

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

CAROLINA CARRIÓN CORTEZ, EMILIA LEMA CRUZ
PAULINA GUEVARA GARCÍA, MARCO LUNA LUDEÑA

CARRERA DE INGENIERIA GEOGRAFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCION, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, Av. El Progreso, S/N. Sangolquí-Ecuador.

carolina55ec@hotmail.com, angelnube_eclc@hotmail.com, pvguevara@espe.edu.ec ; mpluna@espe.edu.ec

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, a fin de establecer 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.S.M.A); de ésta forma se podrá determinar si existe contaminación por plomo.

Se realizó un muestreo aleatorio basado en tres criterios. En total se colectaron 376 muestras de suelo las cuales fueron procesadas en laboratorio siguiendo la metodología del Standar Methods 3030 (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.

Concluido los análisis y la modelación espacial se obtuvieron los errores de predicción dando como resultado el error medio cuadrático de 3,687; error medio estandarizado de 3,649 y el error medio cuadrático estandarizado de 1,018; mientras el error medio estandarizado sea similar al error medio cuadrático el modelo indica una buena predicción. Existieron casos especiales donde se encontraron concentraciones muy elevadas con respecto a la normativa las cuales no se usaron por tratarse de contaminación puntual y alteraba el ajuste del modelo de concentraciones de plomo.

Adicionalmente, 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.

Palabras Claves: contaminación, predicción, geoestadística, plomo, muestras, suelo

ABSTRACT

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, to establish if they are within the maximum permissible levels by land use (Table No.2 and 3 from VI Book of Annex 2, T.U.L.S.M.A 2), and determining the presence of contamination in the study area.

Random sampling was performed based on three criteria. A total of 376 soil samples collected were processed in the laboratory following the methodology of Standard Methods 3030 (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.

After the analysis and spatial modeling finished, the study showed prediction errors resulting in the mean square error of 3.687, standarized mean error of 3.649 and the standarized mean square error of 1.018; when the standarized mean error is similar to the mean square error shows a good prediction model. 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.

Additionally, 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.

Keywords: contamination, prediction, lead, samples, soil

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema trifásico con una fase sólida, líquida y gaseosa, que establecen el soporte mecánico y el sustento de las plantas. Los factores de formación de los suelos que influyen sobre la roca madre y cambia sus características son: el material original, el clima, los organismos del suelo, el relieve y el tiempo de influencia sobre la formación del suelo.

1.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Se define al suelo contaminado como “Aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una ó 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)

1.1.1. PLOMO:

El plomo es un metal pesado que se encuentra abundante y naturalmente en la corteza terrestre. Es utilizado tanto en forma sólida como líquida, y al ser empleados dentro de los diferentes procesos de producción generan polvo, humos o vapores. Algunas actividades de alto riesgo son la metalurgia del plomo, industrias de la construcción, fabricación de acumuladores eléctricos, industrias del plástico y fabricación de pinturas. Las vías de penetración del plomo al cuerpo humano son respiratoria (inhalación de vapores, humos y partículas del polvo) y oral (manos, alimentos, bebidas o cigarrillos contaminados.)

1.1.2. CROMO

Principalmente utilizado en tres tipos de industrias que son la metalurgia, química y de materiales refractarios. Las actividades de mayor riesgo de exposición al cromo son en la fabricación de baterías, pinturas, velas, hule y cemento. El organismo puede asimilar el cromo de diferentes maneras como inhalación, ingestión y en menor medida por absorción mediante la piel. El Cromo III es un nutriente esencial en el metabolismo de azúcares y grasas del cuerpo humano mientras que el Cromo VI resulta más perjudicial siendo sus afecciones más específicas en el cuerpo humano.

1.1.3. ZINC

Se presenta en las rocas, suelos, aire, agua, plantas, animales y seres humanos. En dosis adecuadas de ingesta es fundamental para cumplir con ciclos vitales como la digestión, reproducción entre otros procesos naturales. Los productos de origen marino son los alimentos más ricos en zinc, seguidos por las carnes rojas, derivados lácteos y huevos, y los cereales integrales. El déficit de zinc en el organismo de un individuo puede causar ciertas enfermedades como lesiones cutáneas, diarreas, pérdidas de cabello, conjuntivitis, fotofobia, opacidad corneal, irritabilidad, temblores y ataxia ocasiona. A su vez, puede desarrollarse una toxicidad aguda en el cuerpo humano debido a inhalación de humos y polvos de compuestos de zinc en diferentes procesos industriales. Es usado en diferentes fines como: industriales, farmacéuticos, terapéuticos, agricultura y galvanizado del hierro y acero.

1.2. NORMATIVA

Los resultados obtenidos de Pb, Cr y Zn, son analizados en conjunto con la normativa que se utiliza en el Ecuador, La Norma Técnica de calidad ambiental del recurso suelo, se acoge lo dispuesto en el Texto Unificado de Legislación del Ministerio del Ambiente (T.U.L.S.M.A), Libro VI. Norma de Calidad Ambiental, Anexo 2. Norma de Calidad del Recurso Suelo, numeral 4.2.1. A continuación en las Tablas 1 y 2 se indican las normas establecidas a las cuales se referirá el presente estudio.

