

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



EVALUACION DE LA CONTAMINACION POR PLOMO EN SUELOS DEL  
CANTON SITIO DEL NIÑO MUNICIPIO DE SAN JUAN OPICO  
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR  
KARINA IMELDA MARIA HERRERA FLORES

PARA OPTAR AL GRADO DE  
LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA

NOVIEMBRE DE 2009

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÀNCHEZ

**SECRETARIO GENERAL**

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÀVEZ

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

**DECANO**

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

**SECRETARIA**

MSc. MORENA LIZETTE MARTINEZ DE DIAZ

## **COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION**

### **COORDINADORA GENERAL**

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

### **ASESORA DE AREA GESTION AMBIENTAL: TOXICOLOGIA Y QUIMICA LEGAL**

Licda. María Luisa Ortiz de López

### **ASESORA DE AREA APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez

### **DOCENTES DIRECTORES**

Licda. Sandra Guadalupe Peraza de Ramírez

Lic. Guillermo Antonio Castillo Ruiz

## **AGRADECIMIENTO**

### **DIOS TODO PODEROSO**

Por ser luz y guía de permitirme alcanzar tan anhelada meta.

### **A LA FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

Por brindarme la oportunidad de ser parte de los profesionales de nuestro país.

### **A MIS ASESORES**

Licda. Sandra Guadalupe Peraza de Ramírez, Lic. Guillermo Antonio Castillo Ruiz por brindarme sus conocimientos y apoyo en la realización de este trabajo.

### **AL COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION Y A LOS ASESORA DE AREA**

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo, Licda. María Luisa Ortiz de López y MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez, por su colaboración y comprensión para que yo llevará a cabo el desarrollo del presente trabajo.

### **A TODAS LAS PERSONAS**

Que colaboraron con sugerencias para el buen desempeño de este trabajo de investigación.

## **DEDICATORIA**

En memoria de mi madre y padrastro: Ana Maria Flores de Niché y Achim Jürgen Niché.

A mi Padre, Daniel Antonio Herrera García

A mi Hija, Carolina Elizabeth Laínez Herrera

A mi novio, Ralph Anthony Domínguez De Paz

Que siempre me alentaron a no dejarme desfallecer para que yo culminara este proyecto.

Para todos aquellos a los que omití involuntariamente.

**GRACIAS A TODOS.**

## INDICE GENERAL

### Resumen

### Capítulo I

1.0 Introducción	xx
------------------	----

### Capítulo II

2.0 Objetivos	
---------------	--

2.1 Objetivo General	
----------------------	--

2.2 Objetivos Específicos	
---------------------------	--

### Capítulo III

3.0 Marco Teórico	25
-------------------	----

3.1 San Juan Opico, cantón Sitio del Niño	25
---	----

3.2 Generalidades de metales pesados	25
--------------------------------------	----

3.3 Generalidades del plomo	26
-----------------------------	----

3.3.1 Contaminación por plomo	27
-------------------------------	----

3.3.2 Destino biológico	29
-------------------------	----

3.3.3 Efectos neurológicos	31
----------------------------	----

3.3.4 Efectos hematológicos	31
-----------------------------	----

3.3.5 Efectos endocrinos	32
--------------------------	----

3.3.6 Efectos renales	32
-----------------------	----

3.3.7 Efectos sobre la reproducción y el desarrollo	32
---	----

3.3.8 Reacciones de los adultos al plomo	33
--	----

3.3.9 Reacciones de los niños al plomo	34
--	----

3.3.10 Pruebas para determinar la presencia del plomo en el cuerpo	34
3.4 Comportamiento Ambiental de plomo	35
3.4.1 Valores de Referencia de plomo en el medio ambiente	37
3.4.2 Convenio de Basilea	38
3.4.3 Niveles permisible de plomo según organismos internacionales	40
3.5 Generalidades del suelo	40
3.5.1 Tipos de muestreo de suelos	43
3.6 Espectroscopia de absorción atómica	45
3.6.1 Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS)	46

## **Capítulo IV**

4.0 Diseño Metodológico	50
4.1 Tipo de estudio	50
4.2 Investigación bibliográfica	50
4.3 Investigación de campo	51
4.3.1 Universo	51
4.3.2 Muestra	51
4.4 Parte Experimental	51
4.4.1 Ubicación de los puntos de muestreo	51
4.4.2 Recolección de las muestras	54
4.5 Etapa de laboratorio	57
4.5.1 Preparación de las muestras para determinar el plomo	57

4.5.2	Determinación de la concentración de plomo	58
4.5.2.1	Digestión ácida de lodos y suelo según EPA SW-846 3050B	58
4.6	Preparación de muestras para determinar materia orgánica y pH	59
4.6.1	Secado de la muestra	59
4.6.2	Separación de piedras y otros objetos extraños	59
4.6.3	Tamizado de la muestra	59
4.7	Determinación del contenido de materia orgánica en la muestra de suelo	60
4.8	Calibración del pH-metro	61
4.8.1	Determinación de pH en la muestra de suelo	61
<b>Capítulo V</b>		
5.0	Discusión e interpretación de resultados	63
5.1	Análisis de las muestras tomadas alrededor de la fábrica de Plomo	66
5.1.1	Análisis de las muestras tomadas a 50 metros	66
5.1.2	Análisis de las muestras tomadas al noroeste de la fábrica	67
5.1.3	Análisis de las muestras en la parte noreste de la fábrica	69
5.1.4	Análisis de las muestras tomadas a 500 metros	
5.1.5	Análisis de las muestras tomadas a 1000 metros	76
5.1.6	Análisis de las muestras tomadas a 1500 metros	78
5.1.7	Análisis de las muestras con el Convenio de Basilea	83



5.2 Resultado de análisis del contenido de materia orgánica en el suelo	86
5.3 Resultado de análisis de pH	88
<b>Capítulo VI</b>	
6.0 Conclusiones	93
<b>Capítulo VII</b>	
7.0 Recomendaciones	98
Bibliografía	
Glosario	
Anexo	

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N°</b>		<b>Pág.</b>
1	Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a la periferia de la fábrica de plomo	66
2	Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 500 metros	73
3	Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 1000 metros	76
4	Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 1500 metros	78
5	Comparación del límite permitido por el Convenio de Basilea con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 50, 100, 150, 500, 1000, 1500 metros	83
6	Concentración de referencia por tipo de uso de suelo	126
7	Valores indicativos de evaluación de la calidad del suelo	128

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°</b>		<b>Pág.</b>
1	Toma de muestra utilizando un barreno	43
2	Toma de muestra utilizando sonda	44
3	Toma de muestra utilizando una pala	44
4	Estructura de un equipo ICP-MS	48
5	Mapa de los puntos de muestreo alrededor de la fabrica fundidora de plomo	52
6	Mapa de los puntos de muestreo a distancias de 500, 1000 y 1500 metros	53
7	Marcha analítica de la digestión ácida de suelo	58
8	Marcha analítica para la determinación de la materia orgánica	60
9	Marcha analítica para la determinación de pH	61
10	Ubicación de las muestras alrededor de la fabrica fundidora de plomo con su respectiva identificación y concentración de plomo en ppm	65
11	Grafico con las concentraciones de las muestras tomadas alrededor de la fabrica fundidora de plomo comparadas con los límites establecidos por la EPA	71

12	Grafico con las concentraciones de las muestras tomadas alrededor de la fabrica fundidora de plomo comparadas con el límite establecido por la IHOBE	72
13	Ubicación de las muestras a 500, 1000 y 1500 metros de distancia de la fabrica fundidora de plomo, con su respectiva identificación y concentración de plomo en ppm	73
14	Grafico con las concentraciones de las muestras tomadas a distancia de 500, 1000 y 1500 metros comparadas con el rango establecido por la EPA	79
15	Grafico con las concentraciones de las muestras que se encuentra en terrenos de cultivó comparadas con el límite establecido por la NOM (2003)	80
16	Grafico con las concentraciones de las muestras tomadas a distancia de 500, 1000 y 1500 metros comparadas con el límite establecido por la IHOBE	81
17	Grafico con las concentraciones de las muestras que sobrepasan el rango establecido por la EPA de 50 – 100 ppm de plomo	82
18	Grafico con las concentraciones de las muestras alrededor de la fabrica y comparadas con el límite establecido por el Convenio de Basilea	84

19	Grafico con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 500, 1000 y 1500 metros y comparadas con el límite establecido por el Convenio de Basilea	85
20	Principales órganos afectados por el plomo	109
21	Principales vías de ingreso del plomo en el organismo humano	111
22	Toma de muestra a una distancia de 150 metros	118
23	Toma de muestra a una distancia de 1500 metros	118
24	Determinación de pH de las diferentes muestras	119
25	Pesada de muestra para la determinación del contenido de materia orgánica	119
26	Titulación de las diferentes muestras para la determinación del contenido de materia orgánica	120

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°</b>		<b>Pág.</b>
1	Valores de referencia de plomo	37
2	Niveles permisible de plomo	40
3	Clasificación de suelos según el porcentaje de materia orgánica	41
4	Clasificación de los suelos según el pH	42
5	Recolección de muestras	55
6	Resultado de análisis de plomo en suelo	63
7	Resultado de análisis de materia orgánica en suelo	86
8	Resultado de análisis de pH en suelo	88

## INDICE DE ANEXOS

### Anexo N°

- 1 Principales órganos afectados por el plomo
- 2 Vías de ingreso del plomo en el organismo humano
- 3 Materiales Equipos y Reactivos
- 4 Preparación de reactivos
- 5 Fotos
- 6 Convenio de Basilea
- 7 Límites de plomo en suelo por la EPA
- 8 Límites de plomo en suelo por la NOM (2003)
- 9 Límites de plomo en suelo por la IHOBE

## ABREVIATURAS

<b>3.1 SAN JUAN OPICO, CANTÓN SITIO DEL NIÑO</b>	<b>6</b>
<b>2.0. OBJETIVOS</b>	<b>24</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 OBJETIVO ESPECIFICO .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2 DETERMINAR EL PH Y LA MATERIA ORGÁNICA EN LAS MUESTRAS DE SUELO. .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 ANALIZAR CUANTITATIVAMENTE LAS MUESTRAS POR ESPECTROMETRÍA ABSORCIÓN ATÓMICA DE MASAS CON FUENTE DE PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO. ....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 SAN JUAN OPICO, CANTÓN SITIO DEL NIÑO <sup>(19)</sup></b>	<b>25</b>
<b>3.3.1 CONTAMINACIÓN POR PLOMO <sup>(1,6)</sup> .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2 DESTINO BIOLÓGICO <sup>(1,11)</sup> .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.3 EFECTOS NEUROLÓGICOS.....</b>	<b>31</b>
<b>EL DESTINO MÁS SENSIBLE DE INTOXICACIÓN POR PLOMO ES EL SISTEMA NERVIOSO. EN NIÑOS, SE HAN DESCRITO DEFICIENCIAS NEUROLÓGICAS CON NIVELES DE EXPOSICIÓN QUE ANTES NO SE CONSIDERABAN NOCIVOS. SE HA OBSERVADO UNA</b>	



DISMINUCIÓN EN LA AGUDEZA AUDITIVA, ESPECIALMENTE A ALTAS FRECUENCIAS, AL AUMENTAR LOS NIVELES DE PLOMO EN SANGRE. LOS ADULTOS TAMBIÉN PRESENTAN EFECTOS SOBRE EL **SNC** CON NIVELES RELATIVAMENTE BAJOS DE PLOMO EN SANGRE, QUE SE MANIFIESTAN EN CAMBIOS DE CONDUCTA SUTILES, FATIGA Y PROBLEMAS DE CONCENTRACIÓN. LAS LESIONES DEL SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO, EN SU MAYORÍA MOTRICES, SE OBSERVAN PRINCIPALMENTE EN LOS ADULTOS. SE HA DESCRITO NEUROPATÍA PERIFÉRICA Y UNA DISMINUCIÓN EN LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN NERVIOSA EN TRABAJADORES DEL PLOMO ASINTOMÁTICOS. LA PARÁLISIS EVIDENTE, CON CAÍDA DE LA MUÑECA, SÓLO SE MANIFIESTA COMO UN SIGNO TARDÍO DE LA INTOXICACIÓN POR PLOMO. .... 31

#### **3.3.4 EFECTOS HEMATOLÓGICOS..... 31**

EL PLOMO INHIBE LA CAPACIDAD DEL ORGANISMO PARA PRODUCIR HEMOGLOBINA AL INTERFERIR CON VARIOS PASOS ENZIMÁTICOS EN LA VÍA METABÓLICA DEL GRUPO HEMO. LA FERROQUELATASA, QUE CATALIZA LA INSERCIÓN DEL HIERRO EN LA PROTOPORFIRINA IX, ES BASTANTE SENSIBLE AL PLOMO. LA DISMINUCIÓN EN LA ACTIVIDAD DE ESTA ENZIMA PRODUCE UN AUMENTO EN LA CONCENTRACIÓN DEL SUSTRATO, LA PROTOPORFIRINA ERITROCÍTICA (**FEP**). ADEMÁS EL PLOMO PUEDE INDUCIR A ANEMIA AL INTERFERIR CON LA ERITROPOYESIS Y REDUCIR LA SUPERVIVENCIA DE LOS ERITROCITOS. CABE SEÑALAR, SIN EMBARGO, QUE LA ANEMIA NO ES UNA MANIFESTACIÓN INICIAL DE LA INTOXICACIÓN POR PLOMO, SINO

QUE SÓLO SE MANIFIESTA CUANDO LOS NIVELES DE PLOMO EN SANGRE PERMANECEN SIGNIFICATIVAMENTE ALTOS DURANTE PERÍODOS PROLONGADOS...	31
3.3.5 EFECTOS ENDOCRINOS.....	32
3.3.6 EFECTOS RENALES .....	32
3.3.7 EFECTOS SOBRE LA REPRODUCCIÓN Y EL DESARROLLO.....	32
3.3.10 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DEL PLOMO EN EL CUERPO <sup>(11)</sup>	34
3.4 COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE PLOMO <sup>(4,5, 9)</sup> .....	35
3.4.2 CONVENIO DE BASILEA <sup>(24)</sup> .....	38
3.4.3 NIVELES PERMISIBLE DE PLOMO SEGÚN ORGANISMOS INTERNACIONALES....	40
3.5.1 TIPOS DE MUESTREO DE SUELOS <sup>(2)</sup> .....	43

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad medir la contaminación de plomo en suelos alrededor de una fábrica de baterías ubicada en el cantón Sitio del Niño, municipio de San Juan Opico. Estos resultados se comparan con los límites de plomo de los diferentes organismos internacionales, además se realizó un análisis físico-químico del suelo. Se recolectaron 26 muestras a distancias de 50 a 1500 metros con respecto al centro de la fábrica. Las muestras de suelo para la determinación de plomo fueron trasladadas a un laboratorio privado de E.E.U.U y analizadas, utilizando el método de Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo. En los laboratorios de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador se realizó la determinación del pH y la determinación de materia orgánica.

De las 26 muestras analizadas, se encontraron que las concentraciones de plomo se encuentran en un rango de 17.7 – 37600 ppm, la mayoría de las muestras resultaron ser pH neutros y se encontró 76.92 % de las muestras presentaron un contenido de materia orgánica media. Por lo tanto podemos decir que el plomo puede estar presente en las primeras capas del suelo debido a la presencia de materia orgánica y puede encontrarse precipitado debido al pH neutro en estos suelos. Los resultados indican la presencia de plomo en el suelo en niveles nocivos para la salud y de riesgo para el medio ambiente. Por lo que estos suelos deberían de ser sometidos a un proceso de remediación y limpieza con la finalidad de incorporarlos a los procesos productivos.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## I. INTRODUCCION

En los últimos años se ha producido un rápido aumento del nivel de plomo en el ambiente, como consecuencia de diversas actividades antrópicas tales como la fundición, la minería, la fabricación de pinturas, combustión de gasolina y reciclaje de baterías ácidas. Las plantas de reciclaje de baterías ácidas realizan operaciones tales como ruptura de baterías, drenaje del ácido, separación del metal y en algunos casos fundición del plomo recuperado. Estas actividades suelen ser responsables de la presencia de elevados niveles de plomo en los suelos y en la vegetación de los alrededores de las fabricas, bien por la inadecuada gestión de los vertidos ácidos generados o por la depositación de partículas de plomo procedentes de los amontonamientos de residuos y escoria, así como de las emisiones de las chimeneas de las fundiciones. El envenenamiento por plomo ha sido ligado a la anemia, al daño de sistema nervioso central, riñones, sistema inmune y dificultades en el aprendizaje. En El Salvador, un país donde sus tierras son utilizadas en la actividad agrícola, se hace necesario conocer la cantidad de residuos tóxicos que tienden a acumularse en el suelo, aire, agua y en la vegetación. Existen lugares como el cantón Sitio del Niño que es necesario realizar un estudio sobre el grado de contaminación que existe en el suelo debido al plomo ya que en este lugar se encontraba una empresa dedica a la fabricación y fundición de baterías de plomo, que ha ocasionado efectos en la salud de sus pobladores. Además los cultivos se ven afectados por este metal que es absorbido a través de la tierra,

el producto de estas plantaciones es consumido por los pobladores y personas a donde es distribuido, produciendo una acumulación de este metal en el organismo de las personas y ocasionando que ellas presenten diferentes síntomas que afecten el desempeño cotidiano. La contaminación de plomo puede darse también por el contacto con el suelo contaminado a través de mano – boca y posterior ingesta de alimentos sin un previo lavado correcto de manos, ésta contaminación se presenta sobre todos en niños. Este trabajo de investigación se desarrollo desde Enero 2008 a 2009 con el objetivo de cuantificar los niveles de plomo que se encuentran en el suelo del cantón Sitio del Niño, municipio de San Juan Opico. Los resultados obtenidos se compararon con los límites de tolerancia establecidos por agencias internacionales, además se determino el porcentaje de materia orgánica como el pH del suelo que son factores que afectan este metal. La determinación de plomo se realizo a través de espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo.

## **CAPITULO II**

### **OBJETIVOS**

## **2.0. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la contaminación por plomo en el suelo del cantón Sitio del Niño, municipio de San Juan Opico, departamento de La Libertad.

### **2.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

- 2.2.1 Recolectar las muestras de suelo en diferentes puntos de los alrededores de una fundidora de plomo en el cantón Sitio del Niño.
- 2.2.2 Determinar el pH y la materia orgánica en las muestras de suelo.
- 2.2.3 Analizar cuantitativamente las muestras por espectrometría absorción atómica de masas con fuente de plasma de acoplamiento Inductivo.
- 2.2.4 Comparar los resultados con los límites permitidos por normas internacionales (EPA, IHOBE, NOM y Convenio de Basilea)



**CAPITULO III**  
**MARCO TEORICO**

### 3.0. MARCO TEORICO

#### 3.1 San Juan Opico, Cantón sitio del niño <sup>(19)</sup>

San Juan Opico pertenece al Departamento de La Libertad está ubicado a 42 kilómetros de San Salvador. El municipio tiene un territorio de 218 km<sup>2</sup> y una población de 74,280 habitantes según censo del 2007. Está limitado por los siguientes municipios: Al norte por San Pablo Tacachico; al este por San Matías y Quezaltepeque; al sur por Ciudad Arce y Colón y al oeste por Coatepeque. San Juan Opico posee un comercio desarrollado, en el municipio existen industrias grandes como: Kimberly Clark, Metalúrgica SARTI, Planta Oygasa, Quality Foods, Fábrica de Textil San Andrés y Cartotécnica Centroamericana. El patrimonio principal del municipio es la agricultura, el cultivo de caña de azúcar, el café, cítrico, cereal y la ganadería.

#### 3.2 Generalidades de metales pesados <sup>(15,16)</sup>

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad mayor que 4 g/cm<sup>3</sup> hasta 7 g/cm<sup>3</sup>, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). El término siempre suele estar relacionado con la toxicidad que presentan, aunque también se emplea el término "elemento tóxico" o "metal toxico"

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

-Oligoelementos o micronutrientes: Necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez pasado cierto umbral. Incluyen As, B, Co,

Cr,Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn

-Metales pesados sin función biológica conocida. Son altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi.

Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinas, con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu y Mn); los metales pesados son muy estables en el suelo y en el proceso natural de transformación de las rocas para originar a los suelos suelen concentrarse, pero, en general, sin rebasar los umbrales de toxicidad y además los metales pesados presentes en las rocas se encuentran bajo formas muy poco asimilables para los organismos.

