

# **INFORME FINAL**

## **“ESTUDIO DEL PERFIL ELEMENTAL DE PLOMO Y MERCURIO EN SUELO, EN SANGRE DE NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS Y EN EMBARAZADAS, EN VETAGRANDE DE ZACATECAS”**

**Presentado por el C. a Dr. Eduardo Manzanares Acuña  
Dr. Héctor René Vega Carrillo  
C. a Dr. Miguel Angel Salas Luévano  
MC Consuelo Letechipía de León  
MC Laura J. Guzmán Enríquez  
MC Adalberto Martínez Reyna  
MC Victor Martín Hernández Dávila**

**Cuerpo Académico de Radiobiología  
Unidad Académica de Estudios Nucleares  
Universidad Autónoma de Zacatecas  
Ciprés 10, Fracc. La Peñuela  
Zacatecas, Zac. 98068  
(492) 9 22 70 43**

**Presentado al**

**Instituto Nacional de Ecología  
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales**

	<b>Página</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Sitio experimental.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Muestreo.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Obtención de las muestras sanguíneas.....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Procedimiento para la determinación de plomo en sangre.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Recolección de las muestras de suelo.....</b>	<b>13</b>
<b>2.6 Procedimiento para la determinación de plomo en suelo.....</b>	<b>13</b>
<b>2.7 Análisis de las muestras.....</b>	<b>14</b>
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
<b>IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>26</b>
<b>V. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>27</b>
<b>VI. Anexo I.....</b>	<b>31</b>

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1      Concentración promedio de los niveles de plomo en sangre para niños y niñas con edad $\leq$ a 12 años, n = 33.....	15
2      Concentración promedio de los niveles de plomo en sangre en mujeres embarazadas y lactando, n = 13.....	16
3      Distribución de las concentraciones promedio de plomo en sangre de niños y niñas de acuerdo a su permanencia y al género	17
4      Promedios de la concentración de plomo en sangre por género para los infantes con concentraciones mayores a 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ .....	18
5      Valores de plomo en suelo y sangre y prueba de ajuste de $\chi^2$ para concentración de plomo en sangre.....	31
6      Concentración promedio de plomo en suelo en las 6 zonas en que se dividió la cabecera municipal de Vetagrande.....	32

## **Indice de Figuras**

1 Concentraciones de plomo en suelo de los sitios analizados en Vetagrande (n = 21).....	18
2 Correlación entre las concentraciones de plomo en sangre de los individuos con concentraciones mayores a 10 µg/dL y la concentración de plomo en suelo en sus casas.....	19

## RESUMEN

En esta investigación se midió la concentración de plomo en la sangre de niños y embarazadas que viven en Vetagrande, Zacatecas; además se determinó la concentración de plomo en el suelo (patio) de sus casas. La contaminación se manifiesta por la concentración de plomo en la sangre encontrada en la población de niños y mujeres embarazadas analizadas. El plomo es un elemento no esencial para los seres y sus efectos tóxicos dependen de la vía de ingestión al organismo, su duración y el estado de nutrición de las personas. Cuando el plomo se incorpora al organismo, preferentemente se deposita en el tejido óseo de donde se libera al torrente sanguíneo. El grado de intoxicación por plomo se determina mediante la medición de la concentración de plomo en la sangre, donde 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  se considera como el límite máximo permisible; por encima de este valor se reconocen otros tres niveles que caracterizan el grado de intoxicación de las personas. Por su estado fisiológico y el nivel metabólico se considera que los infantes y las embarazadas son los grupos de mayor riesgo cuando viven en zonas donde el plomo esté disponible. De la población de niños que fueron analizados se encontró que tienen una concentración promedio de 16.03  $\mu\text{g}/\text{dL}$  de plomo en sangre excediendo los 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  considerados como parámetro normal, mientras que para el caso de las mujeres embarazadas el promedio fue de 11.16  $\mu\text{g}/\text{dL}$ . Así también se determinó la concentración de plomo en el suelo de las casas habitación de los individuos analizados. Se encontró una débil correlación entre la concentración de plomo en suelo y la del plomo en la sangre.

**Palabras clave:** Plomo, biodisponibilidad, niños, mujeres embarazadas, lactancia.

## ABSTRACT

In this study the lead concentration was measured in the blood of children and pregnant women, beside the concentration of lead in soil (courtyard) was measured. The lead bioavailability in soil, instead of minning activity, at the Vetagrande, Zacatecas town is the contamination source of its inhabitants. This contamination was determined measuring the lead concentration in blood of children and pregnant women. Lead is not an essential element for humans, its toxic effects depend upon the uptake way, exposure time and nutritional level of the affected person. The lead is preferentially stored at bone tissue from which is released to blood flow in the body. The intoxication level by lead is determined through the level concentration in blood, where 10  $\mu\text{g/dL}$  is the maximum permissible limit. Above this concentration there are three values that characterize the intoxication level in humans. Children and pregnant women are considered the groups of larger risk because its physiological and metabolic rates when they live in locations where lead is bioavailable. The average concentration of lead in blood was 16.03  $\mu\text{g/dL}$  in the children, and 11.16  $\mu\text{g/dL}$  in women. The lead concentration in house soils was determined, a weak correlation was determined between lead soil concentration and lead blood concentration in humans.

**Keywords:** Lead, bioavailability, children, pregnancy, lactation.

## I. INTRODUCCIÓN

La intoxicación por plomo se conoce desde la antigüedad. En el siglo II A.C. Dioscórides, un médico griego, afirmó que “el plomo hace que se pierda la cabeza”. En 1897, en Brisbane, Australia se reportó el primer caso de intoxicación de niños debida a pinturas hechas con plomo. En los Estados Unidos el saturnismo ocasionado por este tipo de pintura se describió en la primera década del siglo XX. Al principio se pensaba que si un niño se recuperaba de la etapa aguda del padecimiento, no habría secuelas. En 1943, Byers y Lord refutaron lo anterior en su informe acerca de 20 niños que habían superado la intoxicación aguda por plomo: 19 presentaban claras manifestaciones de trastornos en la conducta o de retraso mental (Loghman–Adham, 1997; Lawendon *et al.*, 2001).

Al principio de los años setenta se llevaron a cabo diversos estudios para analizar los efectos de la intoxicación por plomo y en algunos se encontró evidencia sobre el impacto en el desarrollo físico y cognoscitivo por la intoxicación por plomo; sin embargo, estos estudios resultaron polémicos. Desde entonces se han realizado más investigaciones y existe consenso general en cuanto a la relación entre la intoxicación por plomo y las funciones cognoscitivas (Olaiz *et al.*, 1997; Hibbert *et al.*, 1999; Mielke, 1999a; Pichtel *et al.*, 2000).