Tabla 1 Criterios de Calidad de Suelo

Sustancia	Unidades(Concentración en Peso Seco)	Suelo
Parámetros Inorgánicos		
Cromo Total	mg/kg	20
Plomo	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60

Fuente: T.U.L.S.M.A

Tabla 2 Criterios de Remediación o Restauración (Valores Máximos Permitidos)

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco)	USO DEL SUELO			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Parámetros Inorgánicos					
Cromo Total	mg/kg	65	65	90	90
Plomo	mg/kg	100	100	150	150
Zinc	mg/kg	200	200	380	380

Fuente: T.U.L.S.M.A

1.3. GEOESTADÍSTICA

Es una técnica que combina la estadística y la geografía y que conjuntamente con el uso de técnicas informáticas buscan alcanzar su principal objetivo que es el de realizar análisis en base a estimaciones, predicciones de variables y simulaciones de su comportamiento en el espacio. 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.

1.3.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Realizadas las observaciones se procede al análisis en base a gráficos (histogramas y diagramas de caja) y medidas estadísticas descriptivas (de tendencia central y de dispersión) donde se identifican valores atípicos de las observaciones, relaciones entre las variables y la tendencia.

1.3.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DATOS

Es la fase donde se determina la correlación o dependencia espacial, y la estructura del conjunto de datos medidos de una variable regionalizada. Para este fin se acude a la herramienta conocida como semivariograma la cual representa de manera gráfica todas las varianzas en función de las distancias entre las muestras. Los parámetros del semivariograma son el efecto pepita, la meseta y el rango. Posterior al cálculo del semivariograma experimental se escoge el modelo que más se ajuste a la función calculada; el modelo puede ser de tipo esférico, exponencial, gaussiano o potencia. Estos determinarán el modelo teórico al que tendrá que ser ajustado el semivariograma y sus respectivos parámetros.

1.3.3. PREDICCIÓN ESPACIAL

Corresponde a la operación de calcular el valor de la variable en cualquier otro punto que no haya sido medido, para lo cual se requiere encontrar la distribución conjunta de las variables aleatorias y el predictor que más se ajuste. El Kriging es el interpolador geoestadístico más utilizado ya que su principal objetivo es el de disminuir el error cuadrático medio de predicción, permitiendo al analista contar con un modelo fiable.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. EQUIPO.

Se utilizó el Equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer Analyst AA200, la tolerancia permitida del equipo es de una absorbancia de 0.2 +/- 20% en la solución de chequeo, con sistema de detección de llama con una combinación entre oxígeno y acetileno. Las condiciones de trabajo establecidas se detallan en la siguiente tabla según el metal que se estudió.

Tabla 3 Condiciones del equipo de Absorción Atómica para la determinación de Plomo, Cromo y Zinc

	PLOMO	CROMO	ZINC
Longitud de onda:	283.31 nm	357.87 nm	213.86 nm
Flujo de Oxidante:	10 L/min	8 L/min	10 L/min
Flujo de Acetileno:	2.5 L/min	4 L/min	2.5 L/min
Flama directa:	Aire - Acetileno	Aire - Acetileno	Aire - Acetileno

2.2. REACTIVOS, ESTÁNDAR Y FORTIFICADOS.

El reactivo utilizado fue Ácido Nítrico Emsure al 65% 1.39 g/cm³; entre los estándares está Pb al 2% HNO₃ 1000 ug/mL, Cr al 2% HNO₃ 1000 ug/mL y Zn al 2% HNO₃ 1000 ug/mL, valores que se encuentran declarados en el certificado de análisis del estándar de acuerdo a la tabla a continuación.

Tabla 4 Características de Estándar certificado.

Estándar	Casa Comercial	Unidades	Valores Certificados
Lead	Perkin Elmer	µg/mL	1000 ± 5.0
Chromium	Perkin Elmer	µg/mL	1000 ± 3.0
Zinc	Perkin Elmer	µg/mL	1000 ± 3.0

De los estándares certificados de 1000ppm de Lead (Pb), 1000ppm de Chromium (Cr) y 1000ppm de Zinc (Zn), se prepara el estándar de 100ppm de Pb, 100ppm de Cr y 50ppm de Zn respectivamente, de este se prepararon 5 estándares para elaborar la curva de calibración del equipo de absorción atómica.

A partir del estándar certificado de 1000ppm de Lead Pb, se toma un volumen de 10ml. se colocó en un balón de 100ml. aforando con HNO₃ al 10% de concentración, el mismo procedimiento se realizó para Cr, obteniendo estándares de 100ppm para Pb y Cr. Para Zn solo se ocupó 5ml del estándar de 1000ppm de Zinc para preparar el estándar de 50ppm. De las nuevas concentraciones de 100ppm Pb, 100ppm Cr y 50ppm Zn, se toman los valores mostrados en las tablas 5, 6 y 7, se aforo con solución los cuales sirven para realizar la calibración del equipo de absorción atómica.

