



Unidad Académica
Estudios Nucleares

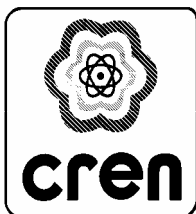
**Cuerpo Académico
Radiobiología**

Apdo. Postal 336
98000 Zacatecas, Zac.
México

Tel/FAX: (492) 922-7043

Buzón electrónico:
rvega@cantera.reduaz.mx
emanz@cantera.reduaz.mx

URL:
<http://cren.reduaz.mx/~rvega>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

UNIDAD ACADÉMICA DE ESTUDIOS NUCLEARES

Evaluación de Riesgos ambientales por plomo en la población de Vetagrande, Zacatecas

Participantes

Dr. Eduardo Manzanares Acuña¹
Dr. Héctor René Vega Carrillo¹
Biol. Martha Celia Escobar León⁴
M. en C. Consuelo Letechipía de León¹
M. en C. Laura J. Guzmán Enríquez²
M. en C. Víctor Martín Hernández Dávila¹
Dr. Miguel Ángel Salas Luévano³

Unidades Académicas de
¹Estudios Nucleares
²Biología Experimental
³Agronomía
⁴Centro de Estudios Multidisciplinarios

Universidad Autónoma de Zacatecas

Reporte Final: UaEN/RI-02-PbVG/INE-02/03081204

FEBRERO 2005

Resumen

Este estudio se elaboró en coordinación entre el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Autónoma de Zacatecas motivado por la preocupación de las autoridades por la presencia de residuos mineros en la zona. Como parte del estudio se tomaron 89 muestras de suelo de la periferia de la población y áreas comunes para detectar los niveles de plomo., así como las posibles fuentes donde este pueda encontrarse, en una forma química biodisponible. Por más de 300 años la actividad minera ha venido desarrollándose en la comunidad de Vetagrande, por lo tanto esta actividad económica generadora de residuos mineros con contenidos de metales pesados, se ha convertido en un foco importante de contaminación por plomo. Los niveles de plomo en suelo tuvieron un rango entre los 8 y 7730 $\mu\text{g/g}$, solo el 28.1% esta por debajo de 400 $\mu\text{g/g}$, mientras que el 71.9 está por encima de los 400 $\mu\text{g/g}$, nivel máximo recomendable por la EPA, para suelos de uso residencial, 34.8 están entre 400 a 1200 $\mu\text{g/g}$, 16.8 están entre 1200 a 2000 $\mu\text{g/g}$, 20.3 están entre 2000 a 8000 $\mu\text{g/g}$.

ÍNDICE

	Página
I.- Introducción	4
Antecedentes del sitio	4
Visita al Sitio	6
Preocupaciones comunitarias en salud.....	7
Selección de contaminantes críticos	9
Suelos y sitios contaminados	14
La contaminación del suelo causada por la industria minera.....	15
La minería en Zacatecas	16
Normatividad de plomo en E. U. A. y México para suelo residencial y agrícola.	19
Hipótesis	20
Objetivo general	20
II. Materiales y Métodos	21
2.1.- Muestras de suelo	21
2.2.- Selección de la muestra	21
2.3.- Determinación de plomo en suelo por fluorescencia de rayos x.....	22
2.4.- Preparación de los estándares	22
2.5.- Preparación de muestras	25
2.6.- Cálculos	26
Elaboración del mapa	26
III. Resultados	28
3.1.- Concentración de plomo en suelos.....	28
IV.- Discusión.....	36

V.- Conclusiones	38
5.1.- Plomo en suelo.....	38
5.2.- Generales.....	38
VI.- Recomendaciones	39
6.1.- Salud humana.....	39
6.2 Medio ambiente	39
6.3 Investigación y seguimiento	40
VII Referencias.....	42
VIII.- Anexos.....	47
8.1.- Resultados analíticos	47
8.3.- Plano de los sitios donde se obtuvieron las muestras de suelos	49
8.4.- Archivo fotográfico	50
8.5.- Espectros de Fluorescencia por rayos x de muestras de suelo.....	50

I.- Introducción

La presencia de minerales como el SiO_2 , $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ en mayor medida y de $\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$, MgFeSiO_4 , FeS_2 en menor concentración, es una característica de la composición de los suelos (Wielopolski *et al.*, 2005). La composición química del suelo incluye en forma predominante la presencia de SiO_2 , AlO_3 , CaO , MgO , K_2O y otros en concentraciones variables (Baytas and Akbal, 2002), el contenido elemental más abundante en suelos incluye al Si, Al, O, Ca, Mg, K, Na, C, S (Wielopolski *et al.*, 2005).

Antecedentes del sitio

Estudios previos enfocados a la exposición de metales pesados en México se han enfocado al plomo en la gasolina y en la cerámica, otros contaminantes como el arsénico y el cadmio han sido ignorados. Con el conocimiento que los depósitos de minerales metálicos y las refinerías como fuentes potenciales de contaminación, se puede decir que los complejos habitacionales vecinos a estos depósitos o industrias se puede presumir que impactan en la población, por lo cual se debe de muestrear las calles y sitios vecinos para evidenciar el grado de contaminación, algunos datos indican que los jales están asociados con contaminación ambiental e involucran a múltiples metales pesados, y para evaluar la asociación de solo uno de esos metales con daños a la salud, se debe de hacer una medición de los otros metales para facilitar el control y quitar los efectos de esos metales no medidos, y obtener el perfil de toxicidad completo (Benin *et al.*, 1999).

La contaminación del suelo es un problema que ha atraído importantemente la atención de los diferentes grupos de investigación en el mundo, debido al incremento de la contaminación en grandes extensiones de tierra que antes eran arables y que ahora resultan peligrosas para el humano y la vida silvestre. Cada vez se considera que el problema de la contaminación del suelo debe de atenderse de manera inmediata, desafortunadamente los costos para remover los contaminantes por métodos fisicoquímicos, han hecho que los industriales ignoren dicho problema. De hecho lo mas reciente para combatir la contaminación del suelo es la remoción, excavación y cubierta vegetal del suelo con un costo promedio de 1 millón de dólares

por hectárea (Garbisu y Alkorta, 2001).

Otro método utilizado es la fijación (inmovilización) por medios químicos y el lixiviado donde se utilizan soluciones ácidas para extraer los metales, seguido por el retorno del suelo al sitio de origen), debido a que es imperativo el control de la contaminación con métodos innovadores que económicamente permitan remediar los suelos contaminados.

Los metales pesados están presentes en suelo como componentes naturales o como el resultado de la actividad humana. Las fuentes primarias de metales son, el quemado de combustibles fósiles, fundidoras y mineral metalífero, basureros municipales, fertilizantes, pesticidas y las alcantarillas. En contraste a muchos contaminantes antropogénicos orgánicos que son factibles de ser degradados en suelo, la de los metales ocurre naturalmente y es persistente, los metales pesados son un grupo de contaminantes que se agrava por su persistencia indefinida en el medio ambiente. Algunos metales son esenciales para la vida ya que proveen cofactores esenciales para enzimas y metaloproteínas, pero a altas concentraciones pueden actuar de manera deletérea por bloqueo de grupos funcionales, desplazando a otros iones metálicos, modificando la conformación activa de las moléculas biológicas, en suma son tóxicos para organismos mayores y para microorganismos.

De hecho los metales afectan directamente varios procesos fisiológicos y bioquímicos causando la reducción del crecimiento, inhibición de la fotosíntesis, la respiración y la degeneración de los principales organelos de la célula. Algunos metales son acumulados en las raíces (plomo) y otros son fácilmente transportados por las plantas (cadmio). Los metales pesados no pueden ser destruidos por procesos biológicos (no hay degradación ni cambio en la estructura nuclear del elemento) pero pueden ser transformados de un estado de oxidación a otro o de un complejo orgánico a otro, cuya consecuencia es a) mayor solubilidad en agua, b) menor toxicidad, 3) menos soluble en agua, y por precipitación poder ser removido del sitio contaminado, 4) volatilizado o removido del sitio contaminado.

La contaminación del suelo es una amenaza muy seria para el medio ambiente y la salud. La evaluación del riesgo está basada en el análisis químico para

establecer la presencia y concentraciones de químicos tóxicos específicos y las consecuencias ecológicas negativas (Gomot-de Vaufleury y Pihan, 2002). Desde hace algunas décadas la importancia del plomo como contaminante ecotoxicológico ha sido bien conocida. Así, el impacto de los metales pesados de origen antropogénico en el medio ambiente, ha sido objeto de estudio en varias investigaciones (Komarnicki, 2000).

La minería es una actividad de gran importancia económica en estados de la República Mexicana como Guanajuato, Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luís Potosí e Hidalgo, en estos lugares se presentan casos de exposición a diversas sustancias químicas y su impacto en la salud merece ser analizado, y se deben considerar como sitios potencialmente peligrosos, y establecer métodos que incluyan la evaluación de tres factores: a) Caracterización de la biodisponibilidad de los metales; b) Estudio de la toxicidad de los residuos que puedan interactuar con los metales presentes; c) Análisis de la contaminación del medio ambiente para determinar las rutas de mayor riesgo (Mejía *et al.*, 1999).

Visita al Sitio

Vetagrande se ubica en la región central de los valles del estado de Zacatecas, la cabecera municipal se encuentra a los 22° 50' Latitud Norte y 102° 33' Longitud Oeste. La temperatura media es de 16 °C, sin embargo en invierno la temperatura desciende hasta -10 °C. Tiene una precipitación media anual de 700 mm y se presentan vientos dominantes en primavera, verano y otoño de Sur, Norte, Este, Oeste, Sureste, Noreste y Suroeste, a una velocidad media de 8 km/h y en invierno de 11 km/h (Manzanares *et al.*, 2003).

En el municipio de Vetagrande, ha explotado históricamente sus yacimientos minerales, actualmente se explotan vetas y se benefician, de donde se extrae oro, plata y plomo. La mineralización del suelo en Vetagrande consiste en vetas originadas por relleno de fallas y fracturas que se asientan en las rocas volcánicas. Los minerales de mena presentes en la zona principalmente son anglesita, cerusita, 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).

Desde hace varias décadas, el plomo (Pb) se ha utilizado en la fabricación de pinturas y gasolina cuyo consumo genera contaminación; otras fuentes están relacionadas con la fabricación de cerámica, reciclaje de baterías, el manejo de residuos tóxicos industriales así como la minería. La principal vía de biodisponibilidad del Pb, es el suelo donde se concentra e ingresa al organismo por ingestión e inhalación. Esto se da particularmente en los países en vías de desarrollo y en las comunidades rurales (Loghman–Adham, 1997; Mielke *et al.*, 1998; 1999; Lanphear *et al.*, 1999; Lawendon *et al.*, 2001).

Preocupaciones comunitarias en salud

A lo largo de la historia minera de Vetagrande se han depositado los jales en áreas ubicadas dentro y alrededor de la población.

En el 2002, se inició un estudio interinstitucional, en el estado de Zacatecas, para evaluar los niveles de plomo en sangre de niños y mujeres en período de lactancia y embarazadas de la comunidad de Vetagrande y determinar la relación entre los niveles del plomo en suelo, con los niveles de plomo en sangre de estos grupos de población (Manzanares-Acuña *et al.*, 2003).

La población de individuos menores a 12 años en Vetagrande es de aproximadamente 250 habitantes, así, se obtuvieron muestras sanguíneas de 30 niños menores de 12 años, de los 30 niños analizados, 17 son varones y 13 son niñas, y de 13 mujeres en período de lactancia y embarazadas, De las 13 mujeres en período de lactancia y embarazadas analizadas, el 69.2% estaban embarazadas y el 30.8% en período de lactancia, las primeras representaron el total de la población de mujeres con estas condiciones que accedieron a colaborar al momento de realizar el estudio en Vetagrande, Zacatecas. También se obtuvieron 21 muestras del suelo, 17 de casas de las personas seleccionadas para el estudio y 4 de sitios considerados

como de alto riesgo, por los probables contenidos de plomo.