Particularmente en los países en desarrollo, la exposición al plomo y la consecuente intoxicación constituyen un problema de salud pública debido al crecimiento demográfico y a la urbanización, definida ésta como la agregación de poblaciones humanas en un área limitada que provocan un serio impacto sobre el suelo, aire y agua (Pirkle *et al.*, 1998; Widianarko *et al.*, 2000; Furman y Laleli, 2001).

Cuando el plomo está biodisponible y se incorpora al organismo de los mamíferos se deposita preferentemente en el tejido óseo donde permanece entre 5 a 19 años. A partir de este almacén se libera al torrente sanguíneo por cambios en las condiciones fisiológicas como el embarazo, la etapa postparto y lactancia o patológicas como accidentes (con presencia de fracturas) observándose elevación de los niveles de plomo en sangre (Silbergeld *et al.*, 1993; Sanín *et al.*, 1998; Rothenberg *et al.*, 2000).

En el organismo el plomo produce efectos tóxicos en los diferentes órganos y sistemas del cuerpo humano dependiendo del nivel de exposición y su duración (Gulson *et al.*, 1997). Los efectos biológicos más relevantes de la presencia del plomo en el organismo se reflejan por alteración de la biosíntesis del grupo hem (precursor en la formación de la hemoglobina en la sangre), eritropoyésis (formación de los eritrocitos), función endocrina, hepática, reproductiva, sistema cardiovascular, retraso en el crecimiento, trastornos en el aprendizaje, alergias, cáncer y daño al sistema nervioso central (Tong y Lam, 1998; Berglund *et al.*, 2000; Kaul *et al.*, 2000; Moline *et al.*, 2000).

A pesar de los diversos estudios que se han realizado en las tres últimas décadas, el reconocimiento de que el plomo en el suelo es una vía importante de exposición humana no ha sido totalmente aceptado debido a que el plomo se utiliza en otras actividades (Mielke y Reagan, 1998); por lo que realizar estudios en las zonas potencialmente contaminadas por este metal son necesarios para evitar la contaminación e intoxicación de las personas que las habitan, así como la identificación y eliminación de las posibles fuentes de la contaminación existentes (Furman y Laleli, 2000).

Su uso como aditivo en la gasolina, soldaduras, pinturas, y artículos de cerámica son las principales fuentes de contaminación por plomo, además de las industrias, la minería, los basureros de desechos tóxicos y el tráfico vehicular entre otros. Esta diversidad de usos constituyen las fuentes de exposición para todos los grupos de edad, especialmente para los que tienen antecedentes laborales en fundidoras de plomo y la minería así como para la población en general (Mejía *et al.*, 1999; Lurenda *et al.*, 2000; Pichtel *et al.*, 2000).

La minería es una actividad de gran importancia económica en algunos estados de la República Mexicana como Guanajuato, Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí e Hidalgo. De acuerdo a Mejía *et al.* (1999) en estos lugares se presentan casos de exposición a personas con diversas sustancias químicas y su impacto en la salud merece ser analizado, por lo tanto, las zonas mineras deben ser consideradas como sitios potencialmente peligrosos para la salud que deben ser estudiadas. Para esto es necesario establecer metodologías que incluyan la evaluación de tres factores: a) la caracterización de la biodisponibilidad de los metales; b) el estudio de la toxicidad de los residuos, bajo la perspectiva de que su toxicidad dependerá de la interacción con los metales presentes en ellos, y c) el análisis de la contaminación del medio ambiente con el fin de determinar las rutas de mayor riesgo para la comunidad afectada (Mejía *et al.*, 1999).

La mineralización del suelo de Vetagrande consiste en vetas originadas por relleno de fallas y fracturas que se hospedan en las rocas volcánicas de la formación chilitos. Los minerales de mena de la zona son anglesita, cerusita, plata nativa argentita, proustita, galena, esfalerita y calcopirita; la ganga esta constituida por pirita, cuarzo, calcita, hematita, limonita, y minerales arcillosos que representan una fuente potencial de plomo (CRM, 1991).

Actualmente en el municipio de Vetagrande, Zacatecas, operan dos empresas mineras que explotan vetas y benefician jales antiguos de donde se extraen oro, plata y plomo. Los residuos de esta actividad se liberan al ambiente durante el transporte del material por camiones descubiertos que propician la dispersión del polvo proveniente de las minas. La mayoría de las casas están hechas de ladrillo con planchas de concreto y los pisos son de tierra; las calles en su mayoría no están recubiertas, por lo que los espacios que predominan son de tierra (CRM, 1991).

Las regiones mineras cercanas a poblaciones merecen especial atención, ya que la presencia de metales como el plomo, al encontrarse biodisponible en el ambiente representa un problema de salud que hace necesaria la realización de estudios para prevenir los efectos tóxicos en la población; particularmente en los infantes y las mujeres en etapa gestante. Las investigaciones se han enfocado a determinar los niveles de plomo en sangre de niños con edades de 5 a 6 años, en particular cuando el ambiente es rico en plomo. De acuerdo con el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos “el problema de salud más importante en niños pequeños” es la intoxicación por plomo (Lawendon *et al.*, 2001; Lanphear *et al.*, 1998<sup>a,b</sup>; Rothenberg *et al.*, 1999; Gomaa *et al.*, 2002; Gulson *et al.*, 2000).

El conocimiento de los signos y síntomas de la intoxicación por plomo seguirá siendo clave en la identificación, tratamiento y erradicación de este problema principalmente para las zonas próximas a las minas e industrias que utilizan o producen plomo. Como las minas que operan en Vetagrande producen oro, plata y plomo y se localizan cerca de la población, es necesario determinar si la presencia de las minas producen contaminación por plomo en los habitantes de Vetagrande, en particular en los grupos de población más sensibles como son los infantes y las embarazadas (Lawendon *et al.*, 2001; Markus y McBratney, 2001).

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente interrogante: ¿existe asociación entre las concentraciones del plomo y mercurio en suelo, contra los niveles de plomo en sangre de los niños y mujeres embarazadas de Vetagrande, Zacatecas?

### **Hipótesis**

Existe correlación entre la concentración de plomo en el suelo, con los niveles de plomo en la sangre de los niños y mujeres embarazadas de la población de Vetagrande, Zacatecas.

### **Objetivo general**

Determinar las concentraciones de plomo y mercurio en el suelo, sangre de niños y mujeres embarazadas, para establecer la probable asociación.

