores de predicción de datos de concentraciones de plomo

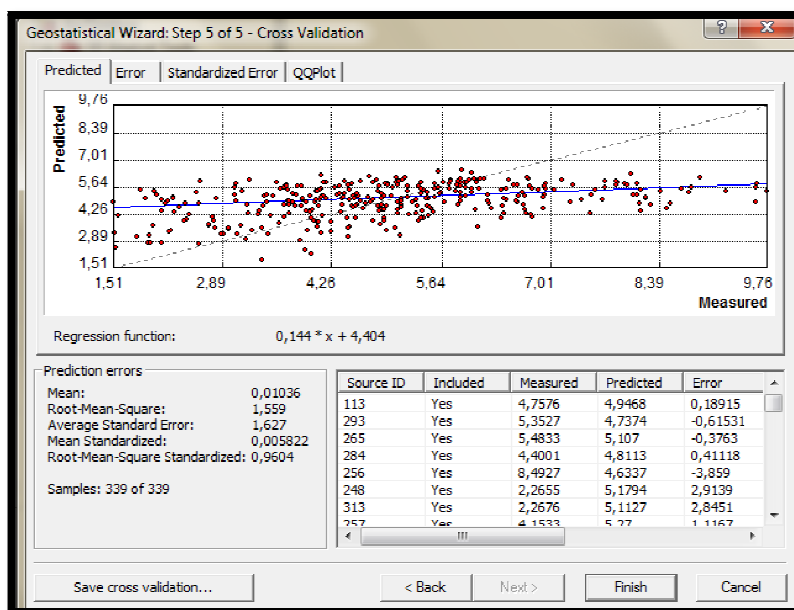
Para cromo:

