



UNIVERSIDAD ESTATAL DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

“MAESTRIA EN TOXICOLOGIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL”

TITULO:

**“EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO DE
PLOMO Y CADMIO EN SUELOS DEL ENTORNO DEL
PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN
TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

AUTORA: María de los Ángeles Tello Atiencia

0102190139

DIRECTORA: Magister Diana Moscoso Vanegas

0102339454

CUENCA, ECUADOR 2015



RESUMEN

A través de la presente investigación se evaluó el riesgo toxicológico por la presencia de plomo y cadmio en los suelos de ciudadelas aledañas al parque industrial de la ciudad de Cuenca (Abdón Calderón y Uncovía), para ello se determinaron las concentraciones de estos contaminantes en cinco muestras de suelo recolectadas a diferentes distancias entre la zona industrial y cada una de las ciudadelas desde 200 a 700 metros; las determinaciones se realizaron por triplicado, el método aplicado fue por: Digestión Ácida y Absorción Atómica; los valores promedio de plomo y cadmio obtenidos se compararon con la Norma de calidad Ambiental de Ecuador y con normativas internacionales como la EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos) y según Canadian Council of Ministers of the Environment, observándose diferencias significativas únicamente con respecto a las concentraciones admitidas según la Norma de calidad Ambiental del Ecuador, finalmente se realizaron los cálculos de riesgo toxicológico evaluando varios parámetros como: dosis de exposición, tasa de ingesta diaria admisible, riesgo cancerígeno, EMEG (Guía de Evaluación para Medios Ambientales); cuyos valores indican riesgo mínimo para la población de niños y la ausencia de riesgo toxicológico para la población de adultos, además se aplicaron 100 encuestas a los pobladores que habitan las zonas investigadas sobre los efectos adversos, enfermedades y su relación con el entorno en el que viven, obteniéndose datos sobre la calidad ambiental y contaminación existente.

Palabras clave: Plomo, cadmio, toxicidad, contaminación.



ABSTRACT

With the present research, toxicological hazard due to the presence of lead and cadmium in the grounds of the neighborhoods near the industrial park of the city of Cuenca (Abdón Calderón and Uncovía) was evaluated. In order to do so, the concentrations of these contaminants were determined in five soil samples collected at different distances between the industrial zone and each neighborhood, ranging from 200 to 700 meters. The tests were performed in triplicate and the methods applied were acid digestion and atomic absorption; the mean values of lead and cadmium obtained were compared to those of the Environmental Quality Norm of Ecuador and international norms, such as the corresponding norms by the EPA (Environmental Protection Agency of the United States of America) and The Canadian Council of Ministers of the Environment. Significant differences were only observed regarding the concentrations permitted in the Environmental Quality Norm of Ecuador. Finally, toxicological hazard calculations were done, for which several parameters were evaluated, such as: exposure dose, admissible daily intake, carcinogenic hazard and EMEG (Environmental Media Evaluation Guide). The obtained values indicate minimal toxicological hazard for child population and the absence of toxicological hazard for adult population. Additionally, 100 surveys regarding the adverse effects, diseases and the relationship with the environment in which the studied area inhabitants live were given to the people who dwell in the examined zones, yielding data on environmental quality and the existing pollution.

Key words: lead, cadmium, toxicity, pollution.



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
TABLA DE CONTENIDOS	3
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE ECUACIONES.....	9
CLAUSULA DE DERECHOS DE AUTOR.....	11
CLAUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL	12
DERECHOS DE AUTOR.....	13
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA.....	14
AGRADECIMIENTOS	16
DEDICATORIA.....	17
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 SUELO.....	23
2.2 TIPOS DE SUELO.....	24
2.3 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.....	25
2.4 CONTAMINACIÓN DE SUELOS, AGUA Y ATMÓSFERA.....	26
2.5 SUELOS CONTAMINADOS: EFECTOS Y PELIGROS.....	27
2.6 FUENTES GENERALES DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS.....	29
2.7 CONTAMINACIÓN LOCAL	30
2.8 CONTAMINACIÓN DIFUSA.....	30
2.9 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: PLOMO Y CADMIO EN SUELOS.....	31
2.10 PLOMO y CADMIO EN EL ECUADOR	34
2.11 BIOGEOQUÍMICA DEL PLOMO Y CADMIO	38
2.11.1 PLOMO	38
2.11.2 MECANISMO DE ACCIÓN Y TOXICIDAD DEL PLOMO	39



2.11.3 VALORES REFERENCIALES PARA EL PLOMO:	41
2.11.4 CADMIO.....	42
2.11.5 MECANISMO DE ACCIÓN Y TOXICIDAD DEL CADMIO	43
2.11.6 VALORES REFERENCIALES PARA EL CADMIO	46
2.12 EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO:.....	46
2.12.1 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO	48
2.12.2 CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS.....	48
2.12.3 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	48
2.12.4 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	49
2.13 GESTIÓN DEL RIESGO.	50
2.14 COMUNICACIÓN DEL RIESGO	50
2.15 CARACTERIZACIÓN DE RIESGO	50
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
3.1 TIPO DE ESTUDIO	52
3.2 VARIABLES E INDICADORES	52
3.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.4 LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS INVESTIGADAS.....	54
3.5 SELECCIÓN ALEATORIA DE LUGARES DE MUESTREO	56
3.6 TAMAÑO DE MUESTRAS TOMADAS	57
3.7 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	58
3.7.1 MÉTODOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	58
3.7.2 TECNICAS.....	59
3.7.3 EVALUACION DEL RIESGO	62
3.7.4 INSTRUMENTOS	67
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	67
3.8.1 TRATAMIENTO DE LOS DATOS	67
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	69
4.1.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS: EDAD POBLACIÓN ESTUDIADA	69
4.1.2 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS: SEXO POBLACION ESTUDIADA	69
4.2 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CADMIO EN SUELOS DE ZONAS ESTUDIADAS.....	79



4.3 COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PLOMO Y CADMIO CON DISTANCIA.....	83
4.4 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPERMAN PARA COMPARAR CONCENTRACIÓN CON DISTANCIAS.	85
4.5 COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PLOMO Y CADMIO CON NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES	86
4.6 EVALUACIÓN PARA MEDIOS AMBIENTALES (EMEG)	90
4.7 RIESGO TOXICOLÓGICO.....	91
4.7.1 DOSIS DE EXPOSICIÓN CALCULADAS (DE) mg/kg/d.....	92
4.7.2 INDICE DE PELIGRO	92
4.7.3 MARGEN DE EXPOSICIÓN	93
4.7.4 RIESGO CANCERÍGENO DEL PLOMO.....	94
CONCLUSIONES.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97
ANEXOS.....	106



LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Metales tóxicos de interés	33
Tabla 2: Concentración máxima permitida de cadmio y plomo en suelos de calidad	35
Tabla 3: Concentración según criterios de remediación o restauración de suelos, valores máximos permitidos	36
Tabla 4: Estadísticos Descriptivos sobre la edad de las poblaciones investigadas..	69
Tabla 5: Ciudadela Abdón Calderón, población por sexo.....	70
Tabla 6: Ciudadela Uncovía, población por sexo.	71
Tabla 7: Comparación entre poblaciones investigadas de acuerdo al tiempo de permanencia en las zonas de estudio.	72
Tabla 8: Frecuencias de enfermedades padecidas por poblaciones estudiadas durante la permanencia en zonas de estudio.	73
Tabla 9: Frecuencia de principales tóxicos presentes en zonas de estudio de acuerdo a encuestas.	75
Tabla 10: Ciudadela Calderón, tabulación cruzada para relacionar Contaminación con respecto a Salud, según encuesta aplicada.	76
Tabla 11: Ciudadela Calderón, resultados de la relación entre Contaminación y Salud, según encuesta aplicada. Prueba de Chi cuadrado.	77
Tabla 12: Ciudadela Uncovía, tabulación cruzada para relacionar Contaminación con respecto a Salud, según encuesta aplicada.	77
Tabla 13: Ciudadela Uncovía, resultados de la relación entre Contaminación y Salud, según encuesta aplicada. Prueba de Chi cuadrado.	78
Tabla 14: Concentraciones de plomo y cadmio en suelos de ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía.	79
Tabla 15: Estadística descriptiva de las concentraciones de plomo (mg/kg), en suelos de la ciudadela Uncovía.	80



Tabla 16: Estadística descriptiva de las concentraciones de cadmio (mg/kg), en suelos de la ciudadela Uncovía.	80
Tabla 17: Estadística descriptiva de las concentraciones de plomo (mg/kg), en suelos de la ciudadela Abdón Calderón.....	81
Tabla 18: Estadística descriptiva de las concentraciones de cadmio (mg/kg), en suelos de la ciudadela Abdón Calderón.....	81
Tabla 19: Promedios, Mínimos, Máximos de concentraciones de plomo y cadmio..	82
Tabla 20: Ciudadela Uncovía, relación de las concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.	83
Tabla 21: Ciudadela Abdón Calderón, relación de las concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.	84
Tabla 22: Concentraciones de plomo en las zonas de estudio y valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.	86
Tabla 23: Concentraciones de cadmio en las zonas de estudio y valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.	88
Tabla 24: Datos para el cálculo del EMEG (Guía de evaluación para medios ambientales).....	90
Tabla 25: Valores de EMERG (Guía de evaluación para medios ambientales) para el plomo y cadmio	91
Tabla 26: Dosis de Exposición (DE) calculadas para niños y adultos en mg/kg/día.	92
Tabla 27: Índice de peligro calculado para niños y adultos	92
Tabla 28: Margen de Exposición (ME) calculado para niños y adultos	93
Tabla 29: Riesgo cancerígeno calculado para niños y adultos.....	94



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Contaminación local y difusa del suelo.....	31
Figura 2: Distribución del plomo en el organismo.....	40
Figura 3: Pasos para la evaluación del riesgo toxicológico, según ATSDR, 1992....	47
Figura 4: Mapa de la ciudadela Abdón Calderón junto al parque industrial de la ciudad de Cuenca.	55
Figura 5: mapa de la ciudadela Uncovía junto al parque industrial de la ciudad de Cuenca.....	56
Figura 6: Población de la ciudadela Abdón Calderón por sexo.	70
Figura 7: Población de la ciudadela Uncovía por sexo.....	71
Figura 8: Comparación entre poblaciones investigadas de acuerdo al tiempo de permanencia en las zonas de estudio.	72
Figura 9: Frecuencias de enfermedades padecidas por poblaciones durante la permanencia en zonas de estudio según encuestas.....	74
Figura 10: Frecuencia de principales tóxicos presentes en zonas de estudio de acuerdo a encuestas.	75
Figura 11: Ciudadela Uncovía, concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.....	83
Figura 12: Ciudadela Uncovía, concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.....	84
Figura 13: Comparación de valores promedio de plomo en zonas de estudio con valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.....	87
Figura 14: Comparación de valores promedio de cadmio en zonas de estudio con valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.....	89



LISTA DE ECUACIONES

Ec. 1: Para el cálculo de la muestra de la población a encuestar.....	57
Ec. 2: Para el cálculo del EMEG (Guía de Evaluación para Medios Ambientales).	63
Ec. 3: Para el cálculo de la DE (dosis de exposición).....	63
Ec. 4: Para el cálculo del FE (factor de exposición).	64
Ec. 5: Para el cálculo del IP (índice de peligro) y ME (margen de exposición).....	65
Ec. 6: Para el cálculo del riesgo de cáncer con respecto al tóxico investigado.	66



CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, María de los Ángeles Tello Atiencia, autora de la tesis: **“EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO DE PLOMO Y CADMIO EN LOS SUELOS DEL ENTORNO DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c), de su reglamento de propiedad intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magister en “Toxicología Industrial y Ambiental”. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 7 de Octubre de 2015

María de los Ángeles Tello A.

C.I.: 0102190139





CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, María de los Ángeles Tello Atiencia, autora de la tesis: **“EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO DE PLOMO Y CADMIO EN LOS SUELOS DEL ENTORNO DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA”**, certifico que todas las ideas, opiniones expuestas en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 7 de Octubre de 2015

María de los Ángeles Tello A.

C.I.: 0102190139



DERECHOS DE AUTOR

El autor/es del presente trabajo y la Universidad de Cuenca, otorgan el permiso de usar esta tesis para fines de consulta y como referencia científico-técnica de apoyo. Cualquier otro uso estará sometido a las Leyes de Propiedad Intelectual Vigentes. Otro tipo de permisos para usar el material de este documento, deberán ser obtenidos del autor expresamente.