### **Objetivos particulares**

1. Determinar las concentraciones de plomo y mercurio en sangre de niños y mujeres embarazadas en Vetagrande, Zacatecas.
2. Determinar el contenido de plomo y mercurio en el suelo (patio) de las casas. Y de los sitios de interés potencial fuente de contaminación.
3. Establecer la correlación de plomo y mercurio presente en el suelo de las viviendas (patio) y la concentración en sangre de niños y mujeres embarazadas analizadas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Sitio experimental

Vetagrande, Zacatecas. Se ubica en la región central o de los valles del Estado. La cabecera municipal se encuentra a los 22° 50' Latitud Norte y 102° 33' Longitud Oeste (CRM, 1991). La temperatura media es de 16° C. En invierno la temperatura desciende hasta -10° C. La precipitación media anual es de 700 mm; los vientos dominantes son: en primavera, verano y otoño son de Sur, Norte, Este, Oeste, Sureste, Noreste y Suroeste, a una velocidad media de 8 Km/H y en invierno de 11 Km/H (SSZ, 1999).

### 2.2 Muestreo

Se obtuvieron muestras sanguíneas de 33 niños y del total de las mujeres embarazadas y las lactantes del municipio de Vetagrande, Zacatecas. También se obtuvieron muestras del suelo de las casas de las personas seleccionadas para el estudio. Durante la visita se pidió la autorización de los padres de familia para la participación de sus hijos en el estudio, así como de ellos mismos.

Por cuestiones prácticas las muestras se obtuvieron en dos momentos diferentes, el primero el 19 de Agosto y el segundo del 8 al 19 de Octubre del 2001. Los muestreos se realizaron tomando una muestra aleatoria y representativa de la población de niños con edades entre 0 y 12 años, así como del total de las mujeres embarazadas y las lactantes de Vetagrande, ya que son los grupos de la población que han sido señalados como los de mayor riesgo (Gomaa *et al.*, 2002).

En el anexo se muestra el procedimiento utilizado en la determinación de la muestra representativa de niños. El análisis de las muestras de sangre y suelo se realizó en el laboratorio de Toxicología Ambiental de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

## **2.3 Obtención de las muestras sanguíneas**

La sangre se recolectó mediante venopunción (10 cm<sup>3</sup>), utilizando tubos al vacío (Vacutainer) con anticoagulante EDTA. El procedimiento empleado fue localizar la vena media para después limpiar la superficie del antebrazo con una torunda y alcohol. El material utilizado para la recolección de las muestras de sangre todo fue nuevo y estéril y se utilizó en una sola ocasión; las muestras se mantuvieron en hieleras con gel de transportación a una temperatura aproximada de 8 a 10°C y refrigeradas hasta su análisis (Binns *et al.*, 1999; Lanphear *et al.*, 1999; Rothenberg *et al.*, 1999; Moline *et al.*, 2000).

## **2.4 Procedimiento para la determinación de plomo en sangre**

La cuantificación se hizo por Espectrofotometría de Absorción Atómica con horno de Grafito (Subramanian, 1987; Mielke y Reagan, 1998; Binns *et al.*, 1999; Lanphear *et al.*, 1999; Moline *et al.*, 2000). La determinación de plomo en sangre se realizó de la siguiente forma: primero se adiciona a la sangre Tritón X-100 al 0.5% y modificador (fosfato de amonio al 0.5%) para acondicionar la muestra antes de su análisis, después se acidifica con HNO<sub>3</sub> al 0.2% y se lee en el espectrofotómetro donde se obtienen espectros de la lectura de las muestras, en éstos se ubican picos cuya posición en el espectro identifica el elemento de interés y el área bajo la curva nos indica la cantidad del elemento. El cálculo de la concentración de plomo en las muestras se determinó mediante la ecuación de la recta de calibración del instrumento (PROY-NOM-199-SSA1-2000).

Esta recta se obtuvo mediante la preparación de 5 concentraciones a partir del estándar de trabajo cuya concentración es de 1000 µg/dL de plomo, las concentraciones fueron: 5, 10, 25, 50 y 75 µg/dL, de estos valores se realizó la regresión lineal por mínimos cuadrados.

## **2.5 Recolección de las muestras de suelo**

Se recolectaron 21 muestras de suelo, estas muestras pertenecen a las viviendas de las personas seleccionadas aleatoriamente incluyendo una muestra

del suelo del jardín de niños, la escuela primaria, la mina y la planta de tratamiento. Las muestras se obtuvieron directamente del suelo a una profundidad de 2.5 cm (Mielke *et al.*, 1999b) se etiquetaron y guardaron en bolsas de plástico hasta su procesamiento.

Las muestras se obtuvieron con un instrumento de plástico libre de contaminación por metales pesados en forma de sacabocado cilíndrico. Algunas de las muestras de suelo presentaron niveles diversos de humedad, con el fin de eliminar este factor, se secaron en una estufa a una temperatura de 50°C por espacio de 24 horas (Mielke *et al.*, 1999b). Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Toxicología Ambiental de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí donde se efectuó el análisis.

## **2.6 Procedimiento para la determinación de plomo en suelo**

Para la determinación de plomo en suelo las muestras secas se tamizaron con el fin de facilitar su manejo y análisis. De cada muestra de suelo se obtuvieron 0.5 gramos que se mezclaron con 10 ml de HNO<sub>3</sub> al 25% y se digirieron en un horno de microondas por media hora a una presión de 5.63 kg/cm<sup>2</sup>. Estas muestras se filtraron y se les agregó un modificador de matriz (fosfato de amonio al 0.5% en HNO<sub>3</sub> al 0.2%) y se analizaron en el espectrofotómetro de Absorción Atómica con horno de grafito.

Con el fin de determinar el nivel de plomo en suelo se realizó un estudio para determinar el nivel de recuperación del plomo durante el tratamiento y lectura de las muestras. En este estudio se utilizó una muestra estándar de suelo con plomo del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos (NIST Montana Soil No. 2710). Se encontró que la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica tiene una eficiencia del 95% en la determinación de plomo.

## **2.7 Análisis de las muestras**

Los análisis se efectuaron por duplicado independiente para las muestras de sangre y suelo (Rothenberg *et al.*, 1993, 1999, 2000). Durante las mediciones de plomo en las matrices de sangre y de suelo los materiales utilizados, como el material de vidrio y los instrumentos, se lavaron con una solución de ácido nítrico al 10% y enjuagaron con agua desionizada antes de su uso.

### **Análisis estadístico (anexo)**

El tratamiento estadístico para las concentraciones de plomo en sangre se realizó tomando como base que una población no expuesta a plomo biodisponible en el ambiente tiene una concentración de plomo en sangre  $< 10 \mu\text{g/dL}$ . Para establecer si una persona está contaminado por tener altas concentraciones de plomo en sangre, deberá tener una concentración superior a los  $10 \mu\text{g/dL}$  de plomo en sangre (Lanphear *et al.*, 1998<sup>a</sup>; PROY-NOM-199-SSA1-2000).