Imagen 4.8 Errores de predicción de datos de concentraciones de cromo

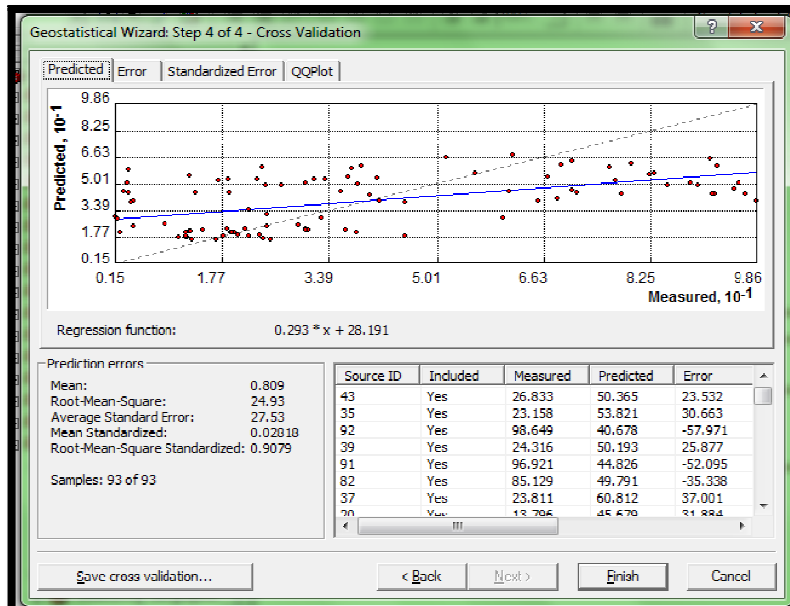
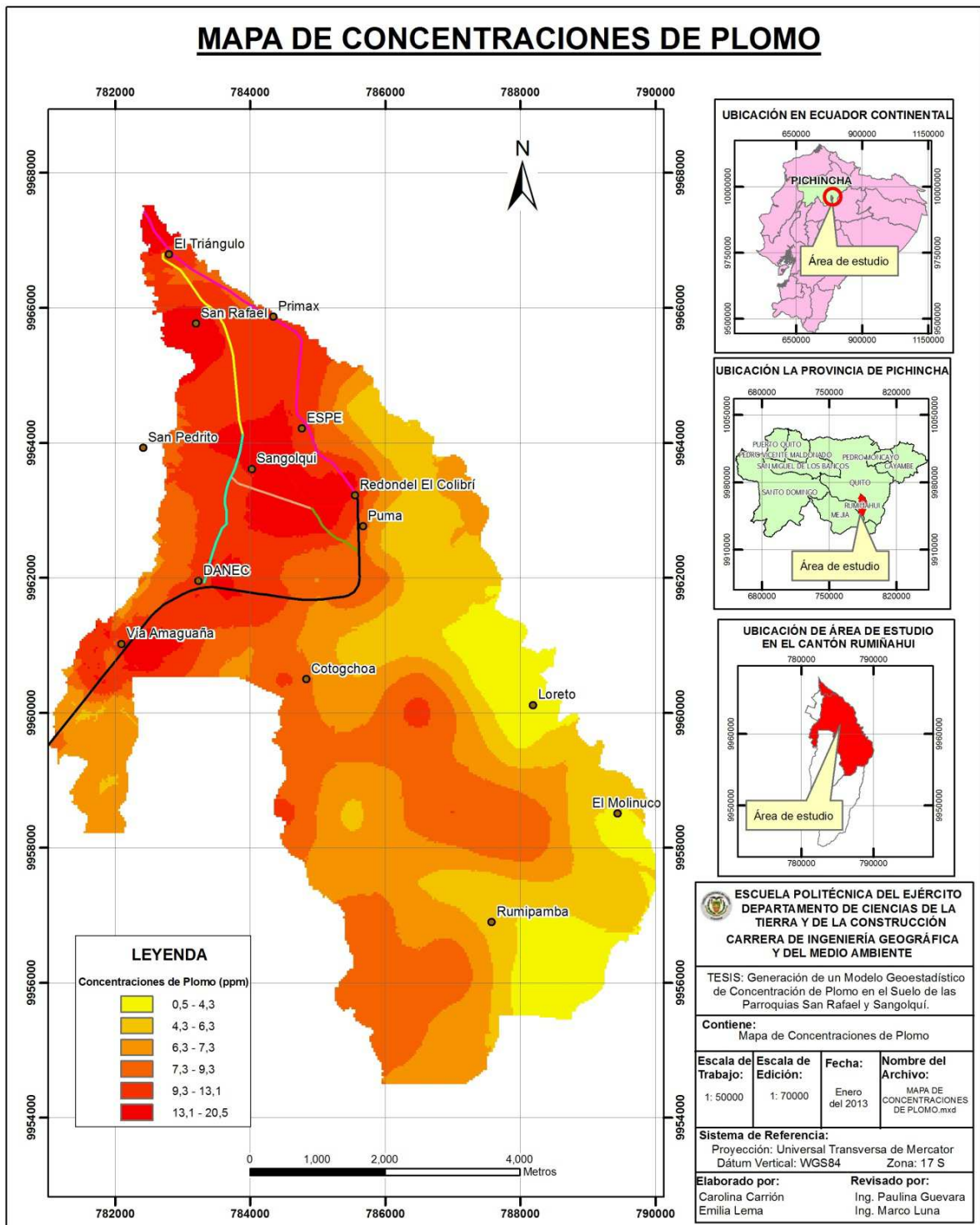
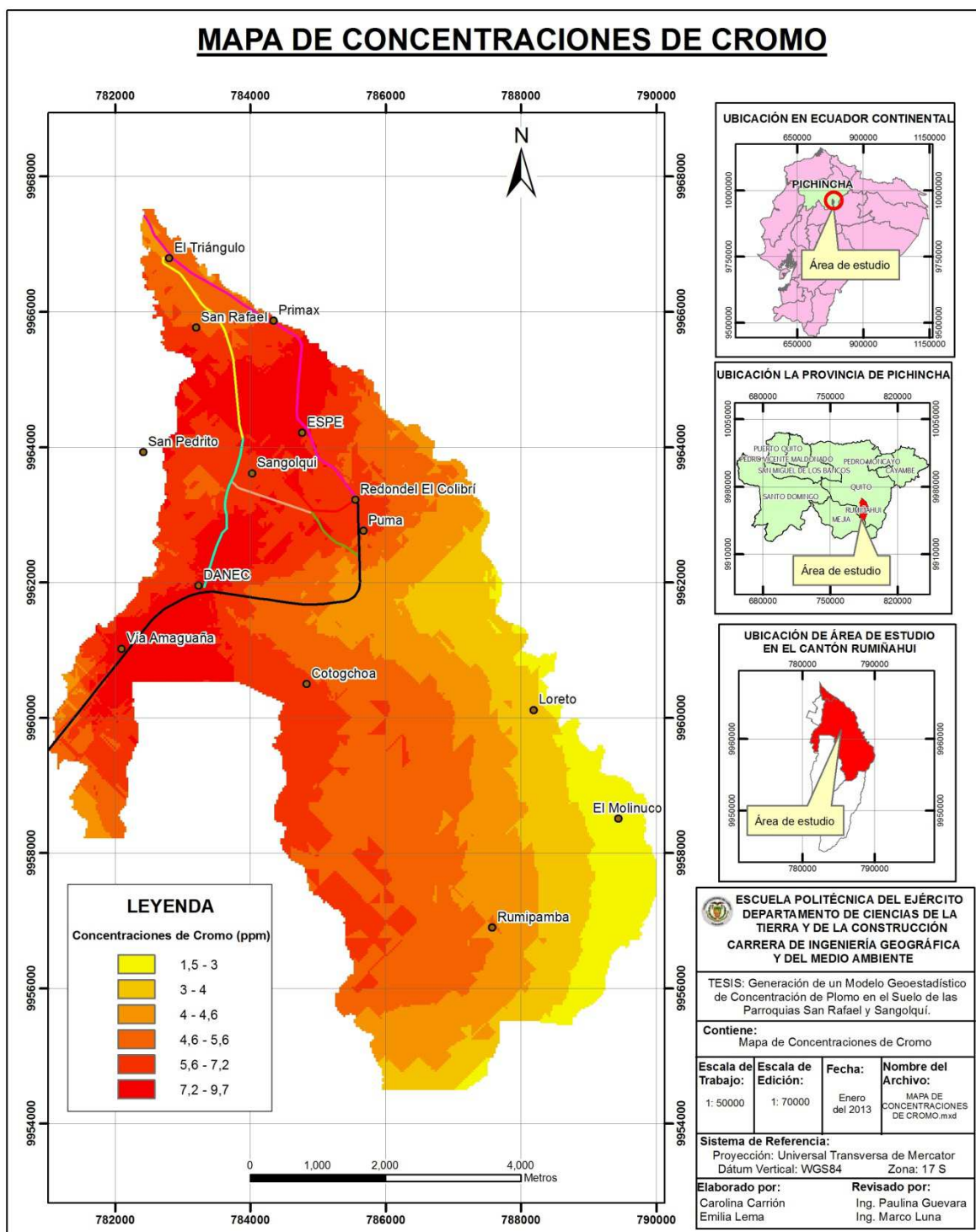
Para zinc:

Imagen 4.9 Errores de predicción de datos de concentraciones de zinc

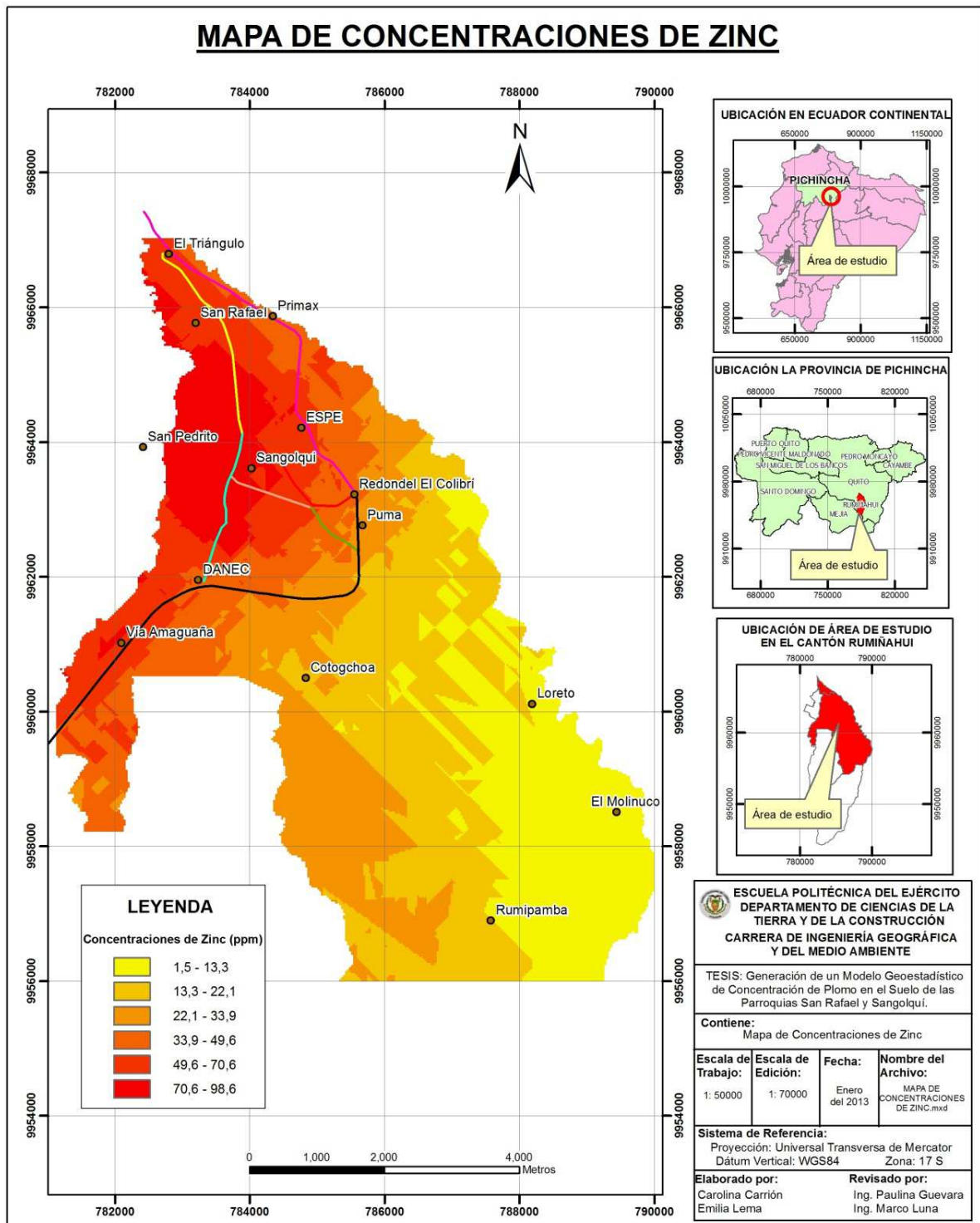
Al finalizar el proceso se despliega la capa de tipo raster que permite generar el mapa de concentraciones de los diferentes metales, como le muestra a continuación:



Mapa 4.1 Concentración de Plomo en las parroquias de San Rafael y Sangolquí



Mapa 4.2 Concentración de Cromo en las parroquias de San Rafael y Sangolquí



Mapa 4.3 Concentración de Zinc en las parroquias de San Rafael y Sangolquí

4.2.4. Validación Cruzada de los Datos de Concentración de Plomo, Cromo y Zinc

Para plomo:

Tabla 4.14 Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de plomo. Fuente: Los Autores

Errores de Predicción	
Media	0,01393
Error Medio Cuadrático	3,687
Error Medio Estandarizado	3,649
Media Estandarizada	0,001371
Error Medio Cuadrático Estandarizado	1,018

Tabla 4.15 Validación del modelo de concentraciones de plomo (ppm)

Fuente: Los Autores

Nombre Muestra	X	Y	Medido (ppm)	Predicción (ppm)	Error
10	783496,507117	9965498,130530	13,63	11,11	-2,52
111	782505,076535	9960504,594850	12,13	9,96	-2,17
119	781504,550260	9959008,353290	7,04	7,27	0,23
128	786998,349079	9959999,783870	9,63	7,90	-1,72
157	787503,160063	9958498,994460	8,70	9,33	0,62
165	785001,844376	9957998,731320	8,47	7,77	-0,70
184	785506,655360	9957503,016030	5,29	8,35	3,06
188	786493,538095	9956993,657200	6,68	7,78	1,10
194	789504,212613	9957002,752890	5,04	5,83	0,78
201	786498,085941	9956497,941910	5,90	9,01	3,11
211	788999,401629	9955997,678770	4,36	3,58	-0,77
223	785993,274957	9954501,437200	8,26	8,18	-0,08
32	785502,107513	9964001,888970	9,49	7,87	-1,62
44	783000,791826	9962996,814850	6,91	9,90	2,98
45	783501,054964	9963001,362690	11,32	10,10	-1,22
7	782996,243979	9966002,941520	11,70	10,93	-0,77
75	786998,349079	9961509,668970	5,97	5,48	-0,49
80	784501,581238	9961500,573280	8,46	9,72	1,27
15	781129,315380	9959735,086580	5,66	8,75	3,09
151	781970,861890	9960738,124340	6,46	9,55	3,09
179	783306,893330	9961945,060740	7,80	10,89	3,10

Para cromo:**Tabla 4.16 Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de cromo. Fuente: Los Autores**

Errores de Predicción	
Media	0,01036
Error Medio Cuadrático	1,559
Error Medio Estandarizado	1,627
Media Estandarizada	0,005822
Error Medio Cuadrático Estandarizado	0,9604

Tabla 4.17 Validación del modelo de concentraciones de cromo**Fuente: Los Autores**

Nombre Muestra	X	Y	Medido (ppm)	Predicción (ppm)	Error
H14	781347,380000	9959946,440000	2,27	5,18	2,91
I15	781742,163000	9960222,168000	2,62	5,99	3,37
A5	783887,610000	9966114,480000	3,42	5,23	1,81
62	782996,244000	9962496,552000	3,70	5,75	2,05
I19	781958,651000	9960081,818000	3,84	5,75	1,91
110	783005,340000	9960504,595000	4,20	5,92	1,73
I8	781442,289000	9960102,097000	6,60	4,96	-1,65
I97	783409,927000	9961959,416000	7,71	6,01	-1,70
9	783000,792000	9965498,131000	8,23	5,14	-3,09
F1	785559,730000	9963240,270000	8,54	4,87	-3,68
99	787994,328000	9961000,310000	2,91	3,30	0,38
52	786998,349000	9962996,815000	3,67	4,20	0,53
155	788499,138000	9958498,994000	3,97	3,50	-0,47
214	787503,160000	9955501,963000	4,05	3,99	-0,06
8	784001,318000	9966002,942000	4,50	5,06	0,55
28	783501,055000	9963992,793000	4,90	5,42	0,52
60	784005,866000	9962492,004000	4,98	5,83	0,85
84	782500,529000	9961491,478000	5,09	5,96	0,87
145	785993,275000	9959003,805000	5,48	4,78	-0,70
106	785001,844000	9960504,595000	5,87	4,84	-1,03
187	785993,275000	9956998,205000	6,23	5,04	-1,19