Cuenca, 7 de Octubre del 2015.



ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

Pb: plomo

Cd: cadmio

TDI: Tasa de ingesta diaria admisible

IDA: Ingesta diaria admisible

RfD: dosis de referencia

TWI: tolerable weekly intake o ingesta semanal tolerable

EMEG: Guía de Evaluación para Medios Ambientales

DE: dosis de exposición

IP: índice de peligro

FE: factor de exposición

RI: riesgo individual de padecer cáncer

ME: Los valores del margen de exposición

NOAEL: nivel sin efecto observable

ul: microlitros

Kg: Kilogramos

PC: peso corporal

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente

ASTDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

CESEMIN: Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y no Metálicos de la Universidad de Cuenca.

EPA: Environmental Protection Agency (Washington, DC.) o Agencia de protección ambiental de Estados Unidos.

Cal/EPA: California Environmental Protection Agency

PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

UNECE: Comisión Económica, de las Naciones Unidas para Europa



ETAPA: Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca

DHHS: Departamento de Salud y Servicios Humanos

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

EFSA: European Food Safety Authority

FDA: Administración de Medicamentos y Alimentos del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos

CCME: Canadian Council of Ministers of the Environment



AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional, ha sido mi soporte y mi inspiración para el logro de esta meta.

A mi directora de tesis Ing. Diana Moscoso Vanegas, que con su apoyo no habría sido posible la realización de este trabajo.

A Dios que ha permitido que supere todos los retos y obstáculos que se han presentado para que todo esto sea posible.



DEDICATORIA

A Dios, principalmente que es el eje de mi vida y ha iluminado cada paso que he tenido que recorrer para el cumplimiento de este reto.

A mi familia pues ellos representan mi inspiración ahora y durante el proceso para realizar y culminar las metas propuestas.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La intoxicación por metales pesados, constituye un problema de Salud Pública en varios países del mundo, la exposición a estos tóxicos ambientales con agua, suelo, aire contaminados puede darse por la ingestión o inhalación (polvo, vapores), estos tóxicos se generan principalmente como resultado del proceso industrial y actividades antrópicas; las poblaciones y ecosistemas expuestos en forma constante a metales pesados están en riesgo de contraer enfermedades por exposición crónica, siendo los casos más graves aquellos que conllevan a la muerte.

Un elemento fundamental del ecosistema es el suelo, el buen funcionamiento del mismo dependerá de su calidad y el término de calidad del suelo hace referencia a la capacidad que tiene para desempeñar las funciones edáficas dentro del ecosistema y mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y la salud de plantas y animales (Zalidis, 2002).

Entre los principales contaminantes del suelo tenemos a los metales pesados los cuales gradualmente se van acumulando hasta alcanzar concentraciones tóxicas, especialmente en zonas habitadas e industriales. El plomo (Pb) y el cadmio (Cd), son metales pesados más comunes que causan una serie de alteraciones y enfermedades en el ser humano, tienen un complejo mecanismo de distribución el cual incluye la ubicación en compartimentos como tejidos blandos: riñón, hígado, cerebro y también en tejidos compactos como los huesos (ATSDR, 1999).

El plomo se encuentra presente en la corteza terrestre en forma natural, las fuentes de contaminación ocupacional y ambiental son: la minería; la fundición y la industria, se utiliza en la fabricación de baterías, pigmentos para pinturas, cerámica vidriada, recubrimiento de cables y durante mucho tiempo se usó como antidetonante de la gasolina, actualmente se comercializa gasolina libre de plomo, sin embargo el uso de gasolina plomada ha dejado secuelas en varios países del mundo debido a su efecto acumulativo, contaminando el ambiente (ATSDR, 2007).

El plomo no tiene función biológica útil en el hombre y en forma natural no representa importancia como fuente de contaminación, la preocupación se presenta cuando este



elemento alcanza el ámbito ambiental superando las concentraciones máximas permisibles; la intoxicación por plomo produce enfermedades graves, por su alta prevalencia, gran penetración ambiental y toxicidad persistente en los afectados. En algunos países latinoamericanos como en Chile, existen publicaciones que documentan intoxicaciones por plomo y hacen referencia a casos clínicos individuales o casos de contaminación ambiental producida por fábricas que trabajan con dicho elemento, demostrando que tanto los trabajadores como las personas que habitan en las cercanías de la fábrica presentan niveles más altos que el resto de la población, (González *et al.*, 2006)

La toxicidad del plomo a nivel molecular, es en los mecanismos que implican procesos bioquímicos fundamentales, como la habilidad que tiene el plomo para inhibir o mimetizar las acciones del calcio (situación que puede afectar cualquier proceso dependiente de o relacionado con el calcio). Tiene capacidad para interactuar con ciertas proteínas incluyendo aquellas que tengan grupos carboxilo, amino, sulfidrido y fosfato. (ATSDR, 2007).

Existen investigadores que indican que el plomo contribuye de una manera significativa a problemas socio-conductuales como la delincuencia juvenil y los crímenes violentos (Needleman *et al.*, 2002).

El sistema nervioso es el sistema más sensible a la exposición por plomo, todavía no existe un umbral mínimo de este elemento que indique el inicio de efectos neurológicos adversos en los niños, se han detectado daños neurológicos a niveles de exposición que antes se consideraba inocuos, menores a 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Landrigan *et al.*, 2002).

Se ha demostrado una mayor incidencia de conductas antisociales asociadas al síndrome de déficit atencional en los niños expuestos a plomo, además se revela que, por cada aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ en los niveles de plomo en sangre, se presentaba una baja de cuatro a siete puntos en el valor del coeficiente intelectual de los niños expuestos, los niveles altos de Pb en los suelos, pueden tener una influencia importante en la salud humana y la animal según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 2007).



La EPA (Environmental Protection Agency, Washington, DC) recomienda 400 ppm de peso en áreas accesibles al juego de niños y a 1200 ppm en áreas no accesibles al juego. La principal vía de biodisponibilidad del Pb, es el suelo donde se concentra e ingresa al organismo por ingestión e inhalación. Esto se da particularmente en los países en vías de desarrollo y en las comunidades rurales (Loghman, 1997).