### **3.3 Generalidades del plomo** <sup>(17)</sup>

El plomo es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Pb y su número atómico es 82. Es un metal pesado, de densidad relativa o gravedad específica 11,4 a 16°C, de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fundición se produce a 327,4°C y hierve a 1725°C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar

muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial.

Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos.

### **3.3.1 Contaminación por plomo** <sup>(1,6)</sup>

Una porción del plomo que entra al cuerpo proviene de respirar polvo o sustancias químicas que contienen plomo. Una vez que el plomo entra a los pulmones, es distribuido rápidamente a otras partes del cuerpo por la sangre. Las partículas que son demasiado grandes como para entrar a los pulmones pueden ser expulsadas por la tos hacia la garganta en donde son tragadas. El plomo puede ser ingerido en los alimentos o líquidos que lo contienen. La mayor parte del plomo que entra al cuerpo entra por la boca; sin embargo, una porción muy pequeña de la cantidad de plomo pasa a la sangre y a otras partes del cuerpo. La cantidad de plomo que pasa a la sangre y a otras partes del cuerpo desde el estómago depende en parte del lapso transcurrido desde la última ingesta de alimento. También depende de su edad y de la facilidad con la

que las partículas de plomo se disuelven en el jugo estomacal. Los niños absorben aproximadamente un 50 % de la cantidad de plomo que ingieren. El polvo y la tierra que contienen plomo pueden adherirse a la piel, pero solamente una pequeña porción del plomo pasara a través de la piel y entrará a la sangre si no se lava la piel. Una cantidad mayor de plomo puede pasar a través de piel que ha sido dañada.

Poco después de que el plomo entra al cuerpo, la sangre lo distribuye a órganos y tejidos. Después de varias semanas, la mayor parte del plomo se moviliza hacia los huesos y los dientes. En adultos, aproximadamente 94 % de la cantidad total de plomo en el cuerpo se encuentra en los huesos y los dientes. En cambio en niños, aproximadamente 73 % del plomo en el cuerpo se almacena en los huesos. Cierta cantidad de plomo puede permanecer en los huesos durante décadas. Sin embargo, bajo ciertas condiciones parte del plomo puede abandonar los huesos y entrar nuevamente a la sangre y a los tejidos y órganos (por ejemplo, durante el embarazo y la lactancia, cuando se fractura un hueso y en la vejez). El cuerpo no transforma al plomo a ninguna otra forma. Una vez en el cuerpo, el plomo que no se almacena en los huesos abandona el cuerpo en la orina o las heces. Aproximadamente 99% de la cantidad de plomo que entra al cuerpo de un adulto abandonará el cuerpo en la orina y las heces dentro de dos semanas. Sin embargo, solamente 32% del plomo que entra al cuerpo de un niño abandonará el cuerpo en el mismo período. Si la exposición

es continua, no todo el plomo que entra al cuerpo será eliminado, lo que puede causar acumulación de plomo en los tejidos, especialmente en los huesos.

### **3.3.2 Destino biológico** (1,11)

En el organismo humano, el plomo inorgánico no se metaboliza, sino que se absorbe, se distribuye y se excreta directamente. La velocidad a que se absorbe el plomo depende de su forma química y física y de las características fisiológicas de la persona expuesta (edad y estado nutricional). El plomo inhalado y depositado en las vías respiratorias bajas se absorbe por completo. La cantidad de plomo absorbida en el tracto gastrointestinal de los adultos suele estar comprendida entre el 10 % y el 15 % de la cantidad ingerida; en los niños y las mujeres embarazadas, la cantidad absorbida puede aumentar hasta en un 50 %. También se incrementa significativamente en condiciones de ayuno y en casos de déficit de hierro o calcio.

Una vez en la sangre, el plomo se distribuye en tres compartimentos: la sangre, los tejidos blandos (riñón, médula ósea, hígado y cerebro) y el tejido mineralizado (huesos y dientes). El tejido mineralizado contiene aproximadamente el 95 % de la carga corporal total de plomo en los adultos.

El plomo en los tejidos mineralizados se acumula en subcompartimentos que difieren en la velocidad de reabsorción del plomo. En el hueso existe un componente lábil, que intercambia rápidamente el plomo con la sangre, y un reservorio inerte. El plomo del reservorio inerte representa un riesgo especial,

pues constituye una posible fuente endógena de plomo. Cuando el organismo se encuentra en condiciones fisiológicas de estrés, como durante el embarazo, la lactancia o una enfermedad crónica, este plomo normalmente inerte puede movilizarse y aumentar los niveles de plomo en sangre. Debido a la existencia de estos depósitos de plomo móviles, con frecuencia deben transcurrir varios meses o incluso años para observar una disminución significativa en los niveles sanguíneos de plomo, incluso tras la eliminación total de la fuente de exposición.

El 99 % del plomo en la sangre está asociado con los eritrocitos; el 1 % restante está presente en el plasma, donde se encuentra disponible para ser transportado a los tejidos. El plomo en la sangre que no se retiene se excreta a través de los riñones o del aclaramiento biliar al tracto gastrointestinal. En estudios de exposición única en adultos, el plomo muestra una semivida en sangre de aproximadamente 25 días; en los tejidos blandos, de unos 40 días; y en la porción no lábil de los huesos, de más de 25 años. Así, tras una sola exposición, es posible que los niveles de plomo en sangre vuelvan a los niveles normales, pero la carga corporal total continuará siendo elevada.

Para que se desarrolle una intoxicación por plomo, no es necesaria una exposición aguda importante. El organismo acumula este metal durante toda la vida y lo libera lentamente, por lo que incluso dosis pequeñas pueden producir, con el transcurso del tiempo, una intoxicación por plomo, pues de la carga corporal total de plomo depende el riesgo de efectos adversos.

### **3.3.3 Efectos neurológicos**

El destino más sensible de intoxicación por plomo es el sistema nervioso. En niños, se han descrito deficiencias neurológicas con niveles de exposición que antes no se consideraban nocivos. Se ha observado una disminución en la agudeza auditiva, especialmente a altas frecuencias, al aumentar los niveles de plomo en sangre. Los adultos también presentan efectos sobre el SNC con niveles relativamente bajos de plomo en sangre, que se manifiestan en cambios de conducta sutiles, fatiga y problemas de concentración. Las lesiones del sistema nervioso periférico, en su mayoría motrices, se observan principalmente en los adultos. Se ha descrito neuropatía periférica y una disminución en la velocidad de conducción nerviosa en trabajadores del plomo asintomáticos. La parálisis evidente, con caída de la muñeca, sólo se manifiesta como un signo tardío de la intoxicación por plomo.

### **3.3.4 Efectos hematológicos**

El plomo inhibe la capacidad del organismo para producir hemoglobina al interferir con varios pasos enzimáticos en la vía metabólica del grupo hemo. La ferroquelatasa, que cataliza la inserción del hierro en la protoporfirina IX, es bastante sensible al plomo. La disminución en la actividad de esta enzima produce un aumento en la concentración del sustrato, la protoporfirina eritrocítica (FEP). Además el plomo puede inducir a anemia al interferir con la eritropoyesis y reducir la supervivencia de los eritrocitos. Cabe señalar, sin



embargo, que la anemia no es una manifestación inicial de la intoxicación por plomo, sino que sólo se manifiesta cuando los niveles de plomo en sangre permanecen significativamente altos durante períodos prolongados.

### **3.3.5 Efectos endocrinos**

Existe una correlación inversa clara entre los niveles de plomo en sangre y los niveles de vitamina D. Dado que en el sistema endocrino la vitamina D es responsable en gran parte del mantenimiento de la homeostasis de calcio intra y extracelular, es probable que el plomo impida el crecimiento y la maduración celular y el desarrollo de huesos y dientes.

### **3.3.6 Efectos renales**

Un efecto directo de la exposición prolongada al plomo es la nefropatía. La alteración de la función de los túbulos proximales se manifiesta como aminoaciduria, glicosuria e hiperfosfaturia. También existen pruebas de una asociación entre la exposición al plomo y la hipertensión, un efecto que puede estar mediado por mecanismos renales. Puede desarrollarse gota como resultado de la hiperuricemia inducida por el plomo.

### **3.3.7 Efectos sobre la reproducción y el desarrollo**

Los depósitos maternos de plomo atraviesan rápidamente la barrera placentaria y representan un riesgo para el feto. Las consecuencias sobre el desarrollo de

una exposición prenatal a niveles bajos de plomo son, entre otras, un menor peso al nacer y un mayor número de nacimientos prematuros. El plomo es teratógeno en animales; sin embargo, la mayoría de los estudios en humanos no han logrado demostrar una relación entre los niveles de plomo y las malformaciones congénitas.

Los efectos del plomo sobre el aparato reproductor masculino en humanos no están bien caracterizados. Los datos disponibles indican que podrían existir efectos testiculares, como la reducción del recuento y la motilidad espermática, como consecuencia de una exposición crónica al plomo.

### **3.3.8 Reacciones de los adultos al plomo <sup>(6)</sup>**

Cuando los niveles de la sangre son 15 µg/dL los efectos posibles en la salud son: aumento de la tensión arterial, efectos dañinos sobre el feto, dolores de los músculos y articulaciones; cuando los niveles de la sangre son 25µg/dL los efectos posibles en la salud son: problemas de la reproducción; cuando los niveles de la sangre son 40µg/dL los efectos posibles en la salud son: daños en los riñones y en la formación de la sangre; cuando los niveles de la sangre son 60µg/dL los efectos posibles en la salud son: anemia, daños en los nervios, estreñimiento, dolores de estómago, irritabilidad y cansancio, problemas de memoria y concentración, torpeza, somnolencia y problemas de sueño; cuando los niveles de la sangre son 80 µg/dL los efectos posibles en la salud son: línea

azul en las encías, temblor incontrolable de las manos, caída de las muñecas y los pies, alucinaciones, daños del cerebro, coma y muerte.

### **3.3.9 Reacciones de los niños al plomo**

Cuando los niveles de sangre son 10 µg/dL los efectos posibles sobre la salud son: ligera disminución del cociente de inteligencia, problemas de oído y crecimiento; cuando los niveles de sangre son 20 µg/dL los efectos posibles sobre la salud son: pérdida moderada del cociente de inteligencia, hiperactividad, corta duración de los períodos de atención, problemas de aprendizaje, problemas del habla y el lenguaje, reflejos más lentos; cuando los niveles de sangre son 40 µg/dL los efectos posibles sobre la salud son: mal desarrollo de los músculos y huesos, torpeza, falta de coordinación, anemia precoz; menos glóbulos rojos, que lleven oxígeno y hierro; cansancio y somnolencia; cuando los niveles de sangre son 50 µg/dL los efectos posibles sobre la salud son: dolores y contracciones dolorosas del estómago, anemia, destrucción de los glóbulos rojos y daños del cerebro; cuando los niveles de sangre son 100 µg/dL los efectos posibles sobre la salud son: inflamación del cerebro, convulsiones, coma y muerte.

### **3.3.10 Pruebas para determinar la presencia del plomo en el cuerpo <sup>(11)</sup>**

Si existen sospechas de pica o de ingestión accidental de objetos que contengan plomo debe realizarse una radiografía abdominal. El análisis del

cabello no suele ofrecer una valoración adecuada de la toxicidad por plomo, pues no se ha encontrado una correlación entre la cantidad de plomo en el cabello y el nivel de exposición.

Las pruebas de laboratorio recomendadas para evaluar la intoxicación por plomo son las siguientes:

- RHC con frotis periférico;
- Niveles de plomo en sangre;
- Niveles de protoporfirina eritrocítica;
- NUS y niveles de creatinina, análisis de orina.

### **3.4 Comportamiento Ambiental de plomo** (4,5, 9)

#### **- Agua**

Solubilidad en el agua: los compuestos de plomo solubles en agua se adsorben con menor afinidad a los suelos y por lo tanto, son rápidamente transportados desde el suelo hasta los cuerpos de agua superficial y/o profunda. Los compuestos menos solubles se podrán encontrar en suelos, sedimentos y en partículas en suspensión de cuerpos de agua. La concentración de plomo soluble en aguas naturales es muy baja, puesto que forma sales insolubles con varios aniones. A pH neutros-ácidos, la absorción sobre partículas minerales y orgánicas es el principal mecanismo de eliminación de plomo en las aguas naturales. En medios alcalinos, el plomo precipita como carbonatos, mientras que en medios reductores se forma sulfuros insolubles.

**- Aire**

El plomo no se degrada, sin embargo compuestos de plomo pueden ser transformados por la luz solar, el aire y el agua. Cuando se libera al aire de industrias o al quemar combustibles o basuras permanece en el aire cerca de 10 días. Las partículas > de 2.5 micras se depositan cerca de la fuente, pero partículas menores se depositarán a distancias mayores.

**- Suelo**

La interacción del plomo con el suelo depende del pH del suelo y de la presencia de elementos quelantes como algunos iones y algunos elementos orgánicos. A un pH mayor a cinco y en un suelo con más de cinco por ciento de materia orgánica, el plomo se secuestra en los primeros cinco centímetros del suelo. Al mismo pH en suelos con menor carga orgánica, el plomo puede inmovilizarse por la interacción con iones fosfatos y carbonatos. A pH ácido, el plomo se solubiliza y puede entonces lixiviarse contaminando acuíferos o puede ser captado por las plantas. Otro factor que favorecería la lixiviación sería que la concentración de plomo fuese mayor que el poder amortiguador del suelo

En el suelo, el plomo está fuertemente retenido, ya sea por el humus, sobre todo si contienen grupos  $-SH$ , o por las fases sólidas arcillosas en donde se adsorbe químicamente. No obstante, a pH neutros-ligeramente alcalinos, la mayor parte de plomo se encuentra precipitado como carbonato, hidróxido, sulfuro o fosfato. A pH alcalino, la solubilidad, aumenta debido a la formación de complejos solubles con compuestos orgánicos naturales e hidroxocomplejos. La

gran afinidad del plomo por el humus hace que al igual que el mercurio, se acumule en los horizontes superficiales del suelo.

#### - Cadena alimentaria

El plomo no se biomagnifica pero si puede bioconcentrarse en organismos acuáticos y terrestres que se encuentren en zonas contaminadas.

#### - Otros factores que influyen en el destino del plomo <sup>(9)</sup>

El índice de precipitación pluvial es importante dado que se ha demostrado que el plomo se remueve de la atmósfera por deposición húmeda. La temperatura fría facilita las inversiones térmicas y con ellas se incrementa la concentración del plomo en aire. La dirección de los vientos podría llevar a plomo a zonas habitadas. La fuerza de los vientos provoca tolvaneras que llevarían partículas de suelo contaminado al interior de las residencias.

### 3.4.1 Valores de Referencia de plomo en el medio ambiente

**TABLA N° 1: Valores de Referencia del plomo <sup>(20)</sup>**

Medio ambiental	Aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Agua ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	Suelo ( $\text{mg}/\text{kg}$ )
Valores de referencia según EPA	0.15	15	400 1200

### **3.4.2 Convenio de Basilea <sup>(24)</sup>**

El Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos y su eliminación, adoptado por la Conferencia diplomática en Basilea (Suiza) en 1989, fue elaborado bajo los auspicios del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y entró en vigor en mayo de 1992. En noviembre de 1997, un total de 114 Estados y la Comunidad Europea son Partes del Convenio. El creciente número de Partes refleja el aumento del interés de los Estados por este sector importante de la protección del medio ambiente y de la salud humana.

Los principales objetivos del Convenio de Basilea son:

- Reducir los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y de otros desechos sometidos al Convenio de Basilea a un mínimo compatible con su manejo ambientalmente racional;
- Tratar y eliminar los desechos peligrosos y otros desechos lo más cerca posible de su fuente de generación de una manera ambientalmente racional;
- Reducir la producción de desechos peligrosos al mínimo desde el punto de vista de la cantidad y peligros potenciales;
- Prohibir los transportes de desechos peligrosos hacia países carentes de capacidades jurídicas, administrativas y técnicas para manejarlos y eliminarlos de manera ambientalmente racional;
- Ayudar a los países en desarrollo y de economías en transición a manejar de manera ambientalmente racional los desechos que producen.

El Convenio de Basilea es el tratado internacional sobre desechos peligrosos más amplio y significativo actualmente en vigor. El impacto de los desechos peligrosos sobre el medio ambiente tiene repercusiones importantes, especialmente sobre la calidad del agua y del suelo. El Convenio de Basilea es el primer instrumento mundial que rige los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación.

El Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, este fue firmado por El Salvador el 22 de marzo de 1990, ratificado el 13 de diciembre de 1991 y entrada en vigencia el 5 de mayo de 1992.

En las directrices técnicas para el manejo ambiental relacional de los acumuladores de plomo de desecho, estas directrices están destinadas a orientar a los países que se proponen aumentar su capacidad de manejo de los acumuladores de plomo usados y desechados. En el documento se ha aplicado un criterio amplio y se proporciona información clara sobre varias cuestiones relacionadas con esos desechos.

El establecimiento de límites ambientales está en concordancia con las concentraciones que se encuentran en todas partes del mundo en que no se detectaron efectos nocivos para la salud de la población. Hay que seguir estudiando los límites ambientales, razón por la cual, en el futuro tal vez haya que modificarlos tan pronto se conozca mejor la relación entre el plomo y el medio ambiente y se amplíe el inventario de las fuentes de exposición al plomo.



### 3.4.3 Niveles permisible de plomo según organismos internacionales

**TABLA Nº 2: Niveles permisible de plomo** (12,20)

Agencias internacionales	Niveles permisible de plomo
EPA	1200 ppm para el riesgo de plomo residencial para suelos deforestados. Áreas de uso común. 400 ppm para el suelo en las aéreas de juegos de los niños. 50-100 ppm (1992) para suelos superficiales, clasificándolas como sitios elevadamente fitotóxicos.
IHOBE	330 ppm valor máximo tolerable para protección del ecosistema
NOM	100 ppm para limpieza y remediación de suelos contaminados dedicados a la agricultura en México
Convenio de Basilea	25 ppm límites exposición al plomo en suelo

### 3.5 Generalidades del suelo

 (3,8,10,18,25)

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. Su proceso de formación es resultado de la acción combinada de muchos factores, entre los que destacan: el tipo de material originario, el clima, la vegetación y las acciones del hombre. Como consecuencia se realizan diferentes procesos (meteorización, mineralización, cementación, etc.) que dan origen al suelo en períodos de miles de años.

El suelo tiene gran importancia porque interviene en el ciclo del agua y los ciclos de los elementos y en él tienen lugar gran parte de las transformaciones de la energía y de la materia de los ecosistemas.

La materia orgánica es esencial para la fertilidad y la buena producción agropecuaria. Los suelos sin materia orgánica son suelos pobres y de características físicas inadecuadas para el crecimiento de las plantas. Cualquier residuo vegetal o animal es materia orgánica, y su descomposición lo transforma en materiales importantes en la composición del suelo y en la producción de plantas. La materia orgánica bruta es descompuesta por microorganismos y transformada en materia adecuada para el crecimiento de las plantas y que se conoce como humus. El humus es un estado de descomposición de la materia orgánica, o sea, es materia orgánica no totalmente descompuesta.

**TABLA Nº 3. Clasificación de suelos según el porcentaje de materia orgánica.**

Clasificación	% MO
Bajo	< 2
Medio	2.1 – 5.9
Alto	> 6.0

Para la determinación de materia orgánica se realiza por medio de la ecuación:

$$\% \text{ de M.O.} = 10 * (1 - (S/T) * 2.68)$$

Donde:

T: valoración en blanco, ml de la solución ferrosa

S: valoración de la muestra, ml de disolución ferrosa

El pH del suelo aporta una información de suma importancia en diversos ámbitos de la edafología. Uno de la más importante deriva del hecho de que las

plantas tan solo pueden absorber los minerales disueltos en el agua, mientras que la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales. Por ejemplo, el aluminio y el manganeso son más solubles en el agua edáfica a un pH bajo, y cuando tal hecho ocurre, pueden ser absorbidos por las raíces, siendo tóxicos a ciertas concentraciones. Por el contrario, determinadas sales minerales que son esenciales para el desarrollo de las plantas, tal como el fosfato de calcio, son menos solubles a un pH alto, lo que tiene como resultado que bajo tales condiciones sean menos disponibles con vistas a ser absorbidos y nutrir las plantas

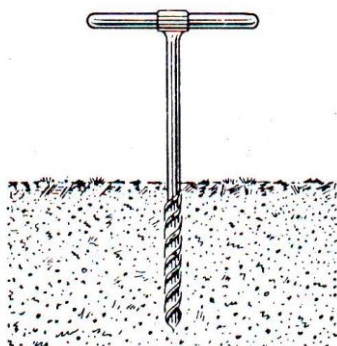
**TABLA N°4: Clasificación de los suelos según el pH**

Clasificación	pH
ácido	< 5.6
neutro	5.6-7.3
básico	> 7.3

### 3.5.1 Tipos de muestreo de suelos (2)

La toma de muestra de suelo es una tarea muy importante de la que depende el valor de los análisis y debe ser representativa de la zona problema. Por ello debe efectuarse de acuerdo con un método normalizado, teniendo en cuenta las características del terreno.