Con los valores de plomo en suelo, la población de Vetagrande se dividió en círculos concéntricos y en cada uno de estos se obtuvo la cantidad de plomo promedio, con el fin de establecer las zonas de la población con concentraciones promedio del plomo en suelo, esto se muestra en el anexo.

Con los valores de plomo encontrados en las muestras de sangre y suelo se obtuvo un modelo con la intención de establecer una correlación. Los detalles de este procedimiento se describen en el anexo.

### III. RESULTADOS

Los resultados de la concentración de plomo en sangre distribuidos por la edad que se encontró en los niños se muestran en el cuadro 2. En éste también se incluyen la cantidad de niños, y el porcentaje que estos representan, que tuvieron niveles de plomo en sangre mayores a los 10, 15 y 20  $\mu\text{g/dL}$ .

**Cuadro 1. Concentración promedio de los niveles de plomo en sangre para niños y niñas con edad  $\leq$  a 12 años, n = 33.**

Edad [años]	N	Concentración promedio de plomo en sangre [ $\mu\text{g/dL}$ ]	No. de niños con concentración de plomo en sangre:		
			> 10 $\mu\text{g/dL}$ %	> 15 $\mu\text{g/dL}$ %	> 20 $\mu\text{g/dL}$ %
< 2	5	16.27 $\pm$ 8.82	4 (12.1)	1 (3.0)	0
2 – 3	6	23.44 $\pm$ 5.24	6 (18.1)	5 (15.1)	5 (15.1)
3 – 4	6	15.20 $\pm$ 6.65	4 (12.1)	3 (9.0)	2 (6.0)
4 – 5	3	18.67 $\pm$ 7.37	3 (9.0)	2 (6.0)	1 (3.0)
5 – 6	4	15.41 $\pm$ 7.33	3 (9.0)	1 (3.0)	1 (3.0)
6 – 7	5	14.08 $\pm$ 7.91	3 (9.0)	1 (3.0)	1 (3.0)
7 – 12	4	11.46 $\pm$ 5.39	2 (6.0)	1 (3.0)	0

En el Cuadro 2 se observa que el grupo de niños y niñas con mayor concentración promedio es el grupo con edades entre los 2 y los 3 años que es el mismo grupo que presentan una mayor cantidad de niños con concentraciones por encima de los 20  $\mu\text{g/dL}$ , que representa aproximadamente el doble del valor considerado como inocuo. El grupo de niños que presenta la concentración promedio más pequeña es el de los 7 y 12 años con 11.46  $\mu\text{g/dL}$ , donde solo 1 de 4, esto es el 3% del total de niños presenta niveles por encima de los 20  $\mu\text{g/dL}$ .

Del total de niños analizados en nuestro estudio, el 24.24% de los infantes presentaron concentraciones que superan a los 10  $\mu\text{g/dL}$ , y en este grupo la concentración promedio fue de 18.73  $\mu\text{g/dL}$ .

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de las concentraciones promedio de plomo en sangre encontrada en las mujeres embarazadas y en estado lactante. Las concentraciones se reportan en función al grupo de edad.

En este grupo la más joven era una mujer en estado de gravidez y la de mayor edad era una mujer de 47 años que estaba en estado de lactación.

**Cuadro 2. Concentración promedio de los niveles de plomo en sangre en mujeres embarazadas y lactando, n = 13**

Edad [años]	n	Concentración promedio de plomo en sangre $\mu\text{g/Dl}$	No. de mujeres con concentraciones de plomo en sangre:		
			$> 10 \mu\text{g/dL}$ %	$> 15 \mu\text{g/dL}$ %	$> 20 \mu\text{g/dL}$ %
14 – 25	4	$12.50 \pm 10.47$	1 (7.69)	1 (7.69)	1 (7.69)
25 – 30	4	$15.79 \pm 10.37$	2 (15.4)	2 (15.4)	2 (15.4)
30 – 35	3	$7.00 \pm 1.00$	0	0	0
35 – 50	2	$5.50 \pm 2.12$	0	0	0

El ordenamiento y agrupación de las mujeres por edad se hizo de manera similar a la de los niños. De acuerdo a estos datos se observó que el conjunto de mujeres con edades de 25 a 30 años tuvo una concentración promedio (de  $15.79 \mu\text{g/dL}$ ) mayor a la de los demás grupos formados. En este grupo 2 de las 4 mujeres tuvieron una concentración de plomo en sangre mayor a los  $20 \mu\text{g/dL}$ , que representa el 50% del total de mujeres en este grupo y el 15.4% del total de mujeres analizadas. La concentración promedio menor se encontró en el grupo con edades de 35 a 50 años con  $5.50 \mu\text{g/dL}$ .

De las 13 mujeres analizadas el 69.23% estaban embarazadas y 30.77% estaban lactando; el promedio del contenido de plomo en sangre en este grupo fue de  $11.16 \mu\text{g/dL}$ , que está por encima de los  $10 \mu\text{g/dL}$ .

En función de sus edades los niños permanecen durante la mañana en su casa, en el kínder o en la escuela primaria. Mediante un análisis de varianza (ANOVA) se compararon las concentraciones de plomo en sangre encontradas en niños y niñas para determinar si los niveles promedio de plomo en sangre varían con el sitio donde los niños permanecen. Los valores promedio de plomo en sangre distribuidos por género y por sitio de permanencia se muestran en el cuadro 4.

**Cuadro 3. Distribución de las concentraciones promedio de plomo en sangre de niños y niñas de acuerdo a su permanencia y al género.**

Sitio	Cantidad de niños (n)	Cantidad de niñas (n)	Concentración promedio de plomo en sangre ( $\mu\text{g/dL}$ ) para todos los niños
Casa	7	4	$19.7682 \pm 7.3496$
Kínder	4	3	$14.3100 \pm 5.3867$
Primaria	9	5	$14.7047 \pm 7.1191$
Concentración promedio de plomo en sangre por género.	$17.16350 \pm 6.639286$	$14.99385 \pm 7.892047$	

De acuerdo a los datos obtenidos mediante el ANOVA se encontró que los niveles promedio de plomo en sangre encontrados en todos los infantes analizados no varían con el sitio de permanencia ( $p < 0.90$ ).

Para determinar si las concentraciones promedio de plomo en sangre encontrada en los niños es estadísticamente diferente al promedio encontrado en las niñas se aplicó la prueba t Student.