Para zinc:**Tabla 4.18 Estadísticos de los errores determinados mediante la validación cruzada para los datos de zinc. Fuente: Los Autores**

Errores de Predicción	
Media	0,809
Error Medio Cuadrático	24.93
Error Medio Estandarizado	27,53
Media Estandarizada	0,02818
Error Medio Cuadrático Estandarizado	0,9079

Tabla 4.19 Validación del modelo de concentraciones de zinc

Fuente: Los Autores

MUESTRA	ESTE	NORTE	MEDIDO (ppm)	PREDICCIÓN (ppm)	Error
I12	781742.376000	9960185.104000	38.27	51.11	12.83
I73	781885.624000	9961033.332000	38.84	61.75	22.91
A9	784686.560000	9964588.500000	41.28	54.80	13.52
171	788003.423000	9957994.183000	45.40	19.50	-25.90
153	789499.665000	9958503.542000	20.17	19.76	-0.41
72	786998.349000	9961991.741000	21.25	23.80	2.55
173	788999.402000	9957998.731000	21.80	19.04	-2.75
154	788999.402000	9958494.447000	23.52	20.13	-3.39
55	786493.538000	9962496.552000	29.24	26.16	-3.09
56	785997.823000	9962492.004000	32.76	30.39	-2.37
F2	785118.030000	9963057.460000	40.11	44.31	4.20
H6	784496.190000	9961712.770000	41.58	40.46	-1.11
H7	784001.360000	9961784.480000	45.37	39.93	-5.44
63	782495.981000	9961991.741000	56.03	57.30	1.26
44	783000.792000	9962996.815000	61.67	68.54	6.87
7	782996.244000	9966002.942000	66.92	55.38	-11.54
45	783501.055000	9963001.363000	69.08	62.93	-6.15
25	783501.055000	9964497.604000	70.67	64.92	-5.76
105	785497.560000	9960504.595000	4.30	25.37	21.07
71	786498.086000	9961996.289000	9.00	26.24	17.23
195	789499.665000	9956497.942000	11.23	18.38	7.15

4.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN SUELO

Los metales pesados son constituyentes naturales del suelo, en los últimos años por las necesidades del ser humano se ha incrementado la actividad industrial generando más cantidad de desechos y desequilibrando el balance de procesos físicos, químicos y biológicos.

El incremento del parque automotor y la gran actividad industrial que se genera en San Rafael y Sangolquí, presenta numerosos lugares de concentración de los metales, junto con las observaciones de campo al momento del muestreo, se han identificado cuales serían nuestras zonas principales de contaminación.

El foco de contaminación puede ser puntual (fuente fija) o difuso (provocada por dispersión eólica o hídrica). En la distribución del contaminante se encuentra por tres formas:

- ✓ Generalizada: impacta toda una zona del suelo y posee una contaminación directa
- ✓ Puntual: la cual afecta a una extensión limitada, se origina generalmente en suelos que poseen una escasa capacidad de infiltración.
- ✓ Plumas: genera una contaminación puntual que se caracteriza por ser persistente con el tiempo y su dispersión se puede dar por procesos eólicos o hídricos.

Para identificar los focos de contaminación por metales pesados en el área de estudio, se las clasifico en dos sectores; el parque automotor y la zona industrial y se presenta:

4.3.1. Parque automotor

a) San Rafael

- Puente de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina.

Al ser un sector de gran aglomeración vehicular tanto por los vehículos livianos y pesados al ser el punto de entrada y salida del Valle de los Chillos, genera una contaminación de plomo promedio de 15ppm.

- El Triángulo

Su ubicación al ser un área altamente comercial, permite la distribución de los vehículos a diferentes lugares y el congestionamiento de los mismos. Se presenta una contaminación promedio que oscila entre los 11ppm a los 19ppm

b) Sangolquí

- Centro de la parroquia.

Se encuentra situada el área comercial y administrativa, al no presentar una infraestructura vial que contemple la demanda vehicular, genera grande vehicular, su contaminación en plomo esta entre 10 a 20ppm

- Vía a Pintag.

Lugar que sirve de integración con la región Oriental, de gran influencia vehicular pesada. Su contaminación de plomo es de 15ppm aproximadamente.

- Vías Salida para Rumipamba, Cotogchoa y Cashapamba.

Al ser zonas de crecimiento especialmente en el sector turístico y su conexión con la parte sur de la parroquia, hay una aumento considerable de vehículos livianos, adicionalmente los trabajos realizados en infraestructura vial generan una contaminación que va de los 9ppm a los 17ppm.

- Salida a la Panamericana Sur.

Como área de mayor circulación vehicular especialmente pesada, genera una contaminación de plomo de 11ppm a 15ppm.