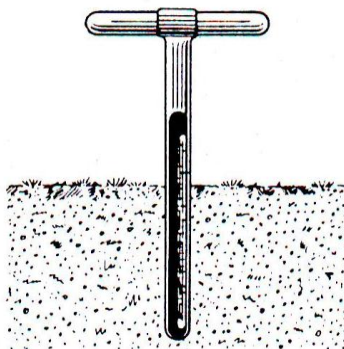
Las muestras de suelo se recogen, generalmente a profundidad de 0-20 cm de profundidad, por uno de los procedimientos siguientes: Utilizando una barreno de 30 a 35 cm de longitud, cuya parte roscada debe tener, como mínimo, unos 3 cm de diámetro. La muestra se toma introduciendo el barreno en el suelo hasta unos 20 cm de profundidad, tirando de ella hacia arriba y pasando el suelo adherido a una bolsa.



**Figura Nº 1 Toma de muestra utilizando un barreno**

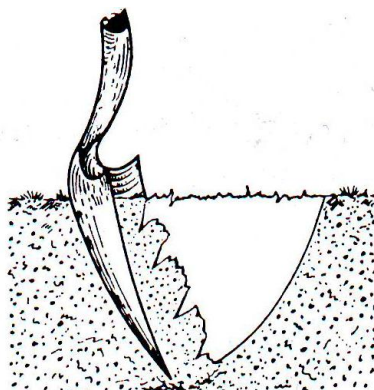
- Empleando una sonda, consistente en un tubo cilíndrico, cuya parte inferior es media caña de 20 cm de longitud, terminada en una punta afilada que después de introducirse en el suelo, por rotación sobre un eje, permite extraer una porción de aquel desde la superficie hasta 20 cm de profundidad. Una vez

fuera con un vástago de diámetro un poco inferior al de la parte interior se puede arrastrar toda la muestra a una bolsa.



**Figura N° 2 Toma de muestra utilizando sonda**

- Por medio de una pala o azadón, cavar un hoyo, en forma de V, de unos 20 cm de profundidad, se corta una rebanada de uno de los lados y la parte central de la rebanada se pasa a la bolsa, despreciando los bordes.



**Figura N° 3 Toma de muestra utilizando una pala**

Cualquiera que sea el medio utilizado se repite la misma operación unas veinte veces, poniendo todas las submuestras así tomadas en un saco de tela o bolsa de papel fuerte, hasta completar unos 2 kg. de tierra. Estas tomas de submuestras se efectuaran recorriendo la parcela en zigzag

### 3.6 Espectroscopia de absorción atómica (6, 23)

La espectroscopia de absorción atómica (a menudo llamada AA) es un método instrumental de la Química analítica que determina una gran variedad de elementos al estado fundamental como analitos.

Es un método instrumental que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga. La niebla atómica es desolvatada y expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por una Lámpara de Cátodo hueco construida con el mismo analito a determinar o una Lámpara de Descarga de Electrones.

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

En AA la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito existente en la muestra. Hoy día se utiliza frecuentemente una mufla de grafito (u horno de grafito) para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla, aumentando la sensibilidad.

El método del horno de grafito puede también analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un

método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas y otros líquidos.

### **3.6.1 Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS) <sup>(13)</sup>**

Actualmente, las tecnologías de espectroscopia atómica están tendiendo a migrar de la "absorción" AA a la "emisión". Esta tecnología es llamada Espectroscopía de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente ó ICP por sus siglas en inglés que da uso a otros tipos de descargas eléctricas, llamadas plasmas, estas fuentes han sido usadas como fuentes de atomización /excitación para AA.

ICP-MS es un sistema de análisis multielemental de excelente sensibilidad. El instrumento emplea plasma acoplado inductivamente (ICP) como fuente de vaporización e ionización para el analizador del espectrómetro de masas (MS).

Las muestras líquidas se introducen a través de una bomba peristáltica en un nebulizador con una cámara de doble paso. EL gas (Ar) se introduce a través de una serie de tubos de cuarzo concéntricos, donde se forma la antorcha de plasma acoplado inductivamente. El aerosol que contiene la muestra es instantáneamente volatilizado e ionizado por plasma. Los iones producidos se extraen desde el plasma a través de un sistema de lentes electromagnéticas iónicas hasta una cámara de muy alto vacío (típicamente  $10^{-4}$  Pa), donde se encuentra el cuadrupolo. Una vez en esta cámara los iones son filtrados por el

caudrupolo. Finalmente la señal producida es amplificada por un dinodo discontinuo.

El sistema ICP-MS puede medir simultáneamente la mayoría de los elementos del sistema periódico.

El ICP- MS es un sistema que: 1) requiere bajas cantidades de muestras; 2) tiene un excelente sistema de linealidad (casi 9 órdenes de magnitud), 3) puede utilizar disolventes orgánicos; 4) es una técnica multielemental de detección simultanea; 5) puede trabajar con isotopos, es decir que no solo detecta los isotopos mayoritarios de un elemento sino también los minoritarios.

En el campo medioambiental (control de agua contaminación de suelos y otros medios) es probablemente donde mayor aplicación a encontrado los ICP-MS.

Las características de este sistema lo hacen útil, además, en campos como química Nuclear, clínica, geología, entre otros.



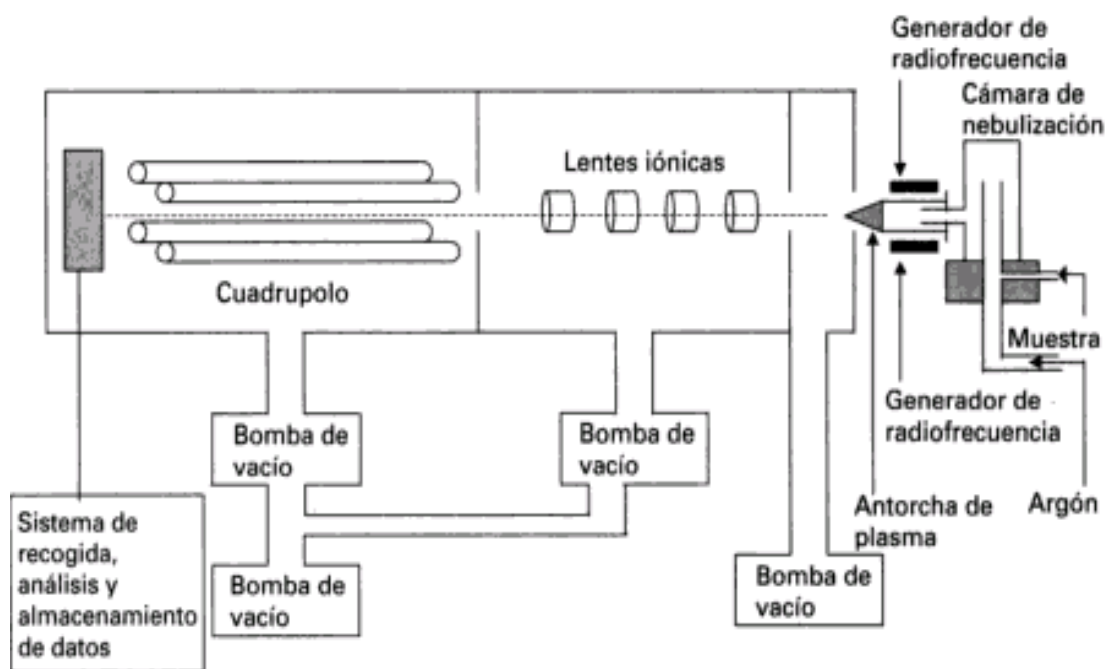


Figura Nº 4. Estructura de un equipo ICP-MS

**CAPITULO IV**  
**DISEÑO METODOLOGICO**

## 4.0 DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1 Tipo de estudio

**Transversal:** Debido a que se realiza en un tiempo determinado y es un problema que está ocurriendo en el presente.

**Experimental:** Ya que en el desarrollo del trabajo de investigación se realizaron una serie de análisis de laboratorio para la recolección de resultados, desarrollándose en los laboratorios de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador y en un laboratorio privado de Estados Unidos de Norte América.

### 4.2 Investigación bibliográfica

Esta se realizó en los siguientes lugares:

- Biblioteca Central de la Universidad de El Salvador
- Biblioteca Benjamín Orozco Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.
- Biblioteca Universidad Alberto Masferrer
- Biblioteca de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador
- Ministerio del Medio Ambiente
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
- Direcciones de internet.

### **4.3 Investigación de campo**

#### **4.3.1 Universo**

Está constituido por los suelos del cantón Sitio del Niño, municipio de San Juan Opico departamento de La Libertad.

#### **4.3.2 Muestra**

Los suelos en el cantón Sitio del Niño en la periferia de una industria fundidora de plomo. Donde se tomaron muestras de suelo alrededor de la fábrica de baterías de plomo; ubicadas a una distancia de 50, 100, 150, 500, 1000 y 1500 metros.

### **4.4 Parte Experimental**

#### **4.4.1 Ubicación de los puntos de muestreo**

Para la ubicación de los puntos de muestreo se utilizaron coordenadas previamente establecidas, estas fueron tomadas por medio de un sistema de posicionamiento global. Luego las coordenadas fueron ingresadas al programa de Google Earth para poder obtener los mapas con los 26 puntos de muestreo. Estos puntos fueron tomados a diferentes distancias con respecto al centro de la industria fundidora de plomo. En el primer mapa se pueden observar los puntos de muestreo alrededor de la industria que están ubicados a 50 mts que se representan en color blanco, 100 mts en color verde y 150 mts en color amarillo (ver figura N° 5). En el segundo mapa se observan los puntos de muestreo a 500 mts en color amarillo, 1000 mts de color anaranjado y 1500 mts de color rojo (ver figura N° 6).



Figura Nº 5. Mapa de los puntos de muestreo alrededor de la fabrica fundidora de plomo.

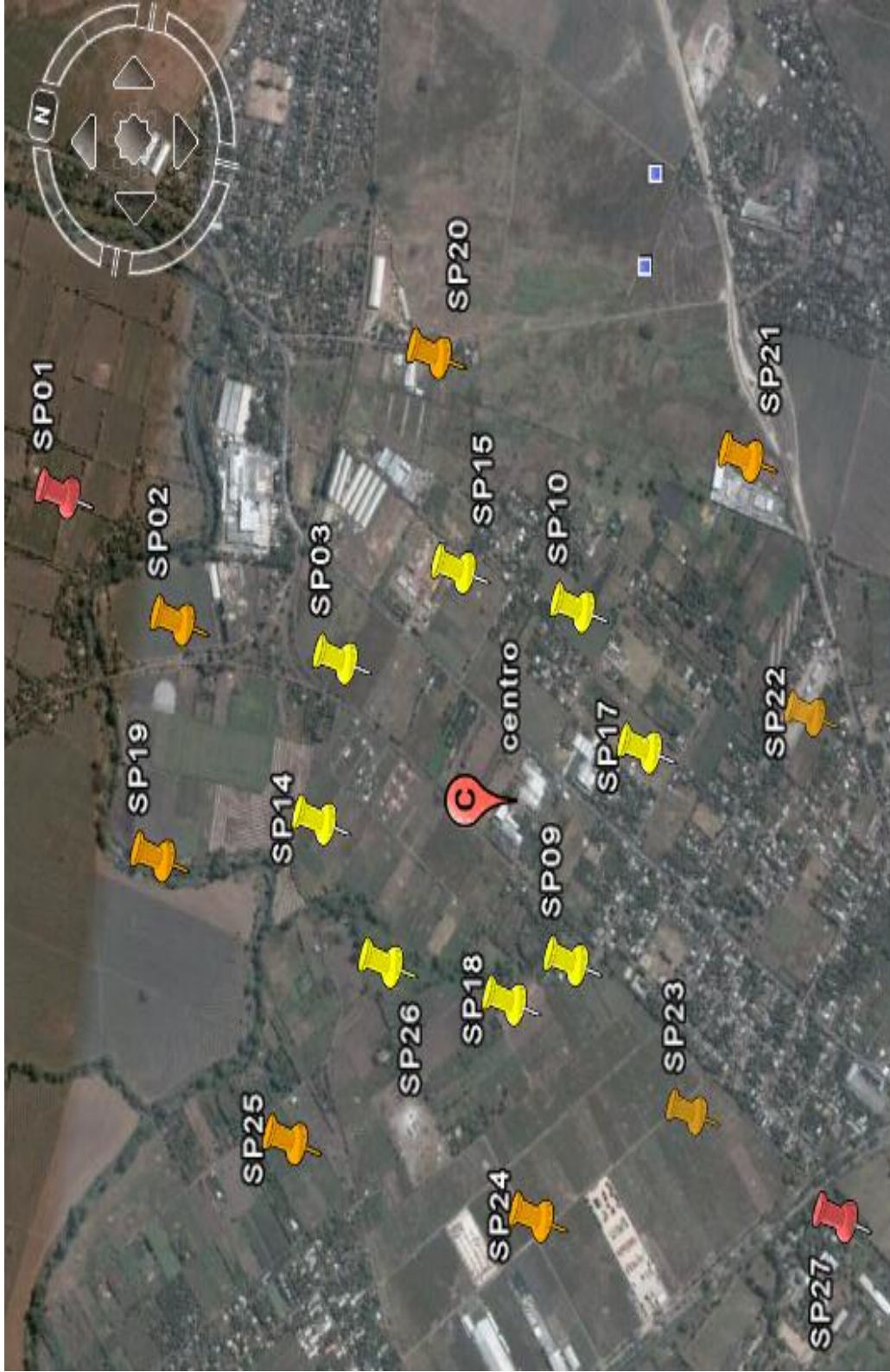


Figura Nº 6. Mapa de los puntos de muestreo a distancias de 500, 1000 y 1500 metros.

#### **4.4.2 Recolección de las muestras <sup>(7)</sup>**

La recolección de las muestras de suelo para la determinación de plomo fueron tomadas de los diferentes puntos de muestreo, ubicados a diferentes distancias con respecto al centro de la fundidora de plomo (ver tabla N° 5). La persona asignada por el laboratorio para la determinación de plomo en suelo utilizó en cada toma de muestra guantes limpios y una pala de acero inoxidable y para evitar la contaminación de las muestras esta fue limpiada con agua destilada. Cada muestra tomada tenía una media equivalente a dos libras de suelo a una profundidad de 20 cm, evitando rocas, pasto y materiales extraños, las muestras recolectadas fueron depositadas en botellas de polietileno limpias y marcada con su respectivo número y fecha de recolección. Las muestras fueron transportadas en una hielera a fin de mantenerlas a baja temperatura inferiores a 6°C. Luego fueron transportadas a un laboratorio privado de Estados Unidos de Norte América por parte de la persona asignada por el laboratorio.

Para la determinación de pH y contenido de materia orgánica las muestras fueron recolectadas de los mismos puntos de muestreo seleccionados por la persona encargada de determinar el plomo. Estas muestras fueron recolectadas utilizando guantes limpios y una pequeña pala, esta fue limpiada con agua destilada antes de cada recolección y evitar una contaminación. Se recolectó un equivalente a dos libras a una profundidad de 20 cm. Estas fueron recolectadas en bolsas plásticas con su respectiva identificación y colocadas en caja. Para la recolección de las muestras se llevó una hoja de registro en donde se anotaba



el número, zona de muestreo, cualquier observación del área, fecha de la recolección para la determinación de pH y porcentaje materia orgánica. Se recolectaron un total de 26 muestras. Estas fueron trasladadas posteriormente a la Universidad de El Salvador para la determinación del porcentaje de materia orgánica y pH.

**Tabla N° 5. Recolección de muestras**

Número de muestra	Fecha de recolección para análisis de pH y materia orgánica	Identificación de la muestra para análisis de plomo	Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	Descripción de ubicación	Distancia del centro de la fábrica (mts)
1	17-04-09	01 26-01-09	SW	Parte trasera de la fábrica, a dos metros del muro por segunda bodega de escoria. Junto al poste de electricidad	150
2	17-04-09	02 26-01-09	WM	Parte trasera de la fábrica, a dos metros de muro a nivel de hornos de fundición. Frente a chimenea	100
3	17-04-09	03 26-01-09	NW	Parte trasera de la fábrica, a dos metros de muro y a cinco metros del punto 2	150
4	17-04-09	04 26-01-09	NE	Parte frontal de la fábrica, noreste	150
5	17-04-09	05 26-01-09	EM	Parte frontal de la fábrica, oeste parte medio	100
6	17-04-09	06 26-01-09	SE	Parte frontal de la fábrica cuatro metros de la entrada principal, sureste	150
7	17-04-09	07 26-01-09	SP08	Calle de acceso ubicado en la colindancia de la entrada principal. En parcela de cosecha de maíz	50



Tabla N° 5 (continuación)

8	17-04-09	14 26-01-09	SP04	Costado derecho de la fabrica a 5 metros de muro	50
9	17-04-09	01 27-01-09	SP09	Parte trasera de centro escolar sitio del niño, en la cercanía a línea férrea.	500
10	17-04-09	02 27-01-09	SP23	Cercanía a la línea del tren a aproximadamente a un poste de electricidad con respecto a la fuente de contaminación	1000
11	17-04-09	03 27-01-09	SP24	Predio baldío al costado de muro de Naviera Transporte del Pacifico y muro de maquila de origen china con respecto a la fuente de contaminación	1500
12	17-04-09	04 27-01-09	SP18	Parcela de siembra, contiguo cosecha de pepinos. En las cercanías de transporte Montes	500
13	17-04-09	05 27-01-09	SP25	Sembradío de caña contiguo a taller Zonario Chagüite	1000
14	17-04-09	06 27-01-09	SP26	Zacatera de ganado junto a transporte el hondureño por lámpara de electricidad.	500
15	17-04-09	07 27-01-09	SP14	Terreno de la señora Claudia Evangelista Colonia Prado II	500
16	17-04-09	08 27-01-09	SP03	En dirección al Costado de la fabrica del lado de la cancha entre la calle y línea férrea	500
17	17-04-09	09 27-01-09	SP02	Calle de acceso a furgones Kimberley Clark	1000
18	17-04-09	10 27-01-09	SP19	En las cercanías a rio Sucio contiguo a vivero	1000
19	17-04-09	11 27-01-09	SP20	Entre calle de Opico y Quezaltepeque, en Villa Burdeos	1000
20	17-04-09	12 27-01-09	SP21	Al lado de entrada a Z-Gas Carretera a Quezaltepeque	1000

Tabla N° 5 (continuación)

21	17-04-09	13 27-01-09	SP22	Pasaje Jazmín lotificación La Limonera	1000
22	17-04-09	14 27-01-09	SP17	Pasaje Danilo	500
23	17-04-09	15 27-01-09	SP10	Vivero la Nueva Creación	500
24	17-04-09	16 27-01-09	SP15	Por casa de señora conocida como doña Maura al en dirección frontal a fabrica Record	500
25	17-04-09	17 27-01-09	SP01	En las cercanías de río sucio por entrada de Joya de Cerén, parcela de siembra de maíz.	1500
26	17-04-09	121	SP27	Terreno aledaño a línea férrea colindante a Regimiento de Caballería	1500

#### 4.5 Etapa de Laboratorio

##### 4.5.1 Preparación de las muestras para determinar el plomo.

Estas fueron recibidas en botellas de polietileno siguiendo una cadena de custodia. Antes de la determinación de la concentración de plomo en las muestras de suelo se realiza una digestión ácida según el método de la EPA-SW-846 3050B. No se detalla el procedimiento para la determinación de plomo por motivos de derecho de laboratorio solo se conoce que se realizó por medio de Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS) por el método de EPA SW-846 6020.