Tabla 5 Estándares de Pb

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

Tabla 6 Estándares de Cr

Cr		
Estándar (ppm)	Volumen de Cr 100ppm (ml)	Volumen de aforo (ml)
0,1	0,05	50
1	0,5	
2	1	
4	2	
5	2,5	
10	5	

Tabla 7 Estándares de Zn

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

2.3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Para esta fase de la metodología se toma como referencia los métodos estándar 3030 (digestión de metales).

2.3.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

La toma de muestras se basó en tres criterios: en las vías de mayor tránsito vehicular cada 500 metros, en el sector industrial se tomó 5 muestras alrededor de cada industria y en muestras determinados mediante una cuadrícula de 500 por 500 metros

Con el GPS navegador se identifican los puntos de muestreo propuestos. Las muestras fueron obtenidas en suelo superficial hasta 10cm. de profundidad y se tomó una cantidad mínima de 10gr de suelo para finalmente almacenarlas en cajas de papel.



Foto 1 Recolección de las muestras

2.3.2. PRE TRATAMIENTO

Se colocó cada muestra de suelo en la estufa a 40°C por 24 h, posteriormente se tomó exactamente 2gr. y se somete al proceso de extracción del metal.

2.3.3. PROCESO DE EXTRACCIÓN

La digestión se realizó con 10 ml de ácido nítrico al 10%, se la colocó en una plancha de calentamiento hasta que se seque la muestra y se agrega otros 10ml de ácido nítrico. Finalmente se filtra y se afora a 10 ml.



Foto 2 Proceso de digestión de la muestra

2.3.4. PROCESO DE ALMACENAMIENTO

El extracto se almacena en tubos de ensayos a la obscuridad y en condiciones normales para su posterior lectura.

2.3.5. CUANTIFICACIÓN

Para realizar las lecturas de concentración para cada metal se toma como referencia el método estándar 3111 (flama directa de aire-acetileno). La concentración de Pb, Cr y Zn en el suelo, es cuantificado mediante el Equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer Analyst AA200 con 10 ml de cada muestra de suelo.



Foto 3 Equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 200.



Foto 4 Muestras de suelo diluidas

2.4. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Para realizar la validación del método, se trabajó con muestras fortificadas de Pb, es decir por cada grupo de muestras de suelo procesadas se incrementan tres blancos que siguen el mismo procedimiento de extracción del metal. El primer blanco consiste en procesar una muestra de suelo de la ESPE, el segundo blanco es similar al anterior pero se adiciona 0,8ml de plomo a una concentración de 100 ppm, y el tercer blanco consiste en formar una muestra en base a 0,8ml de plomo a una concentración de 100 ppm sin muestra de suelo.

De esta forma se verifica que el proceso de digestión y de lectura del metal no se esté alterando y que tanto para la lectura de los estándares de calibración como de las muestras fortificadas estén dentro del rango de incertidumbre del $\pm 20\%$.

2.4.1. LINEALIDAD, FUNCIÓN RESPUESTA.

Como se muestra en la siguiente tabla 8 se trabajó con 5 estándares para Pb, en la tabla 9 con 6 estándares para Cr y la tabla 10 con 4 estándares para Zn, los cuales son utilizados para elaborar las curvas de calibración para cada metal.

La curva de calibración de los estándares son obtenidos mediante una regresión lineal, se analiza en el eje Y la medida de absorbancia que proporciona el equipo y, en el eje X la concentración de los estándares en ppm. como se muestra a continuación para cada elemento.

Tabla 8 Datos de calibración para Pb

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

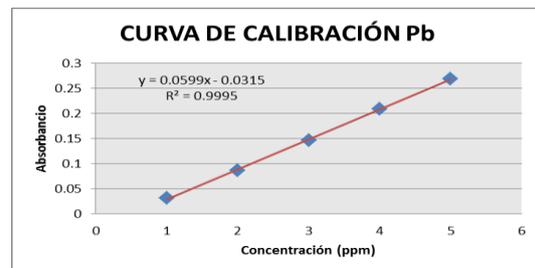


Gráfico 1 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Pb

Tabla 9 Datos de calibración para Cr

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

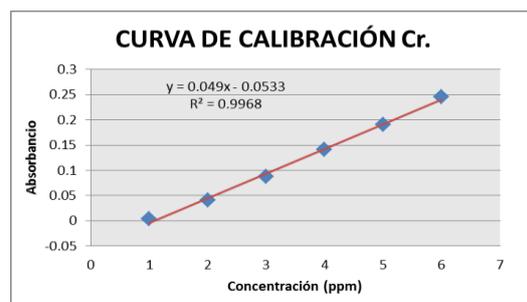


Gráfico 3 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Cr

Tabla 10 Datos de calibración para Zn
CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