El cadmio es otro metal pesado estudiado en la presente investigación, es un contaminante ambiental importante como resultado del proceso industrial, el polvo atmosférico contaminado precipita en el suelo, y de este se distribuye a otros compartimentos ambientales por medio de la lluvia y la cadena trófica como mencionamos en el caso del plomo; el Cd, no es esencial para el hombre, se acumula en los tejidos cuando la exposición es prolongada y a elevadas concentraciones; puede ingresar al organismo por vía respiratoria, digestiva o cutánea (Olivares, 2009).

La exposición laboral se observa en: la industria; refinamiento de zinc; fundición; producción y derivados de cadmio; fórmulas para plásticos, etc. Entre las exposiciones ambientales tenemos: contaminación de agua, aire, suelo, productos alimenticios, humo de cigarrillo y especialmente se genera por la llamada basura electrónica como los televisores, computadoras, celulares y demás artefactos electrónicos (Carroll *et al.*, 2008).

La exposición a niveles altos se asocia con enfermedades graves como alteraciones genéticas, dismenorrea, abortos, mortinato y aumento de la testosterona en el suero sanguíneo de la mujer; la exposición a bajas concentraciones se relaciona con cáncer de próstata (Tchernitchin, 2008).

Los órganos diana del Cd, son el riñón y el pulmón, el Cd a dosis venenosas produce neumonitis, disfunción renal con proteinuria y enfisema.

Existen estudios que han demostrado el daño renal producido por la excreción de calicreína en la orina de trabajadores expuestos en zonas industriales, también investigaciones en ratas de laboratorio demuestran daño renal a nivel del túbulo proximal al administrar dosis subcrónicas de 10mg/kg de peso; en 1955 se descubrió la enfermedad ósea itai-itai, en Tomaya zona de Japón, afectó a pobladores de zonas



contaminadas con Cd, esta enfermedad produce entre algunos de los muchos síntomas: dolores de fémur, lumbares, problemas al caminar y en casos graves osteomalacia, osteoporosis y fracturas óseas (Repetto *et al.*, 2009).

Tomando como base todos los estudios antes citados sabemos que el plomo y cadmio tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas que crecen en estas tierras los absorben y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, especialmente en la solución húmeda (Kabata *et al.*, 2001).

El plomo y cadmio pueden ingresar al organismo por vía digestiva, respiratoria o dérmica de las personas que habitan cerca de sectores industriales, los suelos de estas zonas pueden ser inhalados por corrientes de aire, si el sector es agrícola estos elementos son absorbidos por el vegetal y este a su vez es consumido por animales o el hombre y de esta forma se transfiere a la cadena alimenticia. Investigadores indican que grandes concentraciones de metales pesados como el Pb y Cd en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente. El plomo y el cadmio son metales contaminantes a nivel mundial, se ha centrado la atención de políticas internacionales en los últimos años como las de la ONU-CEPE (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa), sobre contaminación transfronteriza a larga distancia (Según UNECE, Comisión Económica, de las Naciones Unidas para Europa, 2004). Estas normativas tienen como objetivo controlar las emisiones y establecer compromisos internacionales para la reducción de sus depósitos (Pb y Cd), con el fin de preservar la calidad de las aguas, atmósfera y suelos (Comisión Europea, 2015).

El PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), realizó un análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racional de productos conteniendo mercurio, plomo y cadmio en América Latina, el Caribe, Asia y el Pacífico, propuso el establecimiento de la alianza global para la eliminación del plomo en pinturas y la puesta en marcha de una iniciativa estratégica para coordinar esfuerzos globales hacia la promoción del manejo ambientalmente



racional a través del ciclo de vida de baterías con plomo y cadmio a fin de minimizar los efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente (PNUMA, 2010).

Es de gran importancia la realización de este trabajo, por la información obtenida para toda la comunidad Cuencana sobre la calidad ambiental en la que viven, en especial a los pobladores involucrados por la cercanía de las zonas investigadas como son la ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía a los sectores industriales.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el riesgo toxicológico de plomo y cadmio en suelos, del entorno del parque industrial de la Ciudad de Cuenca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las concentraciones de plomo y cadmio en los suelos de los sectores cercanos al parque industrial, en la ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía.

Analizar y comparar las concentraciones de plomo y cadmio obtenidas de las muestras de suelos de las zonas investigadas, con parámetros y normativas nacionales e internacionales.

Evaluar el riesgo de toxicidad al que se encuentran expuestas las poblaciones que habitan las zonas investigadas.



CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUELO

La capa superficial de la corteza terrestre se llama suelo, se origina por la desintegración física y química de las rocas y de los residuos orgánicos que se obtienen de las plantas, animales y el hombre que lo habitan, en el suelo suceden procesos tanto físicos como biológicos, entre ellos tenemos: la deposición eólica, sedimentación de flujos de agua, meteorización, deposición de material orgánico; dando origen a diversos tipos de suelos.

“ La formación de los suelos es un proceso que varía dependiendo de los distintos elementos presentes en este y de la intensidad con los que actúan los factores que intervienen; algunos elementos y factores considerados como más importantes pueden ser:

Roca madre; cuando, sus elementos pasan a constituir el suelo que se forma por encima de ella, por ejemplo, los suelos calcáreos son formados gracias a las rocas calizas.

El Clima; en aquellas zonas en donde la temperatura es mucho más elevada, la descomposición de la materia orgánica por ende es más rápida, facilitando la formación de humus y alterando químicamente sus elementos, las abundantes lluvias propician que algunos elementos del suelo se disuelvan.

El relieve; la acumulación de sedimentos que conforman el suelo es facilitada por la pendiente o las distintas formas que se presentan en el relieve, quienes aportan mayor cantidad de materia orgánica, es la vegetación y la vida animal, esta materia es la que permite la formación de suelos ricos en humus.

Los elementos citados y factores interrelacionados originarán distintos tipos de suelos que presentarán diversas propiedades físicas y químicas; por ejemplo:



Textura: el suelo está formado por un sin número de partículas de distinto tamaño, lo que determinara la porosidad, la capacidad para retener agua y la aireación del suelo, las partículas se clasifican en arenas si tienen granos muy gruesos, limo si son granos de tamaño intermedio y arcilla si las partículas son muy finas.

Color: es una propiedad empleada para determinar el tipo de suelo al que corresponde. Por ejemplo: marrón cuando posee poca cantidad de materia orgánica y es de fertilidad variable; negro con abundante materia orgánica, buena estructura y gran fertilidad; rojo, ricos en óxidos de hierro, situados en lugares de altas temperaturas, baja actividad del agua, poco fértiles; amarillos poco fértiles ” (Nagel, 2015).