#### 4.5.2 Determinación de la concentración de plomo <sup>(22)</sup>

##### 4.5.2.1 Digestión ácida de lodos y suelo según EPA SW-846 3050B

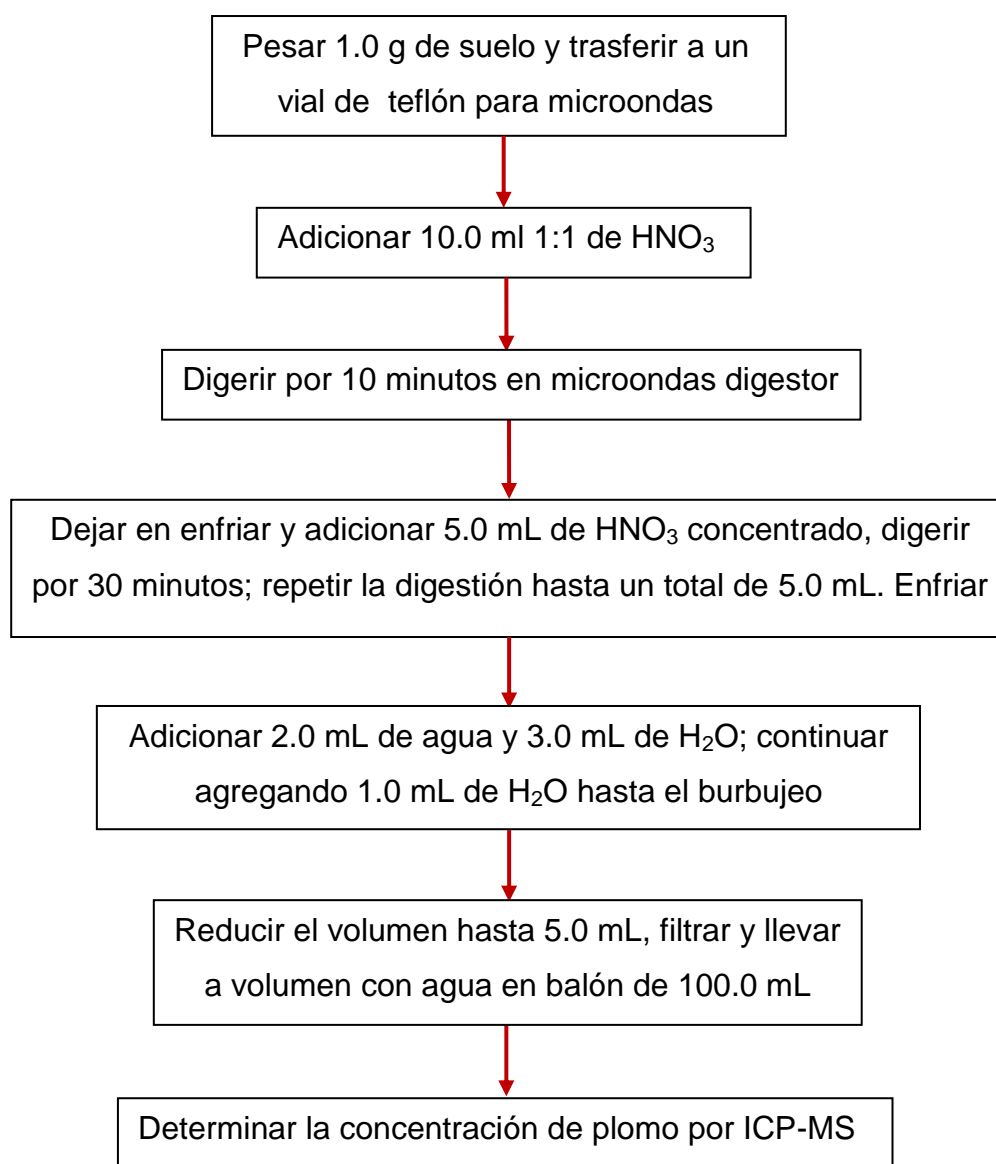


Figura N° 7. Marcha analítica de la digestión ácida de suelo

## **4.6 Preparación de muestras para determinar contenido de materia orgánica y pH**

### **4.6.1 Secado de la muestra <sup>(7)</sup>**

Cada muestra de suelo se extendió, se colocó un aproximado de 300.0 g de muestra de suelo sobre un cuarto de pliego de papel de empaque; formando una capa con un espesor de 15 mm, dejándose secar completamente al aire (evitando la luz solar directa) por 72 horas.

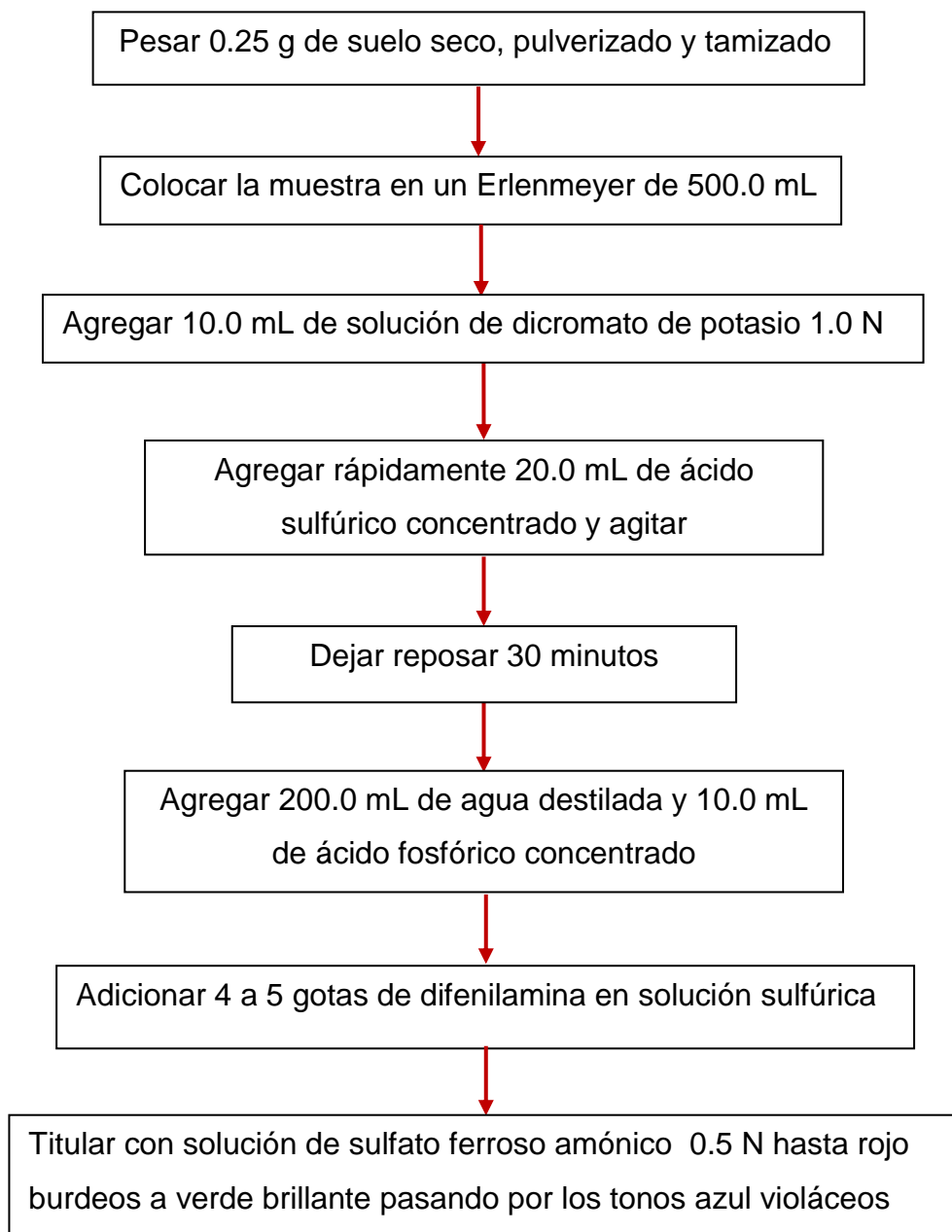
### **4.6.2 Separación de piedras y otros objetos extraños <sup>(7)</sup>**

Durante el secado de la muestra se formaron agregados siendo necesaria la trituration. Antes de la trituration se retiraron con las manos protegidas con guantes, piedras y otros materiales extraños, mayores de 2 mm. Se trituraron las muestras de suelo con un mortero.

### **4.6.3 Tamizado de la muestra <sup>(7)</sup>**

La muestra seca y triturada fue tamizada a 2 mm. Los agregados mayores de 2 mm se trituraron separadamente y se volvieron a tamizar.

#### 4.7 Determinación del contenido de materia orgánica en la muestra de suelo <sup>(8)</sup>



**Figura N° 8. Marcha analítica para la determinación de la materia orgánica**

#### 4.8 Calibración del pH-metro <sup>(25)</sup>

Para la calibración del pH-metro se necesitaron tres buffer uno de cuatro, siete y diez. En tres vasos de precipitados se agregaron de 50.0 mL de cada buffer mencionado anteriormente. El electrodo fue sumergido a temperatura ambiente en cada uno de los tres diferentes buffer, teniendo el cuidado de lavar el electrodo en cada lectura.

##### 4.8.1 Determinación de pH en la muestra de suelo <sup>(25)</sup>

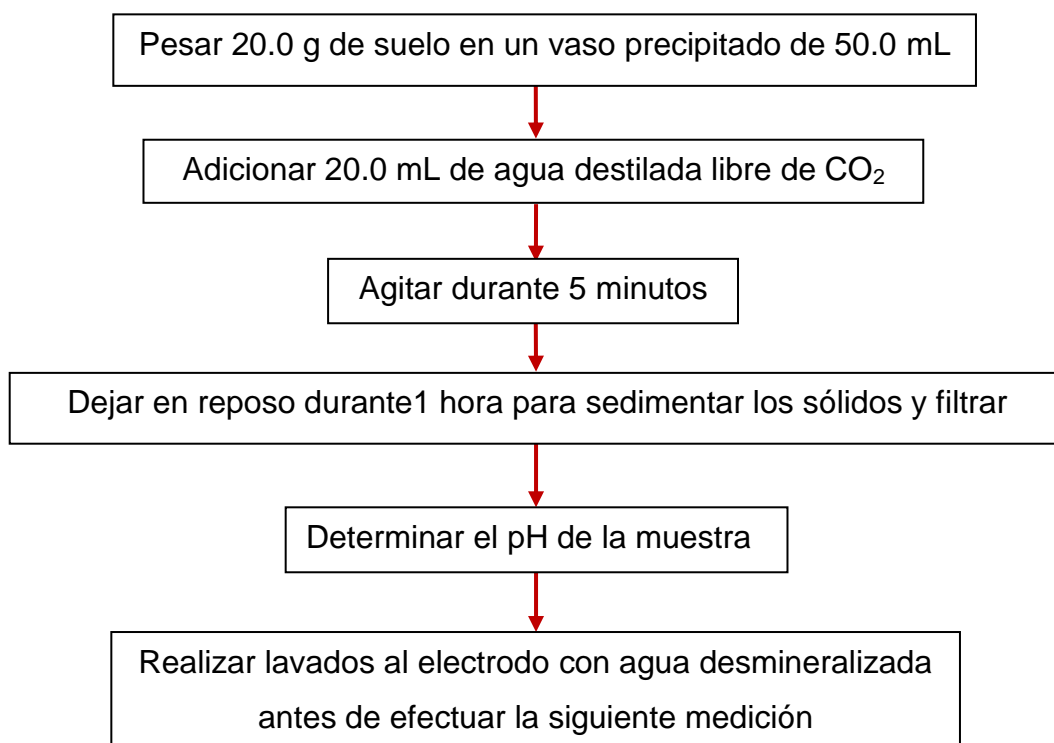


Figura Nº 9. Marcha analítica para la determinación de pH

**CAPITULO V**  
**RESULTADOS E INTERPRETACION**  
**DE RESULTADOS**

## 5.0 Discusión e interpretación de resultados

Para una mejor interpretación de los resultados, las concentraciones obtenidas de plomo de cada muestra se representan en la tabla número 6.

**Tabla N° 6. Resultado de análisis de plomo en suelo**

Número de muestra	Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	Distancia el centro de la fabrica (mts)	Concentración de plomo ppm
01 26-01-09	SW	150	37600.0
02 26-01-09	WM	100	5550.0
03 26-01-09	NW	150	3820.0
04 26-01-09	NE	150	693.0
05 26-01-09	EM	100	1540.0
06 26-01-09	SE	150	1480.0
07 26-01-09	SP08	50	171.0
14 26-01-09	SP04	50	156.0
01 27-01-09	SP09	500	28.3
02 27-01-09	SP23	1000	40.9
03 27-01-09	SP24	1000	28.1
04 27-01-09	SP18	500	61.6
05 27-01-09	SP25	1000	17.1
06 27-01-09	SP26	500	14.4
07 27-01-09	SP14	500	45.5
08 27-01-09	SP03	500	27.9
09 27-01-09	SP02	1000	284.0
10 27-01-09	SP19	1000	39.3
11 27-01-09	SP20	1000	26.9
12 27-01-09	SP21	1000	23.7
13 27-01-09	SP22	1000	69.6
14 27-01-09	SP17	500	364.0
15 27-01-09	SP10	500	35.0
16 27-01-09	SP15	500	81.4
17 27-01-09	SP01	1500	89.1
121	SP27	1500	21.1
<p>Límite permitido <sup>(14,24)</sup></p> <p><b>EPA:</b> 200 ppm para el riesgo de plomo residencial para suelos deforestados. Áreas de uso común.</p> <p>400 ppm para el suelo en las áreas de juegos de los niños.</p> <p>50-100 ppm para suelos superficiales, clasificándolos como sitios elevadamente fitotóxicos.</p> <p><b>NOM(2003):</b> 100 ppm para limpieza y remediación de suelos contaminados dedicados a la agricultura en México.</p> <p><b>IHOBE:</b> 330 ppm valor máximo tolerable para protección del ecosistema.</p> <p><b>Convenio de Basilea:</b> 25 ppm límites exposición al plomo en suelo.</p>			



Los resultados de plomo se analizaron utilizando dos mapas para una mejor ubicación de los puntos de muestreo y su concentración, además la realización de cuadros para poder comparar los datos obtenidos con los diferentes límites permitidos por agencias internacionales. En los cuadros se utilizó el color rojo para indicar las concentraciones de las muestras que sobrepasan el límite establecido por cada agencia internacional y el verde para indicar las concentraciones de las muestras que no sobrepasa el límite establecido por las agencias internacionales. Además se utilizó la abreviatura LP (límite permitido) y se incluyó el signo < (menor que) y > (mayor que); para una mejor comprensión de las concentraciones que se encuentran sobre el límite permitido o bajo el límite permitido. Además se realizó una comparación mediante gráficos donde se confrontan las concentraciones obtenidas de las muestras de suelo con los límites permitidos por la EPA, NOM (2003), IHOBE y Convenio de Basilea para así poder visualizar mejor los resultados.

Primero se analizaron los resultados de las concentraciones de plomo obtenidos de las muestras que se encuentran a la periferia de la fábrica fundidora de plomo.

En el mapa de la figura N° 7 se observan los puntos de muestreo con los resultados de las concentraciones de plomo en unidades de ppm. Se tomaron dos muestras a 50 metros que se representan con color blanco. Las muestras tomadas a 150 metros que son dos se representan en color verde. Por último

tenemos las muestras tomadas a 150 metros que son cuatro representadas con color amarillo.



**Figura N° 10. Ubicación de las muestras alrededor de la fábrica fundidora de plomo con su respectiva identificación y concentración de plomo en ppm.**

## 5.1 Análisis de las muestras tomadas alrededor de la fábrica de plomo.

**Cuadro N° 1. Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a la periferia de la fábrica de plomo**

Identificación de las muestras ubicadas en el mapa (ver figura N° 7)	Concentración de plomo en ppm	EPA			NOM (2003)	IHOBE
		1200 ppm	400 ppm	50 -100 ppm	100 ppm	330 ppm
SP08	171	< LP	< LP		> LP	< LP
SP04	156	< LP	< LP			< LP
WM	5550	> LP	> LP			> LP
SW	37600	> LP	> LP			> LP
NW	3820	> LP	> LP			> LP
EM	1540	> LP	> LP			> LP
SE	1480	> LP	> LP			> LP
NE	693	< LP	> LP			> LP

### 5.1.1 Análisis de las muestras tomadas a 50 metros

Primero se realizó un análisis de las muestras que están en la periferia de la industria fundidora de plomo, empezando con las que se encuentran a 50 metros de distancia que son las muestra SP08 y la muestra SP04. La muestra de suelo SP08 presentó una concentración de 171.0 ppm de plomo, esta muestra de suelo fue recolectada al sur de la industria fundidora de plomo, en una parcela donde es cultivado maíz, presentando concentraciones bajas de plomo a pesar de la cercanía a la fábrica. Se sospecha que estos niveles de plomo bajos, son debido a que el plomo está siendo absorbido por el cultivo de maíz, ya que la siembra se realiza por periodos y en cada siembra se obtiene nuevas cosechas, que es donde el plomo puede estar siendo absorbido. Además el maíz es una planta utilizada en la fitorremediación de suelos por

metales pesados debido a su capacidad de absorción. Al compararlo con el límite establecido por el Anteproyecto de la Norma Mexicana (NOM,2003) que es de 100 ppm de plomo podemos decir que este es sobrepasado en un 71 % por lo que se necesita limpieza y remediación de esos suelos (ver figura N° 12). El siguiente punto que está ubicado a 50 metros de distancia es la muestra SP04 ubicado en dirección norte de la fábrica, en donde encontramos una concentración de 156.0 ppm de plomo. Esta muestra de suelo proviene de un terreno con abundante presencia de arboles de Fikus, siendo estos un medio de absorción de plomo, pudiendo ser este el motivo que la concentración de plomo es baja.

Al comparar las concentraciones de plomo obtenidas en las muestra SP08 y la SP04 podemos ver que no sobrepasan los límites establecidos por la EPA que son de 1200 ppm para áreas de uso común y 400 ppm para el suelos en las de áreas de juegos de los niños (ver figura N° 8), ni tampoco los límites establecidos por la IHOBE que es de 330 ppm valor máximo tolerable para la protección del ecosistema (ver figura N° 9).

#### **5.1.2 Análisis de las muestras tomadas al noroeste de la fábrica.**

En la parte noroeste de la fábrica fundidora de plomo se recolectaron tres muestras, dos de estas fueron tomadas a 150 metros y una a 100 metros de distancias con respecto al centro de la fundidora de plomo. Estas muestras fueron recolectadas a dos metros de distancia del muro que se encuentra al noroeste de la fábrica. Para una mejor orientación de los puntos de muestreo

estas fueron ubicadas en un mapa, las dos muestras que se encuentran a 150 metros están representadas con color amarillo están son las muestras SW y NW y la muestra ubicada a 100 metros se represento en color verde que es la muestra WM (ver figura N° 7). La muestra WM presentó una concentración de plomo de 5550.0 ppm, esto se debe a que la muestra se encuentra a nivel de los hornos de fundición. La muestra identificada como SW presentó valores de 37600.0 ppm de plomo. Esta está ubicada por una de las dos bodegas de escoria que se encuentran en la fábrica. Es importante mencionar que esta bodega no contaba con un techo por lo que toda la escoria en esta bodega se encontraba expuesta a la intemperie y en la época de invierno la lluvia arrastraba la escoria hacia los suelos cercanos y generando probablemente contaminación de los mantos acuíferos por la filtración del agua. Esta concentración de plomo es la más elevada encontrada dentro de las 26 muestras analizadas. La segunda muestra analizada a 150 metros de distancia e identificada como NW presentó un valor de 3820.0 ppm de plomo. Se pudo observar que en la parte inferior del muro de la fábrica se encuentran agujeros, estos eran utilizados como desagües y es ahí por donde se descargaban aguas contaminadas formándose una laguna la cual posteriormente era cubierta con tierra. Estas descargas de agua provocaron una contaminación de los suelos que se puede observar en los árboles que se encuentran secos, además a unos 100 metros de distancia de la parte trasera de la fabrica (noroeste) se pueden observar diferentes parcelas de cultivos que podrían estar contaminados

provocando contaminación en las diferentes cosechas. Estas tres muestras recolectadas en la parte trasera de la fábrica (noroeste) son las que presentan los valores más elevados, catalogando esta zona como de alto riesgo para todas aquellas personas que transitan en ella. Esto provoca que las personas transporten el polvo con partículas de plomo a sus hogares exponiendo al grupo familiar a que ingiera, absorba o inhale este polvo contaminado.