ESTÁNDAR	ABSORBANCIA
0.1ppm	0.036
0.25ppm	0.099
0.5ppm	0.190
1 ppm	0.273

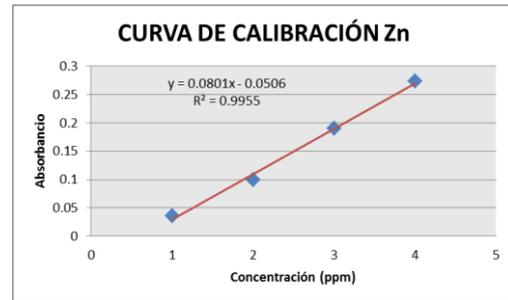


Gráfico 4 Representación de datos obtenidos del Equipo de absorción atómica en Zn

Se obtiene un coeficiente de correlación (R^2) mayor igual a 0.995, siendo aceptable para este análisis e indicando una buena calibración del equipo. Los datos obtenidos en el equipo de Absorción Atómica fueron multiplicados por factor de conversión entre el peso de suelo de la muestra con el volumen obtenido después del proceso de digestión como se muestra a continuación:

$$[X] = \frac{[Co] * Vc}{P_T} \quad \text{Ec. 1}$$

X= Concentración esperada (mg/Kg)

[Co] = Concentración inicial del metal (mg/l)

V_c = Volumen total del metal (ml)

P_T = Peso de la muestra (gr)

2.5. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

2.5.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO

El uso de los programas de Microsoft Excel y OpenGeoDa, permite identificar los datos atípicos, frecuencia, variabilidad y la forma de los datos como indica la Tabla 11. De esta forma se rectifica algún comportamiento inadecuado para generar el modelo para Pb, Cr y Zn. Este análisis se apoya en gráficos exploratorios como diagramas de caja e histogramas (Gráfico 5).

Tabla 11 Estadísticos descriptivos

Metal	Pb	Cr	Zn
Media	8,68	4,99	39.21
Mediana	8,19	4,90	30.39
Desviación estándar	3,99	1,73	29.25
Varianza de la muestra	15,88	2,99	855.44
Coefficiente de Variación	45,93%	34,68 %	74.60
Mínimo	0,50	1,51	1.53
Máximo	20,50	9,76	98.65
Número de muestras	338	339	93

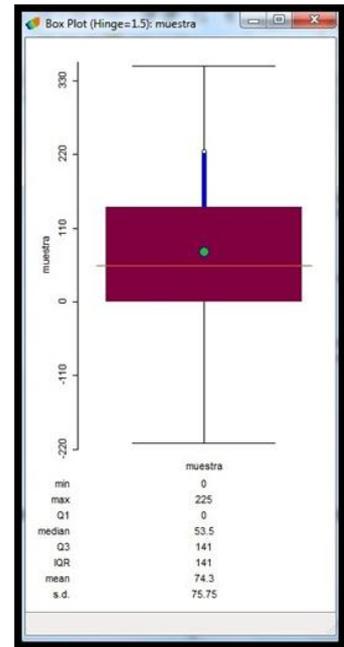
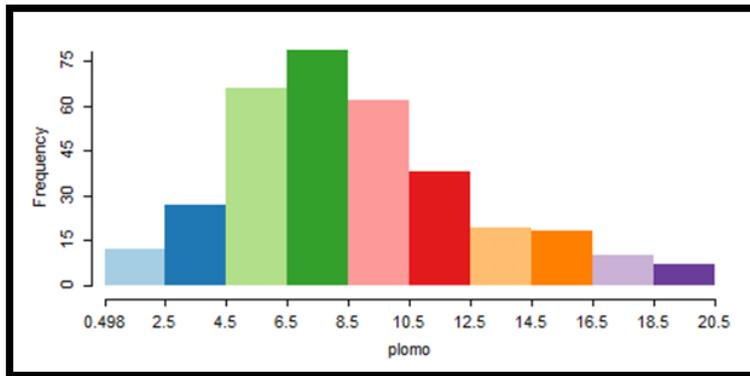


Gráfico 5 Histograma y diagrama de caja, de datos de concentraciones de plomo

2.5.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Se utilizó el software geoestadístico Variowin 2.2.1., utilizando los diferentes módulos como es el caso del Prevar 2D: para ingresar los datos y convertirlos de *.dat a un *.pcf, Vario 2D with PCF: el cálculo de Directional Variogram, Variogram Cloud and el semivariograma omnidireccional, y el último módulo Model: donde se definió el tipo de modelo teórico acorde al semivariograma de los metales el cual genere una buena predicción espacial, los datos utilizados de detallan en las siguiente tabla:

Tabla 12 Parámetros del semivariograma teórico

Metal	Pb	Cr	Zn
Modelo Teórico	Esférico	Exponencial	Gausiano
IGF	0,00345	0,0089102	0,037666
Nugget	10,08	2,39	702.695
Range	1386	6500	8800
Sill	5,44	0,53	302.713