Del estudio piloto realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

La concentración promedio es de 15.72 ± 7.11 , valor que supera el criterio establecido por la NOM-199-SSA1-2002.

- De acuerdo a esta norma las categorías de plomo en sangre en los infantes analizados indican que el 23.3% está en el nivel I, el 33.3% en el II, el 26.7% en el III y el 16.7% en el nivel IV. Esto implica que el 76.7% rebasa el valor considerado como normal.
- No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio de plomo en sangre de los niños y las niñas, tampoco existe diferencia al compararlos acorde al sitio alterno de permanencia.
- De muestras de sangre de 13 adultas, con condición de embarazo o en etapa de lactancia, se determinaron las concentraciones de plomo. El 23.1% de la muestras presentaron niveles que superan los $10 \mu\text{g/dL}$. Dos de las muestras corresponden a la misma persona, por lo tanto el 16.7% de las mujeres están en el nivel IV de las categorías de plomo en sangre, el resto está en el nivel I.
- Del conjunto de muestras de suelo analizadas el 71% supera los $400 \mu\text{g}$ de plomo por cada gramo de suelo, valor máximo que la EPA recomienda para que el suelo sea utilizado para uso residencial. Las menores concentraciones de plomo se encontraron en las muestras de suelo de la mina, la planta de beneficio, el jardín de niños y la escuela primaria.
- No existe correlación entre los niveles de plomo en sangre y los de plomo en suelo

Es concluyente que, el plomo está biodisponible para las personas que ahí habitan, ignorándose aún el origen de dicha biodisponibilidad.

El plomo biodisponible en el ambiente se reconoce como el problema de salud más importante en niños pequeños, lo que hace necesaria la intervención para

prevenir los efectos tóxicos; particularmente en los infantes y en las mujeres en edad gestante (Lawendon *et al.*, 2001; Lanphear *et al.*, 1998; Rothenberg *et al.*, 1999; Gomaa *et al.*, 2002; Gulson *et al.*, 2000).

En este proceso donde el Pb se acumula en el organismo, los infantes son el principal grupo en riesgo, debido a que el plomo en concentraciones superiores a los 10 µg/dL en sangre, puede ocasionar daños irreversibles en el sistema nervioso central, retraso en el crecimiento, y afecta al sistema hematopoyético, hepático y endócrino (Lanphear *et al.*, 1998; Rothenberg *et al.*, 1999; Gulson *et al.*, 2000; Gomaa *et al.*, 2002).

Selección de contaminantes críticos

Actualmente en Vetagrande, Zacatecas, opera una empresa minera. Los residuos de su actividad se liberan al ambiente durante el transporte del material por camiones descubiertos que propician la dispersión del polvo. Existen varios depósitos alrededor de la población, debido a que Vetagrande es parte de una región con características de mineralización se observan en un radio de hasta 15 km tanto infraestructura como residuos mineros. La mayoría de las casas están hechas de adobe, algunas con planchados interiores de mortero de cal-arena y los pisos son con predominio de tierra, así como los patios y áreas para estacionamiento, únicamente las calles principales están cubiertas con lajas de piedra y concreto en algunas zonas, el resto de espacios urbanos, son de tierra.



Figura 1. Entrada sur a Vetagrande, Zacatecas.



Figura 2. Mina y Trituración Dolores



Figura 3. Trituradora de la empresa Contracuña, S.A. de C.V.



Figura 4. Vista panorámica de la empresa Contracuña, S.A. de C.V., en operación

La literatura señala que zonas mineras como Vetagrande deben ser vigiladas, ya que por su actividad, es muy probable que se de la disponibilidad de plomo y por el factor edad, exista riesgo de intoxicación para la población (Lawendon *et al.*, 2001; Lanphear *et al.*, 1998; Rothenberg *et al.*, 1999; Gulson *et al.*, 2000; Gomaa *et a.*, 2002).

En Vetagrande, uno de los problemas que pueden propiciar la contaminación por plomo es que las calles y los patios de las casas no tienen revestimiento, además a lo largo de la historia minera de esta comunidad se han depositado los jales en áreas que circundantes a la población. En las figuras 4 y 5 se muestran detalles de la condición de las casas y los jales.



Figura 5. Veta principal de Vetagrande dirección Sureste



Figura 6. Veta principal de Vetagrande dirección Noroeste, y magnitud de los terreros que la rodean.

Suelos y sitios contaminados

El suelo es uno de los recursos más valiosos que se deben proteger. Esta necesidad de protección rara vez se refiere a un tipo de suelo específico, se refiere más bien a la diversidad de funciones que tiene.

El suelo es un cuerpo natural, producto de la intemperización de las rocas y la transformación de la materia orgánica, es el resultado de la interacción de los factores formadores de suelo (tiempo, material parental, clima, relieve y organismos) y de los procesos pedogenéticos (adición, pérdida, transformación, translocación) a lo largo de su desarrollo siguen vías distintas en función de la conjunción particular que resulta de esta interacción, quedando de manifiesto en características edáficas diferentes.

Cada suelo, dependiendo de sus características, realiza funciones dentro de los ecosistemas de los que forma parte y por lo tanto adquiere potencial o capacidad de rendir un bien o un servicio.

Las principales funciones del suelo son:

- Es un cuerpo natural y representa un registro histórico del paisaje, porque el perfil del suelo refleja la acción de los factores formadores.
- Es el soporte de vegetación natural y de la producción agrícola, ganadera y forestal.
- Es un filtro, amortiguador y transformador que mantiene la calidad del agua y del aire.
- Es una fuente de materia prima (arena, turba, arcilla)
- Es la base de infraestructura urbana industrial, áreas de recreación, depósito de desechos, etc.
- Es la base de la infraestructura urbana industrial, áreas de recreación, depósito de desechos, etc.

El término suelo se utiliza de diferentes formas y tiene diferentes significados dependiendo del interés específico, difiriendo muchas veces del concepto edafológico.

Se reconoce que los procesos de degradación que llevan a la transformación de los suelos en forma acelerada son inducidos por múltiples actividades del ser humano.

La contaminación constituye un aspecto importante en la degradación del suelo. La calidad de un suelo, es decir, su capacidad para desarrollar una serie de funciones, puede verse afectada negativamente por la contaminación.

Esta puede definirse como la concentración de un elemento o de un compuesto químico a partir de la cual se producen efectos desfavorables, que se traducen a una pérdida de aptitud para determinada función o hace inutilizable al suelo, a no ser que se le someta a un tratamiento previo, se asocia con la entrada de sustancias que son depositadas a través de diferentes vías, el suelo puede ser un receptor primario o secundario según sea un depósito directa (aplicación de plaguicidas, derrames) o indirecta (por precipitación atmosférica). Los efectos sobre las funciones que cumple un suelo y su transferencia hacia el agua, aire y seres vivos (lo que denominamos sitio) dependerán en gran medida de la unidad de suelo en la cual sean depositadas, ya que los diferentes tipos de suelo difieren en su vulnerabilidad a ser degradados (CITA).

La contaminación del suelo causada por la industria minera

Las actividades mineras en México tienen más de 450 años y han causado un impacto muy fuerte en el suelo, tanto en las zonas de explotación como en donde se depositan los residuos; el más notable es el enterramiento de grandes áreas de suelo y vegetación. En todo el territorio nacional se cuenta con miles de depósitos de residuos con un total aproximado de 1,500 a 2,000 millones de toneladas; de éstos aproximadamente 200,000 ton se encuentran en el Distrito de Zacatecas, 100,000 ton en Guanajuato y más de 200,000 ton en Pachuca.

La minería en Zacatecas

Se descubrió el mineral de Pánuco y en fechas similares el mineral de Vetagrande, iniciando así su explotación a gran escala.

Desde mediados de 1500 hasta 1880 el 70% de plata fue producida por el método de patio (Lacerda, 1997), que fue desarrollado por Bartolomé de Medina en 1557, denominado procedimiento de amalgamación aplicable a minerales de oro y plata; revolucionando totalmente los sistemas utilizados en el beneficio de estos minerales. Este método utilizaba mercurio, cloruro de sodio y sulfato de cobre, generando residuos peligrosos como mercurio, plomo, arsénico, cadmio, zinc, plata, cobre, antimonio y cloruro de sodio. Tan solo en el distrito de Zacatecas operaban 35 haciendas de beneficio por el sistema de patio.

En 1825 con capitales británicos se reanudan los trabajos en Vetagrande, dando inicio la adecuación de obras mineras, que en 1828 empezó a fructificar. Después del rompimiento del monopolio que por largo tiempo conservaron los españoles, se motivó el impulso del desarrollo minero. En este ambiente de prosperidad se desenvuelve la minería hasta la llegada del movimiento revolucionario (1910-1917), trayendo consigo otra época de abandono, conduciendo al deterioro e inundación de las minas. Dejando atrás también el sistema de beneficio de patio, ya que cuando se restableció el nuevo orden en el País, regresaron multiplicados los capitales extranjeros, trayendo consigo nuevos sistemas de beneficio para los minerales.

Dentro de las innovaciones sobresalientes, cabe mencionar la instalación en el Municipio de Fresnillo de una planta de beneficio por el sistema de cianuración, concentrando minerales de oro y plata. En 1932 se cierran minas pequeñas e inicia un letargo para la actividad minera tradicional de toda la zona, etapa que duró 30 años, es hasta la Segunda Guerra Mundial, que se motiva la explotación de centros mineros que en otras circunstancias no presentaba condiciones de interés, tal es el caso del mercurio, cuya explotación provocó la fundación de nuevos centros de población que aunque ahora persisten es bajo circunstancias de marginalidad social.

En la década de los sesentas aparece un estado de resurgimiento, marcando la pauta, la mexicanización de las empresas que constituían la gran minería, se diversificó la explotación de minerales, cobrando auge los no metálicos, como la roca fosfórica, barita, cuarzo y wollastonita, como productos primarios.

La gran minería aparece en la década de los ochentas, trayendo consigo altas inversiones para el desarrollo de proyectos que contribuyeron a ocupar el primer lugar como productor de plata en el contexto nacional.

Originalmente las minas fueron trabajadas para la explotación de plata y oro. En épocas recientes se inicio la producción de plomo, zinc y cobre. (COREMI, 2003).

Vetagrande se encuentra ubicado en el distrito minero de Zacatecas, este tiene gran importancia por su historial minero y de producción, ya que durante el período de 1548 a 1895 fue de 60'009,985 kg de plata (Barry, 1931; Ponce, 1985) y para el período de 1967 a 1982 la producción fue de 67,433 kg de plata, 325 kg de oro; para los minerales base las toneladas métricas extraídas fue del orden de 3,873 de plomo, 7,128 de zinc y 998 de Cu (Anuarios Estadísticos del C.R.M. y C.F.M., Ponce, 1985), actualmente se continua con la explotación de la Veta grande.

El distrito minero de Zacatecas cuenta con una infraestructura minera para el beneficio de los minerales existiendo 15 plantas de beneficio, de las cuales 7 están en operación, 4 benefician jales y el resto benefician minerales por el método de flotación, con capacidades de 200 a 1,200 ton/día.

En Vetagrande opera la mina "Dolores" y una planta de beneficio, ambas de la empresa Minera Contracuña S. A. de C. V. desde 1975, antiguamente se denominaba "*La gran cuadra de Vetagrande*", constituida por varias concesiones, y al integrarse quedaron como un solo lote minero, denominándose *Contracuña*. Procesan actualmente 200 ton de jales diariamente por el método de flotación, mediante la utilización de xantatos. Produciendo 200 a 250 gr de plata y 1 gr de oro por tonelada. La presa de jales tiene autorización de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales desde hace 9 años.