### **5.1.3 Análisis de las muestras en la parte noreste de la fábrica**

Ahora se analizarán las tres muestras tomadas en la parte frontal de la industria fundidora de plomo (noreste). Una ubicada a 100 metros de distancia que se representa con color verde (ver figura N° 7) e identificada como EM, esta muestra presentó una concentración de plomo de 1540.0 ppm siendo esta la concentración más elevada de la parte frontal. La muestra SE ubicada a cuatro metros de la entrada principal y con concentraciones plomo de 1480.0 ppm. Las muestras SE y EM se encuentran en una zona donde crecen árboles de Fikus, por lo que estos árboles pueden estar contribuyendo a la absorción del plomo. Esta contaminación alta en los dos sitios se debe a que la empresa dejaba rebalsar la laguna de agua residual ubicada en el centro de la fábrica, provocando esto una contaminación al frente de la industria.

La última muestra tomada en la parte frontal de la industria está ubicada a 150 metros e identificada como NE, esta muestra presentó una concentración de plomo de 693.0 ppm. Estos suelos están ubicados al noroeste de la fábrica (ver figura N° 7) en donde se pueden observar abundantes árboles, además esta

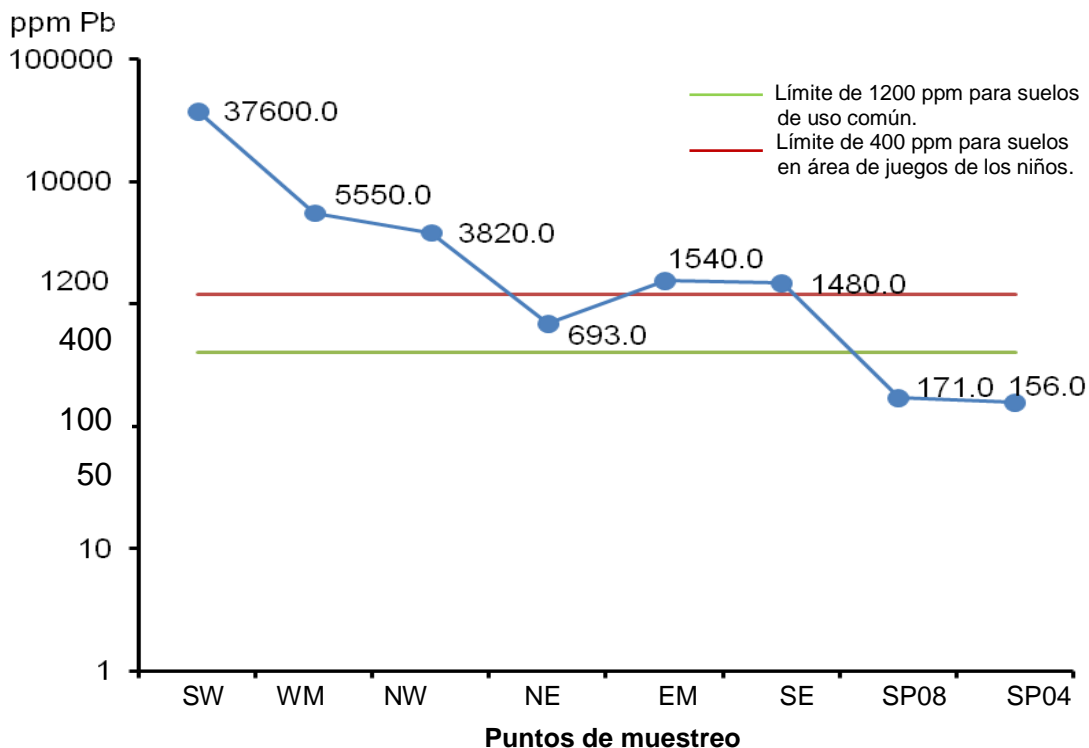
muestra presentó la concentración de plomo más bajo obtenida de la parte frontal de la fábrica.

Los suelos analizados de la parte frontal de la fábrica presentan un riesgo debido a que la fábrica está ubicada en una calle principal. Es importante mencionar que a unos tres metros de distancia de la entrada principal de la fábrica se encuentra una parada de buses, lo que provoca que las personas transporten el suelo contaminado a diferentes destinos. Además los vehículos que se desplazan por esta zona levantan polvo provocando que este sea inhalado por las personas. También el polvo es transportado por los vientos hacia diferentes partes de la zona en donde tenemos diferentes industrias, casa y escuelas.

Las muestras SW, WM, NW, SE y EM son las que presentaron mayor concentración de plomo, estas cinco muestras sobrepasan el límite establecido por la EPA que es de 1200 ppm para suelos de uso común. Con el límite de 400 ppm para el suelo en áreas de juego de los niños las muestras WM, SW, NW, EM, SE y NE sobrepasan este límite (ver figura N° 8). Se toma en cuenta el límite de 400 ppm debido a que es una zona muy transitada de muy fácil acceso en donde se trasladan tanto niños como adultos. Por ejemplo la SW que es la muestra que presentó mayor concentración de plomo y que sobrepasa el límite establecido por la EPA que es de 1200 ppm en un 3033.33% y para 400 ppm la sobrepasa en un 9300%. En 1992 la EPA estableció un rango de 50 – 100 ppm de plomo para suelos superficiales, clasificándolos como sitios

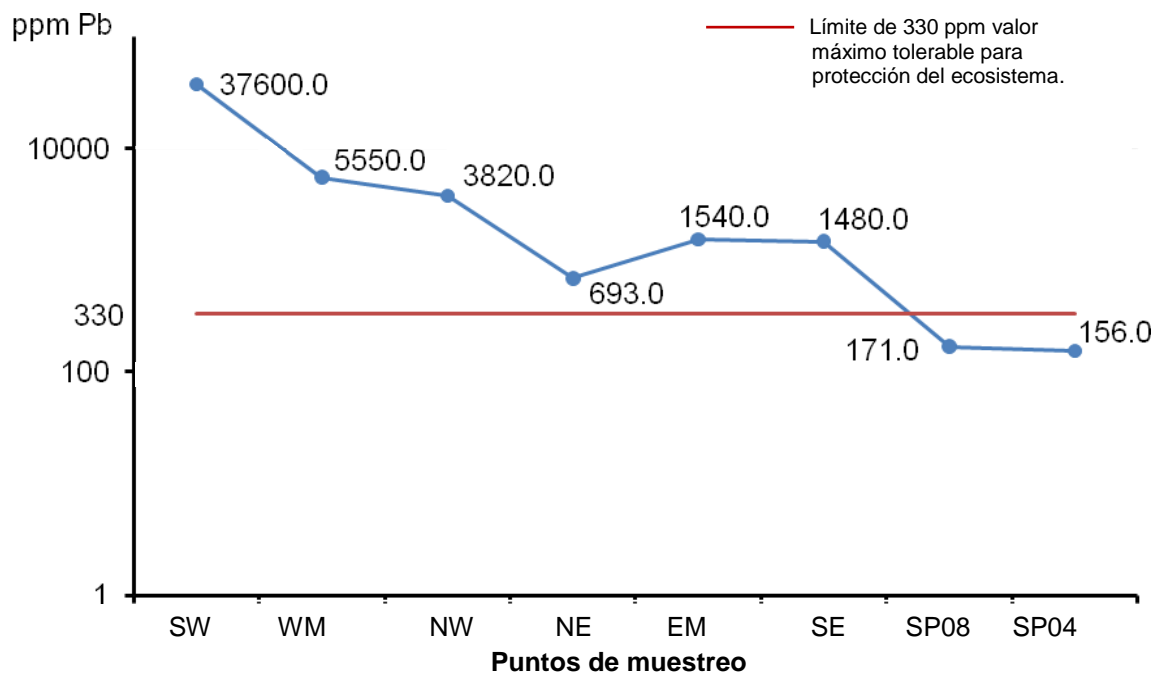
elevadamente fitotóxicos (ver figura N° 11). Las ocho muestras tomadas están en el rango de 156 – 37600 ppm de plomo; estos nos indican que sobrepasan el rango que establece la EPA por lo que hay una contaminación por plomo siendo un problema potencial para los organismos que viven en ese ecosistema.

El límite establecido por la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento del Medio Ambiente del Gobierno Vasco, IHOBE (1998) esta señala 330 ppm de plomo como valor máximo tolerable para la protección del ecosistema. Las muestras WM, SW, NW, EM, SE y NE sobrepasan este valor indicándonos daños en el ecosistema (ver figura N° 9).



**Figura N° 11. Gráfico de las concentraciones de las muestras tomadas alrededor de la fabrica fundidora de plomo comparadas con los límites establecidos por la EPA.**

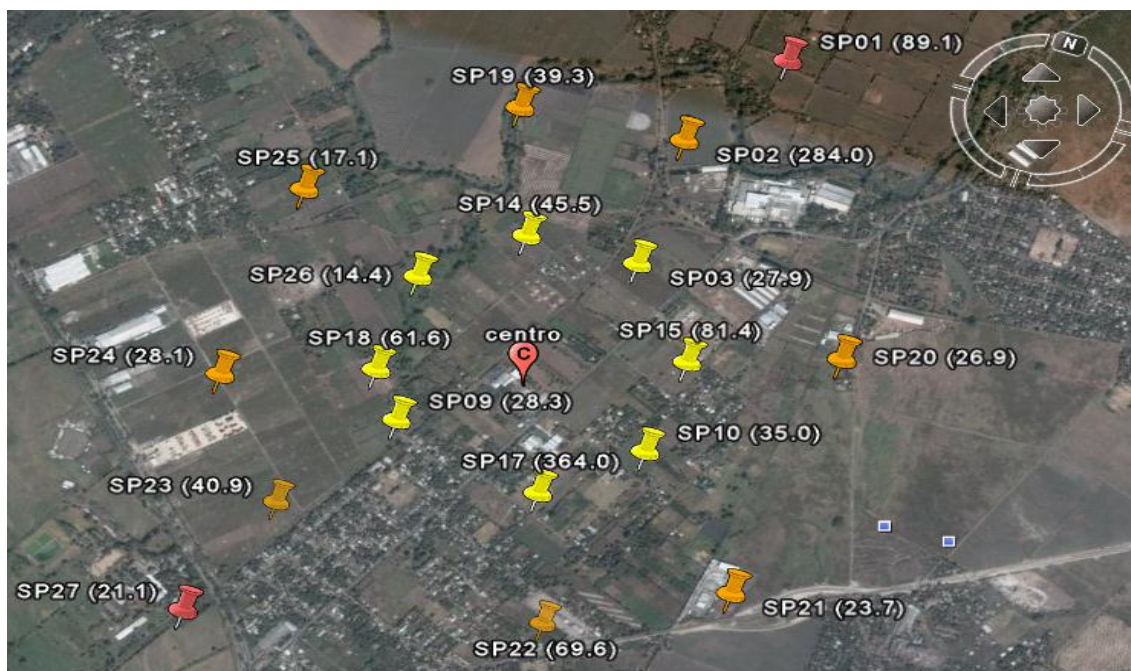




**Figura N° 12. Grafico de las concentraciones de las muestras tomadas alrededor de la fabrica fundidora de plomo comparadas con el límite establecidos por la HIOBE.**

#### 5.1.4 Análisis de las muestra tomadas a 500 metros

El análisis de los resultados obtenidos de las muestras que se encuentran a una distancia de 500, 1000 y 1500 metros de distancia con respecto a la fabrica fundidora de plomo. Se realizó estableciendo un mapa (ver figura N° 10) donde se muestran los puntos de muestreo con sus resultados de la concentración de plomo en unidades de ppm. Se tomaron ocho muestras a 500 metros que se representan con color amarillo. Las muestran tomadas a 1000 metros que son ocho se representan en color anaranjado. Por último tenemos las muestras tomadas a 1500 metros que son dos representadas con color rojo.



**Figura N° 13.** Ubicación de las muestras a 500, 1000 y 1500 metros de distancia de la fabrica fundidora de plomo, con su respectiva identificación y concentración de plomo en ppm.

**Cuadro N° 2.** Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 500 metros.

Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	Concentración de plomo ppm	EPA			NOM (2003)	IHOBE
		1200 ppm	400 ppm	50 - 100 ppm	100 ppm	330 ppm
SP09	28.3	< LP	< LP		< LP	< LP
SP18	61.6	< LP	< LP		< LP	< LP
SP26	14.4	< LP			< LP	< LP
SP14	45.5	< LP	< LP			< LP
SP03	27.9	< LP			< LP	< LP
SP17	364	< LP	< LP			> LP
SP10	35.0	< LP			< LP	< LP
SP15	81.4	< LP	< LP			< LP

En el cuadro N° 2 se detallan las concentraciones de plomo de las ocho muestras tomadas a 500 metros. De las ocho muestras analizadas cinco de ellas se encontraba en terrenos utilizados para la agricultura, las cuales son SP09, SP18, SP26, SP03 y SP10. La muestra SP09 con concentración de plomo de 28.3 ppm en esta parcela se pudo identificar la cosecha de maíz como la muestra identificada como SP03 con concentración de plomo de 27.9 ppm. Estas muestras presentaron concentraciones de plomo relativamente baja, esto puede deberse a que en los periodos de cosecha el plomo ha sido absorbido, provocando una contaminación en las personas ya sea por el consumo de estas o en las personas que trabajan estos suelos. La muestra SP26 con un valor de plomo de 14.4 ppm está ubicado en un terreno donde se encuentra zacate y que este es utilizado para la alimentación de ganado, los animales que consumen estas malezas pueden estar absorbiendo el plomo por lo que la leche y la carne de estos animales puede contener concentraciones de plomo. La muestra identificada como SP18 con concentración de plomo de 61.6 ppm se encuentra ubicada cerca de una parcela de pepinos; los campesinos comentan que en varias ocasiones obtuvieron perdidas en sus cosechas ya que el pepino mostraba daños, por lo que esto puede deberse a la concentración de plomo presente en el suelo. La muestra SP10 situada en un vivero presento concentración de plomo de 35.0 ppm, este valor es bajo y puede deberse a que estos suelos son removidos constantemente. Estas cinco muestras presentaron concentraciones de plomo menores de lo que establece el Anteproyecto de la

Norma Mexica (NOM, 2003) que estable como límite 100 ppm de plomo (ver figura N°12). Esto puede deberse como se mencionó anteriormente a que estos suelos son utilizados para la agricultura y que además son removidos constantemente.

La muestra SP17 con un valor de 364 ppm de plomo, la muestra SP14 con concentración de 45.5 ppm de plomo y la identificada como SP15 con valor de plomo de 81.4 ppm se encuentra situadas en terrenos donde la tierra no es removida, por lo que la concentración de plomo es alta con respecto a las que se encuentra en terrenos utilizados para la agricultura.

La EPA establece un límite de 1200 ppm de plomo para áreas de uso común, de las ocho muestras analizadas ninguna de estas sobrepasa este límite. El otro límite que establece la EPA es de 400 ppm de plomo para el suelo en las áreas de juegos de los niños. Cinco de las ocho muestras analizadas no sobrepasan el límite de 400 ppm de plomo. Estas muestras son las identificadas como SP09, SP18, SP14, SP17 y SP15, estas muestras se clasificaron dentro de este límite debido a la accesibilidad que los niños tienen a estos sitios, debido a que estos están muy cercanos a la escuela pública como a hogares (ver figura N°11).

La IHOBE señala 330 ppm de plomo como valor máximo tolerable para la protección del ecosistema. De las ocho muestras analizadas solo una sobrepasa este límite que es la muestra SP17 que presento una concentración de 364.0 ppm de plomo (ver figura N°13).

### 5.1.5 Análisis de las muestra tomadas a 1000 metros.

**Cuadro N° 3. Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 1000 metros.**

Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	Concentración de plomo ppm	EPA			NOM (2003)	IHOBE
		1200 ppm	400 ppm	50 - 100 ppm	100 ppm	330 ppm
SP23	40.9	< LP	< LP		< LP	< LP
SP24	28.1	< LP			< LP	< LP
SP25	17.1	< LP			< LP	< LP
SP02	284	< LP	< LP			< LP
SP19	39.3	< LP			< LP	< LP
SP20	26.9	< LP				< LP
SP21	23.7	< LP				< LP
SP22	69.6	< LP	< LP			< LP

A 1000 metros de distancia se recolectaron ocho muestras con concentraciones de plomo que oscilan entre 17.1- 69.6 ppm. La muestra identificada como SP23 con una concentración de plomo de 40.9 ppm está ubicada en un terreno utilizado para la agricultura como lo es también la muestra SP24 con concentración de plomo de 28.1 ppm. La muestra SP25 con concentración de plomo de 17.1 ppm fue recolectada en una parcela utilizada para el cultivo de caña y la muestra SP19 con concentración de 39.3 ppm se encuentra en una parcela utilizada para la siembra de diferentes frutos, además con cercanía al río Sucio y contiguo a un vivero. Estas cuatro muestras presentaron concentración de plomo bajas, esto puede deberse a que los terrenos son utilizados en la

agricultura y además por la lejanía de la fábrica de plomo. Ninguna de las cuatro muestras mencionadas anteriormente sobre pasan el límite establecido por la NOM (2003) que es de 100 ppm de plomo (ver figura N° 12).

La muestra identificada como SP02 presentó un valor de 284 ppm de plomo, la SP20 con concentración de 26.9 ppm, la muestra SP21 con concentración de 23.7 ppm y la SP22 con concentración de plomo de 69.6 ppm. Estas muestras de suelo se encuentran en terrenos donde el suelo no es removido. La muestra SP22 es la que presento la concentración de plomo más alta a la distancia de 1000 metros.

De las ocho muestras analizadas ninguna sobrepasa los límites establecido por la EPA (ver figura N° 11) y la IHOBE (ver figura N° 13).

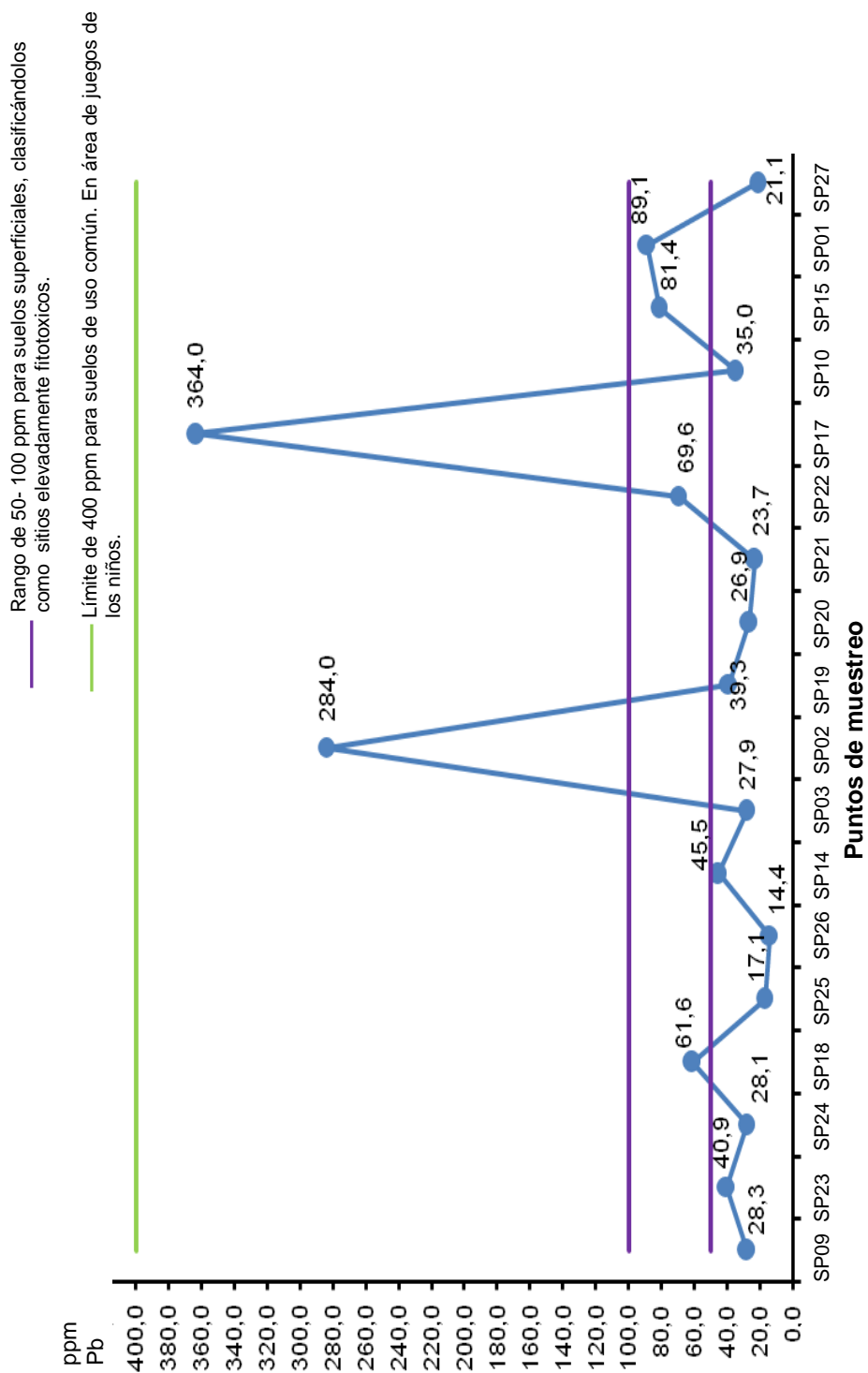
Podemos observar que las concentraciones de plomo disminuyen al compararlas con las concentraciones de las muestras ubicadas a 500 metros esto puede deberse a la lejanía de la industria fundidora de plomo.