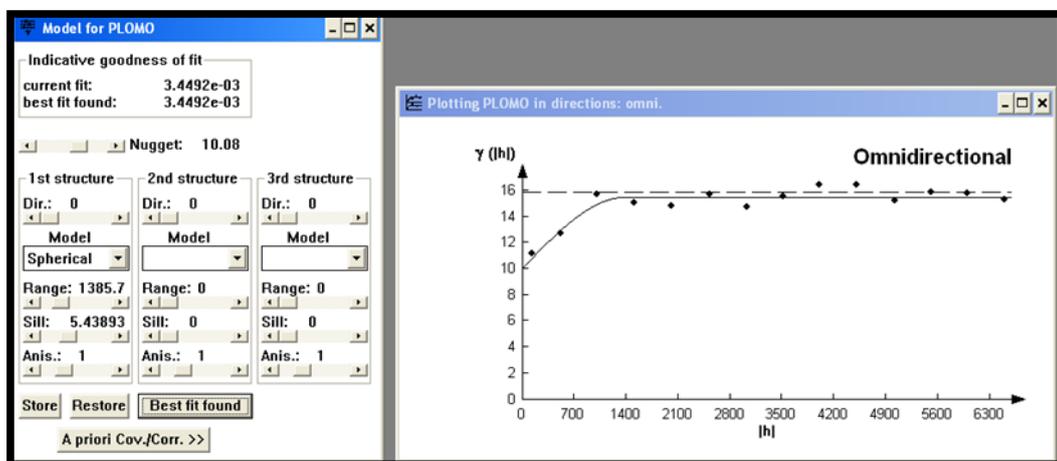


Gráfico 5 Modelo teórico esférico de datos de concentraciones de plomo

2.5.3. PREDICCIÓN ESPACIAL.

El software ArcGis 9.3 ayudó a generar los modelos de predicción para los tres metales con la extensión de Geostatistical Analysis, con el método de Kriging y utilizando los datos obtenidos en la Tabla 11, finalizando se obtiene los errores de predicción y la capa raster a la cual se la puede reclasificar para obtener el mapa final de concentraciones.

3. RESULTADOS

3.1. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

En la Tabla 13 a continuación se presentan los resultados de la validación del método de análisis de Pb con las muestras fortificadas.

Tabla 13 Valores de concentración en las muestras fortificadas

PLOMO				
MUESTRA				
	* cont. con Pb [ml.]	Concentración esperada [ppm]	Concentración obtenida [ppm]	%Recuperación
Blanco 2 (suelo fortificado)	0.8	8	6.979	87.23%
Blanco 3 (ácido fortificado)	0.8	8	7.575	94.69%

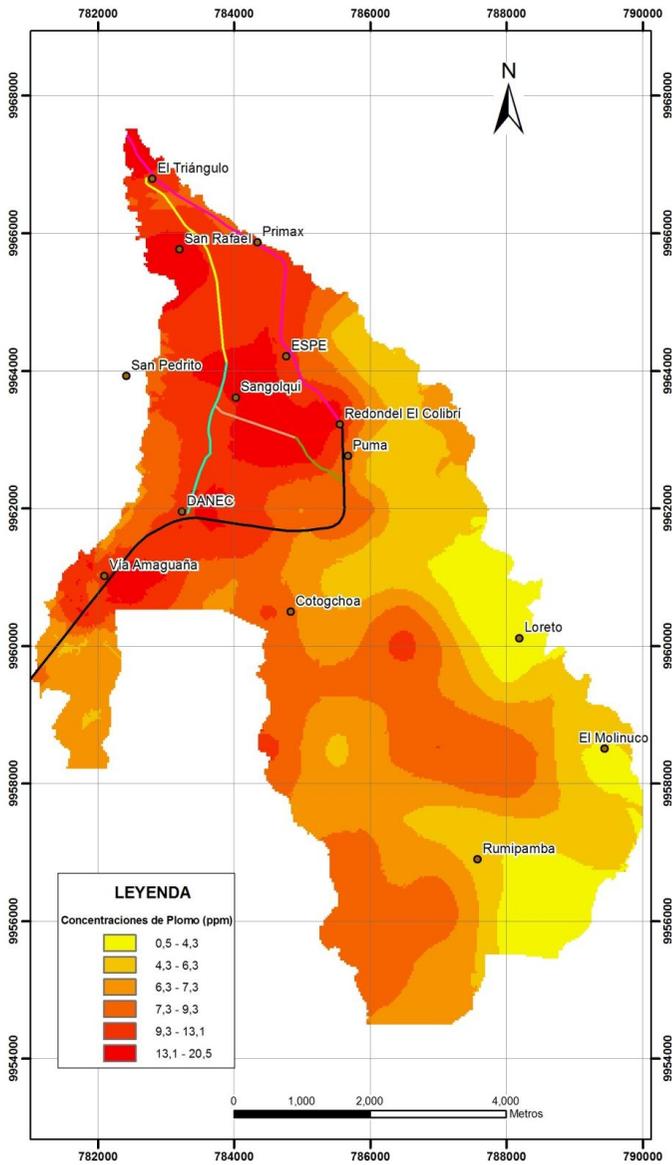
* La contaminación con Pb, es del volumen del estándar de 100 ppm de Pb adicionada a la muestra [ml]