El sistema Vetagrande se ubica al noreste de Zacatecas y suroeste del sistema Pánuco, está definido como una zona de cizalla con orientación NW-SE, en donde se emplazaron una serie de estructuras mineralizadas, destacando Vetagrande y Tahúres; actualmente en la mina Dolores, se explota la Veta grande, con un ancho de 0.50 a 10 m, con algunos clavos que alcanzan más de 20 m de ancho y leyes de 0.55 g/ton de Au, 177 g/ton de Ag, 1.5% de Pb y 1% de Zn. El estudio geológico minero determina la presencia de plata, plomo, zinc, oro y cobre. La comunidad de Vetagrande es atravesada en su parte norte por una estructura de veta irregular alojada en una falla de rumbo promedio N 57° W, echado de 60° a 70° al SW y de 2 a 6 metros de ancho, en los sitios de mayor concentración de mineral.

Las características de las concentraciones variarán para cada zona o región, de acuerdo a varios factores naturales, por lo que existirá un valor normal de fondo (background) diferente para cada área (100 Yañez).

Los yacimientos no solo contienen minerales que generan acidez, sino otros con capacidad para neutralizarla, principalmente la calcita, dolomita, magnesita y anortita. Si en el cuerpo del yacimiento ó en los residuos se tiene un balance estequiométrico donde los minerales neutralizantes están en mayor proporción que los generadores de acidez, no se tiene una problemática de acidificación de los suelos circundantes, por lo menos en el corto plazo. La evaluación del potencial tóxico por metales es un asunto muy complejo que requiere de una caracterización detallada y que puede implicar costos muy altos.

La legislación sobre impacto de la minería a los suelos en México se limita a la norma NOM-090-ECOL-2002 sobre requisitos para la selección del sitio, diseño del proyecto, construcción, operación, monitoreo y postoperación de presas de jales. Presenta varias limitantes, sólo menciona en un apartado de caracterización evaluar el potencial ácido de los jales, pero no especifica un método. La peligrosidad se asigna aplicando el criterio CRETIB después de realizar una lixiviación y un asunto que puede ser una fuente de error es que considera que todos los tipos de yacimientos tienen el mismo grado de peligrosidad, lo cual es falso.

Para determinar el impacto por metales en suelos es necesario conocer los niveles naturales que presentan los horizontes del suelo y el material parental o “niveles de fondo”, es muy importante considerar y delimitar a las zonas de alteración hidrotermal en las rocas que encajonan a los yacimientos. Las rocas con alteraciones hidrotermales presentan tanto minerales generadores de acidez como neutralizantes en áreas muy extendidas y pueden controlar la calidad de las aguas de drenaje y de los suelos.

| La problemática de los jales en México ha sido abordada desde diferentes enfoques, desde la recuperación metalúrgica, el uso de los materiales para la cerámica y la construcción de tabiques hasta la evaluación del potencial tóxico.

Cada distrito minero es producto de una geología histórica específica con condiciones fisiográficas y climáticas particulares y por lo tanto debería realizarse una evaluación detallada para cada caso si se pretende definir el potencial tóxico de los residuos.

La mayoría de los yacimientos mineros en México son epitermales de plata y oro (precipitación de minerales desde soluciones calientes), la generación de acidez por jales de origen epitermal depende del sistema de beneficio y de las condiciones de oxidación del yacimiento. Antes de 1905, en todos los Distritos históricos de México se utilizaba el método de patio o amalgamación con mercurio, que dejó varios miles de toneladas de este metal en los sedimentos de los ríos. De 1905 a la actualidad se ha utilizado la cianuración y flotación, con variantes según la calidad de las menas pero la generalidad es que los materiales tienen un molido más fino. Los materiales extraídos de zonas de oxidación en las vetas tienen un menor potencial de generación de acidez que los extraídos de zonas no oxidadas. (CITA)

Normatividad de plomo en E. U. A. y México para suelo residencial y agrícola.

La normatividad señalada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), para suelos de uso residencial y agrícola es de 400 mg/Kg de plomo (EPA, 1994).

En el caso de México, en 2003, la legislatura del estado de Coahuila, envía a la Comisión de Salud de la LIX Legislatura Nacional, una propuesta, encaminada a generar una Norma Oficial Mexicana para la medición de plomo en polvo y suelos, cuya respuesta fue, “Se emite un atento exhorto al Ejecutivo Federal a efecto que la Secretaría de Salud con base en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización expida, la Norma Oficial Mexicana para la medición de plomo en polvo y suelos”, y aún a la fecha no se ha expedido esta NOM.

A partir los hechos científicos conocidos y las condiciones existentes, así como por las evidencias de la presencia de plomo en la población de Vetagrande, este estudio se desarrolló bajo la siguiente pregunta científica,

Existen evidencias de la presencia de plomo en la población de Vetagrande y si es el caso ¿Cuáles son los niveles de la concentración de plomo en suelo y en cuántos sitios la concentración excede los 400 $\mu\text{g/g}$?

Hipótesis

Para dar respuesta a la pregunta científica se planteó la siguiente hipótesis.

Por el desarrollo minero de Vetagrande la concentración de plomo en suelo excede los 400 $\mu\text{g/g}$, en al menos el 50% de los sitios,

Objetivo general

Medir las concentraciones de plomo en el suelo de Vetagrande, Zacatecas para determinar si las concentraciones exceden los niveles de plomo recomendados por la EPA.

II. Materiales y Métodos

Se obtuvieron muestras del suelo de 89 sitios tanto de la periferia como de sitios comunes de la cabecera municipal de Vetagrande.

2.1.- Muestras de suelo

Las muestras de suelo se obtuvieron a una profundidad de 2.5 cm y se guardaron en bolsas de plástico selladas herméticamente, hasta su procesamiento (Mielke *et al.*, 1999). Los niveles de plomo en suelo se midieron mediante espectrometría de energía dispersiva de rayos x. Cada muestra se analizó por cuadruplicado y siguiendo las indicaciones señaladas en la literatura (Rothenberg *et al.*, 1993; 1999; 2000). Para garantizar el control de calidad, durante las determinaciones se utilizaron estándares certificados del NIST (National Institute of Standards and Technology) y de la NBS (National Bureau of Standards).

2.2.- Selección de la muestra

El tamaño de muestra se determinó asumiendo que el número de muestras posibles era infinito y que el 50% de las muestras tienen una concentración mayor a los 400 $\mu\text{g/g}$. En el cálculo se tomó un 95% de nivel de confianza dando como resultado 73 muestras. Durante el muestreo se tomaron 89 muestras de suelo.

Para la expresión para el cálculo del tamaño de muestra, se supuso lo siguiente;

$N = \text{Infinito}$ (Número de muestras que se pueden tomar)

Error máximo aceptable = 5%

% de las muestras que se estima tendrán Pb = 95%

Nivel de confianza = 95 %

Cantidad de muestras que se deben de obtener = 72.93 (73)

Estas muestras se deben tomar del suelo en sitios que deben seleccionarse en forma aleatoria sin ninguna restricción, los resultados derivados del análisis de las muestras tomadas podrán generalizarse para el área de estudio. Se generó un programa con la generación de sitios infinita, la n de sitios dada fue de 73 sitios a muestrear.

2.3.- Determinación de plomo en suelo por fluorescencia de rayos x.

Para esta determinación se utilizó el equipo de energía dispersiva de rayos x MiniPal PW4025 (Philips Analytical), con un accesorio para la inyección de gas helio, y para el cálculo de los datos de las muestras el software MiniPal II.



Figura 6 Equipo MiniPal y al lado los envases con las muestras problema

2.4.- Preparación de los estándares

Se dispuso de 12 estándares, de los cuales cuatro son del NIST y del NBS, estos son Montana soil 2710 y NBS 1570, 1573, 1575. En la figura 7 se muestra la curva completa de calibración y en la 8 se muestra esta misma detallando los valores del intervalo de clase de las concentraciones medidas en este estudio. La función ajustada en una línea recta que se obtuvo utilizando mínimos cuadrados ponderados (Vega-Carrillo 1989, 1991). La función lineal resultante de este ajuste es,

$$\text{PPM}_{\text{Pb}}(\text{CPS}_{\text{Pb}}) = (134.2736 \pm 0.3005) \text{CPS}_{\text{Pb}} - (135.7815 \pm 2.0719) \quad (1)$$

donde CPS_{Pb} representa las cuentas del espectrómetro bajo los picos correspondientes al plomo y PPM_{Pb} representa la concentración de plomo en partes por millón (ppm) o $\mu\text{g/g}$. El factor de ponderación utilizado durante el ajuste es el recíproco de la suma de las varianzas en las variables dependiente e independiente, es decir,