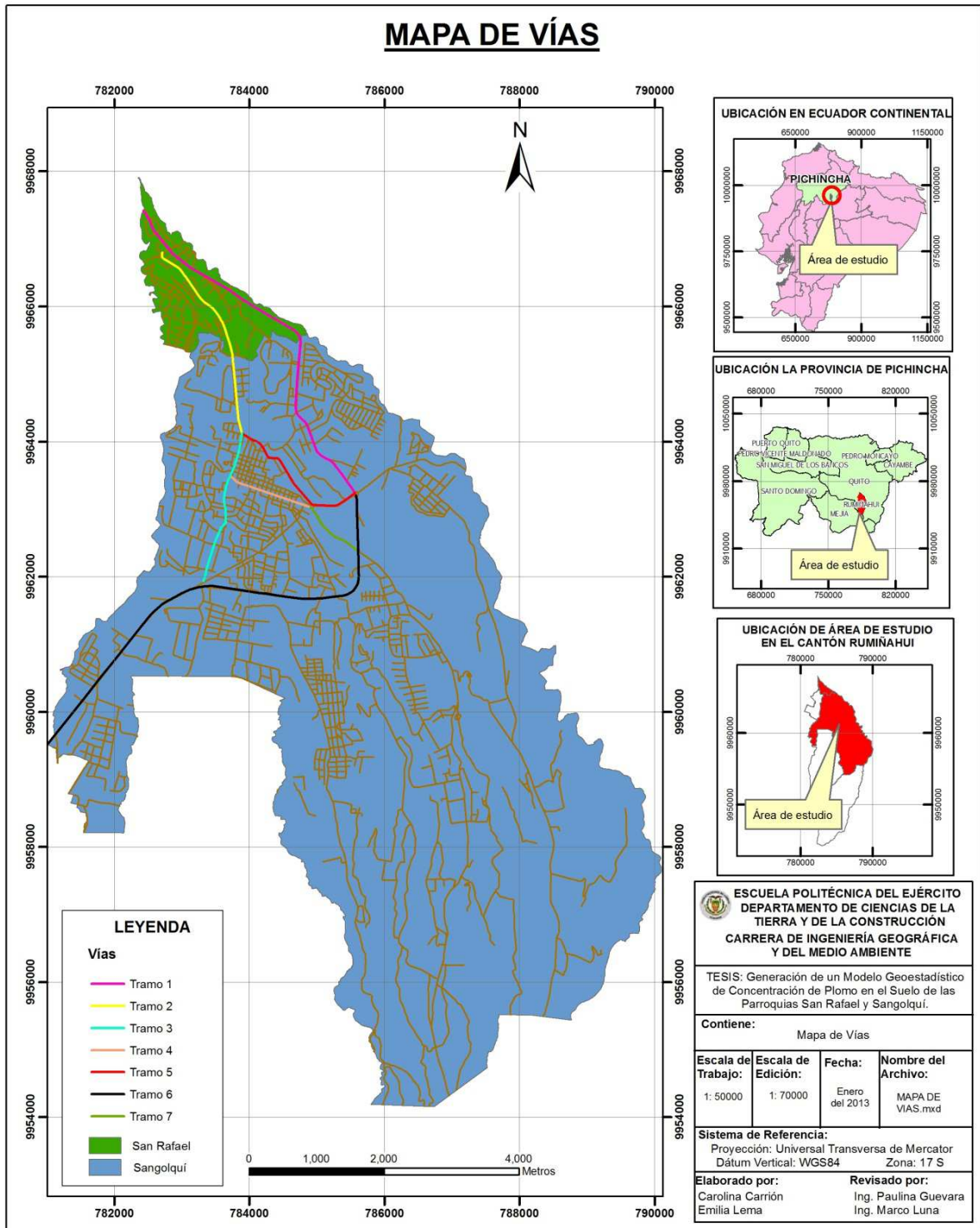
A continuación se indica en la Tabla4.20, un resumen de las vías de la zona de estudio con los respectivos niveles de contaminación, y se presenta la ubicación de las vías en el Mapa 4.4 en la cual se identifican las vías muestreadas y el nivel de contaminación presente. La vía de mayor circulación

como se puede observar es la que cubre la zona central, comercial y administrativa de Sangolquí y presenta una contaminación equivalente a 38ppm, en esta ruta se da un gran flujo vehicular liviano.

Tabla 4.20 Contaminación vial

Fuente: Los Autores

VIAS			
UBICACIÓN	LUGARES	NIVEL DE CONTAMINACIÓN	LÍMITE PERMISIBLE TULAS
TRAMO 1	Autopista General Rumiñahui	13,74	No
TRAMO 2	Triangulo - River Mall	38,77	SI
TRAMO 3	River Mall - Danec	17,52	NO
TRAMO 4	Choclo - Santa María	36,06	SI
TRAMO 5	River Mall - Colibrí	9,00	NO
TRAMO 6	Colibrí - Danec	18,30	NO
TRAMO 7	Choclo - Redondel Selva Alegre	17,28	NO



Mapa 4.4 Ubicación de tramos viales

4.3.2. Sector Industrial

a) Tipo: Textil

TEXTIL SAN PEDRO,
CONFEJSA
TEXTILES DEL VALLE,
CORZISA,
CORPORACIÓN ZIPPER DEL ECUADOR

Casi siempre los botones y las hebillas son de plástico o metales moldeados, como el plomo. Otros ornamentos, como las lentejuelas, perlas, etc., se producen a partir de plásticos y metales, estampados o moldeados. Exposición a las emanaciones de motores diésel debido al transporte. Además, algunos de los procesos especiales que se utilizan en el sector de la confección, como el cauchutado y la producción de adornos con plomo, pueden constituir una grave amenaza de contaminación ambiental.

Este tipo de industria textil genera contaminación que va entre 4ppm a los 13ppm.

b) Tipo: Metalurgia y fundición, Construcción

FUNYMAQ,
FUNDICIÓN DE METALES
SEDEMI,
ACEROSCENTER,
KUBIEC (Productos de Acero),
FILTROS WEB

La materia prima son diferentes tipos de metales y aleaciones, como productos laminados y estirados.

Durante las operaciones de fusión, afino, trituración de mineral puede producirse exposición a una gran variedad de polvos, humos, gases y

otras sustancias químicas peligrosas con particulado de fluoruros, plomo, arsénico, cadmio y muchos otros metales tóxicos.

Los efluentes pueden contener diversos metales tóxicos, ácido sulfúrico y otras impurezas. Los residuos sólidos pueden estar contaminados con arsénico, plomo, sulfuros de hierro, sílice y otros contaminantes.

Las industrias dedicadas a actividades relacionadas con la metalurgia y fundición, genera una contaminación aproximada de 26ppm, a pesar de que existieron zonas que presentaron niveles de contaminación promedio más altos generados en este estudio de 265ppm.

c) Tipo: Grasas, aceites comestibles, detergentes, nutrición de animales, Farmacéutica

DANEC,
FRUDONMAR S.A
DSM (Nutritional Products Ecuador),
PROVEFARMA

En la industria química, en la preparación de detergentes, acondicionadores, farmacéutica y otros, el uso más frecuente de los metales se da en fosforo, bromo, aluminio, plomo, entre otros. Este tipo de industrias las emisiones provocadas por los calderos para la generación de vapor en la mayoría de los procesos utilizan combustible como bunker y diésel constituyendo focos de emisión de gases y material particulado.

En la fabricación de grasas y aceites, los contaminantes más comunes dentro de su producción son los metales, hidrocarburos aromáticos y halógenos, entre otros compuestos.