3.2. CARACTERIZACIÓN DE SUELO

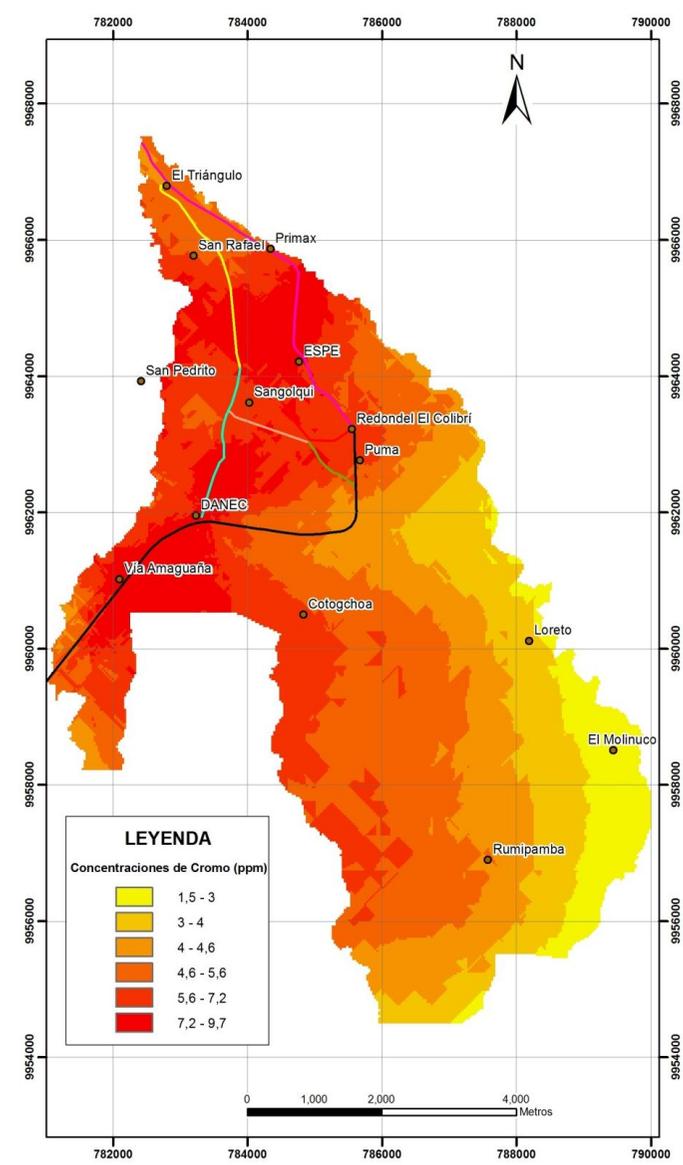
San Rafael y Sangolquí presentan unos suelos con características físicas, químicas y biológicas equitativos a pesar de que su desarrollo no ha sido homogéneo, sin embargo la gran influencia y la creciente actividad industrial que se ha venido desarrollando en los últimos años caracteriza al Valle de los Chillos como una zona cálida de temperatura aproximada de 19°C, es 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 mg/L, nitratos 3.68 mg/L y fosfatos 2686 µg/L