Los valores promedio de ambos grupos (niños y niñas) se calcularon excluyendo los valores menores a los  $10 \mu\text{g/dL}$ , los valores promedio y la cantidad de infantes en cada grupo se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 4. Promedios de la concentración de plomo en sangre por género para los infantes con concentraciones mayores a  $10 \mu\text{g/dL}$ .**

Grupo	Promedio de plomo en sangre [ $\mu\text{g/dL}$ ]	Número de infantes
Niños	$18.605 \pm 6.126$	17
Niñas	$18.859 \pm 7.881$	8

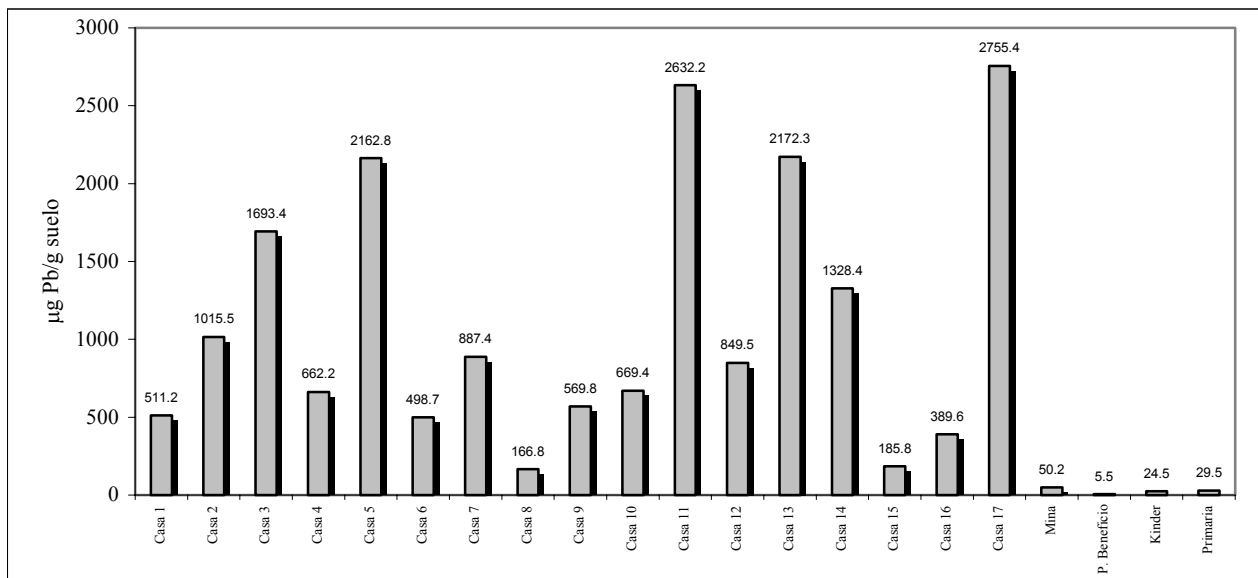
La probabilidad de que ambos valores sean diferentes es de 6.96%, por tanto no existen diferencias significativas entre el promedio de plomo en sangre en los niños y niñas.

De las 21 muestras de suelo se encontró que 14 de éstas, es decir el 66.7%, presentan niveles de concentración de plomo que superaron los  $300 \text{ mg Pb/Kg}$

definido como el valor límite para considerar el suelo como contaminado por de plomo (EPA, 1993; Ma y Rao, 1999).

Contrario a los que se esperaba, la concentración de plomo en las muestras obtenidas del suelo de la mina y de la planta de beneficio tuvieron 50.2 y 5.5  $\mu\text{g Pb/g}$  respectivamente, estos valores son menores a los medidos en las muestras obtenidas del suelo de las casas.

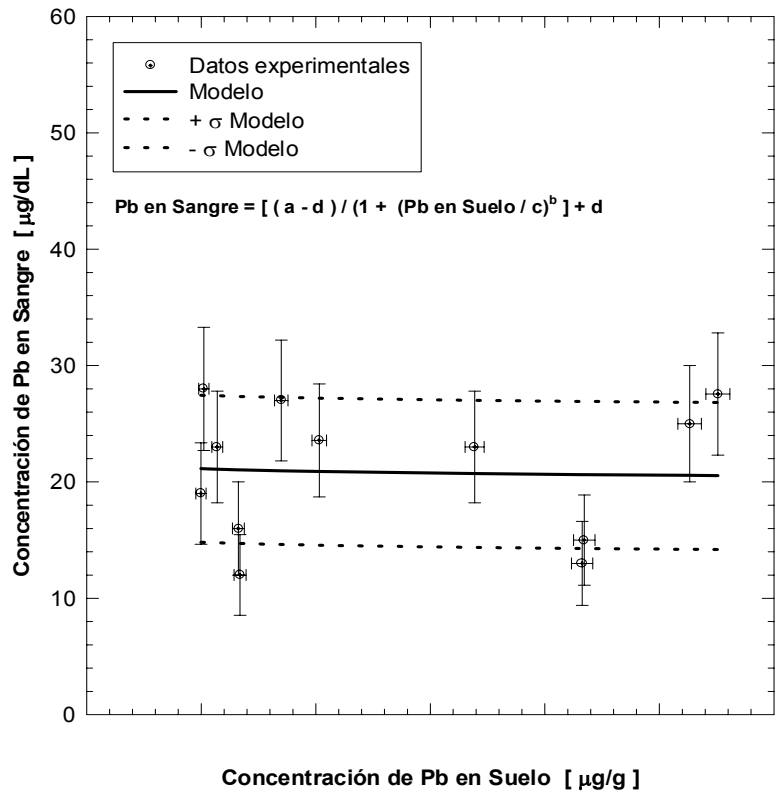
En el caso de las muestras obtenidas del suelo de los patios de las casas, el 17.6% de éstos tuvieron concentraciones de plomo menores a los 300 mg Pb/Kg. Cabe hacer mención que las concentraciones de plomo encontrados en las muestras obtenidas del suelo de la escuela primaria, el kínder y la planta de beneficio, fueron las más pequeñas.



**Figura 1. Concentraciones de plomo en suelo de los sitios analizados en Vetagrande (n = 21).**

Con el propósito de determinar la relación entre las concentraciones de plomo en sangre y la de plomo en suelo, los datos experimentales junto con el modelo que describe esta relación se muestran en la Figura 5. Para esto, solo se utilizaron los valores de la concentración de plomo en sangre de los individuos que superaron los 10  $\mu\text{g/dL}$ .

El modelo se obtuvo de probar 2000 funciones diferentes, seleccionando la que mejor describe las concentraciones promedio de plomo en sangre en función de la concentración de plomo en suelo.