Este tipo de industrias ocasiona una gran cantidad de contaminación de plomo en suelo, siendo su 45ppm, como el nivel más alto generado.

d) Tipo: Industria del vidrio

CRILAMYT S.A

Las principales emisiones de los procesos de fusión que se utilizan en la industria del vidrio son los metales pesados (p. ej., Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As y Cd). Se utilizan en los fundentes y agentes colorantes principalmente plomo y cadmio. También en las fórmulas de algunos vidrios especiales (por ejemplo, cristal de plomo y algunos cristales de colores).

EL nivel de plomo detectado en este tipo de industrias consta entre 10ppm a los 25ppm.

e) Tipo: Fabricación de artículos de plástico

EMPAQPLAST,

UV PLASTIK.

Los aditivos utilizados incluyen jabones de plomo en PVC y ciertos colorantes orgánicos y de cadmio.

EL nivel de plomo detectado en este tipo de industrias es de 15 ppm.

f) Tipo: Fabrica de vajillas y otros artículos de uso doméstico y de aseo

FRANZ VIEGENER

Alguna de las técnicas utilizadas en la cerámica, genera residuos como polvo de arcillas, barnices, colado y en la cocción en horno, lo que produce partículas y emisiones de metales como el sílice, plomo, cadmio y otros metales tóxicos.

En la técnicas de elaboración de cristal soplado los materiales o procesos se realizan en hornadas, hornos, coloración, grabado por corrosión, chorro de arena, los cuales llegan a contaminar con plomo, sílice, arsénico, el horno puede

producir calor, radiación infrarroja, quemaduras, vapores metálicos y, concentraciones de ácido fluorhídrico, fluoruro amónico (h+) y sílice.

En la técnica del esmaltado al utilizar los esmaltes y dentro de la cocción en horno se puede contaminar con plomo, cadmio, arsénico, cobalto y, producir radiación infrarroja y quemaduras.

El uso de la pintura también genera contaminación por plomo, cadmio, mercurio, cobalto, compuestos de manganeso, etc., por el uso de pigmentos.

EL nivel aproximado de contaminación en plomo es de 11ppm para este tipo de industrias.

g) Tipo: Reciclaje (cartones, papeles, plásticos y metales)

INTERCIA S.A

Al ser una recicladora de papel y cartones, no genera una emisión directa para el caso del reciclaje de chatarra y desechos de metal, que genera metales e hidrocarburos, mientras que el reciclaje de desechos no metálicos genera hidrocarburos. El tema de los plásticos, A pesar de ser un plástico reciclable en su tratamiento involucra sustancias tóxicas, metales pesados, químicos, irritantes y pigmentos, los cuales al final del proceso de producción permanecen en el aire, lo cual es perjudicial para el medio ambiente.

Se identificó 9ppm de contaminación de plomo aproximadamente en este sector.

h) Tipo: Manufactura

CHAIDE & CHAIDE

La fabricación de muebles y otros artículos, son posibles generadores de contaminantes como: Disolventes (Ej. tolueno, xileno, acetona, alcoholbutílico, alcohol etílico), Nafta e Hidrocarburos.

El nivel de contaminación de plomo es de 12ppm, encontrados en este sector.