3.3. CONCENTRACIONES DE PLOMO (Pb), CROMO (Cr) Y ZINC (Zn)

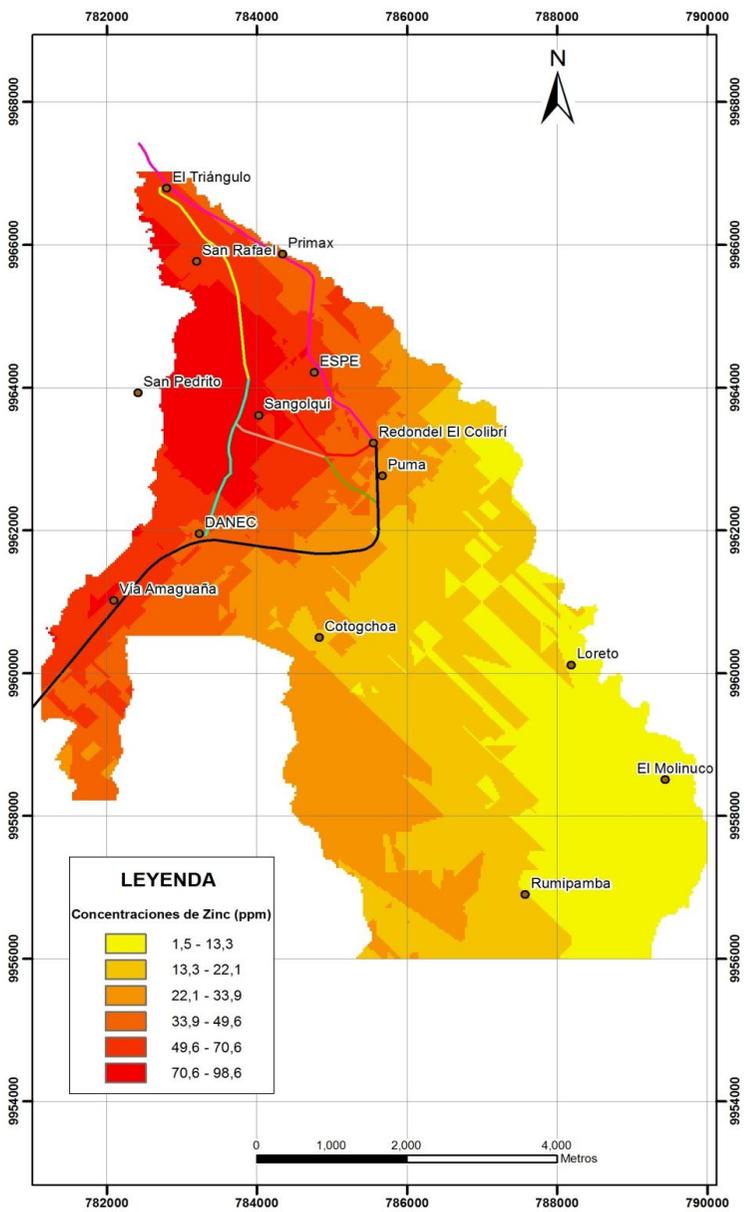
A continuación se presentan los mapas de concentraciones de Pb (Mapa 1), Cr (Mapa 2) y Zn (Mapa 3) obtenidos donde claramente indican lo que está sucediendo en la zona de estudio. Los colores oscuros se asocian a los lugares de mayores concentraciones de estos metales y coinciden con los sitios más poblados los cuales están ligados a actividades antrópicas varias y a mayor afluencia vehicular. Lo contrario sucede en las zonas de colores claros que se refieren a concentraciones menores y se relacionan a áreas más alejadas que no han sido explotadas en su totalidad por actividad humana y que por ende no han sido afectadas por la presencia de metales pesados.



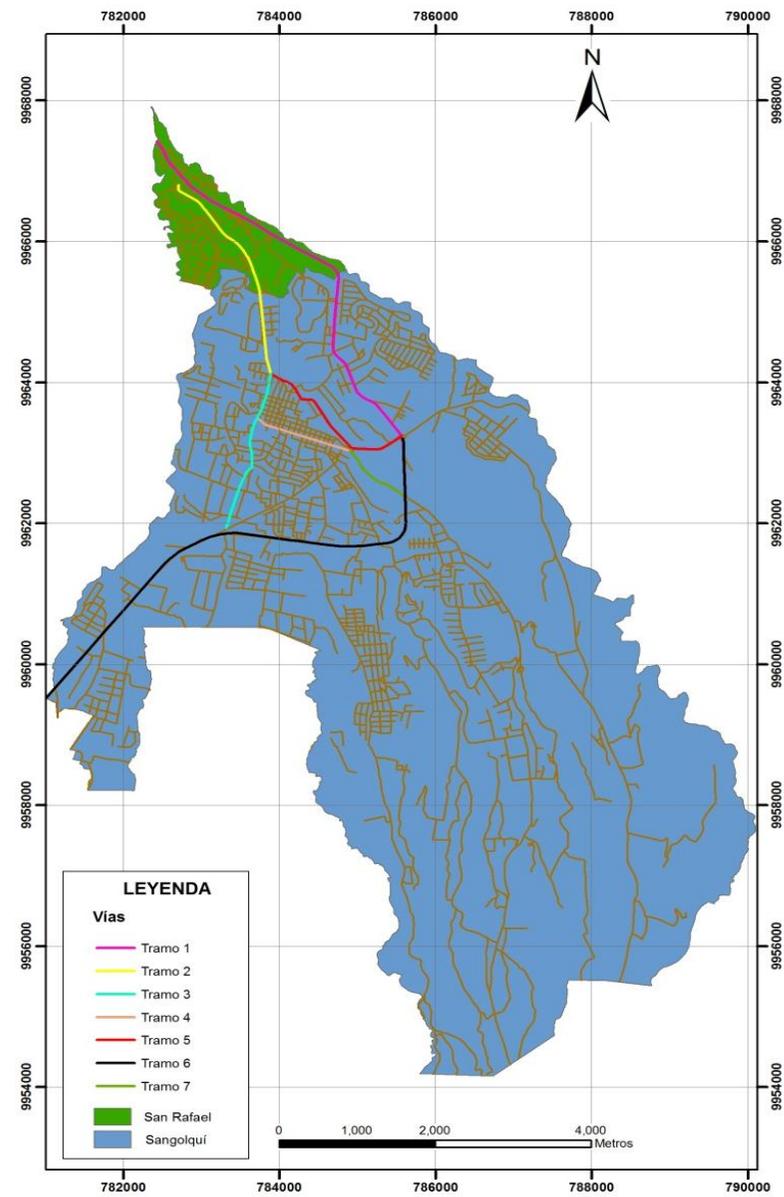
Mapa 1 Concentración de Plomo en las parroquias San Rafael y Sangolquí