**Figura 2. Correlación entre las concentraciones de plomo en sangre de los individuos con concentraciones mayores a 10 µg/dL y la concentración de plomo en suelo de sus casas.**

Del modelo se desprende que la cantidad de plomo en sangre de los individuos de Vetagrande, cuyos niveles superaron los 10 µg/dL, parámetro normal establecido por la Secretaría de Salud (PROY-NOM-199-SSA1-2000), son independientes de la cantidad de plomo que existe en el suelo.

## IV. CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos en el estudio queda claro que pese a que el suelo contiene elevados niveles de plomo, al menos en este tiempo la mina que opera actualmente en Vetagrande no es la responsable de la contaminación, siendo quizá la naturaleza del suelo la responsable. Así, se puede concluir del trabajo que:

1. La superficie del suelo de Vetagrande tiene elevados niveles de plomo (concentraciones que tienen un rango entre los 498.7 y 2755.4  $\mu\text{g Pb /g suelo}$ ) y que están por encima de los 300 mg Pb /Kg suelo para que el suelo no sea considerado como contaminado por este metal, debido a su enriquecimiento natural por la presencia de éste y otros metales que se encuentran de forma ordinaria en él, además de las condiciones de trabajo que prevalecen en la zona propiciando aún más su acumulación, ya de por sí rica en el suelo.

2. Con fundamento en los resultados obtenidos de los valores promedio para las concentraciones de plomo en sangre en niños y niñas por su permanencia en sitios establecidos durante la mañana – tarde, no hay variación ni influencia alguna debida a su estancia a un lugar en particular durante el día.

Este hecho quedo comprobado al realizar la comparativa entre las concentraciones promedio de plomo en sangre para el total de niños y niñas por género con niveles mayor a los 10  $\mu\text{g/dL}$ , donde se confirma este suceso ya que los valores tienen una diferencia estadística de 6.96% de probabilidad.

3. La explicación probable a los elevados niveles de plomo en sangre encontrados principalmente en los niños son los hábitos higiénicos y el cuidado de los padres en los niños que tuvieron niveles de plomo en sangre por encima de los 10  $\mu\text{g/dL}$  que es la concentración máxima permisible para este metal en

sangre, debido a que los niños absorben tres veces más plomo en comparación con los adultos y el riesgo se incrementa al mascar objetos que se encuentran tirados en el suelo y el meterse las manos sucias a la boca después de haber estado jugando en el suelo.

Esto confirmó porqué en el grupo de las mujeres embarazadas sólo dos de las 13 analizadas presentaron concentraciones de plomo en sangre mayor a los 10 µg/dL indicando que a pesar de que en 5 de las viviendas de ellas el suelo tiene concentraciones por encima de los 300 mg Pb/Kg, sus niveles de plomo en sangre se encuentran por debajo del valor límite.

4. De acuerdo a lo observado en el modelo que relaciona la concentración de plomo en sangre en función de la concentración de plomo en suelo, se encontró que la concentración de plomo en sangre no está asociada con la concentración de plomo en suelo encontrado en la vivienda.

La pregunta planteada en este trabajo quedó contestada ya que no se encontró asociación entre las concentraciones de plomo encontradas en la sangre de los individuos analizados con las existentes en el suelo de Vetagrande. Sin embargo, aunque dicha asociación no se encontró queda como incógnita el aclarar porqué a pesar de existir elevados niveles de plomo en la sangre principalmente de los infantes no hay una relación directa de acuerdo al modelo estadístico empleado con los elevados niveles de plomo contenido en el suelo. Para establecer con certeza las causas que propician el alto contenido de plomo en el suelo es necesario profundizar más en este estudio.

## V. LITERATURA CITADA

- Berglund M., Lind B., Sörensen S., Vahter M. (2000). Impact of soil and dust lead on children's blood lead in contaminated areas of Sweden. Archives of Environmental Health. 55, 2: 93 – 97.
- Binns H.J., LeBailly S.A., Fingar A.R., Saunders S. (1999). Evaluation of risk assessment questions used to target blood lead screening in Illinois. Pediatrics. 103: 1, 100 – 106.
- Diagnóstico de Salud del Municipio de Vetagrande. Secretaría de Salud del Estado de Zacatecas, 1999.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1993). Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge Final Rules. Federal Register, Part II 40 CFR Part 257 et al. 58.
- Furman A., and Laleli M. (2000). Semi – occupational exposure to lead: A case study of child and adolescent street vendors in Istanbul. Environmental Research. 83, 1 – 5.
- Furman A., and Laleli M. (2001). Maternal and umbilical cord blood lead levels: An Istanbul study. Archives of Environmental Health. 56, 1: 26 – 28.
- Gomaa A., Hu H., Bellinger D., Schwartz J., Tsai S.W., Gonzalez – Cossio T., Schnaas L., Peterson K., Aro a., and Hernández Avila M. (2002). Maternal bone lead as an independent risk factor for fetal neurotoxicity study. Pediatrics. 110, 1: 110 – 118.
- Gulson B.J., Jameson C., Mahaffey K., Mizon K., Korsch M., and Vimpani G. (1997). Pregnancy increases mobilization of lead from maternal skeleton. Journal Laboratory Clinical Medicine 130: 51 – 62.
- Gulson B.L., Mizon K.J., Palmer J.M., korsch M.J., Donnelly J.B. (2000). Urinary excretion of lead during pregnancy and postpartum. The Science of the Total Environment. 262, 49 – 55.

- Hibbert R., Bai Z., Navia J., Kammen D.M., and Zhang J.J. (1999). High lead exposures resulting from pottery production in a village in Michoacán State, Mexico. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 9: 343 – 351.
- Kaul B., Rasmuson O. J., Olsen L., Chanda R. C., Slazhneva I. T., Graovsky I. E., Korchevsky A. A. (2000). Blood lead and erythrocyte protoporphyrin levels in Kazakhstan. Indian Journal of Pediatrics. 67, 2: 87 – 91.
- Kokoska, S. and Nevison, Ch. (1988) Statistical Tables and Formulae, Springer-Verlag.
- Lanphear B.P., Burgoon D.A., Rust S.W., Eberly S., and Galke W. (1998a). Environmental Exposures to lead and urban Children's Blood Lead Levels. Environmental Research, Section A. 76: 120 – 130.
- Lanphear B.P., Howard C., Eberly S., Auinger P., Kolassa J., Weitzman M., Schaffer J., and Alexander K. (1999). Primary prevention of childhood lead exposure: a randomized trial of dust control. Pediatrics. 103, 4: 772-777.
- Lawendon G., Kinra S., Nelder R., and Cronin T. (2001). Should children with developmental and behavioral problems be routinely screened for lead?. Archives of Disease in childhood. 85: 286 – 288.
- Loghman – Adham M. (1997). Renal effects of environmental and occupational lead exposure. Environmental Health Perspectives. 105 (9): 928 – 938.
- Lurenda S.M., and Nam O.C. (2000). Lead exposure among small – scale battery recyclers, automobile radiator mechanics, and their children in Manila, the Philippines. Environmental Research Section A 82: 231 – 238.
- Ma L.Q., and Rao G.N. (1999). Aqueous Pb reduction in Pb – contaminated soils by Florida phosphate rocks. Water, Air, and Soil Pollution. 110: 1 – 16.
- Markus J. and McBratney A. B. (2001). A review of the contamination of soil with lead II. Spatial distribution and risk assessment of soil lead. Environment International. 27: 399 – 411.