Los suelos constituyen la base sobre la cual se asientan y viven los seres vivos obteniendo nutrientes los vegetales, los cuales cumplen su ciclo o son consumidos por otros seres vivos que también al finalizar su ciclo vital se degradan y junto con la degradación de la materia inorgánica, como la roca madre forman nuevamente el suelo. Es primordial el cuidado del suelo, de la calidad del mismo depende la calidad de vida y salud de los seres vivos que se desarrollan en él.

2.2 TIPOS DE SUELO

Según el texto unificado de legislación secundaria, medio ambiente, parte I, se indican algunos tipos de suelo de acuerdo a su uso:

Suelo residencial urbano

Suelos, donde la actividad primaria es la ocupación de los suelos para fines residenciales y para actividades de recreación, no se considera dentro de esta definición las áreas silvestres, como son los parques nacionales o provinciales.

Suelo comercial



Suelos, donde la actividad primaria se relaciona con operaciones comerciales y de servicios, por ejemplo centros comerciales, y su ocupación no es para propósitos residenciales o industriales.

Suelo industrial

Suelo donde la actividad principal abarca la elaboración, transformación o construcción de productos varios.

Suelo contaminado

Todo aquel cuyas características físicas, químicas y biológicas naturales, han sido alteradas debido a actividades antropogénicas y representa un riesgo para la salud humana o el medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2003).

2.3 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación, es la alteración de las características físicas, químicas o biológicas de los factores medioambientales en grado tal que supongan un riesgo inaceptable para la salud humana o los ecosistemas (Sabroso *et al.*, 2004).

Contaminación ambiental se define como la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las de dichos sustratos, por un tiempo suficiente y bajo condiciones tales que esas sustancias interfieren con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona.

Por tanto, la contaminación del suelo consiste en la introducción de elementos extraños al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto dañino para los organismos del suelo, sus consumidores, o puede transmitirse a otros sistemas (Martínez, 2005).

La contaminación ambiental tiene su inicio con la revolución industrial; luego de la segunda guerra mundial el incremento de la oferta y demanda de productos



industriales innovadores que ayudan y facilitan el estilo de vida de la población hace que este proceso industrial crezca a una velocidad impresionante, la influencia en la actitud cada vez más consumista de las personas permite mantener este círculo vicioso de compra y venta de productos, como resultado de todo esto, una incontrolable emanación de residuos tóxicos al ambiente que saturan de poco a poco al planeta, superando el poder de depuración y reciclaje normal del mismo. Esto representa una contradicción, pues el objetivo principal de la industrialización es el de mejorar la calidad de vida de la población, así desde el punto de vista capitalista sirve para mejorar la economía, la comodidad y priorización del tiempo con todos los inventos y productos obtenidos de las industrias, sin embargo los efectos secundarios están cobrando factura desde el punto de vista ecologista y por lo tanto no se puede hablar de calidad de vida al observar el deterioro de la salud humana y el incremento de los índices de mortalidad a nivel mundial como resultado de los efectos adversos producidos por los tóxicos ambientales.

2.4 CONTAMINACIÓN DE SUELOS, AGUA Y ATMÓSFERA

Según, el autor Jorge Orellana en su Unidad Temática sobre la contaminación dice lo siguiente:

“La contaminación del medio ambiente afecta principalmente al suelo, agua y atmósfera, industrias que tenga emisiones gaseosas, efluentes y residuos sólidos, puede contaminar los tres elementos del medio ambiente, las emisiones gaseosas contaminan la atmósfera, pero durante el transporte caen sobre el suelo o el agua, llegando así el contaminante a los otros elementos. Los contaminantes originales interaccionan con el medio que los transporta, por lo que al suelo y al agua suelen llegar otros contaminantes, por ello al estudiar un contaminante específico en un elemento (en este caso atmósfera), hay que tomar en cuenta las posibles transformaciones para poder buscar en el suelo o agua, los residuos sólidos, estos suelen ser depositados en lugares específicos dentro de la misma industria, a lugares de tratamiento o son transportados a sectores cercanos por las corrientes aéreas en forma de polvo, por acción del



viento y el calor, parte de estos residuos se esparcen en la atmósfera en forma de vapores o material particulado, por acción de la lluvia; si los residuos están depositados a cielo abierto, se lavan los residuos generando contaminantes que a través del agua de lluvia o desagües llegan a los cursos de agua contaminándolos, también por acción de la lluvia o por el lixiviado de los líquidos propios los contaminantes pueden pasar al suelo y por intermedio de estos a las aguas subterráneas” (Orellana, 2005).

Dentro de estos residuos tóxicos, los que principalmente se depositan en suelos al caer de la atmósfera son los metales pesados por su alta densidad. Como se citó anteriormente, se considera como suelo contaminado, a aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que represente un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los estándares establecidos por el gobierno nacional del Ecuador, pero si comparamos con otros países estos límites máximos permisibles tienen rangos en muchos casos superiores a los límites máximos permisibles para nuestro país, específicamente hablando de metales pesados dentro de estos poniendo especial atención al plomo y cadmio sobre los cuales se basa el estudio.

2.5 SUELOS CONTAMINADOS: EFECTOS Y PELIGROS

Los suelos contaminados pueden causar efectos diversos en el ecosistema al que pertenecen, afectando principalmente a los seres vivos expuestos al mismo, como los vegetales y animales; el riesgo toxicológico es evidente en estos suelos contaminados con respecto a la salud humana, produciendo además pérdidas de recursos naturales y económicos.

Los principales peligros relacionados con un suelo contaminado son: (Sabroso *et al.*, 2004).

- Peligro toxicológico para la salud humana:



- Por inhalación: problemas alérgicos y respiratorios desde leves hasta muy graves.
- Por ingestión: por desconocimiento al cultivar suelos contaminados.
- Por contacto directo con la piel: alergias y problemas cutáneos en trabajadores que manipulan este tipo de suelos.
- Peligro de contaminación de aguas superficiales, aguas subterráneas, atmósfera, sedimentos de río, del aire interior de las instalaciones, etc.
- Peligro físico: explosión o fuego, corrosión de estructuras o efectos en las propiedades mecánicas del suelo en las excavaciones.
- Peligro de utilización de agua de abastecimiento contaminada.
- Peligro de contaminación de los alimentos cultivados y animales de granja por utilización de agua subterránea contaminada.