$$\omega = \frac{1}{V_{CPS_{Pb}} + V_{PPM_{Pb}}} \quad (2)$$

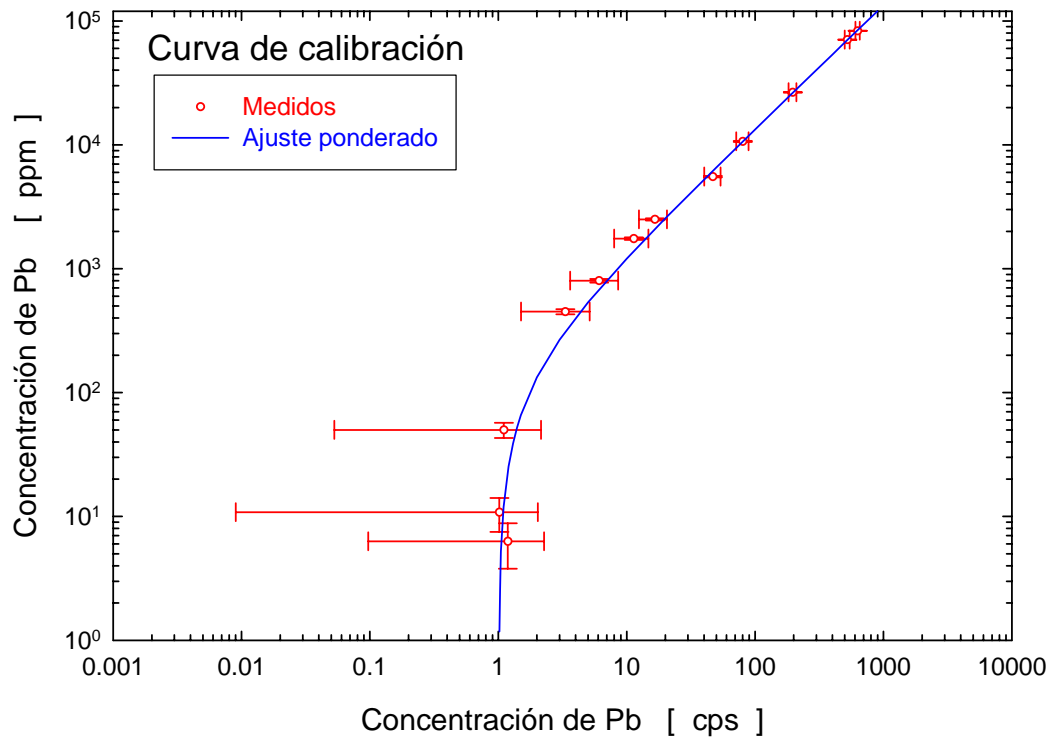


Figura 7.- Datos y curva de calibración

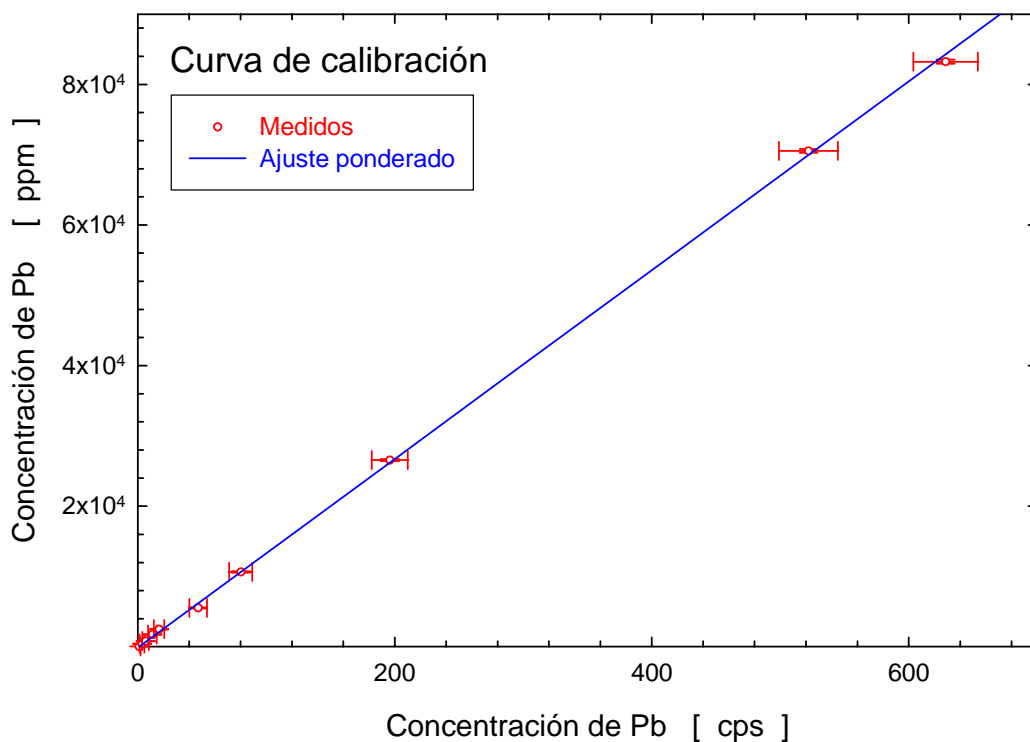


Figura 8.- Datos y curva de calibración detallando el intervalo de clase de los datos medidos

Para verificar la capacidad de la técnica de energía dispersa de fluorescencia por rayos x, un conjunto de muestras se analizó por esta técnica y por la técnica de absorción atómica con horno de grafito, este último análisis se hizo en la UNAM por duplicado y siguiendo las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). La comparación de ambos resultados se muestra en la figura 9.

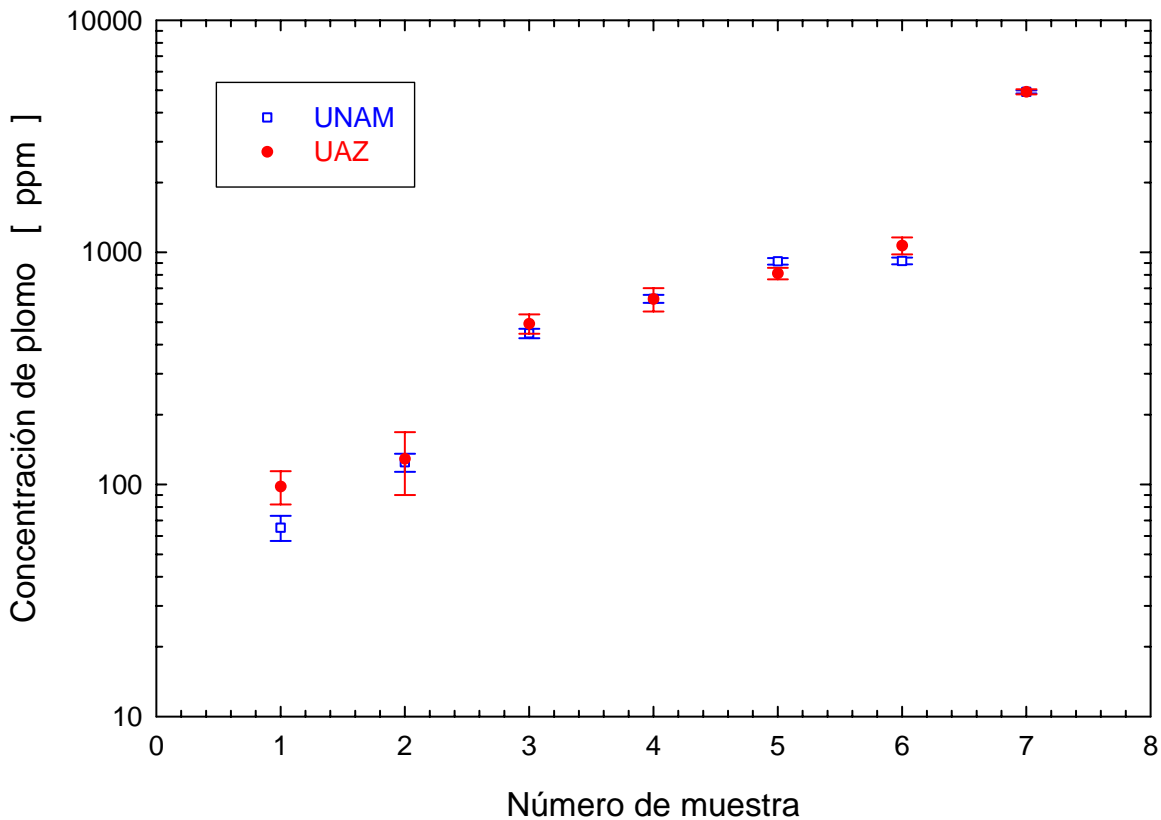


Figura 9. -Comparación de las concentraciones de Pb por Absorción atómica hecha en la UNAM y por energía dispersa de Fluorescencia por rayos x realizada en la UAZ.

2.5.- Preparación de muestras

Para su análisis, las muestras de suelo se prepararon acorde al siguiente procedimiento:

1. Previo tratamiento de homogenización de las muestras consistente en molienda en mortero de porcelana, tamizado en mallas 60, 100, 200 y 325 μm y pesado.
2. Se depositó 1.5 g de suelo en un portamuestras para el equipo MiniPal.
3. Se realizó la construcción de la curva de calibración con los estándares de NIST y NBS para plomo desde 0.0 hasta 7,500 ppm.
4. Se procedió a la lectura del espectro tanto de los blancos, estándares y las muestras, se contaron por quintuplicado durante 10 segundos.

2.6.- Cálculos

El promedio de las lecturas obtenidas en los estándares se obtuvo en cuentas por segundo y se relacionó a la concentración en partes por millón, a través de una regresión lineal por mínimos cuadrados ponderados (Vega-Carrillo, 1987). esta curva de calibración se muestra en la Figura 8.

Control de Calidad

Para verificar los resultados obtenidos por fluorescencia de rayos x, se realizó un estudio doble ciego, donde 10 muestras fueron tomadas al azar y fueron enviadas a la Facultad de Química, Unidad de Gestión Ambiental, de la UNAM, para su análisis por la técnica de absorción atómica. Estos resultados se compararon con los medidos en nuestro laboratorio encontrándose que 7 de las 10 muestras son estadísticamente iguales, 2 son mayores y 1 es menor a las obtenidas por fluorescencia de rayos x.

Elaboración del mapa

Para la elaboración del mapa se utilizaron los sistemas ArcGIS 8.3 y ArcView 3.2a.

Se emplearon fotografías aéreas de la localidad, tomadas en el año 2002, por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

241 VETA GRANDE ESC 1:10,000 30 OCT 02 LINEA 1

242 VETA GRANDE ESC 1:10,000 30 OCT 02 LINEA 1

246 VETA GRANDE ESC 1:10,000 30 OCT 02 LINEA 2

247 VETA GRANDE ESC 1:10,000 30 OCT 02 LINEA 2

248 VETA GRANDE ESC 1:10,000 30 OCT 02 LINEA 2

Se elaboro un mosaico digital a partir de las fotografías aéreas, para referenciarlas, se utilizaron puntos de control visibles en ellas y después se obtuvieron sus coordenadas en campo por medio del sistema de posicionamiento global mejor conocido por su siglas en ingles "GPS", usando un geoposicionador marca Garmin V; para minimizar el error se tomaron alrededor de 11 puntos por fotografía, la herramienta utilizada para este fin fue el ArcGIS.

Después de obtener el mosaico y las coordenadas de las muestras obtenidas con el GPS, sobre esta pantalla, se formo otra capa de información con el sistema ArcGIS. El sistema de coordenadas utilizado en las capas de información de ArcGIS y los mapas de salida es UTM, nad27, con escala 1: 5,000.

Método geoestadístico

Para la estimación de Pb en suelo, se utilizó el método geoestadístico gstat: Win32/MinGW version 2.4.1 (12 March 2003), Copyright (C) 1992, 2003 Edzer J. Pebesma, <http://www.gstat.org>.

Con las muestras y el programa gstat, se construyo la capa de información de rangos de concentración de plomo y la varianza de estimación por el método de kriging.

III. Resultados

3.1.- Concentración de plomo en suelos

En la figura 10 se muestran los niveles de Pb encontrados en las 89 muestras de suelo analizadas. Los datos determinan que las muestras de suelo tienen una concentración de plomo en rangos de 8 hasta 7730 $\mu\text{g/g}$. En promedio las 89 muestras analizadas contienen $1397 \pm 86 \mu\text{g/g}$. Este valor promedio es superior a los 400 $\mu\text{g/g}$ considerado como límite máximo para que el suelo pueda ser utilizado para uso residencial (EPA, 1993; Ma y Rao, 1999). Este valor indica que el suelo es una fuente potencial de intoxicación por plomo para la población susceptible.

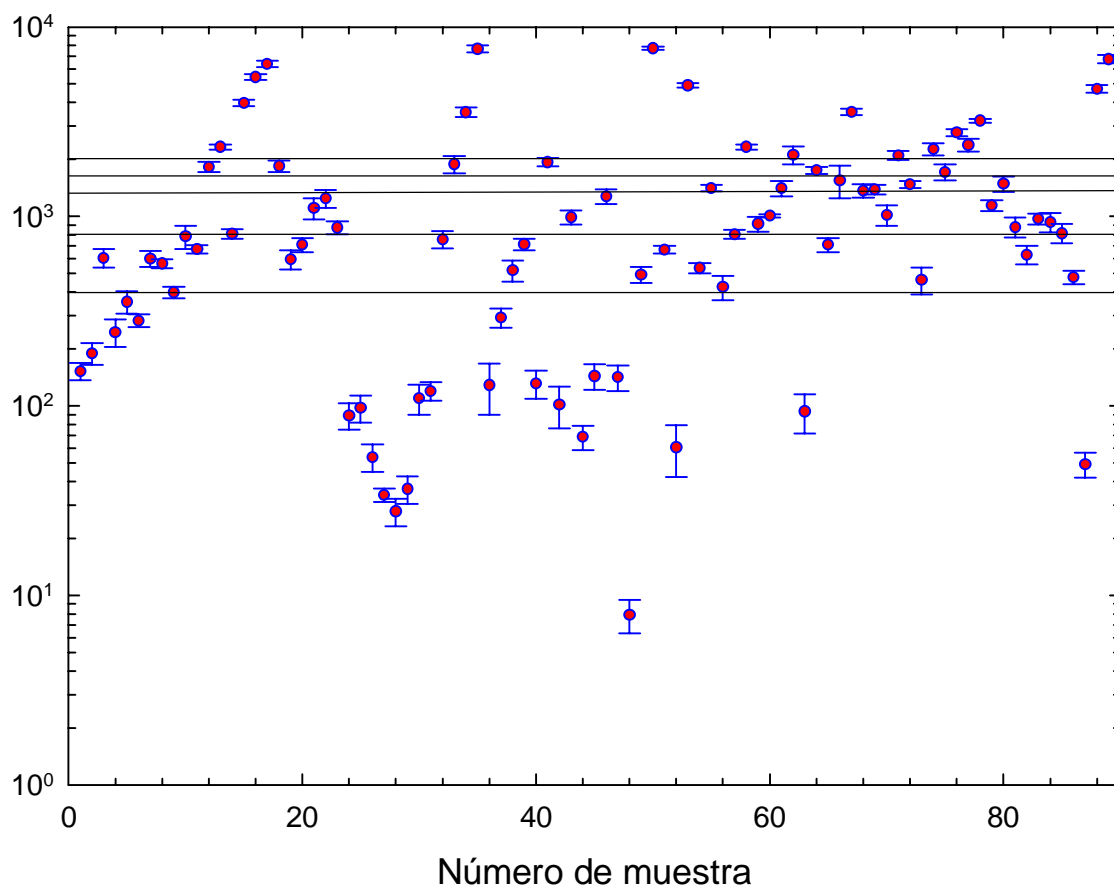


Figura 10.- Concentración de Pb en las 89 muestras de suelo de Vetagrande.