- Mejía J., Carrizales L., Rodríguez V.M., Jiménez – Capdeville M.E., Díaz – Barriga F. (1999). Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. Revista Salud Pública de México. 41, 2: 132 – 140.
- Mielke H. (1999a). Lead in the Inner Cities. American Scientist. 87: 62 – 73.
- Mielke H. W. and Reagan P. L. (1998). Soil Is an Important Pathway of Human Lead Exposure. Environmental Health Perspectives. 106 (Suppl 1): 217 - 229.
- Mielke H.W., Gonzalez C.R., Smith M.K., and Mielke P.W. (1999b). The urban environment and children's health: soils as integrator of lead, zinc, and cadmium in New Orleans, Louisiana, USA. Environmental Health Perspectives Section A. 117 – 129.
- Moline J., Lopez C.L., Torres S.L., Godbold J., Todd A. (2000). Lactation and lead body burden turnover: A pilot study in México. Journal Occupational Environment Medicine. 42:11, 1070 – 1075.
- Monografía geológico – minera del estado de Zacatecas. (1991). Consejo de Recursos Minerales del estado de Zacatecas.
- O' Connor M.E., Rich D. (1999). Children with moderately elevated lead levels: is chelation with DMSA helpful?. Clinic Pediatrics. 38, 6: 325 – 331.
- O' Rourke M.K., Rogan S.P., Jin S., and Robertson G.L. (1999). Spatial distributions of arsenic exposure and mining communities from NHEXAS Arizona. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 9: 446 – 455.
- Pichtel J., Kuroiwa K., Sawyerr H. T. (2000). Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites. Environmental Pollution. 110: 171 – 178.
- Pirkle J.L., Kaufmann R. B., Brody D.J., et al. (1998). Exposure of the U.S. population to lead, 1991-1994. Environ. Health Perspect. 106: 745 – 750.
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-199-SSA1-2000.

- Rothenberg S.J., Khan F., Manalo M., Jiang J., Cuellar R., Reyes S., Acosta S., Jauregui M., Diaz M., Sanchez., Todd A.C., and Jhonson C. (2000). Maternal bone lead contribution to blood lead during and after pregnancy. Environmental Research Section A 82: 81 – 90.
- Rothenberg S.J., Manalo M., Jiang J., Khan F., Cuellar R., Reyes S., Sánchez M., Reynoso B., Aguilar A., Díaz M., Acosta S., Jauregui M., Jhonson C. (1999). Maternal blood lead level during pregnancy in South Central Los Angeles. Archives of Environmental Health. 54, 3 P: 151 – 157.
- Rothenberg S.J., Schnaas – Arrieta L., Perez – Guerrero I.A., Hernandez – Cervantes R., Martínez – Medina S., Perroni – Hernández E. (1993). Factores relacionados con el nivel de plomo en sangre en niños de 6 a 30 meses de edad en el Estudio Prospectivo de Plomo en la Ciudad de México. Salud Pública de México. 35, 6: 592 – 598.
- Sanín L.H., González – Cosío T., Romieu I., Hernández – Ávila M. (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. Salud Pública de México. 40, 4: 359 – 368.
- Silbergeld E.K., Sauk J., Somerman M., Todd A., McNeill F., Fowler B., Fontaine A., and Van Buren J. (1993). Lead in bone: storage site, exposure source, and target organ. Neurotoxicology. 14, 2 – 3: 225 – 236.
- Subramanian K.S. (1987). Determination of lead in blood: comparison of two GFAAS methods. Atomic Spectroscopy. 8, 1: 7 – 11.
- Tong S.T.Y., and Lam K, Che. (1998). Are nursery schools and kindergartens safe for our kids? The Hong Kong study. The Science of the Total Environment. 216: 217 – 225.
- Vega-Carrillo, H.R. (1989) Least squares for different experimental cases, Revista Mexicana de Física. 35(4): 597–602
- Vega-Carrillo, H.R. (1991) Equivalence between two methods for experimental data fitting, Revista de la Sociedad Mexicana de Química. 35(5): 237-238.

Widianarko B., Verweij R.A., Van Gestel C.A.M., and Straalen N.M. (2000).  
Spatial distribution of trace metals in sediments from urban streams of  
Semarang, Central Java, Indonesia. Environmental Research. 46, 95 – 100.

## VI. ANEXO

### Cálculo del tamaño de la muestra

La población total de niños menores de 6 años en Vetagrande es de 1122 individuos (INEGI, 2000). Para calcular el tamaño de la muestra representativa del total de los 1122 niños se utilizó el procedimiento descrito por Lyman (1993).

El procedimiento utilizado es el siguiente: de un total de N especímenes, un subconjunto n de éstos cuyas características puedan ser extendidas al total de individuos con un coeficiente de confianza de  $\alpha$  se obtiene mediante:

$$\eta = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \frac{\alpha}{2} \pi (1 - \pi)}{E^2} \quad (1)$$

donde:

E.- Es el error máximo aceptable, es la exactitud probabilística deseable (5% = 0.05).

$\pi$ .- Porcentaje estimado de la población que tienen el problema que se debe estudiar (50% = valor que arroja  $n_{\max}$ ).

$\alpha$ .- Nivel deseado de confianza (confiabilidad, 95%).

$Z_{\alpha/2}^2$ .- Área bajo la curva Normal.

La población a muestrear es:

$$n = \frac{N - \eta}{N + \eta - 1} \quad (2)$$

Sustituyendo los datos en la ecuación (1),

$$\eta = \frac{(1.96)^2 \frac{0.5}{2} (1 - 0.5)}{(0.12)^2} = 33.34$$

sustituyendo el valor de  $\eta$  y de  $N$  en la ecuación (2) nos permite obtener el tamaño de la muestra representativa,

$$n = \frac{(1122) (33.34)}{1122 + (33.34 - 1)} = 32.40$$

esto implica que debemos hacer el estudio en 32 niños.