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo es alto, causan efectos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos”.

Algunas plantas pueden absorber los metales pesados, estudios demostraron que al sembrar lechuga y después cosechar, se evaluaron nuevamente los suelos y se observó que disminuyó la concentración de estos metales en los suelos, comprobándose la absorción de los tóxicos por el vegetal estudiado, éstos suelos contaminados son un riesgo para la salud, al ingresar estos vegetales en la cadena alimenticia (Prieto *et al.*, 2009).

Uno de los metales pesados que se absorbe en mayor grado en plantas es el cadmio, en los rábanos y zanahorias, produce un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, y además la acumulación del metal.

En forma general los efectos causados por un suelo contaminado son a largo plazo y en muchos casos las consecuencias no se detectan de inmediato, por lo que los peligros potenciales pueden tardar décadas en manifestarse con efectos de gran magnitud, aquí radica la importancia de poder realizar la evaluación del riesgo toxicológico en sectores contaminados, partiendo de los datos obtenidos de las



concentraciones del contaminante y con valores establecidos por normativas internacionales y nacionales.

2.6 FUENTES GENERALES DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS

Según Sabroso González, M^a del Carmen y Pastor Eixarch Ana, (2004), se considera contaminante a toda sustancia que tiene el potencial de presentar un riesgo de dañar a la salud humana o cualquier otro valor medioambiental, estos autores proponen la siguiente clasificación de agentes contaminantes según su efecto primario:

Contaminación física: aquellos que originan variaciones en parámetros como temperatura y radiactividad.

Contaminación biológica: aquellos que inducen a la proliferación de especies ajenas a los microorganismos presentes en el suelo de forma natural.

Contaminación química: aquellos que por su presencia o por su elevada concentración alteren la composición originaria del suelo.

De los tipos de contaminación citados, la contaminación química, es la más predominante y está directamente relacionada con las actividades industriales, es precisamente este tipo de contaminación la que se investigará en el presente estudio con respecto a la presencia de metales pesados como lo son el plomo y el cadmio.

La contaminación es uno de los problemas más importantes del suelo y se asocia con la entrada de sustancias que, a partir de una cierta concentración deben considerarse como no deseables (AEMA-PNUMA, 2002).

En general se distingue entre la contaminación edáfica proveniente de fuentes claramente delimitadas (contaminación local o puntual) y la causada por fuentes difusas.



2.7 CONTAMINACIÓN LOCAL

Es aquella que aparece en las zonas que rodean a la fuente contaminante, en las que existe una relación directa con el origen de la contaminación. Va unida generalmente a la minería, las instalaciones industriales, los vertederos y otras instalaciones, tanto en funcionamiento como tras su cierre. Dichas prácticas pueden suponer un riesgo tanto para el suelo como para el agua. Según estudios realizados, en Europa occidental, central y oriental, la contaminación del suelo afecta a grandes zonas y se debe a la urbanización y a la industrialización (Martínez, 2005).

2.8 CONTAMINACIÓN DIFUSA

Causada generalmente por el transporte de sustancias contaminantes, tanto solubles como particuladas, a lo largo de amplias zonas con frecuencia alejadas de la fuente de origen. Pueden ser metales pesados, sustancias acidificantes, sobrecarga de nutrientes (eutrofización), ésta se da asociada a algunos usos del suelo. Así, en determinadas zonas restringidas, la contaminación puede ser elevada como en las zonas urbanas y en los complejos industriales, originada tanto por fuentes difusas tenemos el caso de transporte por carretera y por otras localizadas como los vertederos. En zonas agrícolas, el principal problema puede ser la contaminación difusa.



Figura 1: Contaminación local y difusa del suelo.

Fuente: (AEMA, 2002)

La contaminación del suelo consiste en la introducción de elementos extraños al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o es susceptible de transmitirse a otros sistemas (Orellana, 2005).

2.9 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: PLOMO Y CADMIO EN SUELOS

Para tener una visión clara de cómo sucede dicha contaminación es necesario primero entender cómo se origina el suelo. Este se forma por la interacción de los sistemas atmósfera, hidrosfera y biosfera sobre la superficie de la geósfera, ocupa la interfase entre la geósfera y los demás sistemas, en la llamada Zona Crítica, la parte más dinámica de la superficie de la Tierra. Después de un largo periodo de meteorización, y bajo condiciones climáticas estables, el suelo puede alcanzar su equilibrio, cuando uno de los parámetros del sistema varía, el equilibrio se rompe (Puga *et al.*, 2006).

El contenido de metales pesados en suelos, puede deberse a los procesos edafogénicos, pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos



metales en el suelo en cantidades considerables, la entrada de metales pesados en el suelo ha incrementado desde que comenzó la industrialización (García *et al.*, 2009).

La interacción con el Hombre, puede romper el equilibrio, debido a su uso en la agricultura, industria, minería, ganadería; a esta modificación negativa del suelo se denomina degradación, la presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) representa un tipo especial de degradación que se denomina contaminación.

El suelo puede contener una gran variedad de elementos químicos, por lo que puede resultar difícil establecer a partir de qué momento, un mismo elemento deja de ser beneficioso o indiferente, para pasar a tener la calificación de contaminante (Mancilla, 2012).

En general la cantidad y variedad de productos potencialmente contaminantes de un suelo, es prácticamente inabarcable, siendo los metales pesados los más importantes dentro de este grupo, su concentración se aumenta dramáticamente en suelos de sectores industriales, y en estas condiciones se consideran contaminantes al superar las concentraciones naturales en el suelo.

Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados (Dorronsoro, 2005).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

1) Oligoelementos o micronutrientes: que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn.



2) Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos ocasiona alteraciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, entre otros: Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl, etc.

Tabla 1: Metales tóxicos de interés

Muy tóxicos y fácilmente disponibles				Contaminantes prioritarios según la EPA				Metales y no metales que aparecen en concentración superior a la normal por causas antrópicas.	
As	Pd	Zn	Tl	Sb	Pb	Cr	Hg	Ag	Pb
Co	Ag	Sn	Pb	As	Hg	Cu	Tl	As	Sb
Bi	Cd	Se	Te	Be	Ni	Zn		Cu	Sn
Ni	Pt	Cu	Hg	Cd	Se			Hg	Zn
Sb								Ni	

Fuente: (Seoanez, 2000)

Los metales pesados, pueden pasar a los organismos al abandonar un suelo por volatilización, disolución, lixiviado o erosión, y pueden ser asimilables (bioasimilables), la posibilidad de que quede libre y pase a disolución en un suelo se llama disponibilidad. La biodisponibilidad sería el grado de libertad en que se encuentra un elemento o compuesto de una fuente potencial para ser capturado por un organismo ingerido o adsorbido (Newman *et al.*, 1996).