Mapa 2 Concentración de Cromo en las parroquias San Rafael y Sangolquí



Mapa 3 Concentración de Zinc en las parroquias San Rafael y Sangolquí



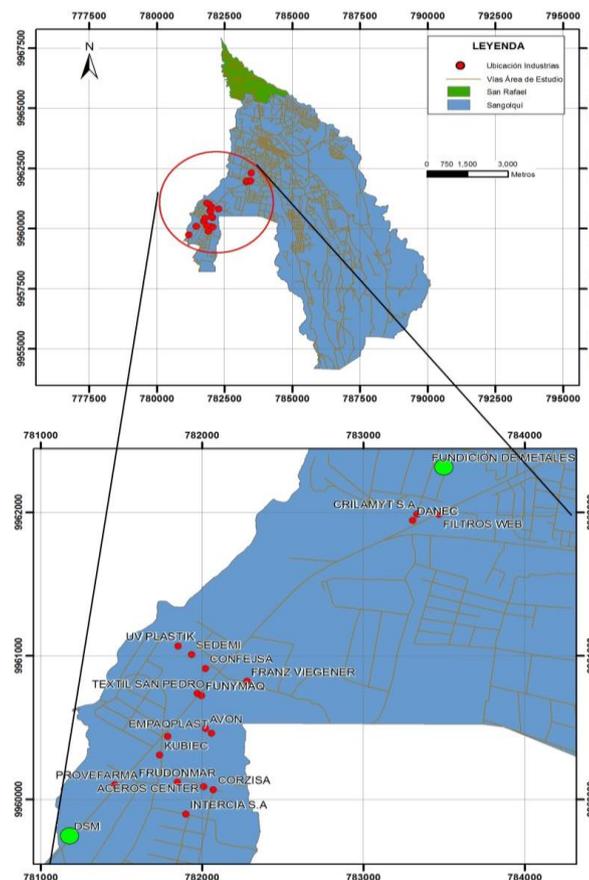
Mapa 4 Fuentes de contaminación por plomo en vías

Como focos de contaminación en el área de estudio se tomaron para su análisis el parque automotor y el sector industrial.

Para el primer caso se presenta el Mapa 4 el cual indica los tramos de vías analizadas relacionando las concentraciones de plomo identificadas en función al límite permisible (Tabla 2) según la norma T.U.L.S.M.A, Libro VI. Norma de Calidad Ambiental, Anexo 2. Norma de Calidad del Recurso Suelo. El tramo 2, comprendido por la vía que va desde el Triángulo hasta el River Mall presenta una contaminación de 38,77ppm. y el tramo 4 de la vía entre en Choclo hasta el Santa María tiene una contaminación de 36,06ppm.. Estos dos tramos superan el límite permisible de 25ppm. Las demás vías de tránsito presentan una contaminación promedio de 16ppm dando un nivel de aceptación considerable.

Para el segundo caso se presenta el Mapa 5 el cual indica el conjunto de industrias tomadas para el análisis y su respectiva comparación con el límite permisible establecido por el T.U.L.S.M.A, Libro VI. Norma de Calidad Ambiental, Anexo 2. Norma de Calidad del Recurso Suelo y también con respecto a los Criterios de Remediación o Restauración del Suelo.

Existen dos áreas industriales que presentan concentraciones de plomo fuera del límite de tolerancia las cuales están resaltadas de color verde. El área comprendida por la industria DSM dedicada a la industria de los alimentos no cumple con la Norma de Calidad de Suelo mientras que para la Norma para Criterios de Remediación o Restauración del Suelo si lo hace. La segunda área industria que presenta concentraciones fuera del rango de tolerancia se encuentra en los alrededores de la fábrica Fundición de Metales, dedicada a la industria de la metalurgia la cual no cumple con ninguna de las normas mencionadas anteriormente.



Mapa 5 Fuentes de contaminación por plomo en el parque industrial

4. CONCLUSIONES

- 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 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.S.M.A., Anexo 2 sobre Criterios de Calidad del Suelo, se encuentra en la zona industrial principalmente compuesto por las industrias de PROVEFARMA, FILTROS WEB, DANEC, AVON, DSM y FUNDICIÓN 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.S.M.A., Anexo 2 considerando el sector INDUSTRIAL el nivel en plomo permisible es de 150ppm el espacio que ocupa la fábrica de FUNDICION DE METALES sobrepasa el límite obteniendo un valor promedio de 256ppm.

5. BIBLIOGRAFÍA / WEBGRAFÍA

1. T.U.L.S.M.A., “Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para SUELOS CONTAMINADOS”.
2. Juárez Sanz M., Sánchez Andreu J., Sánchez Sánchez, A., 2006 *Química del Suelo y Medio Ambiente*, Universidad de Alicante, España
3. Giraldo Henao R., *Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
4. AAnalyst 200 Users Guide, PerkinElmer Instruments LLC, 2002, disponible en CD.
5. “Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20va edición, editora APHA AWWA WEF, 1998