### 5.1.6 Análisis de las muestra tomadas a 1500 metros

**Cuadro N° 4. Comparación de límites permitidos de organismos internacionales con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 1500 metros.**

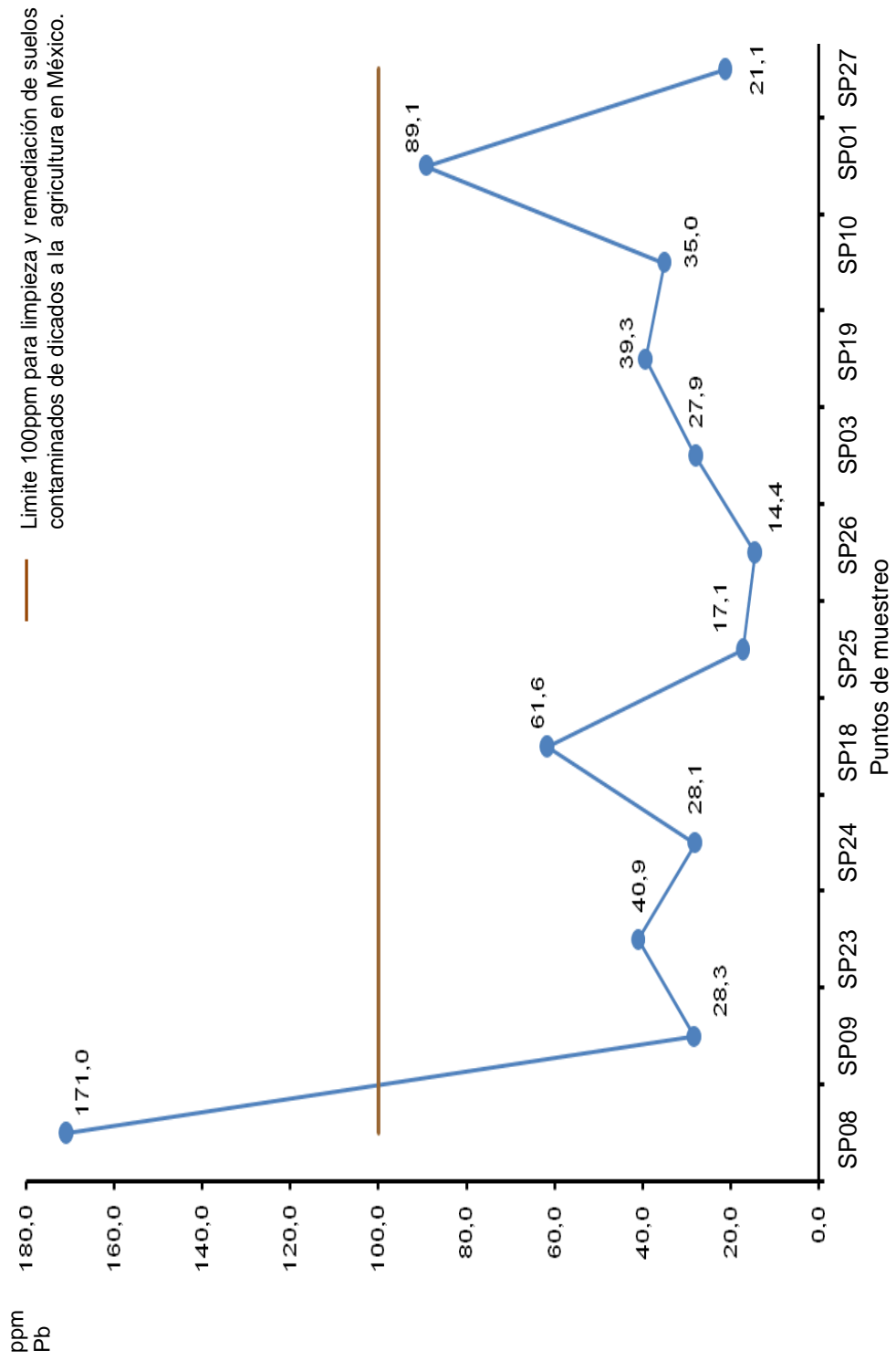
Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	Concentración de plomo ppm	EPA			NOM (2003)	IHOBE
		1200 ppm	400 ppm	50 - 100 ppm	100 ppm	330 ppm
SP01	89.1	< LP			< LP	< LP
SP27	21.1	< LP			< LP	< LP

A 1500 metros se recolectaron dos muestras, una identificada como SP27 con concentración de plomo de 21.1 ppm esta muestras está ubicada al norte de la fabrica fundidora de plomo y la muestra SP01 con 89.1 ppm de plomo ubicada al sur de la fundidora de plomo. Ambos terrenos se encuentran en suelos utilizados para la agricultura pero ninguna de las dos sobre pasa el límite establecido por la NOM (2003) (ver figura N° 12). Los límites establecidos por la EPA que son de 1200 ppm y 400 ppm de plomo, no son sobrepasados por estas dos muestras (ver figura N° 11), ni tampoco los establecidos por IHOBE (ver figura N° 13). Lo que se puede observar al ver el mapa (ver figura N° 10) es que a medida nos alejamos de la fabrica las concentraciones de plomo disminuyen a excepción de las muestras que se encuentra en dirección al norte que corresponden a los puntos identificados como SP02, SP01, SP14, SP19 y la SP03. Estas muestras presentan concentraciones variables que no tienen tendencia a la disminución, esto puede ser a que están ubicadas en la dirección de los vientos predominantes.

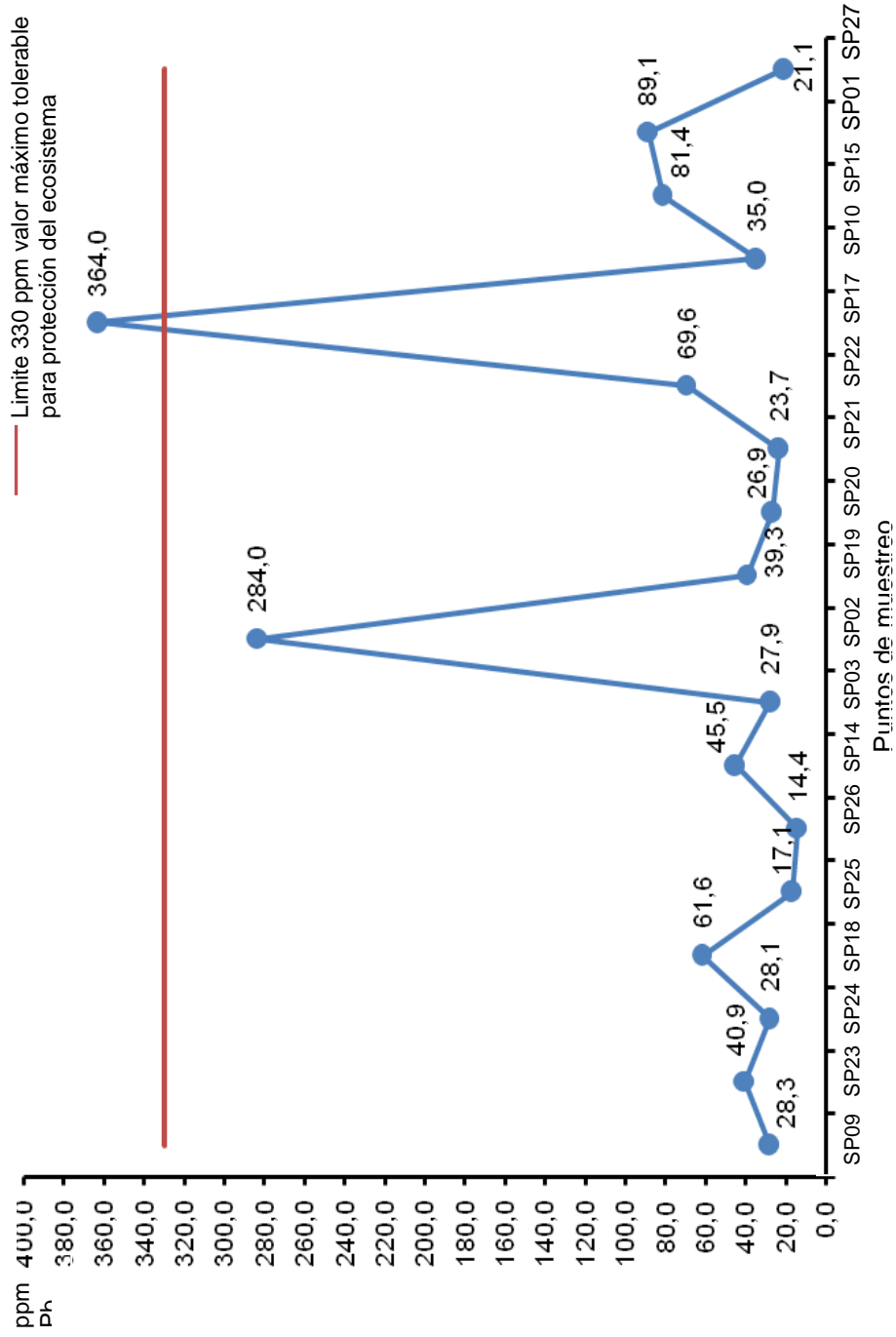


**Figuran N° 14. Grafico de las concentraciones de las muestras tomadas a distancia de 500, 1000 y 1500 metros comparadas con el rango establecido por la EPA.**



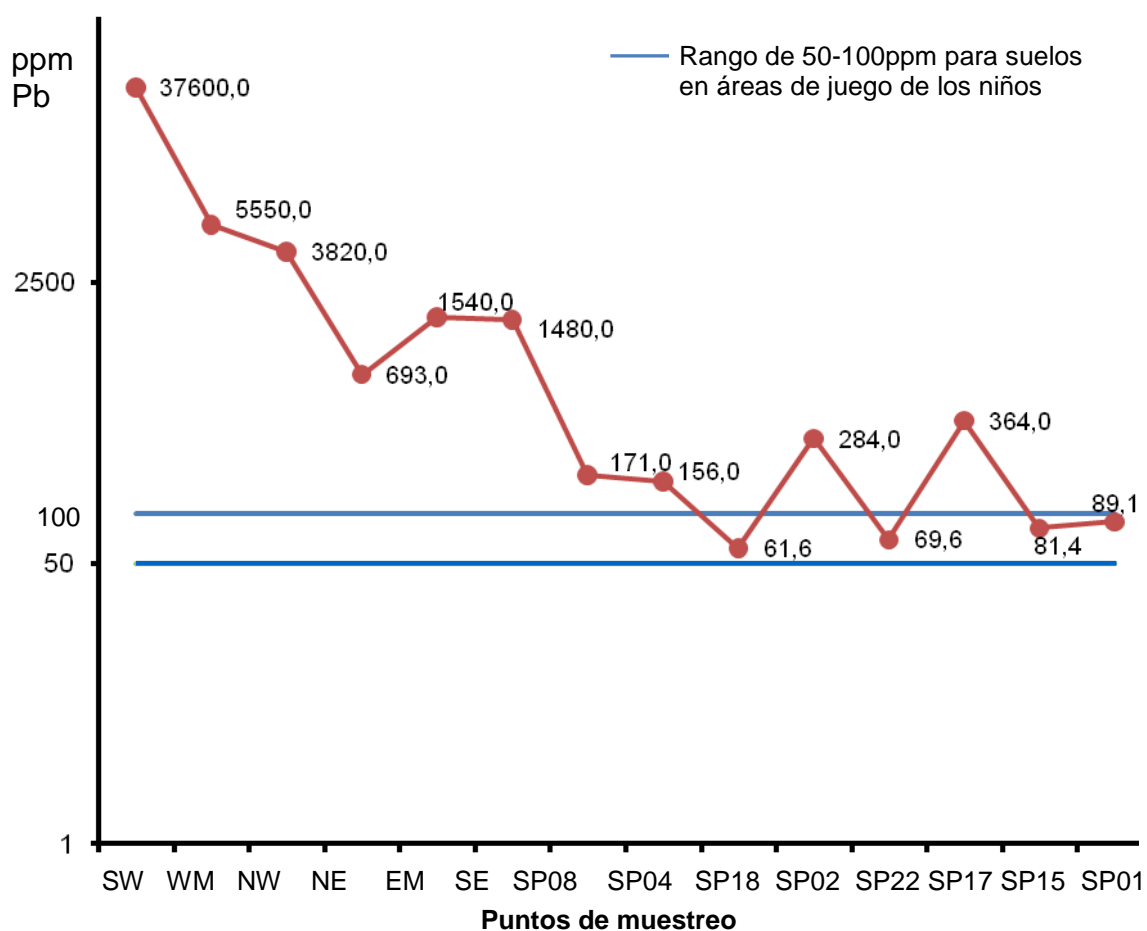


**Figura N° 15. Grafico de las concentraciones de las muestras de las muestras que se encuentra en terrenos de cultivo comparadas con el límite establecido por la NOM 2003.**



**Figura Nº 16. Grafico da las concentraciones de las muestras tomadas a distancia de 500, 1000 y 1500 metros comparadas con el límite establecido por la IHOBÉ.**

La EPA (1992) señala como límite de plomo el rango 50-100 ppm para suelos superficiales, clasificándolos como sitios elevadamente fitotóxicos. De las 26 muestras analizadas, el 14 (53.8 %) están en el rango de 61.6-37600 ppm de plomo; esto nos indica que más de la mitad de las muestras sobrepasan este límite creando una contaminación por este metal y siendo un problema potencial para los organismos que viven en ese ecosistema (ver figura N° 14).



**Figura N° 17. Grafica de las concentraciones de las muestras que sobrepasan el rango establecido por la EPA de 50 – 100 ppm de plomo.**

### 5.1.7 Análisis de las muestra con el convenio de Basilea

Después de haber analizado las concentraciones de plomo con los límites de los diferentes organismos internacionales (EPA, NOM (2003), IHOBE), estas muestras se compararon con el límite que establece el Convenio de Basilea. Este convenio establece los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. En la directriz técnica para el manejo ambiental racional de los acumuladores de plomo de desecho, se establece como límite de exposición en suelo 25 ppm de plomo. Debido a que el país ha firmado este convenio y que entro en vigencia el 5 de mayo de 1992, se tomo en cuenta este límite y se realizo una comparación de las concentraciones de plomo en las 26 muestras las cuales se presentan en el siguiente cuadro.

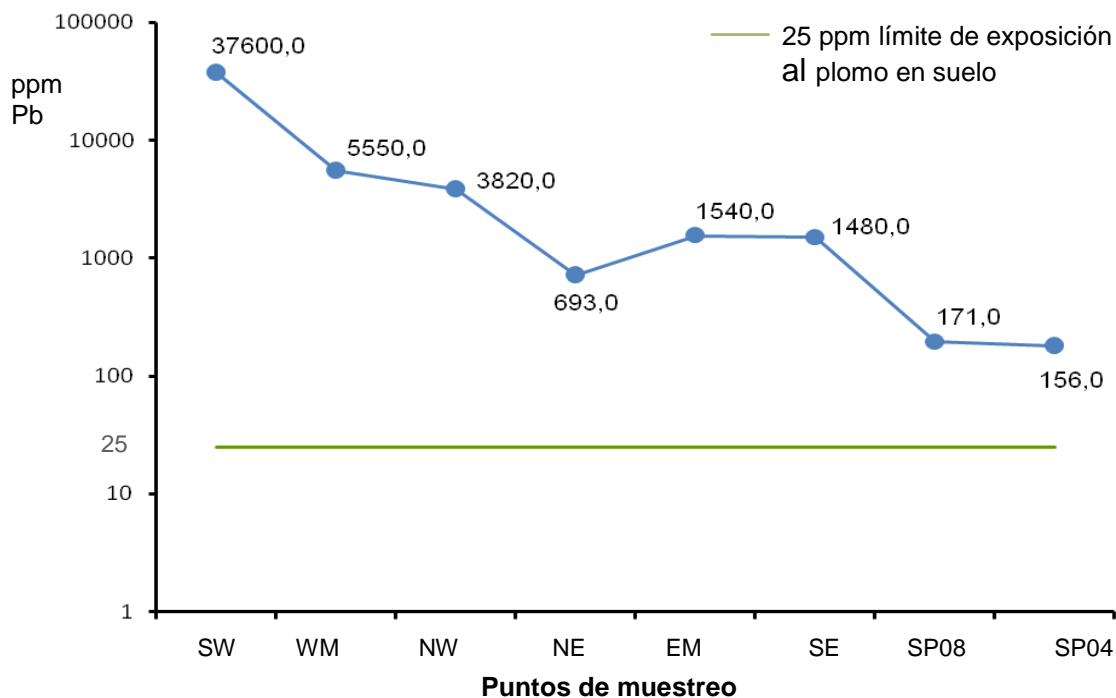
**Cuadro N° 5. Comparación del límite permitido por el Convenio de Basilea con las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 50, 100, 150, 500, 1000, 1500 metros.**

Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	Concentración de plomo ppm	Convenio Basilea
		25 ppm
SW	37600.0	> LP
WM	5550.0	> LP
NW	3820.0	> LP
NE	693.0	> LP
EM	1540.0	> LP
SE	1480.0	> LP
SP08	171.0	> LP
SP04	156.0	> LP
SP09	28.3	> LP
SP23	40.9	> LP
SP24	28.1	> LP
SP18	61.6	> LP
SP25	17.1	< LP
SP26	14.4	< LP
SP14	45.5	> LP
SP03	27.9	> LP

Cuadro N°5 (continuación)

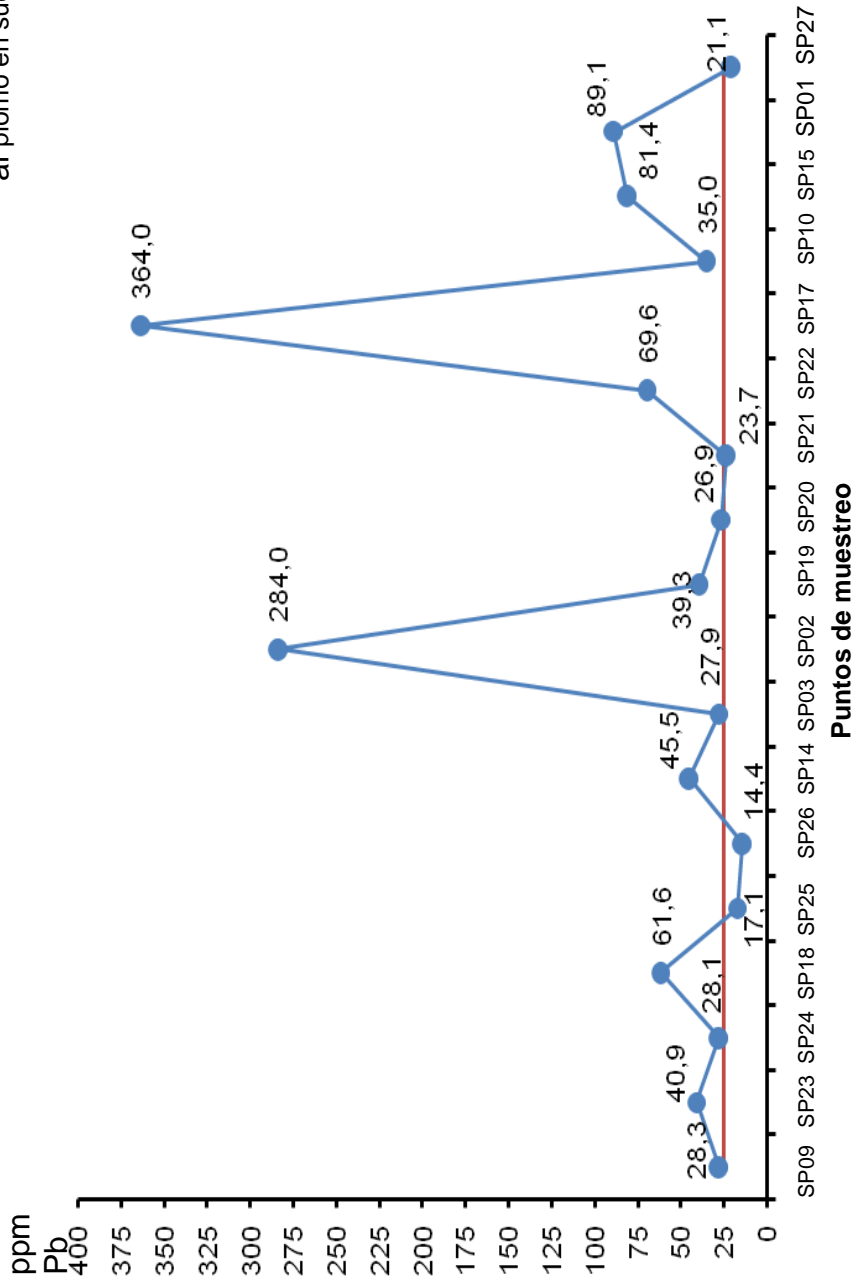
SP02	284.0	> LP
SP19	39.3	> LP
SP20	26.9	> LP
SP21	23.7	< LP
SP22	69.6	> LP
SP17	364.0	> LP
SP10	35.0	> LP
SP15	81.4	> LP
SP01	89.1	> LP
SP27	21.1	< LP

De las 26 muestras analizadas solo cuatro de ellas están fuera del límite permitido por el Convenio de Basilea. Por lo que 22 de ellas están fuera de este límite creando así una contaminación en el ambiente y en las personas que habitan en la zona.