El 28.1 % de las muestras de suelo analizadas que tienen concentraciones menores a los 400 $\mu\text{g/g}$, este grupo se muestra en la figura 11, donde los valores de plomo varían de 8 a 398 $\mu\text{g/g}$ y la concentración promedio de plomo es de 136 ± 104 $\mu\text{g/g}$

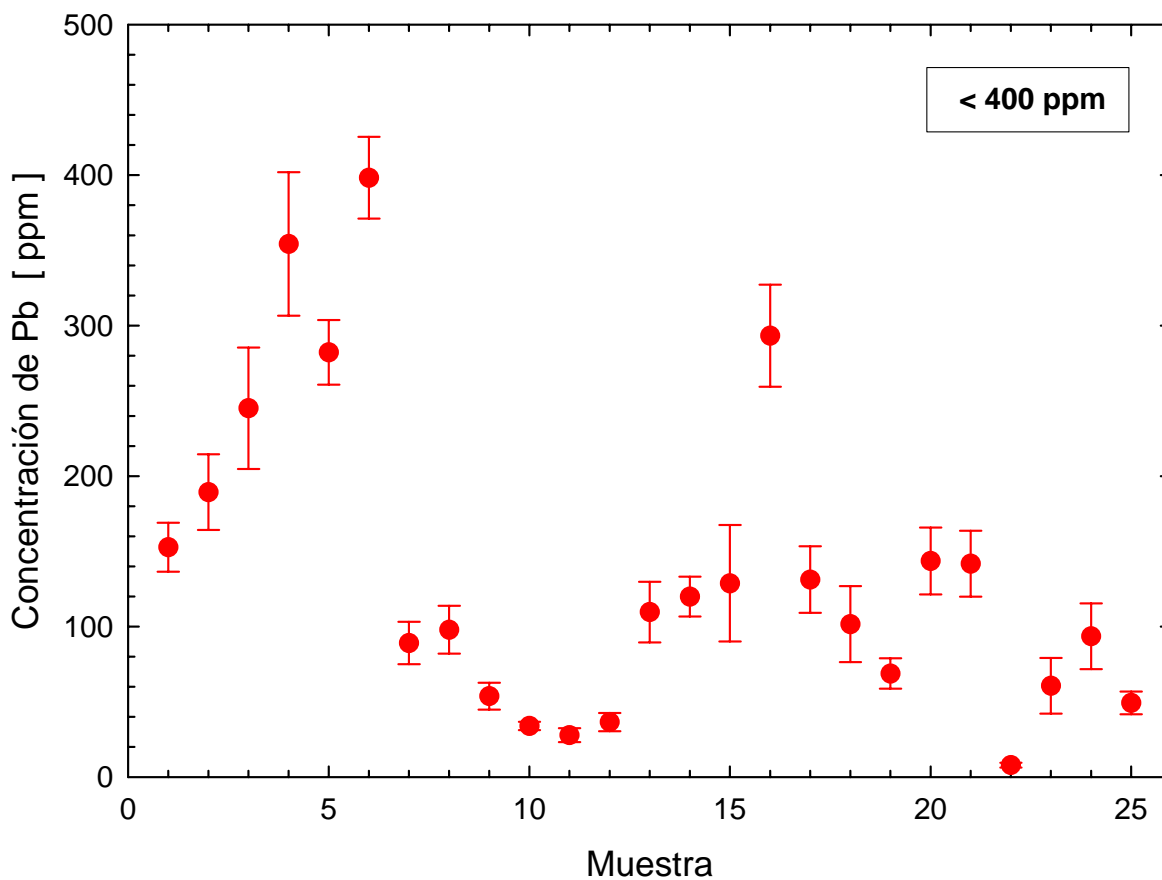


Figura 11.- Muestras de suelo con concentración de Pb menor a 400 $\mu\text{g/g}$

De las 89 muestras analizadas, dieciocho, que representan el 20.2 %, contienen plomo en concentraciones que varían desde 400 hasta menos de 800 $\mu\text{g/g}$. La distribución de este grupo se muestra en la figura 12. Este grupo tiene concentraciones promedio de 607 ± 107 $\mu\text{g/g}$.

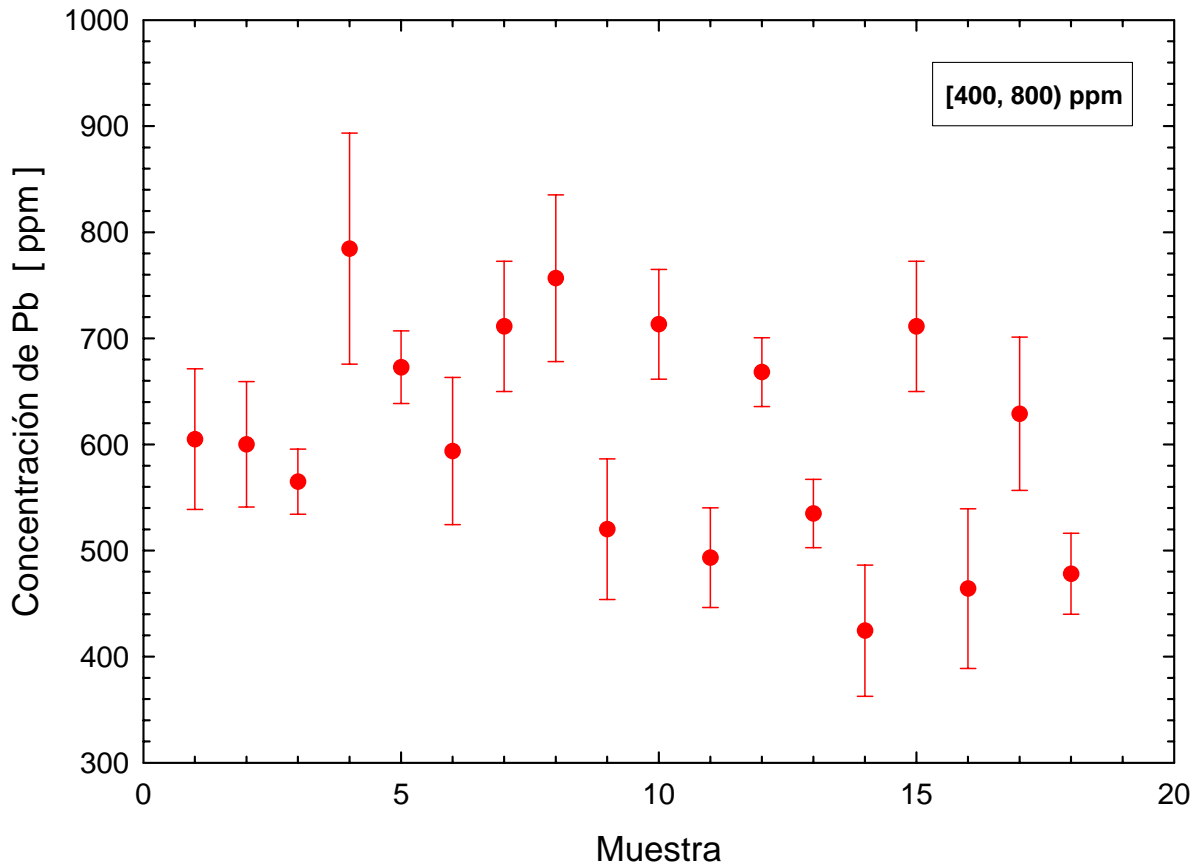


Figura 12.- Muestras de suelo con concentraciones de Pb entre 400 y 800 g/g.

Trece muestras analizadas presentaron concentraciones de plomo que varían desde 800 hasta menos que 1200. En la figura 13 se muestra este grupo, donde las concentraciones varían desde 805 hasta 1141 $\mu\text{g/g}$. Este grupo representa el 14.6 % del total y su concentración promedio de plomo es de $944 \pm 109 \mu\text{g/g}$.

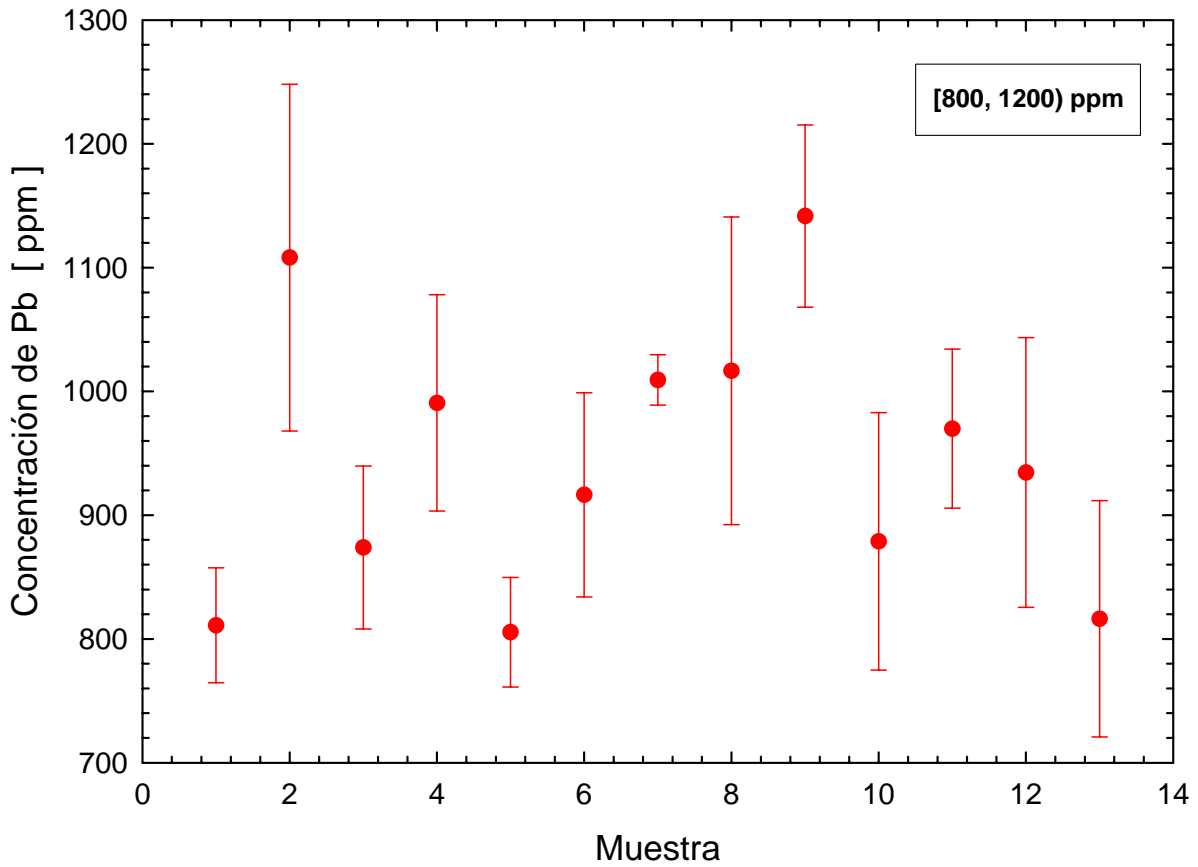


Figura 13.- Muestras de suelo con concentraciones de Pb entre 400 y 800 $\mu\text{g/g}$.