Normalmente sólo una fracción pequeña de la sustancia potencialmente contaminante de un medio es biodisponible. Su efecto suele ser negativo, pero también puede ser indiferente para un organismo específico. Estos elementos pueden ser acumulados en el organismo (bioacumulación) hasta tres, cuatro o cinco órdenes de magnitud mayores que la concentración del medio donde vive.

Otras fuentes significativas de contaminación de los suelos por metales pesados son las manufacturas y/o usos y eliminación de, entre otros, pilas, pinturas y pigmentos, catalizadores, polímeros estabilizantes, plásticos, productos médicos, aditivos en aceites y lubricantes ((Newman *et al.*, 2003).



El suelo sufre alteraciones principalmente por las actividades antrópicas como es el caso de las industrias, una de las anomalías que se generan es el aumento de la cantidad de microelementos convirtiéndolos a niveles de macroelementos los cuales afectan negativamente la biota y calidad de suelo; estos afectan el número, diversidad y actividad de los organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Los suelos contaminados contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (García. *et al.*, 2002).

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos, las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda (Kabata *et al.*, 2001).

Cuando existen excesivas concentraciones de metales en el suelo pueden impactar la calidad de los alimentos, esto en base a lo citado anteriormente, incidiendo también en la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos, un suelo alterado va a influir sobre la salud de la población expuesta al mismo ya sea directa o indirectamente (Ramos, 2012).

2.10 PLOMO y CADMIO EN EL ECUADOR

En el país falta hacer un diagnóstico más exhaustivo de la situación de contaminación con Plomo y Cadmio en varios sectores como son los industriales; a pesar del



problema y los riesgos que representan estas sustancias químicas para la salud humana y el ambiente, es necesaria una vigilancia epidemiológica continua, que permita establecer claramente la magnitud del problema, así como los grupos vulnerables.

Las autoridades del Ecuador con el fin de controlar las emanaciones tóxicas han establecido reglamentos, el marco jurídico nacional se establece a través de la Constitución Política del Estado de la República del Ecuador de agosto de 1998, en la cual establece en su Art. 90 prohibir la fabricación, importación, tenencia y uso de armas químicas, biológicas y nucleares y la introducción de desechos nucleares y tóxicos, finalmente establece la obligación de regular la producción, importación, distribución y uso de sustancias para las personas y el medio ambiente (Norma de calidad ambiental, 2003).

Existen algunos instrumentos legales respecto a Cadmio y Plomo como lo expuesto por el Ministerio de Ambiente de la República del Ecuador, en la norma de calidad ambiental, en donde se exponen valores máximos permisibles para estos metales como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2: Concentración máxima permitida de cadmio y plomo en suelos de calidad

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco)	Suelo
Cadmio	mg/kg	0.5
Plomo	mg/kg	25

Fuente: Ministerio del Ambiente. República del Ecuador (Norma de calidad ambiental, 2003)



Tabla 3: Concentración según criterios de remediación o restauración de suelos, valores máximos permitidos

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco)	USO DEL SUELO			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Cadmio	mg/kg	2	5	10	10
Plomo	mg/kg	100	100	150	150

Fuente: Ministerio del Ambiente. República del Ecuador (Norma de calidad ambiental, 2003)

En el Ecuador se dio la prohibición de gasolinas con plomo, hasta el año de 1999, las gasolinas en el país contenían plomo como detonante a través de esta se producía una contaminación indirecta. Mediante Acuerdo Ministerial No. 112 publicado en el Registro Oficial 308 del 30 de abril de 1998, se autorizó la producción y comercialización a nivel nacional de dos tipos de gasolinas: la una denominada EXTRA de 80 octanos y la otra SUPER de 89 octanos. Estos productos se comenzaron a elaborar en las refinerías de Esmeraldas, La Libertad, terminales Beaterio y Pascuales, sin la adición de tetraetilo de plomo (Norma de calidad ambiental, 2003).

Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente, parte II (TULSMA), haciendo referencia al Artículo 1, sobre "POLITICAS BASICAS AMBIENTALES DEL ECUADOR" indica que el Estado Ecuatoriano, sin perjuicio de atender todos los asuntos relativos a la gestión ambiental en el país, dará prioridad al tratamiento y solución de varios aspectos reconocidos como problemas ambientales prioritarios del país, dentro de los cuales se menciona a La contaminación creciente de aire, agua y suelo; también en el Artículo 2 sobre "VISION DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE" establece como visión institucional la siguiente: Hacer del Ecuador un país que conserva y usa sustentablemente su biodiversidad, mantiene y mejora su



calidad ambiental, promoviendo el desarrollo sustentable y la justicia social y reconociendo al agua, suelo y aire como recursos naturales estratégicos; en el Artículo 3 sobre OBJETIVOS DEL MINISTERIO DE AMBIENTE” en el objetivo 2, indica que se debe prevenir la contaminación, mantener y recuperar la calidad ambiental (Ministerio del Ambiente, 2003).

Además el Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria mediante el Acuerdo Ministerial No. 112 promulgado el 30 de octubre de 1992, cancela el registro de varios plaguicidas y con ello se prohíbe la fabricación, formulación, importación, comercialización de 24 plaguicidas entre ellos compuestos mercuriales y de plomo.

También el Programa de Recolección Selectiva y Disposición Ambiental de Pilas Usadas desarrollado por la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca –ETAPA-, desde febrero de 2003, con la finalidad de preservar sus instalaciones y los procesos de tratamiento biológico que se dan al interior de su estación de depuración, implementó un programa de muestreo y análisis de la calidad de agua en el afluente y en los efluentes, para verificar que los procesos de tratamiento se desarrollen adecuadamente y de controlar que sus procesos de tratamiento no se vean afectados por la presencia de sustancias inhibitoras tales como los metales pesados, todas estas iniciativas realizadas por el gobierno con el fin de controlar las fuentes de emanación de plomo (Buitron, 2006).