**Figura N° 18. Gráfico de las concentraciones de las muestras alrededor de la fábrica y comparadas con el límite establecido por el Convenio de Basilea.**

— 25 ppm límite de exposición al plomo en suelo



**Figura Nº 19. Grafico de las concentraciones de las muestras tomadas a una distancia de 500, 1000 y 1500 metros y comparadas con el límite establecido por el Convenio de Basilea.**

## 5.2 Resultado de análisis del contenido de materia orgánica en suelo

**Tabla N°. 7. Resultado de análisis de materia orgánica en suelo**

Identificación de muestra	Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	Volúmenes gastados en la valoración		% de materia orgánica		
		Volumen 1	Volumen 2	1	2	Promedio
01 26-01-09	SW	15.9	16.0	5.5	5.4	5.5
02 26-01-09	WM	16.0	16.0	5.4	5.4	5.4
03 26-01-09	NW	16.4	16.4	4.8	4.8	4.8
04 26-01-09	NE	18.1	18.0	2.5	2.7	2.6
05 26-01-09	EM	15.3	15.3	6.3	6.3	6.3
06 26-01-09	SE	16.0	16.0	5.4	5.4	5.4
07 26-01-09	SP08	15.7	15.8	5.8	5.6	5.7
14 26-01-09	SP04	16.4	16.4	4.8	4.8	4.8
01 27-01-09	SP09	16.5	16.5	4.7	4.7	4.7
02 27-01-09	SP23	17.1	17.0	3.9	4.0	4.0
03 27-01-09	SP24	16.8	16.9	4.3	4.2	4.3
04 27-01-09	SP18	17.0	17.0	4.0	4.0	4.0
05 27-01-09	SP25	15.8	15.6	5.6	5.9	5.8
06 27-01-09	SP26	15.1	15.0	6.6	6.7	6.7
07 27-01-09	SP14	16.2	16.2	5.1	5.1	5.1
08 27-01-09	SP03	16.4	16.4	4.8	4.8	4.8
09 27-01-09	SP02	15.1	15.2	6.6	6.4	6.5
10 27-01-09	SP19	15.0	15.0	6.7	6.7	6.7
11 27-01-09	SP20	15.0	15.0	6.7	6.7	6.7
12 27-01-09	SP21	16.1	16.1	5.2	5.2	5.2
13 27-01-09	SP22	16.6	16.7	4.6	4.4	4.5
14 27-01-09	SP17	17.5	17.5	3.4	3.4	3.4
15 27-01-09	SP10	16.2	16.3	5.1	5.0	5.1
16 27-01-09	SP15	16.8	16.9	4.3	4.2	4.3
17 27-01-09	SP01	17.3	17.5	3.6	3.4	3.5
121	SP27	15.1	15.2	6.6	6.4	6.5

El contenido de materia orgánica de las muestras de suelo se presenta en la tabla N° 7. Las muestras analizadas presentaron un contenido de materia orgánica variable con porcentajes desde 2.6 % a 6.7 %. Las muestras con mayor porcentaje de materia orgánica son los suelos identificados como SP26 que presentó 6.7 % ubicado en el terreno donde se encontraba zacate, la

muestra SP27 que está ubicada en una parcela de cultivo y presentó un valor de 6.5 %. La muestra SP19 fue de 6.7 % de materia orgánica ubicada en la cercanía del río Sucio contiguo a un vivero. La muestra EM ubicada al frente de la fábrica presentó un valor de 6.3 % de materia orgánica, la muestra identificada como SP02 con valor de 6.5 % y la muestra SP20 con valor de 6.7 %. La mayoría de las muestras (20) se encuentran en un rango de 2.6 - 5.8 % de materia orgánica. Con este rango estas muestras se clasifican como contenido medio de materia orgánica. Con estos porcentajes de materia orgánica podemos decir que a mayor porcentaje de materia orgánica mayor será la interacción que el plomo tenga con el suelo. Por lo que el plomo en estos suelos puede encontrarse en los primeros cinco centímetros del suelo. La muestra que presentó menor porcentaje de materia orgánica es la identificada como NE con un valor de 2.6 % ubicada al costado norte de la fábrica.



### 5.3 Resultado de análisis de pH

**Tabla No. 8. Resultado de análisis de pH en suelo**

Identificación de la muestra	Identificación de las muestras ubicadas en el mapa	pH		
		1	2	Promedio
01 26-01-09	SW	6.9	6.9	6.9
02 26-01-09	WM	6.9	6.9	6.9
03 26-01-09	NW	7.1	7.1	7.1
04 26-01-09	NE	7.0	7.1	7.1
05 26-01-09	EM	7.3	7.1	7.2
06 26-01-09	SE	7.5	7.5	7.5
07 26-01-09	SP08	5.3	5.3	5.3
14 26-01-09	SP04	6.9	6.9	6.9
01 27-01-09	SP09	7.5	7.7	7.6
02 27-01-09	SP23	6.2	6.2	6.2
03 27-01-09	SP24	6.2	6.2	6.2
04 27-01-09	SP18	5.5	5.5	5.5
05 27-01-09	SP25	5.6	5.6	5.6
06 27-01-09	SP26	6.6	6.6	6.6
07 27-01-09	SP14	6.3	6.3	6.3
08 27-01-09	SP03	6.6	6.6	6.6
09 27-01-09	SP02	6.9	6.8	6.9
10 27-01-09	SP19	6.7	6.7	6.7
11 27-01-09	SP20	7.0	7.0	7.0
12 27-01-09	SP21	7.0	7.0	7.0
13 27-01-09	SP22	7.3	7.3	7.3
14 27-01-09	SP17	7.2	7.2	7.2
15 27-01-09	SP10	6.4	6.4	6.4
16 27-01-09	SP15	7.2	7.2	7.2
17 27-01-09	SP01	6.9	6.9	6.9
121	SP27	6.9	6.9	6.9

Los valores de pH de las diferentes muestras se presentan en la tabla N° 8. La mayoría de las muestras analizadas resultaron ser suelos con pH neutro que representan un 84.61%, estas se encuentran en un rango de pH 5.5 a 7.3. Esta zona es considerada agrícola y era de esperarse que la mayoría de suelos presentaran valores de pH neutro ya que la mayoría de los cultivos son tolerables a este pH. Los metales pesados como el plomo pueden encontrarse

a estos pH en la superficie del suelo precipitados como carbonato, hidróxido, sulfuros o fosfatos. En el caso de las muestras ubicadas alrededor de la fábrica y que presentaron concentraciones de plomo elevadas, representan una amenaza debido a que por esta zona se traslada personas llevando suelo contaminado con plomo a diferentes lugares provocando una intoxicación ya sea por la ingesta o por la inhalación de suelo contaminado con plomo. Como lo es la muestra SP17 con concentraciones de plomo de 364 ppm está a pesar de la lejanía de la fábrica representa una amenaza mayor ya que está ubicada en un zona donde habitan personas, como niños que juegan entrando estos en contacto con el suelo y dándose la posibilidad de ingerir, inhalar partículas de polvo contaminado con plomo, además el viento puede contribuir a que este suelo contaminado entre fácilmente a los hogares provocando de este modo una contaminación también. La muestra SP02 con valor de plomo de 284 ppm, está ubicada en la parte trasera de una fábrica, en esta zona las personas se reúnen, llevándose de nuevo el suelo contaminado a diferentes sitios.

El 7.69 % (2) de las muestras recolectadas presentaron un pH ácido. El plomo a este pH tiende a una mayor solubilidad ya que disminuye la interacción con el suelo por lo que aumenta la solubilidad del plomo pudiendo contaminar los mantos acuíferos, además facilita la absorción por las plantas. Esto lo podemos observar en las muestras SP18 y SP25, estas muestras presentan un pH muy similar, la muestra SP18 presentó un pH de 5.5 y una concentración de plomo de 61.6, la muestra SP25 presentó un pH de 5.6 y una concentración de plomo

de 17.1 por lo que podemos decir que la concentración de plomo de la muestra SP18 posee una menor interacción con el suelo, aumentando su solubilidad. Esto puede deberse al pH de la muestra como también puede influir la distancia a que se encuentran las muestras. La muestra SP18 está ubicada en una parcela de siembra contiguo a una cosecha de pepinos, se manifestó que varias cosechas de pepino se habían perdida. Esta pérdida se puede deber al plomo como al pH del suelo. Lo mismo se puede observar en la muestra SP08 ubicada a 50 metros de la fábrica presento una concentración de plomo baja que fue de 171 ppm a pesar de la cercanía a la fábrica. Esta concentración de plomo baja puede deberse a la acidez del suelo ya que este presento un pH de 5.3, dándose la posibilidad de que el plomo este siendo absorbido por las cosechas obtenidas.

De las 26 muestras de suelos analizadas el 7.69 % (2) resultaron con pH alcalino. La muestra identificada como SE presentó un valor de pH de 7.5 y una concentración de plomo de 1480 ppm, esta concentración de plomo es baja a pesar que la muestra se encuentra a 150 metros de distancia de la fábrica. La muestra SP09 presentó un valor de pH alcalino de 7.6 y una concentración de plomo de 28.3 ppm esta muestra se encuentra a 500 metros de distancia con respecto a la fábrica y se puede observar que la concentración de plomo es menor que la muestra SE. El plomo a pH alcalino forma complejos solubles con compuestos orgánicos naturales por lo que puede lixiviarse a mantos acuíferos presentando una amenaza para el medio ambiente. Estas muestras a pesar de

la concentración baja de plomo representan una amenaza ya que puede contaminar los mantos acuíferos.

El pH del suelo es un factor importante en la movilidad de los metales pesados, como lo es en el plomo. La mayoría de las muestras analizadas son neutras por lo que el plomo puede estar precipitado en el suelo. Presentando una amenaza para la población que habita esta zona, ya que el plomo puede ser absorbido en pequeñas cantidades por la piel, además pueden ser ingeridas por malos hábitos de higiene y puede ser inhalado. Por lo que urge una limpieza y remediación de los suelos para evitar más problemas de salud para la población.

**CAPITULO VI**  
**CONCLUSIONES**

## 6.0 CONCLUSIONES

1. Los análisis efectuados en las muestras de suelo del cantón Sitio del Niño indicaron la presencia de plomo en niveles nocivos para la salud y de riesgo para el medio ambiente.
2. La concentración máxima de plomo encontrada fue de 37600 ppm esta muestra se encuentra a una distancia de 150 metros, este valor sobrepasa 30 veces el límite dado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA).
3. En 1992 la Agencia de Protección Ambiental (EPA) señaló como límite el rango de 50-100 ppm de plomo en suelos superficiales, clasificándolos como sitios fitotóxicos. El 53.8 % (14) de las muestras sobrepasan este rango, considerando estos resultados un riesgo potencial para el ecosistema.
4. La agencia Sociedad Pública de Gestión Ambiental del País Vasco (IHOBE) señala un valor máximo de 330 ppm para la protección del ecosistema. El 20 % de los datos está arriba de este valor. Esto nos indica que hay daños en el ecosistema.

5. El anteproyecto Norma Oficial Mexicana (NOM 2003) para limpieza y remediación de suelos de dedicados a la agricultura en México propone un valor máximo de 100 ppm de plomo. El 40 % de las muestras están dentro de este rango; esto nos indica un problema serio ya que esta zona está dedicada a la agricultura y por medio de los cultivos las personas que los consuman como las personas que trabajan estos suelos pueden verse intoxicados por el plomo y presentar daños en la salud.
6. El Convenio de Basilea es uno de los convenios que existen actualmente en el país, este entró en vigencia en 1992 y establece un límite de 25 ppm de plomo en suelo. En esta investigación el 84.6 % de las muestras están fuera del rango. Por lo que estos suelos están contaminados por plomo creando una contaminación ambiental.
7. De las 26 muestras analizadas en el cantón Sitio del Niño el 84.6 % (22) sobrepasan los límites establecidos por las normativas internacionales. Esto representa un riesgo para las personas que habitan cerca de la fábrica como las que transita esta zona; estas personas pueden inhalar e ingerir polvo contaminado o llevar este polvo a sus casa contaminado así a sus familiares como a sus vecinos.

8. De las muestras analizadas el 76.92 % presentaron un contenido de materia orgánica medio, en donde el valor de referencia es de 2.1% a 5.9 %. En estos tipos de suelo el plomo puede estar presente en los primeros cinco cm del suelo debido a que mayor materia orgánica mayor será la interacción del plomo con el suelo.
  
9. La disponibilidad del plomo en el suelo depende del pH. De las 26 muestras analizadas el 84.61 % de las muestras poseen un pH neutro, en este caso el plomo puede encontrarse en las primeras capas del suelo por lo que las personas que transitan en esta zona pueden contaminarse por este metal. El 7.69 % de las muestras poseen un pH ácido. Las muestras encontradas con este pH representan un problema ya que el plomo puede estar siendo absorbido por los vegetales o arbustos creando una contaminación tanto en personas como animales que consumen estas plantas.
  
10. Al analizar las concentraciones de plomo encontramos una disminución al aumentar la distancia con respecto a la industria fundidora de plomo, esto demuestra que la fuente de contaminación es la fábrica.
  
11. Las actividades de la industria fundidora de plomo fueron suspendidas en el año de 2007 por lo que las concentraciones de plomo hace 2 años pudieron haber sido más altas. Los resultados de las muestras que presentan



concentraciones bajas de plomo puede deberse a que el plomo se haya filtrado hacia los mantos acuíferos o pudo haber sido absorbido por las cosechas obtenidas en diferentes épocas.

**CAPITULO VII**  
**RECOMENDACIONES**

## 7.0 RECOMENDACIONES

1. Que el Ministerio de Medio Ambiente gestione con autoridades ambientales nacionales e internacionales alternativas de remediación y limpieza del suelo del cantón Sitio del Niño.
2. Dar a conocer estos resultados por medio de Campus universitarios para que sean de conocimiento público, y tomen las medidas necesarias para el bienestar de las familias que habitan cerca de la fundidora de plomo.
3. Sugerir al Ministerio del Medio Ambiente la creación de leyes específicas para la utilización, manejo y eliminación del plomo en suelos.
4. Realizar un monitoreo a las fabricas que utilizan sustancias químicas en conjunto con la Universidad de El Salvador y Ministerio del Medio Ambiente, para poder evitar futuras contaminaciones entre las personas que habitan cerca de estas fabricas.
5. Establecer un convenio para la creación de un sistema de vigilancia con La Universidad de El Salvador y el Ministerio del Medio Ambiental que monitoree la presencia de plomo en suelo así como agua y aire en el cantón Sitio del Niño.

6. Desarrollar en conjunto con la Universidad de El Salvador una investigación para poder medir la concentración de plomo en las cosechas obtenidas en las diferentes épocas, con el objetivo de prevenir un daño o riesgo a la salud de las personas.
  
7. Que la Universidad de El Salvador establezca convenios con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social para impartir charlas educativas orientadas a las personas que habitan cerca de la fundidora de plomo como aquellas que trabajan las tierras que son cultivadas.
  
8. Evitar que en el cantón Sitio del Niño se sigúan estableciendo fábricas y urbanizaciones ya que esta zona utilizada para la agricultura.
  
9. Que la Universidad de El Salvador gestione convenios con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y el Ministerio de Medio Ambiente el equipo necesario para el laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia, para poder realizar análisis de este tipo.

## BIBLIOGRAFIA

1. ASTRE (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2005. Resumen de salud pública Plomo (en línea). EE.UU. Consultado 29 de Febrero 2008. Disponible en:  
<http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/plomo.htm>
2. Carrosio Dorrien J.M. y otros. 1976. Química agrícola I Suelo y Fertilizantes. Primera ed. Madrid. Barcelona. Editorial Alhambra. 33-34 p.
3. CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2005. Muestreo y análisis de suelos. Boletín Técnico 17. San Salvador, El Salvador. Consultado 8 de Agosto 2009. 23 p. Disponible en:  
[www.centa.gob.sv](http://www.centa.gob.sv)
4. (CEPIS/OPS) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud (OMS). 1999. Evaluación del riesgo por la exposición a Plomo. Perú. Disponible en:  
[www.cepis.opsoms.org/bvsea/e/fulltext/plomo](http://www.cepis.opsoms.org/bvsea/e/fulltext/plomo)
5. Domenecht Xavier. P. 2006 Química ambiental de sistema terrestre.1 ed. (en línea). Barcelona. España. Reverte. Cap. 4 136-138 p. Consultado disponible en [Http:// Books.google.es/books](http://Books.google.es/books)

6. EPA.2004. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) Efectos del plomo para la salud: como el plomo afecta el cuerpo (en línea). EE.UU. Consultado 28 Febrero 2008. Disponible en:  
[http://www.epa.gov/lead/training/wkrch2\\_stu\\_spa.pdf](http://www.epa.gov/lead/training/wkrch2_stu_spa.pdf)
7. IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental del País Vasco). 1998. Anexo III Procedimientos para el análisis de muestras de suelo (en línea). Consultado 2 de marzo 2008. Disponible en:  
[http://www.remediacion.com/informes/03\\_3.pdf](http://www.remediacion.com/informes/03_3.pdf).
8. Jackson m. L. y otros.1970. Análisis químico de suelos. Primera edición. Barcelona, España. Editorial Alhambra. 301-303 p.
9. Lozano L.M. y otros. 2005. Factores de riesgo asociados a niveles séricos de plomo en niños en dos Barrios de Managua, Abril 2002 a Mayo 2003.Trabajo de graduación Máster en Epidemiología. Managua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 18 p.
10. Universidad de El Salvador. Manual de práctica de química agrícola aplicada I. 2006. Ciudad Universitaria, El Salvador.
11. OIT (Organización Internacional del Trabajo). 2001. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO (en línea). España. Consultado 15 Febrero 2008. Disponible en:  
<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/Index.htm>

12. Puga S. y otros 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocados por la industria minera (en línea). Lima Perú. Universidad Nacional Agraria de Molina. Consultado 25 de Febrero 2008. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve>
13. Sogorb Sánchez M.A. y otros. 2004. Técnicas analíticas de contaminantes químicos: Aplicaciones toxicológicas, medio ambientales y alimentarias. España. Editorial Díaz de Santos. 272-274 p. Consultado 4 de Marzo 2008. Disponible en: <http://books.google.es/books>
14. [www.fcq.uach.mx/documentos/material\\_de\\_estudio/espectroscopia/ANTOLOGIA /lectura9.pdf](http://www.fcq.uach.mx/documentos/material_de_estudio/espectroscopia/ANTOLOGIA/lectura9.pdf)
15. [www.edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm](http://www.edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm)
16. [www.es.wikipedia.org/wiki/Metal\\_pesado](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Metal_pesado)
17. [www.es.wikipedia.org/wiki/Plomo](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Plomo)
18. [www.navarra.es/NR/rdonlyres/Sue17.losenNavarral1.doc](http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/Sue17.losenNavarral1.doc)
19. [www.alcadiasanjuanopico.gob.sv](http://www.alcadiasanjuanopico.gob.sv)
20. [www.atsdr.cd.gov/es/csem/plomo/es.pb](http://www.atsdr.cd.gov/es/csem/plomo/es.pb)
21. [www.es. Wikipedia.org/qwiki/espectroscopia-de-absorción](http://www.es.Wikipedia.org/qwiki/espectroscopia-de-absorción)
22. [www.epa.gov/osw/hazard/ test metodos/sw846](http://www.epa.gov/osw/hazard/test%20metodos/sw846)
23. [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)
24. [www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/techdocs.html](http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/techdocs.html)
25. [www.semarnat.gob.mx/LEYESYNORMAS/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/LEYESYNORMAS/Pages/normasmexicanasvigentes.aspx)

26. [www.earth.google.com/intl/es](http://www.earth.google.com/intl/es)



## **GLOSARIO** <sup>(23)</sup>

-Aminoaciduria: Cantidad anormal de aminoácidos en la orina.