El 10.1 % del total de las muestras (9) tiene concentraciones de plomo que varían de 1247 a 1551 $\mu\text{g/g}$, en la figura 14 se muestra este grupo que tiene una concentración promedio de $1401 \pm 98 \mu\text{g/g}$.

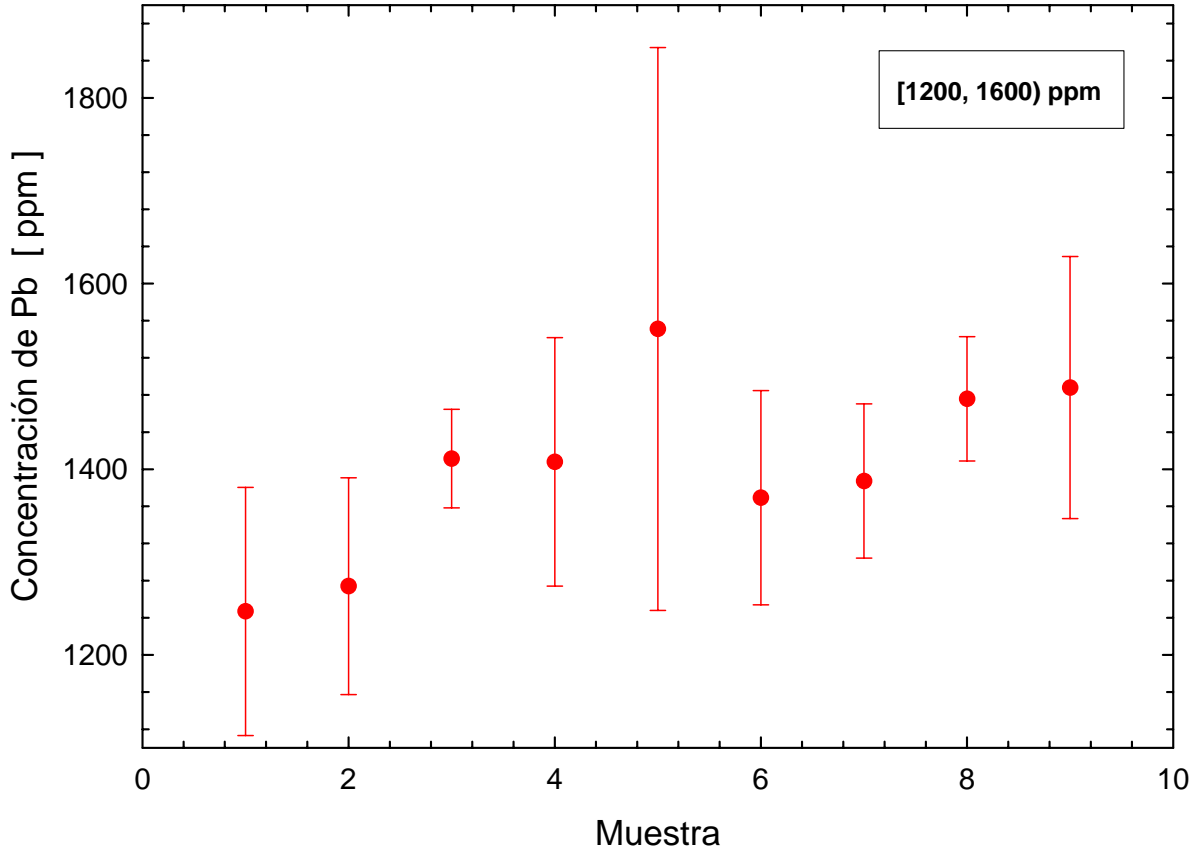


Figura 14.- Muestras de suelo con concentraciones de Pb entre 1200 y 1600 $\mu\text{g/g}$.

Seis de las 89 muestras tienen concentraciones de plomo que varían entre 1715 a 1936, con una concentración promedio de $1825 \pm 82 \mu\text{g/g}$. En la figura 15 se muestra este grupo.

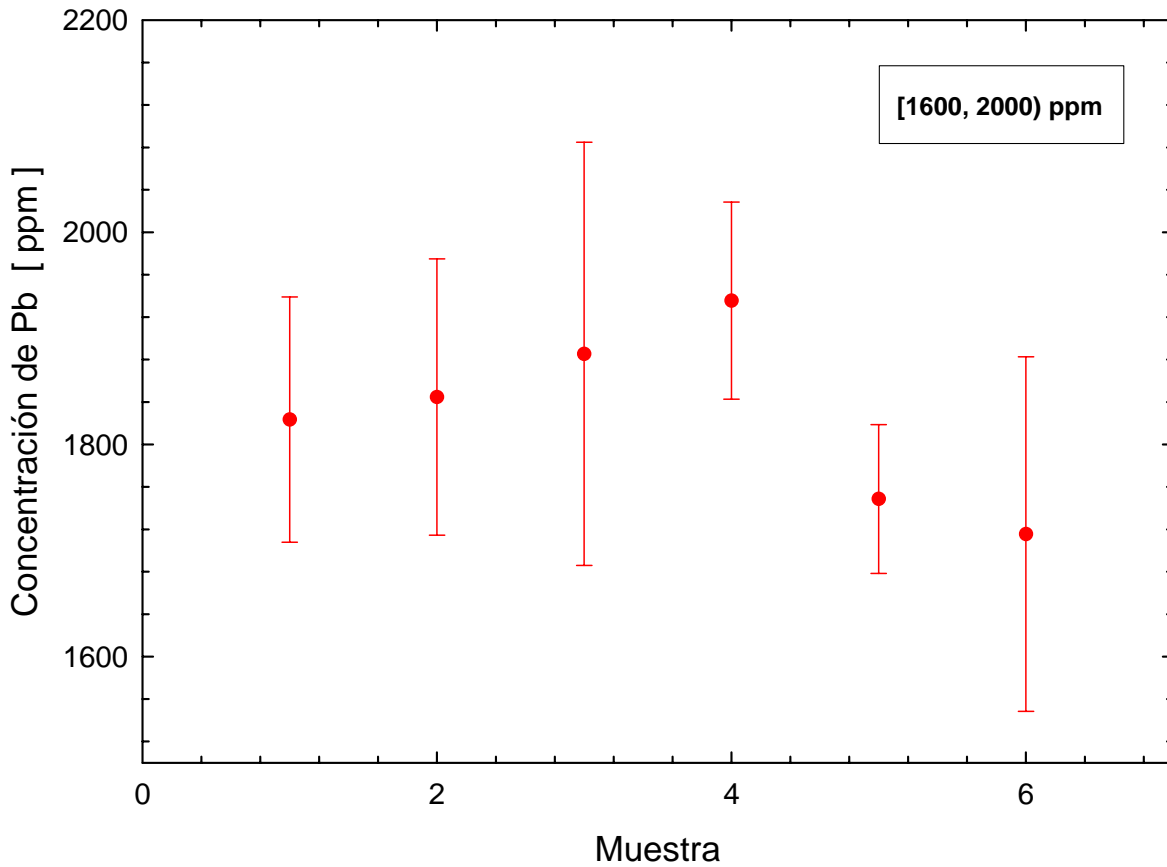


Figura 15.- Muestras de suelo con concentraciones de Pb entre 1600 y 2000 $\mu\text{g/g}$.

De las 89 muestras analizadas dieciocho, tienen concentraciones de plomo que varían de 2102 a 7729 $\mu\text{g/g}$ y representan el 20.2%, En la figura 16 se muestra las concentraciones de plomo de este grupo donde la concentración promedio es de $4123 \pm 1952 \mu\text{g/g}$.