i) Tipo: Productos de belleza limpieza y cuidado

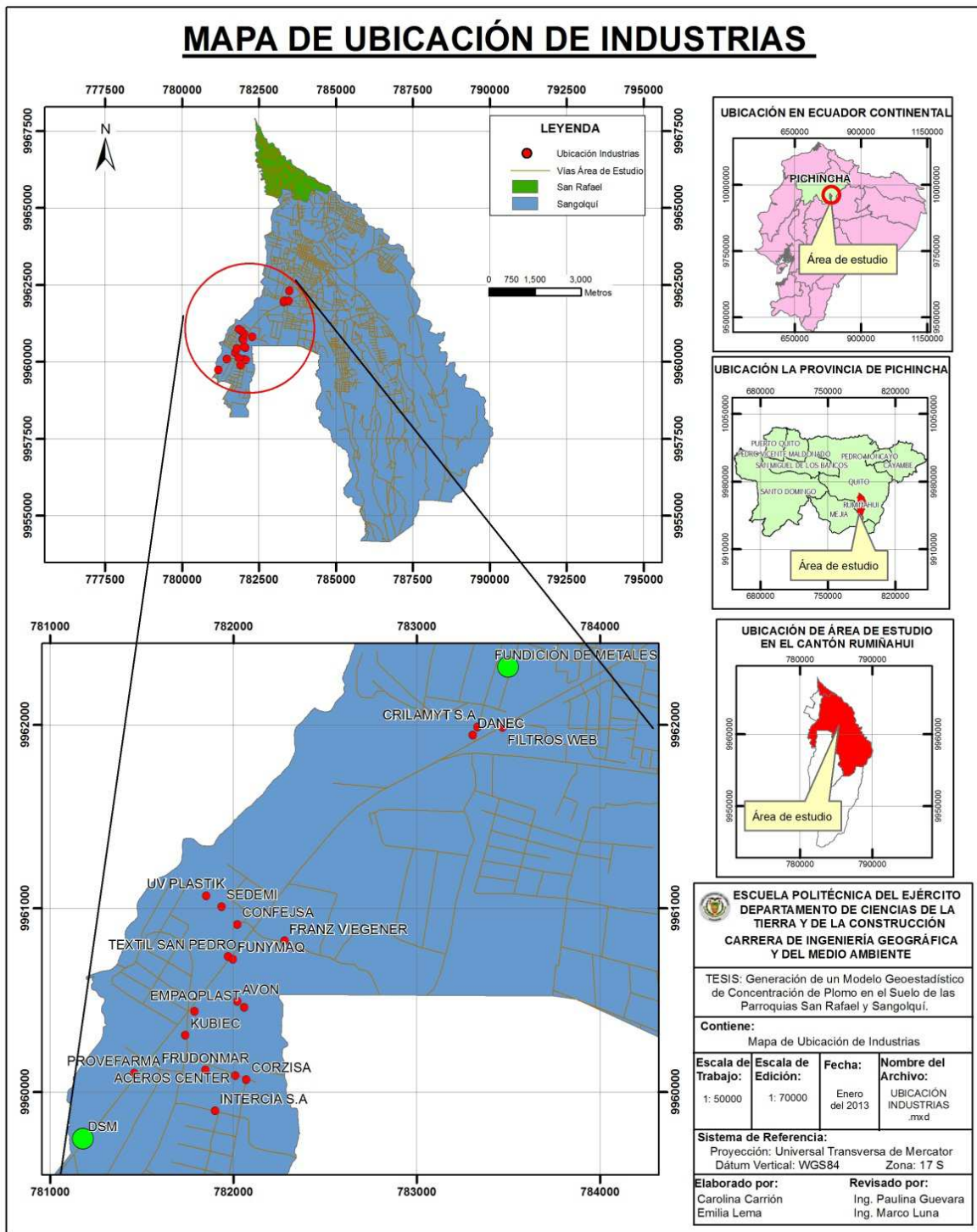
AVON

Dentro de la fabricación de varios productos de belleza como jabones, perfumes, productos de belleza e higiene, genera una contaminación en hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos clorados, metales, sales, bases, ácidos, y aceites.

Alguna de la tinturas hechas en base de alquitrán se mezclan con varios productos derivados del petróleo que son reconocidos como cancerígeno, ya que algunos colorantes pueden contener pocas trazas de metales tóxicos o asociarse con sustrato de aluminio.

En el sector se encontró un nivel de contaminación de plomo de 11ppm.

A continuación se presenta en el Mapa 4.5, las zonas que presentaron un nivel de contaminación elevando, en el sector industrial analizado.



Mapa 4.5 Ubicación Industrial

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La calibración del equipo de absorción atómica Perkin Elmer AA200 es fundamental para obtener resultados confiables en la investigación, con uso de los estándares certificados que garantizan los resultados.
- Al realizar la lectura del estándar característico de cada metal con intervalos de lectura de veinte muestras, se puede verificar que el equipo mantiene su calibración correcta proporcionando resultados confiables con un error de $\pm 20\%$.
- Para la realización del modelo de predicción no fueron considerados algunos valores extremos altos ya que en unos casos al momento de tomar la muestra en el sector industrial no se tuvo accesibilidad y se procedía a recoger las muestras en sitios con contaminación puntual a falta de disponibilidad de espacios para el muestreo
- El exceso de contaminación por plomo se debe a factores como: acumulación de tetraetilo de plomo en años anteriores aproximadamente hasta 1997 en las vías de mayor circulación, aumento del parque automotor en la época actual, incremento de la actividad industrial, localizado específicamente en el área industrial de Sangolquí.

- El modelo de predicción de contaminación para plomo y cromo generados, requirió de 339 puntos, todos distribuidos espacialmente a lo largo de las parroquias de Sangolquí y San Rafael.
- El modelo de predicción de contaminación para zinc generado, requirió de 120 puntos, todos distribuidos espacialmente en gran parte de las parroquias de Sangolquí y San Rafael.
- Para generar el modelo de predicción se utilizaron puntos con una buena distribución espacial la cual abarca en su totalidad las parroquias que Sangolquí y San Rafael, sin embargo no presentaron una correcta continuidad espacial, un requisito puntual para poder realizar predicción con herramientas geoestadísticas. Lo que originó que los errores de predicción en ciertos lugares sean altos.
- De acuerdo a los datos de plomo obtenidos en campo se presenta que el 6,7% de los datos oscilan de 3 ppm a 5,3 ppm, el 22,7% de los datos oscilan de 5,3 ppm a 6,8 ppm, el 18,3% de los datos oscilan de 6,8 ppm a 8,1 ppm, el 32,2% de los datos oscilan de 8,1 ppm a 9,5 ppm, el 12,2% de los datos oscilan de 9,5 ppm a 11 ppm y el 7,7% de los datos oscilan de 11 ppm a 13,8 ppm. El error promedio encontrado en la predicción de los resultados finales genera una aceptación del 41% de los datos conservando el límite de toleración del $\pm 20\%$.
- De acuerdo a los datos de cromo obtenidos en campo se presenta que el 4,3% de los datos oscilan de 2 ppm a 3,2 ppm, el 17,1% de los datos oscilan de 3,2 ppm a 3,9 ppm, el 41,8% de los datos oscilan de 3,9 ppm a 5 ppm y el 36,6% de los datos oscilan de 5 ppm a 6,8 ppm, generando un 53% de aceptación de los resultados de predicción, con una variación entre ± 3 ppm, conservando el límite de tolerancia del 20%
- De acuerdo a los datos de zinc obtenidos en campo se presenta que el 22,1% de los datos oscilan de 14 ppm a 22,8 ppm, el 25,2% de los datos

oscilan de 22,8 ppm a 28,8 ppm, el 17,8% de los datos oscilan de 28,8 ppm a 38,1 ppm, el 13,7% de los datos oscilan de 38,1 ppm a 48,5 ppm, el 13,7% de los datos oscilan de 38,1 ppm a 48,5 ppm, el 12,4% de los datos oscilan de 48,5 ppm a 58,3 ppm y el 8,5% de los datos oscilan de 58,3 ppm a 71,6 ppm. El modelo generó una aceptación del 35% de los datos.

- El proceso de recolección de las muestras de suelo al haber sido realizadas superficialmente presentan una influencia por parte de los factores físicos externos como son las actividades antrópicas y ciclos naturales que son circundantes, generando así alteración en los resultados y sus proyecciones.
- Las zonas que sobrepasan los límites permisibles de plomo mayores a 25ppm expresados en el T.U.L.A.S, Anexo 2, página 22 sobre Criterios de Calidad del Suelo, se encuentra en la zona industrial principalmente alrededor de las Industrias de PROVEFARMA, FILTROS WEB, DANC, AVON, DSM y FUNDICION DE METALES, adicionalmente las vías cercanas a estos lugares y la vía correspondiente a la parte del Choclo hasta el Supermercado Santa María.
- En cuanto al uso de los Criterios de Remediación o Restauración del Suelo, expresado igualmente en el T.U.L.A.S, Anexo 2, página 24, considerando el sector INDUSTRIAL el nivel en plomo permisible es de 150ppm el sector donde está ubicada la fábrica de FUNDICION DE METALES sobrepasa el límite obteniendo un valor promedio de 256ppm.
- Las muestras almacenadas en tubos de ensayo previo a la lectura, tienen a evaporar poco a poco su dilución, provocando que la muestra se concentre más por lo que es

5.2. RECOMENDACIONES

- Modificar la metodología del muestreo, como es aumentar la profundidad de donde se toma la muestra de suelo de manera que esta no se encuentre muy influenciada por los factores físicos externos.
- Se recomienda realizar las lecturas en un período de tiempo corto después de haber sido digestadas.
- Es importante que los investigadores durante el proceso de muestreo y de laboratorio utilicen los respectivos implementos de seguridad necesarios tanto para no contaminar y la preservación de las muestras como para evitar daños futuros a la salud propia.