La selección de los 32 niños se realizó al azar de la siguiente forma: con un plano de la comunidad de Vetagrande se hizo una cuadrícula de 50 cuadros a los que se les asignó un número entero. Con un generador de números aleatorios se obtuvieron 32 números aleatorios eliminando aquellos que se repitieron y se localizaron aquellos sitios donde los números aleatorios coincidieron en los de la cuadrícula del plano. Con esto se identificaron los domicilios seleccionados y se pidió permiso a los habitantes de éstos para tomar las muestras sanguíneas y del suelo.

### **Análisis estadístico**

Una población no expuesta contiene una concentración de plomo en sangre  $<10$   $\mu\text{g/dL}$ . Así, la distribución de plomo en sangre en una población no expuesta sería una función constante definida por una cota superior de  $10$   $\mu\text{g/dL}$ . Para determinar si un individuo en particular está contaminado con plomo en sangre,

deberá de tener una concentración igual o mayor a 10 µg/dL (Lanphear *et al.*, 1998).

Con los valores de las concentraciones de plomo en suelo se intentó establecer una correlación con las concentraciones de plomo en sangre utilizando el modelo empírico descrito por Mielke *et al.*, (1999). Se realizó una prueba de bondad de ajuste del modelo mediante la prueba de la  $\chi^2$ .

El análisis de los datos experimentales para expresar la correlación entre los individuos que tienen concentraciones de plomo en sangre por encima de los 10 µg/dL y la concentración de plomo en suelo presente en sus viviendas fueron ajustados a un modelo empírico logístico. El modelo empírico se obtuvo con la intención de encontrar una expresión analítica que nos permitiera expresar la concentración de plomo en sangre en función de la concentración de plomo en suelo, sólo para aquellos individuos que de acuerdo a la SSA están en riesgo, es decir para los que presentaron concentraciones de plomo mayores a los 10 µg/dL. El modelo empírico utilizado se obtuvo mediante ensayo y error probando diferentes modelos y encontramos que el modelo que mejor describe estos datos es,

$$\text{Conc. Pb Sangre} = \frac{a - b}{1 - \left( \frac{\text{Conc. Pb Suelo}}{c} \right)^b} + d \quad (3)$$

El valor de los parámetros a, b, c y d, del modelo se obtuvieron mediante la técnica de regresión por mínimos cuadrados ponderados (Vega-Carrillo, 1989, 1991). Los factores de ponderación, w, fueron el recíproco de la suma de las varianzas de la concentración de plomo en suelo y en sangre. Los valores de los parámetros de modelo son a = 28.9887, b = 0.0920, c = 313.4781, d = 13.6287. El modelo tiene una desviación estándar de 6.33. El modelo que se muestra en la figura 8.

Para probar la validez del modelo empírico se utilizó la prueba de la  $\chi^2$  de la siguiente forma:

Planteamiento de la hipótesis estadística:

Ho: Los datos experimentales se describen mediante el modelo empírico

Ha: Los datos experimentales no se describen mediante el modelo empírico.

Estadístico de prueba:

Prueba de la  $\chi^2$  para 11 grados de libertad y un nivel de confianza del 95%

Criterio de rechazo:

Si la  $\chi^2$  Calculada es mayor o igual a la  $\chi^2$  de Tablas rechace Ho y acepte Ha.

En el Cuadro 1 se muestran los valores de la concentración de plomo en suelo y los valores de la concentración de plomo en sangre en función de la concentración de plomo en suelo obtenidos por el modelo y el resultado de la  $\chi^2$  calculada.

Obtención de la  $\chi^2$  Calculada:

Cuadro 5. Valores de plomo en suelo y sangre y prueba de ajuste de  $\chi^2$  para concentración de plomo en sangre.

Dato	Concentración de Pb en suelo [ $\mu\text{g/g}$ ]	Concentración observada de Pb en sangre [ $\mu\text{g/dL}$ ]	Concentración calculada de Pb en sangre [ $\mu\text{g/dL}$ ]	$\frac{(\text{Conc. Pb Sangre}_{\text{Obs}} - \text{Conc. Pb Sangre}_{\text{Cal}})^2}{\text{Conc. Pb Sangre}_{\text{Cal}}}$
1	498.7±22.3	19.0±4.4	21.145	0.218
2	511.2±22.6	28.0±5.3	21.136	2.229
3	569.8±23.9	23.0±4.8	21.098	0.172
4	662.2±25.7	16.0±4.0	21.044	1.209
5	669.4±25.9	12.0±3.5	21.041	3.885
6	849.4±29.1	27.0±5.2	20.957	1.743
7	1015.5±31.9	23.6±4.9	20.894	0.343
8	1693.4±41.2	23.0±4.8	20.714	0.252
9	2162.8±46.5	13.0±3.6	20.628	2.821
10	2172.3±46.6	15.0±3.9	20.627	1.535
11	2632.2±51.3	25.0±5.0	20.560	0.959
12	2755.4±52.5	27.6±5.2	20.543	2.390

$$\chi^2_{\text{Calculada}} = 17.754$$

De tablas (Kokoska y Nevison, 1988), se obtuvo el valor de la  $\chi^2_{\text{Tablas}}$  para 11 grados de libertad y un nivel de confianza de 95%:

$$\chi^2_{\text{Tablas}} = 19.675$$

Conclusión:

Como  $\chi^2_{\text{Calculada}}$  es menor a la  $\chi^2_{\text{Tablas}}$  se acepta  $H_0$ .

Esto implica que la expresión analítica (modelo obtenido empíricamente),

$$\text{Conc. Pb Sangre}(\text{Conc. Pb Suelo}) = \frac{28.99 - 13.63}{1 + \left(\frac{\text{Conc. Pb Suelo}}{313.48}\right)^{0.092}} + 13.63, \quad (4)$$

describe la correlación que existe entre las concentraciones de plomo en sangre en función de la de plomo en suelo.

El plano de la comunidad de Vetagrande se dividió en 6 regiones circulares tomando como punto de referencia al centro de la comunidad con un radio de 36 m de extensión para cada región cubriendo la extensión territorial de la cabecera municipal y se determinó el promedio de la concentración de plomo en suelo con el fin de establecer regiones con concentraciones de éste. Las concentraciones promedio para cada una de las zonas se muestran el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Concentración promedio de plomo en suelo en las 6 zonas en que se dividió la cabecera municipal de Vetagrande.

Zona	Concentración promedio de plomo en suelo $\mu\text{g Pb/g}$ de suelo
1	729.30 $\pm$ 27.00
2	1176.66 $\pm$ 34.30
3	961.73 $\pm$ 31.00
4	455.95 $\pm$ 21.30
5	1104.62 $\pm$ 33.20
6	310.00 $\pm$ 17.60