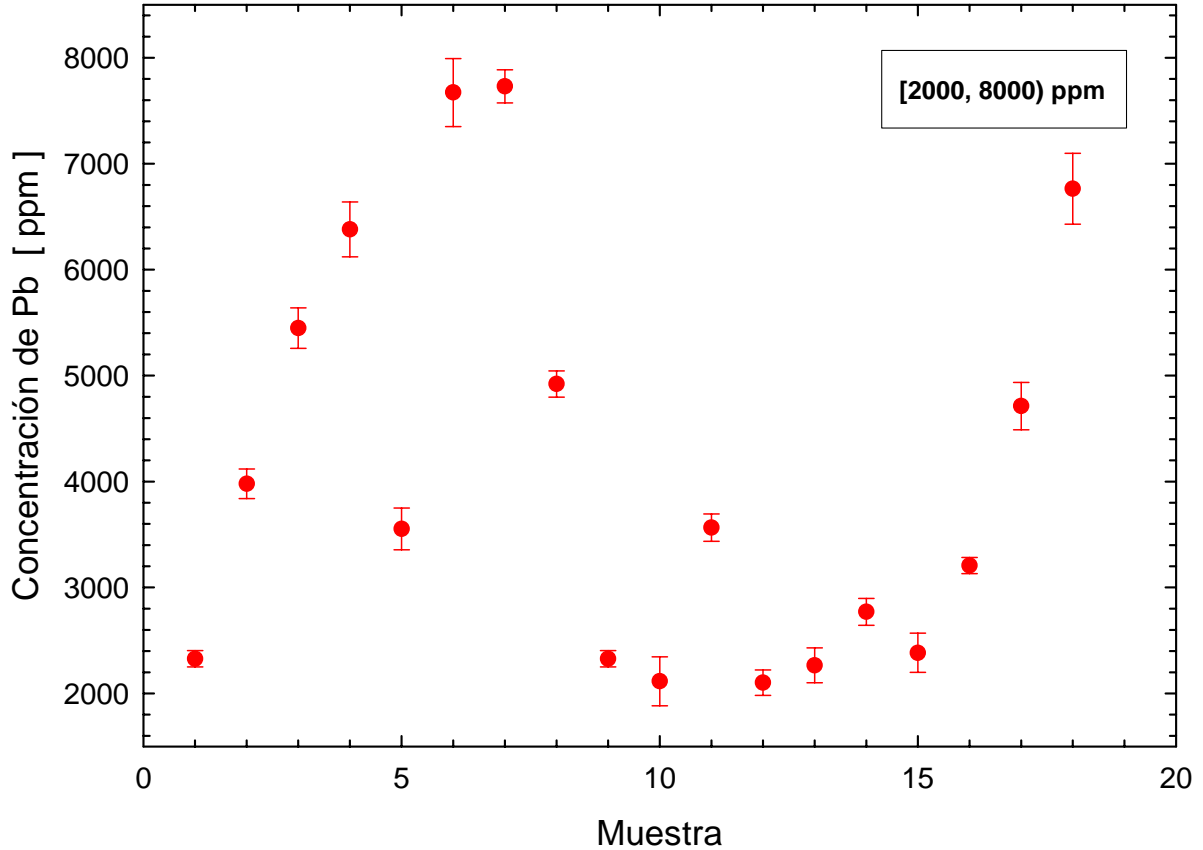


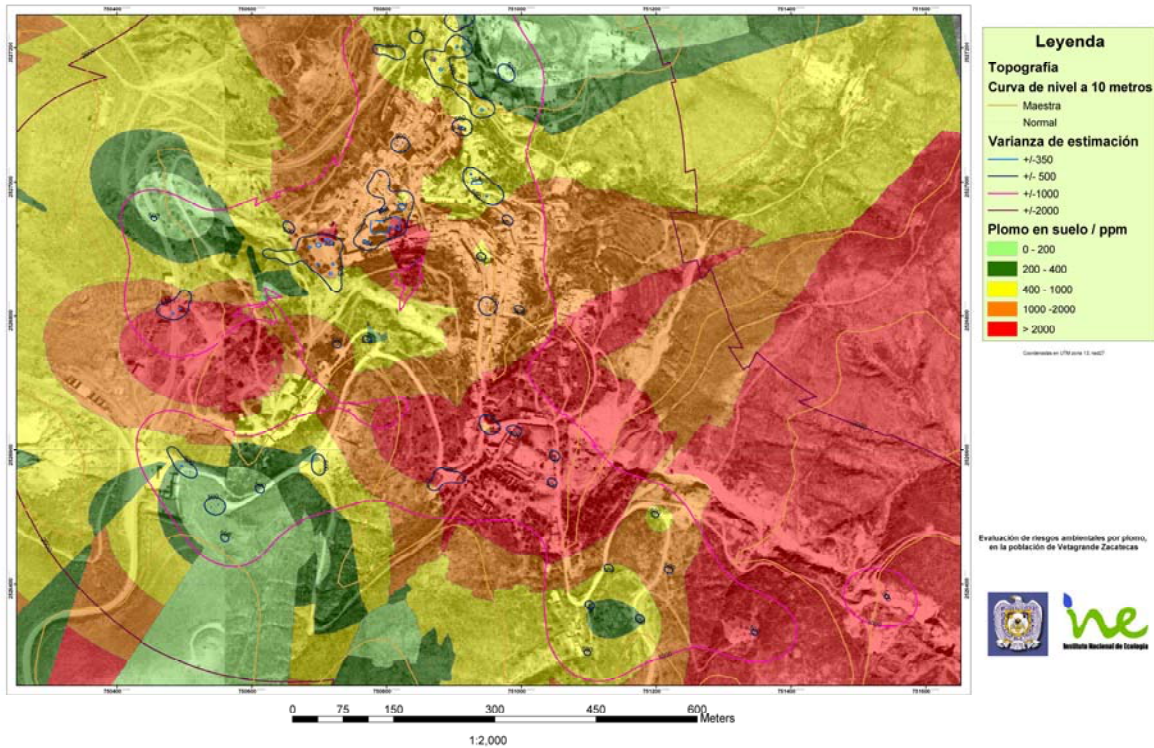
Figura 16.- Muestras de suelo con concentraciones de Pb entre 2000 y 8000 $\mu\text{g/g}$.

Mediante el uso de la geoestadística, se ha estudiado la distribución espacial del plomo en suelo en la población de Vetagrande. Estos mapas se basan en la técnica de estimación geoestadística conocida como kriging.

Con los mapas de distribución se detecta la concentración preferente de los valores de plomo. Los mapas contienen las mejores estimaciones en los puntos no muestrales, ya que se basan en unos datos que, después de una transformación logarítmica, se ajustaban a una distribución normal, suponiendo además que los variogramas elegidos describen lo más realmente posible la variabilidad espacial.

Mediante el Método geoestadístico de estimación de Kriging, se cubrió el área de estudio con una superficie que fue de 160-72-00 ha.

Mapa No.1 Estimación de plomo en suelo



La estimación de plomo en suelo se muestra en el mapa 1, en donde se notan círculos azules, que son las zonas de muestreo y que después de la integración de la fotografía aérea, se observa como se distribuye la concentración del plomo en la cabecera municipal de Vetagrande, siendo la mas sobresaliente y cuyos niveles son desde 2000 ppm o más, a la zona que corresponde a la Veta minera que se observa desde la esquina superior izquierda a la inferior derecha del mapa 1, mientras que las zonas con menor concentración (de color verde) se observan fuera de donde existió actividad minera y/o procesamiento de minerales.

La estructura mineralizada que se encuentra en el sur de la población, influye en los valores de plomo encontrados.

IV.- Discusión

Se obtuvieron 89 muestras de suelo de Vetagrande, Zacatecas con el fin de analizarlas y determinar la concentración de plomo. El análisis de las muestras se realizó mediante la técnica de fluorescencia por rayos x. Donde se encontró que el promedio de plomo en el total de las muestras de suelo es de $1398 \pm 86 \mu\text{g/dL}$. Este valor supera el valor criterio de $400 \mu\text{g/g}$ establecido en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para uso residencial (EPA, 1993; Ma y Rao, 1999). El valor promedio encontrado es un indicio de que el suelo es la fuente potencial de contaminación para la población.

El 28 % de las muestras analizadas tienen una concentración menor a los $400 \mu\text{g/g}$. Este grupo tiene una concentración promedio de $136 \pm 104 \mu\text{g/g}$. De las 89 muestras analizadas, 25 tienen concentraciones de plomo que las hacen viables para su uso residencial, mientras que el 72% de las muestras, es decir 64, tienen concentraciones de plomo que superan el valor criterio, este porcentaje es igual al reportado por Manzanares-Acuña *et al.*, (2004) en un estudio sobre suelos realizado en esta misma zona pero con un número menor de muestras, y que se muestra en el mapa 1 con color verde claro y verde oscuro.

El 20.2 % del total de las muestras tiene una concentración promedio de $607 \pm 107 \mu\text{g/g}$ y los valores individuales varían entre 424 a $784 \mu\text{g/g}$, y se muestran en color amarillo en el mapa 1. El 14.6 % del total de las muestras tiene una concentración promedio de $944 \pm 109 \mu\text{g/g}$ y los valores individuales varían entre 805 a $1142 \mu\text{g/g}$, este el suelo que se encuentra en este rango puede ser utilizado para campos donde las personas únicamente ocupan una pequeña parte de su tiempo y que de acuerdo a las normas de la comunidad Económica Europea es de hasta 1000

ppm (CCE, 2002). El 10.1 % del total de las muestras tiene una concentración promedio de $1401 \pm 98 \mu\text{g/g}$ y los valores individuales varían entre 1247 a $1551 \mu\text{g/g}$. Este valor resulta menor al valor reportado por Mejía *et al.* (1999) en área urbana de Villa de la Paz, San Luís Potosí, pero es mayor a los valores reportados por Higgs *et al.* (1999) en suelos de Maryland, Minnesota y Louisiana en los Estados Unidos.

El 6.1 % del total de las muestras contiene plomo en una concentración promedio de $1825 \pm 82 \mu\text{g/g}$ en un rango que varía de 1247 a $1551 \mu\text{g/g}$ rango utilizado por la Comunidad Económica Europea como máxima permisible para usos industriales (CCE, 2002), este grupo se muestra como rojo, mientras que el 20.2 % de las muestras contiene, en un rango de 2102 a $7730 \mu\text{g/g}$, se muestra en color rojo fuerte en el mapa 1, con una concentración promedio de plomo de $4123 \pm 1952 \mu\text{g/g}$, y en este caso se debe de aplicar los criterios para fitoestabilización y/o fitoremediación, con plantas perennes, para hiperconcentrar al plomo en árboles, incrementar la materia orgánica, y estabilizar el suelo, para evitar su dispersión durante la época de vientos.

El 11.23% del total de las muestras, se tomaron en el jardín de niños de la población, de ellas, se obtuvo un valor promedio de plomo de $1901 \mu\text{g/g}$. Si consideramos que el nivel máximo permisible en Alemania (Zartner-Nyilas & Deutsch, P. (2002) Grenzwerte. Ecomed, Germany.) para jardín de niños, es de $200 \mu\text{g/g}$., el valor encontrado en Vetagrande está 950% por arriba.

V.- Conclusiones

5.1.- Plomo en suelo

Considerando los resultados de plomo, en sangre y por la naturaleza del suelo, podemos decir que la superficie del suelo de Vetagrande tiene niveles elevados de plomo, cuyas concentraciones tienen un rango entre 8.0 a 7730 ppm ($\mu\text{g/g}$) y en promedio están por encima de los 400 $\mu\text{g/g}$, y que conforme a las recomendaciones de EPA (1991), es suelo no apto para uso residencial.

Además de las condiciones de trabajo de la empresa minera que propician en la zona que propician aún más la acumulación del plomo, ya de por sí rica en el suelo.

Las preguntas planteadas en este trabajo quedaron contestadas ya que se encontraron niveles altos de plomo en el suelo de Vetagrande. Sin embargo, queda como incógnita establecer que otras fuentes de plomo están biodisponibles, como los aerosoles, agua y alimentos.

5.2.- Generales

Este estudio nos permitió identificar la existencia de riesgos para la salud humana, para los cuales se proponen con precisión las decisiones de manejo pertinentes, detalladas en el capítulo VI.

VI.- Recomendaciones

6.1.- Salud humana

- Capacitación a la población y autoridades para desarrollar una campaña encaminada a mejorar los hábitos higiénico - dietéticos de los pobladores, así como nutrimentales para prevenir el incremento en los niveles de plomo en sangre.
- Que las autoridades del kinder tomen medidas respecto al saneamiento y la estabilización del suelo del lugar, ya que se está trabajando con población de alto riesgo
- Observar y controlar el mecanismo Mano-Boca entre los alumnos de preescolar
- Considerando los valores de plomo encontrados, se debe iniciar la comunicación de riesgos acerca de los hallazgos en las muestras ambientales.
- Que la Secretaría de Salud inicie de manera emergente con el control de los casos detectados con altos niveles de plomo en sangre y el seguimiento de los mismos.
- Desarrollar una campaña encaminada a mejorar los hábitos higiénico dietéticos de los pobladores, así como nutrimentales para prevenir el incremento en los niveles de plomo en sangre.
- Para el caso de las mujeres embarazadas y sus bebés, realizarles un control de Pb en sangre, así como la modificación de los hábitos higiénico-dietéticos.

6.2 Medio ambiente

- Es necesario identificar otras fuentes potenciales de plomo, como agua, aerosoles y alimentos, dado que los pobladores beben agua y se alimentan con los cultivados en esta región.
- Se recomienda la reforestación con plantas perennes, herbáceas y arbóreas para estabilizar los jales.

- Es necesario contener por medio de la fitoestabilización y fitoremediación, a las fuentes potenciales de riesgo, como lo son los jales circunvecinos y pavimentar las calles, cubrir con cemento los patios y/o sitios de estacionamiento de las casas asentadas sobre residuos mineros con plomo, para evitar que los depósitos de jales queden expuestos y sean dispersados y potencien el riesgo de intoxicación en la población.
- Se debe de vigilar el cumplimiento de la normatividad respecto a la emisión de polvos por parte de la empresa de la mina en operación y mitigar el polvo generado por los movimientos de mineral.
- Aunque es una zona residencial es colindante con una zona industrial, y donde la normatividad debe de aportar medidas para el control de estas empresas.

6.3 Investigación y seguimiento

- Los datos de los suelos son suficientes para corroborar el contenido de plomo en el suelo e iniciar con la investigación de otras fuentes potenciales de plomo como el agua, los aerosoles y los alimentos.
- Se debe de estudiar conforme al ATSDR, la evaluación del riesgo sobre la población y diseñar los grupos por edad y género, en especial a la población de alto riesgo, contenida en la norma NOM-199-SSA1-2002; menores de 15 años, mujeres en período de lactancia y embarazadas.
- Se debe de proceder a la identificación de las especies químicas que son fuente potencial de plomo y que están biodisponibles para la población de Vetagrande.
- Es necesario el desarrollo de infraestructura y fortalecimiento de capacidades regionales, con el objeto de crear un sistema sólido para la atención de la problemática del sector ambiental y de salud en el estado de Zacatecas de una manera autosuficiente. Ya que si bien se cuenta con los recursos humanos, no se cuenta con la infraestructura analítica

para afrontar los monitoreos, control y corroboración de los datos.