CAPÍTULO 6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, Lilia, “Capítulo 14: Cromo”, 2004
- Agency for toxic substances and disease registry, “Cromo (chromium)”, División de Toxicología y Medicina Ambiental, 2008.
- Agency for toxic substances and disease registry, “Cinc (Zinc)”, División de Toxicología, 2005
- Arias Llumiquinga, María Cristina, “Desarrollo de Procedimientos para la validación de métodos de análisis de metales en agua por espectrometría de Absorción Atómica”, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador 2008
- Armendáriz-Anguiano, Ana Lilia, Bacardí-Gascón, Montserrat, Jiménez Cruz Arturo, “Evidencias del efecto del cromo en personas con diabetes: revisión sistemática”, Universidad Autónoma de Baja California, México 2007.
- BECO INTERNACIONAL LTDA., “Requisitos de instalación para un espectrofotómetro de absorción atómica”, Bolivia.
- Cárdenas León, Jorge, *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales*, primera edición, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia 2005.
- Chamorro, José, “Propiedades químicas del suelo”, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay 2010.
- Chávez, Carlos, “Contaminación del Suelo”, México 2009.
- Comisión Salud Pública, Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud, “Plomo”, Madrid, 1999.
- Córdova Tafur, Edgar Efrén, “Generación de un modelo de ruido aplicando técnicas geoestadísticas, en el campo de pruebas del grupo especial de operaciones (g.e.o.)”, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador 2011.

- Escuela Politécnica Nacional, “Instructivo para ensayos de mecánica de suelos”, Aportación estudiantes de Ingeniería Civil, cuarta edición, Ecuador 2008 – 2009.
- Galán, Emilio, Romero Antonio, Contaminación de Suelos
- Giraldo Henao, Ramón, *Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gómez Pérez Patricia, “Análisis espacial de datos para clasificar musáceas en zonas bananeras del Ecuador”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador 2009.
- Gómez Espinoza, Juan, Parra, Cárdenas Edgar, “Generación de un modelo de predicción de ruido aplicando técnicas Geoestadísticas en las parroquias de San Rafael y Sangolquí del cantón Rumiñahui”, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador 2012.
- Gonzales, Mariela, “Geoestadística Aplicada a la Clasificación de Suelos para cultivos”, Escuela Politécnica del Litoral, Ecuador 2002.
- Grupo Ambiental Montevideo, “Informe Ambiental Montevideo XX”, Uruguay 2003
- Herbert Robin, Plattus Rebecca, “Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Industrias Textiles y de la Confección”.
- Ilustre Municipio de Distrito Metropolitano de Quito, Resolución N° 003, Dirección Metropolitana De Medioambiente
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, “Censo 2010”, Ecuador 2010
- Ilustre Concejo Municipal de Azogues, “Ordenanza Sustitutiva de Reglamentación de Uso de Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues”, Ecuador 2009.
- John, Wright, “Química medioambiental (Environmental Chemistry)”, 2003.
- Juan-Aracil, Isaura, “Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid”, Universidad Complutense de Madrid, Madrid 2011.
- Juárez Sanz M., Sánchez Andreu J., Sánchez Sánchez, A. *Química del suelo y medio ambiente*, Universidad de Alicante, España 2006.

- Junta de Andalucía, “4. Metodología para declarar un suelo contaminado”, España 2006.
- Korc, Marcelo, “Guías para Plomo de la OMS”, Perú 2001.
- López Franco, Marco Andrés, “Cromo elemento químico”, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá 2011.
- McCANN, Michael, “Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Industrias Manufactureras”
- Daniel, Heredia, Diego, Páez “Monitoreo de las Emisiones de Combustión en Fuentes Fijas de Industrias del Cantón Rumiñahui”, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador 2008
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), “Guía para la descripción de perfiles de suelo”, Italia 2000.
- PerkinElmer Instruments, “AAAnalyst 200 Users Guide”, 2002, disponible en CD.
- Rubio C., González Weller D., Martín-Izquierdo R. E., C., Revert, Rodríguez I. y Hardisson A., “El zinc: oligoelemento esencial”, Universidad de La Laguna, España 2007.
- Rosado Jorge, “Deficiencia de zinc y sus implicaciones funcionales”, Salud Pública México, México 1998.
- SALAS G., CONDORHUMANA C., “Huella de Carbono de la Industria Textil”.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. T.U.L.A.S 1998
- “Química Analítica Aplicada, Tema 2.- Toma de muestras”, Universidad de Castilla – LA MANCHA, España 2003
- “Nociones básicas de estadística utilizadas en educación”, Universidad de Chile, Chile, 2008.
- “Análisis de Suelo y Agua”, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina 2009.
- “Metales Pesados”, Universidad de Sevilla, España 2004.
- United States Environmental Protection Agency, E.P.A (1971). Pb-Based Paint Laboratory Operations Guidelines: Analysis of Pb in Paint, Dust, and Soil.
- Alloway, B. J., Heavy Metals in soils, Blackie Academic & Professional. Londres, Capítulo VIII Estudio de la movilización de metales pesados, http://books.google.es/books?id=CX1GwLBhkC4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false, 1995

- García, Inés, DORRONSORO Carlos, Tema 15. Contaminación por metales pesados, <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm#anchor1054486>
- Martin, C.W. 2000. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. valoración de la calidad de un suelo en función del contenido y disponibilidad de metales pesados, http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/micromorfologia/Cursos/Departamento%20de%20Edafolog%C3%ADa%20y%20Qu%C3%ADmica%20Agr%C3%ADcola%20-%20Universidad%20de%20Granada.%20Espa%C3%B1a/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Edafolog%C3%ADa_Clasificaci%C3%B3n%20y%20Cartograf%C3%ADa%20de%20Suelos/Revista/Tomo7tris/Art113t73texto.html, 2000.