-Capacidad de intercambio catiónico: (CIC) Es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas. Éstas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores.

-Eritrocitos: Son los elementos formes cuantitativamente más numerosos de la sangre. La hemoglobina es uno de sus principales componentes y su objetivo es transportar el oxígeno hacia los diferentes tejidos del cuerpo.

-Eritropoyesis: Proceso que se corresponde a la generación de los eritrocitos (glóbulos rojos). Este proceso en los seres humanos ocurre en diferentes lugares dependiendo de la edad de la persona.

-Escoria: Sustancia vítrea que flota en el crisol de los hornos de fundir metales, que procede de las impurezas.

-Fitorremediación: Usos de las plantas y árboles para descontaminar suelos contaminados mediante la extracción de los contaminantes del suelo y del agua. Las plantas actúan como filtros biológicos que pueden descomponer o estabilizar metales pesados o bien degradar componentes orgánicos.

-Gota: Enfermedad metabólica producida por una acumulación de ácido úrico en el cuerpo, sobre todo en las articulaciones, riñón y tejidos blandos, por eso se considera tradicionalmente una enfermedad reumática.

-Hemoglobinopatía: Cierta tipo de defecto de carácter hereditario, que tiene como consecuencia una estructura anormal en una de las cadenas de las globina de la molécula de hemoglobina.

-Hiperfosfaturia: Elevación de los niveles de fosfato en la orina por encima de los valores de referencia.

Homeostasis: Conjunto de fenómenos de autorregulación, que conducen al mantenimiento de la constancia en la composición y propiedades del medio interno de un organismo.

-Isotopo: Cada uno de los elementos químicos que poseen el mismo número de protones y distinto número de neutrones. Todos los isotopos de un elemento ocupan el mismo lugar en la tabla periódica y poseen las mismas propiedades químicas.

-Lixiviación: Proceso de lavado del suelo por la filtración del agua.

-Método de difracción de rayos x: Proceso de interferencias constructivas de ondas de rayos X que se produce en determinadas direcciones de espacio.

-Neuropatía periférica: Es un problema con los nervios que llevan la información hasta y desde el cerebro, y la médula espinal, lo cual produce dolor, pérdida de la sensibilidad e incapacidad para controlar los músculos.

-Remediación: Dar remedio. Remoción de contaminación o contaminantes del medio ambiente (suelo, aguas subterráneas, sedimentos o aguas de las superficies) para la protección general de la salud humana y del ambiente.

**ANEXOS**

**ANEXO Nº 1**

**PRINCIPALES ÓRGANOS AFECTADOS POR EL PLOMO**

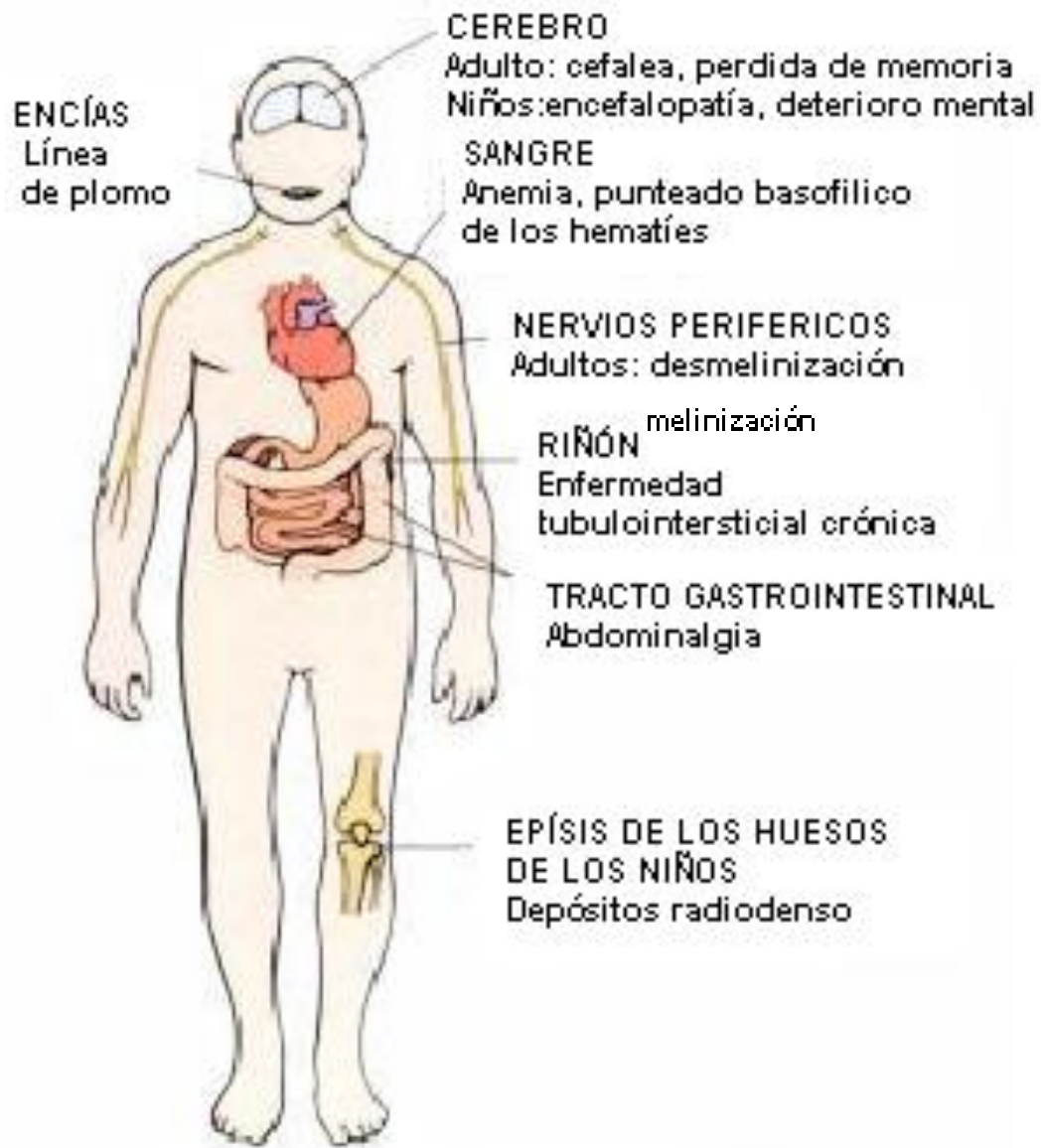
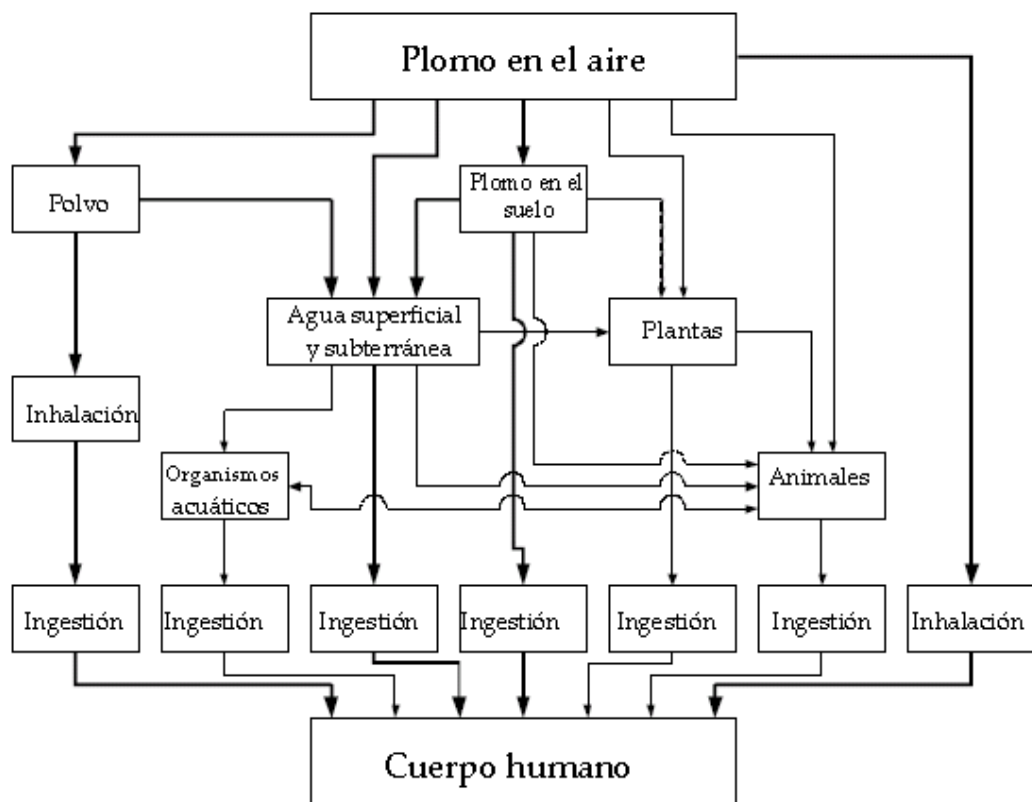


Figura Nº 20. Principales órganos afectados por el plomo

**ANEXO Nº 2**

**VÍAS DE INGRESO DEL PLOMO EN  
EL ORGANISMO HUMANO**



**Figura N° 21. Principales vías de ingreso del plomo en el organismo humano.**



**ANEXO N° 3**

**MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS**

## **MATERIALES**

### **CRISTALERIA:**

Balones volumétricos 1000.0 mL

Bureta 50.0 mL

Embudos de vidrio

Matraces Erlenmeyer de 500.0 mL

Mortero y pistilo

Probeta 25.0 mL

Vaso de precipitado de 500.0 mL

Vaso de precipitado de 100.0 mL

Vaso de precipitado de 50.0 mL

Cápsula de porcelana

### **REACTIVOS:**

Acido fosfórico concentrado

Acido sulfúrico concentrado

Acido nítrico concentrado

Agua bidestilada

Dicromato de potasio 1.0 N

Difenilamina en solución sulfúrica

Sulfato ferroso 0.5N

Soluciones amortiguadoras pH 4 y 7

Peróxido de hidrogeno al 30%

**EQUIPOS:**

Balanza analítica Mettler Modelo H78-AB

Espectrofotómetro de absorción atómica

Microondas digestor

pH-metro METROHM 632

Cámara extractoras de gases

GPS ETREX

**OTROS:**

Agitador magnético

Bolsas plásticas

Pala metálicas

Espátula de acero inoxidable

Frasco gotero

Guantes

Papel filtro

Pinza para bureta

Pinza de sostén

Pizeta.

Soporte

Tamiz con una luz de malla de 2 mm

Viñetas de identificación

## **ANEXO N° 4**

### **PREPARACIÓN DE REACTIVOS**

## PREPARACIÓN DE REACTIVOS (7)

### **Dicromato de potasio 1.0 N**

Pesar 49.05 gr de dicromato de potasio. Disolver en agua y llevar a un litro.

### **Difenilamina en solución sulfúrica.**

Disolver 0.5 gr. de difenilamina en 20.0 mL de agua y añadir 100.0 mL de ácido sulfúrico concentrado.

### **Sulfato ferroso amónico (sal de Möhr) 0.5 N.**

Disolver 196.1 gr de sulfato ferroso en 800.0 mL de agua destilada que contengan 20.0 mL de ácido sulfúrico concentrado diluyendo con agua hasta un litro, valorar esta solución con 10.0 mL de solución de dicromato de potasio al 1.0 N. Esta solución debe de guardarse en un frasco ámbar y lugar oscuro para evitar que se reduzca.

**ANEXO Nº 5**

**FOTOS**



**Figura Nº 22. Toma de muestra a una distancia de 150 metros.**



**Figura Nº 23. Toma de muestra a una distancia de 1500 metros.**

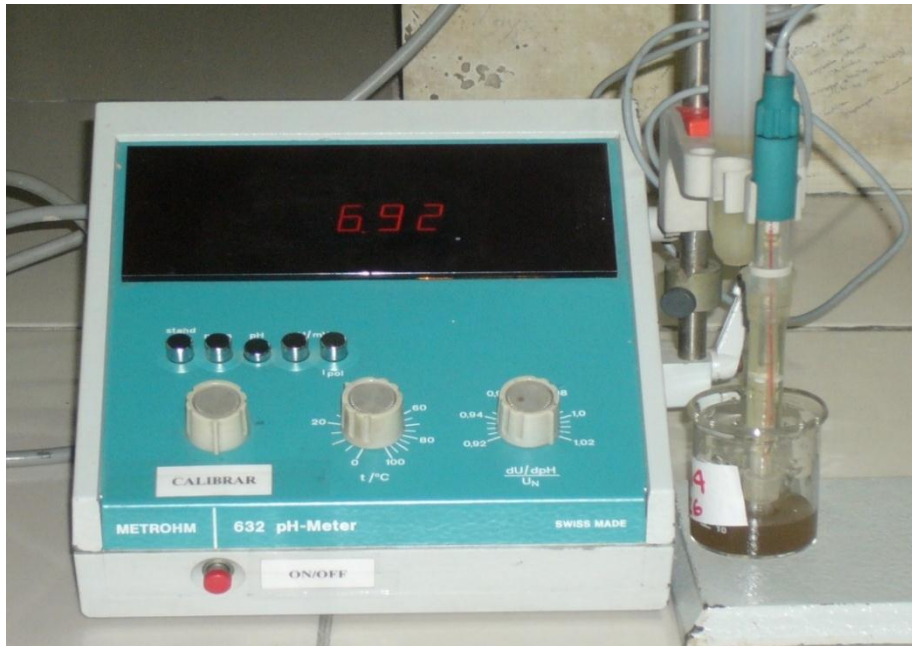


Figura N° 24. Determinación de pH de las diferentes muestras.



Figura N° 25. Pesada de muestra para la determinación del contenido de materia orgánica





**Figura N° 26 Titulación de las diferentes muestras para la determinación del contenido de materia orgánica.**

**ANEXO Nº 6**  
**CONVENIO DE BASILEA**

Cuadro Nº 2 Niveles de riesgo de la exposición al plomo según concentración de plomo en la sangre

	Niveles de riesgo			
	Normal	Aceptable	excesivo	Peligroso
Concentración de Pb en la sangre ( $\mu\text{g.dl}^{-1}$ )	< 10	30 a 40	40 a 60	> 60

### 6.3.2. Límites ambientales

130. El establecimiento de límites ambientales está en concordancia con las concentraciones que se encuentran en todas partes del mundo en que no se detectaron efectos nocivos para la salud de la población. Por otra parte, difieren de los límites de exposición ocupacional, que fueron objeto de amplios estudios. Hay que seguir estudiando los límites ambientales, razón por la cual, en el futuro tal vez haya que modificarlos tan pronto se conozca mejor la relación entre el plomo y el medio ambiente y se amplíe el inventario de las fuentes de exposición al plomo.

131. Los límites no ocupacionales de exposición al plomo son los siguientes:

Cuadro Nº 3 Límites de exposición ambiental al plomo

Fuente	Límite
Agua potable	0,005 $\text{mg.l}^{-1}$ (OMS, 1984)
Suelo	Hasta 25 $\text{mg.kg}^{-1}$
Alimentos	3 $\text{mg/persona/semana}$ (FAO/OMS, 1972 y
Aire	2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ - concentración media anual (CE,
Aire	0,7 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (URSS, 1978)
Aire	2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (EPA, EE.UU.)

**ANEXO N° 7**

**LIMITES DE PLOMO EN SUELO POR LA EPA**

## **Mitigación del suelo y limpieza del polvo en exteriores**

El suelo descubierto con altos niveles de plomo es un peligro grave para la salud, especialmente de los niños. El suelo contaminado es un peligro porque los niños juegan sobre ella o cerca de ella y la suciedad arrastrada a la casa incrementa los niveles de plomo dentro de ella. Las agencias gubernamentales acostumbran recomendar remover y reemplazar entre 6 y 24 pulgadas (15.2 a 61.0 cm) del suelo que contiene altos niveles de plomo. Sin embargo, los estudios han demostrado que este proceso es muy costoso y un medio no muy efectivo para reducir los niveles de plomo en la sangre en los niños que viven en esas zonas. A menudo, el mejor procedimiento es remover dos o tres pulgadas (5 a 7,6 cm) y luego probar los nuevos niveles del suelo remanente. Si los niveles de plomo aún son altos, será necesario remover más suelo. Algunos estados requieren que el suelo que se haya eliminado, sea probada para verificar si es un residuo peligroso.

Si el suelo tiene bajos niveles de plomo, el mejor método es reducir el acceso al suelo descubierto. Esto puede lograrse plantando césped, colocando tepes de pasto o cubriendo la zona con protección de paja con estiércol. Las actividades como las mencionadas se denominan controles provisionales, porque son métodos temporales para minimizar la exposición al plomo en el suelo.

Los jardines que crecen en suelo contaminado con plomo también pueden ser un peligro para la salud. Los vegetales de hoja y los que crecen bajo tierra (como las zanahorias y las papas) absorben plomo. Estos vegetales son comidos por las personas.

La mitigación del suelo y la limpieza del polvo en exteriores se consideran en conjunto, porque es muy probable que se produzcan simultáneamente en los proyectos de mitigación del plomo. Dado que la mitigación del suelo tiende a contaminar inmediatamente las zonas adyacentes pavimentadas, estas zonas pavimentadas deben entonces ser limpiadas.

## **Peligros del suelo con plomo**

Existe peligro de plomo en el suelo descubierto en zona residencial:

- en toda zona de juegos en la que la concentración de plomo en el suelo es igual o mayor que 400 partes por millón (ppm);
- en el resto de todo el jardín (esto es, en zonas no de juegos), en el que la concentración de plomo en el suelo sea igual o mayor que 1,200 partes por millón (ppm).

Es importante recordar que el estado o su tribu pueden establecer diferentes niveles de plomo en el suelo para considerarlos como peligro de plomo en el suelo. Su supervisor o empleador es responsable de respetar las normas que correspondan.

**ANEXO N° 8**

**LIMITES DE PLOMO EN SUELO POR NOM (2003)**

<b>Contaminante</b>	<b>Uso agrícola (mg/kg)</b>	<b>Uso industrial (mg/kg)</b>
Arsénico	22	260
Bario	5 400	67 000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1 600	20 000
Plata	390	5 100
Plomo	100	800
Selenio	390	5 100
Talio	5,2	67
Vanadio	78	1000

**Cuadro Nº 6 Concentraciones de referencia por tipo de uso de suelo**

**ANEXO Nº 9**

**LIMITES DE PLOMO EN SUELO POR LA IHOBE**



Contaminantes	VIE-A	Protección de los ecosistemas	
		VIE-B	VIE-C
<b>Metales</b>			
Arsénico	23	23	35
Bario	80+2,5L		
Cadmio	0,8	0,8	18
Cobalto	6+0,5L	20	30
Cobre	10+0,5L	24	250
Cromo (total)	25+L		
Cromo (VI) <sup>2</sup>			
Cromo III		53	75
Mercurio	0,3	0,3	3
Molibdeno	0,6+0,018L	1	620
Níquel	12+L	40	280
Plomo	16+0,7L+2,1H		330
Zinc	50+2L	106	840
<b>Otros compuestos inorgánicos</b>			
Cianuros (total)	0,1		
<b>Compuestos aromáticos</b>			
Benceno	0,01		2
Etilbenceno	0,05		
Tolueno	0,05		65
Xileno	0,05		
Fenoles (total)	0,05		30

**Cuadro Nº 7 Valores indicativos de evaluación de la calidad del suelo**