Se deben de tomar en cuenta las diferentes normas que existen en EEUU y en la Comunidad Europea, para generar normas mexicanas para los diferentes usos del suelo, que si bien han sido propuestas al congreso de la nación, no han prosperado.

Ya que en estas naciones se ha legislado para la garantía de menor contaminación en sus actividades y de donde se desprenden los límites para cada uso del suelo, como el de uso habitacional 400 ppm, jardines de niños 200 ppm, parques y recreación hasta 1000 ppm, industria hasta 2000 ppm y en cultivos 0.1 ppm (CEE, 2002).

VII Referencias

Norma Oficial Mexicana NOM-132-SCFI-1998, Talavera-Especificaciones, El porcentaje de plomo en esmalte base antes de ser sometido al proceso de horneado no debe ser mayor a 27,5% en peso.

Baytas

Brandt, S. (1999) *Data Analysis*, 3rd edition Springer-Verlag

Garbisu, C., Alkorta, I. (2001) *Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment*. *Bioresource Technology*, 77; 229-236.

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.

Bradman, A., Eskenazi, B., Sutton, P., Athanasoulis, M. and Goldman, L.R. (2001) *Iron deficiency associated with higher blood lead in children living in contaminated environments*. *Environm. Health Perspect.*, 109(10), 1079 – 1083.

CDC (1991). *Preventing Lead Poisoning in Young Children*. U.S. Department of Health and Human Services, Center for Diseases Control, Atlanta, GA, USA.

Cohen Hubal., E.A., Sheldon, L.S., Burke, J.M., McCurdy, T.R., Berry, M.R., Rigas, M.L., Zartarian, V.G. and Freeman, C.G. (2000) *Children's exposure assessment: A review of factors influencing children's exposure, and the data available to characterize and assess that exposure*. *Environm. Health Perspect.* 108(6): 475 - 486.

Diab R.D. (1999). *A note on changes in atmospheric lead content in seven cities in South Africa*. *South African Journal of Science*. 95: 117–121.

EPA (1993). *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge Final Rules*. Environmental Protection Agency, Federal Register, Part II 40 CFR Part 257.

- Freeman, N.C.G., Ettinger, A., Berry, M. and Rhoads, G. (1997) Hygiene-and food-related behaviors associated with blood lead level of young children from lead contaminated homes. *J. Exposu. Anal. Environm. Epidem.* 7(1): 103-118.
- Gomaa A., Hu H., Bellinger D., Schwartz J., Tsai S.W., Gonzalez–Cossio T., Schnaas L., Peterson K., Aro a., and Hernández, A., 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., Donnelly J.B. (2000). *Urinary excretion of lead during pregnancy and postpartum.* *The Science of the Total Environment.* 262, 49–55.
- Hernandez A.M., Smith D., Meneses F., Sanin H.L., and Hu H. (1998). *Environmentally exposed adults.* *Environmental Health Perspectives.* 106(8): 473–477.
- Higgs, F.J., Mielke, H.W. and Brisco, M. (1999) Soil lead at elementary public schools: Comparison between school properties and residential neighbourhoods of New Orleans. *Environm. Geochem. Health.* 21: 27 – 36.
- Hu H., Rabinowitz., and Smith D. (1998). *Bone lead as biological marker in epidemiologic studies of chronic toxicity: Conceptual Paradigms.* *Environmental Health Perspectives.* 106(1): 1–7.
- Kaul, B. (1999) Lead exposure and iron deficiency among Jammu and New Delhi children. *Indian J. Pediatr.* 66: 27-35.
- Khan A.H., Khan A., Khurshid A. (2001). *Low – level lead exposure and blood lead levels in children: A cross – sectional survey.* *Archives of Environmental Health.* 56(6): 501–505.
- Kuangfei L., Yaling X., Xuefeng L., Zuoli W., Bukkens S.G.F., Tommaseo M., and Paoletti G. (1999). *Metallic elements in hair as a biomarker of human exposure*

- to environmental pollution: A preliminary investigation in Hubei province. Critical Reviews in Plant Science.* 18(3): 417–428.
- Lanphear B.P., Burgoon D.A., Rust S.W., Eberly S., and Galke W. (1998). *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.
- Lynch R.A., Malcoe L.H., and Skaggs V.J. (2001). *The relationship between residential lead exposures and elevated blood lead levels in a rural mining community. Environmental Health.* 63(3): 9–15.
- 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.
- Mason H.J. (2000). *A biokinetic model fro lead metabolism with a view to its extension to pregnancy and lactation; (1) further validation of the original model for non–pregnant adults. The Science of the Total Environment.* 246: 69–78.
- Mejía J., Carrizales, L., Rodríguez, V.M., Jiménez-Capdeville, M.E. and Díaz-Barriga, F. (1999) Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud Púb. Mex.* 41(Supl. 2): S132-S140.
- Mielke, H.W., Dugas, D., Mielke, P.W., Smith, K.S., Smith, S.L. and Gonzales, Ch.R. (1997). *Associations between soil lead and childhood blood lead in urban New Orleans and rural Lafourche Parish of Louisiana. Environm. Health Persp.* 105(9): 950-954.

- 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., Gonzales C.R., Smith M.K., and Mielke P.W. (1999). *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.
- Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio.
- Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2002, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente.
- 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.
- 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., Johnson C. (1999). *Maternal blood lead level during pregnancy in South Central Los Angeles*. Archives of Environmental Health. 54(3): 151 – 157.
- Rothenberg S.J., Khan F., Manalo M., Jiang J., Cuellar R., Reyes S., Acosta S., Jauregui M., Diaz M., Sanchez, T.A.C., and Johnson C. (2000). *Maternal bone lead contribution to blood lead during and after pregnancy*. Environmental Research Section A. 82: 81 – 90.
- 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.*

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.*

Willows, N.D. and Gray-Donald, K. (2002) *Blood lead concentrations and iron deficiency in Canadian aboriginal infants. 280: 255 – 260.*

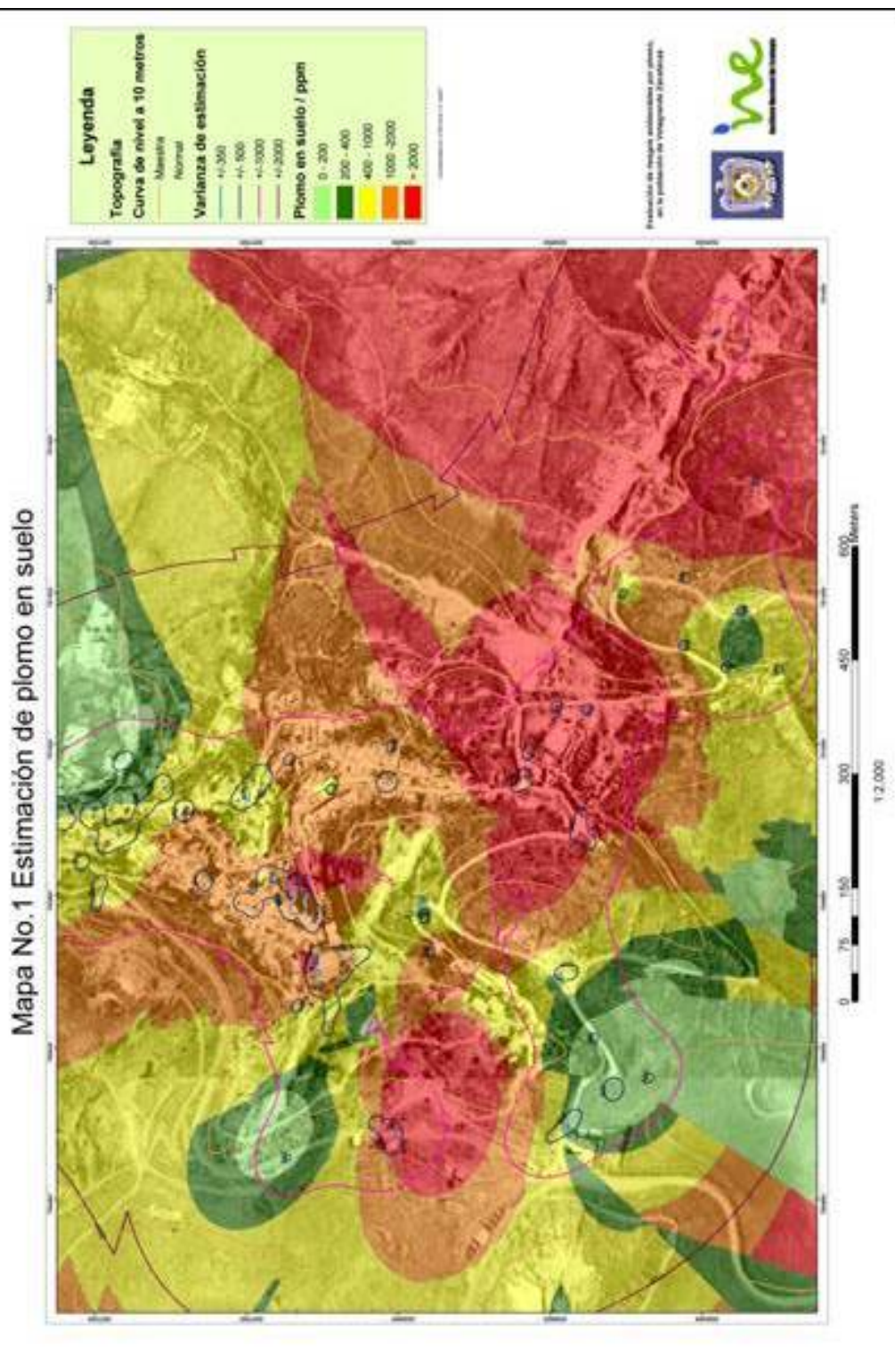
VIII.- Anexos

8.1.- Resultados analíticos

Número de Muestra	Concentración de Pb [ppm]	σ
1	153	16
2	189	25
3	605	66
4	245	40
5	354	48
6	282	21
7	600	59
8	565	31
9	398	27
10	785	109
11	673	34
12	1823	116
13	2327	78
14	811	46
15	3979	140
16	5448	192
17	6380	259
18	1845	130
19	594	69
20	711	61
21	1108	140
22	1247	134
23	874	66
24	89	14
25	98	16
26	54	9
27	34	3
28	28	5
29	37	6
30	110	20
31	120	13
32	757	79
33	1885	199
34	3553	197
35	7672	321
36	129	39
37	293	34
38	520	66
39	713	52
40	131	22
41	1936	93

42	102	25
43	991	87
44	69	10
45	144	22
46	1274	117
47	142	22
48	8	2
49	493	47
50	7730	156
51	668	32
52	61	19
53	4921	124
54	535	32
55	1411	53
56	424	62
57	805	44
58	2327	78
59	916	82
60	1009	20
61	1408	134
62	2115	231
63	94	22
64	1749	70
65	711	61
66	1551	303
67	3564	129
68	1369	115
69	1387	83
70	1017	124
71	2102	120
72	1476	67
73	464	75
74	2266	165
75	1716	167
76	2770	127
77	2384	184
78	3207	77
79	1142	74
80	1488	141
81	879	104
82	629	72
83	970	64
84	934	109
85	816	95
86	478	38
87	49	8
88	4713	223
89	6764	334

8.3.- Plano de los sitios donde se obtuvieron las muestras de suelos



8.4.- Espectros de Fluorescencia por rayos x de muestras de suelo.