Con todo lo antes citado se demuestra que existen los límites máximos permisibles establecidos para el Ecuador, se evidencia que las autoridades están trabajando para lograr controlar las emanaciones de sustancias tóxicas como los metales pesados, sin embargo aún falta mucho por investigar, y fomentar la aplicación y cumplimiento de los reglamentos propuestos por las entidades antes citadas, por todo lo expuesto es de vital importancia el presente trabajo ya que brindará información valiosa sobre la calidad ambiental nacional en especial a nivel de la ciudad de Cuenca, en los suelos de los sectores vulnerables como la ciudadela Abdón Calderón y la ciudadela Uncovía, pues por su ubicación se encuentran aledañas al parque industrial de la misma ciudad.



2.11 BIOGEOQUÍMICA DEL PLOMO Y CADMIO

2.11.1 PLOMO

Este metal se encuentra dentro de los más pesados de número atómico mayor de 60, el plomo es el más abundante en la corteza de la tierra su concentración en suelos no contaminados no supera los 20 mg/kg. Aunque hay más de 200 minerales de plomo, destaca la galena (PbS , 87% Pb en peso) que forma cristales cúbicos de gran tamaño, la anglesita (PbSO_4) y la cerusita (PbCO_3). Otros minerales son, minio (Pb_3O_4), piromorfita ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)\text{Cl}$), boulangierita ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$), crocoíta (PbCrO_4), wulfenita (PbMoO_4). También se acumula con zinc y cadmio en depósitos minerales (Adriano, 2001).

El plomo es un metal pesado muy utilizado en metalurgia, tuberías, fabricación de baterías, soldaduras, barnices, pinturas para barcos y automóviles, revestimientos de cables, anticorrosivos, imprentas, etc. Puede haber plomo en el aire debido al humo de las fábricas, a los combustibles de los autos y el humo del cigarrillo, en los sitios industriales en donde se utilizan productos a base de plomo existe mayor presencia del metal, por ello debe existir un buen sistema de depurado de contaminantes. El agua potable puede contaminarse con los desechos industriales, el polvo atmosférico, los suelos contaminados de esa zona o porque el metal se solubiliza en medio ácido en las cañerías de plomo. De este modo el origen de la intoxicación con Pb puede ser: profesional, ambiental o accidental, aunque estudios conducidos por los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) muestran que los niveles de plomo en la sangre de niños en EE. UU., han ido disminuyendo gradualmente. Esto se debe a la prohibición del uso del plomo en gasolina, en pinturas para viviendas y en soldaduras usadas en latas de conservas y cañerías de agua. Sin embargo, se estima que aproximadamente 310,000 niños en EE. UU. Entre 1 y 5 años de edad aún tienen niveles de plomo en la sangre de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ o más altos; 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ es el nivel que el CDC pretende eliminar en niños en EE. UU., para el año 2010 (ASTDR, 2007).

Los niños son más vulnerables que los adultos a la intoxicación con plomo, pueden estar expuestos al plomo durante toda la vida, pueden estar expuestos al plomo en el



útero si la madre tiene plomo en su cuerpo, los bebés pueden tragar plomo cuando maman o ingieren otros alimentos o bebidas que contienen plomo, los bebés y los niños pueden tragar y respirar plomo en la tierra, el polvo o la arena cuando juegan en el suelo.

Según menciona la ASTDR para el plomo, los niños se exponen más fácilmente a este metal que los adultos por el contacto con la tierra o el polvo en las manos, en juguetes o en otros artículos pueden estar contaminados, los niños pueden tragar artículos tales como pedazos de pintura seca; estos pueden contener cantidades altas de plomo. La pintura de casas a menudo se quebraja y mezcla con la tierra y el polvo, pudiéndose llevar plomo a casa en el polvo, en manos o ropa si el lugar donde trabaja o habita usa o está contaminado con plomo.

Es factible encontrar polvo con plomo en lugares donde se funde plomo, donde se manufacturan o reciclan baterías de plomo, donde se manufactura revestimiento de cables eléctricos, donde se fabrica cristalería fina o ciertos tipos de vasijas de cerámica, es decir es más probable encontrar plomo en zonas industriales. Las partículas de plomo penetran a través del epitelio pulmonar, llegan a la circulación y viajan en plasma como fosfato de plomo se deposita en hígado, pulmones, encéfalo, huesos y riñones. Se elimina por orina y en menor cantidad por materia fecal. Atraviesa la placenta pudiendo provocar abortos o anomalías fetales.

2.11.2 MECANISMO DE ACCIÓN Y TOXICIDAD DEL PLOMO

El plomo ingresa al organismo como ya se mencionó principalmente por ingestión o inhalación como resultado del proceso industrial en el que se usa el metal pesado, en el mecanismo de acción se destaca el hecho que inhibe la síntesis del hem de los eritroblastos de la médula ósea, al actuar sobre las enzimas deltaaminolevulínico-deshidrasa (ALAD), que convierten el ácido deltaaminolevulínico (ALA) en porfobilinógeno, y también en ferroquelatasa, que cataliza la inserción del hierro de la ferritina en el anillo de la protoporfirina para formar el hem; por lo que la protoporfirina IX se une al zinc y forma la protoporfirina zinc (PPZ), esto incrementa la concentración de dicha metaloporfirina dentro del glóbulo rojo y disminuye la de la hemoglobina,

hecho que produce anemia normocítica e hipocrómica y aumento en la concentración del hierro sérico, lo que provoca la disminución de la producción de hematíes y el acortamiento de su vida media (Martínez *et al.*, 2011).

La distribución del plomo, una vez absorbido, se realiza por medio de tres compartimentos en equilibrio: sangre, tejidos blandos y huesos. El plomo en la sangre representa el 2 % del contenido total; el 95 % circula ligado a los eritrocitos, con una vida media de 36 días, y pasa a distribuirse posteriormente a los tejidos blandos y huesos. El compartimento formado por los tejidos blandos como: riñón, hígado y sistema nervioso; representa aproximadamente el 10 % del contenido corporal total, con una vida media de unos 40 días. El tercer compartimento lo forma el tejido óseo, constituyendo el principal depósito de plomo absorbido aproximadamente el 90 % en donde se incorpora a la matriz ósea de manera muy similar al calcio, presenta una vida media entre 10 y 30 años, debido a la formación de compuestos muy estables (Valdivia, 2005).

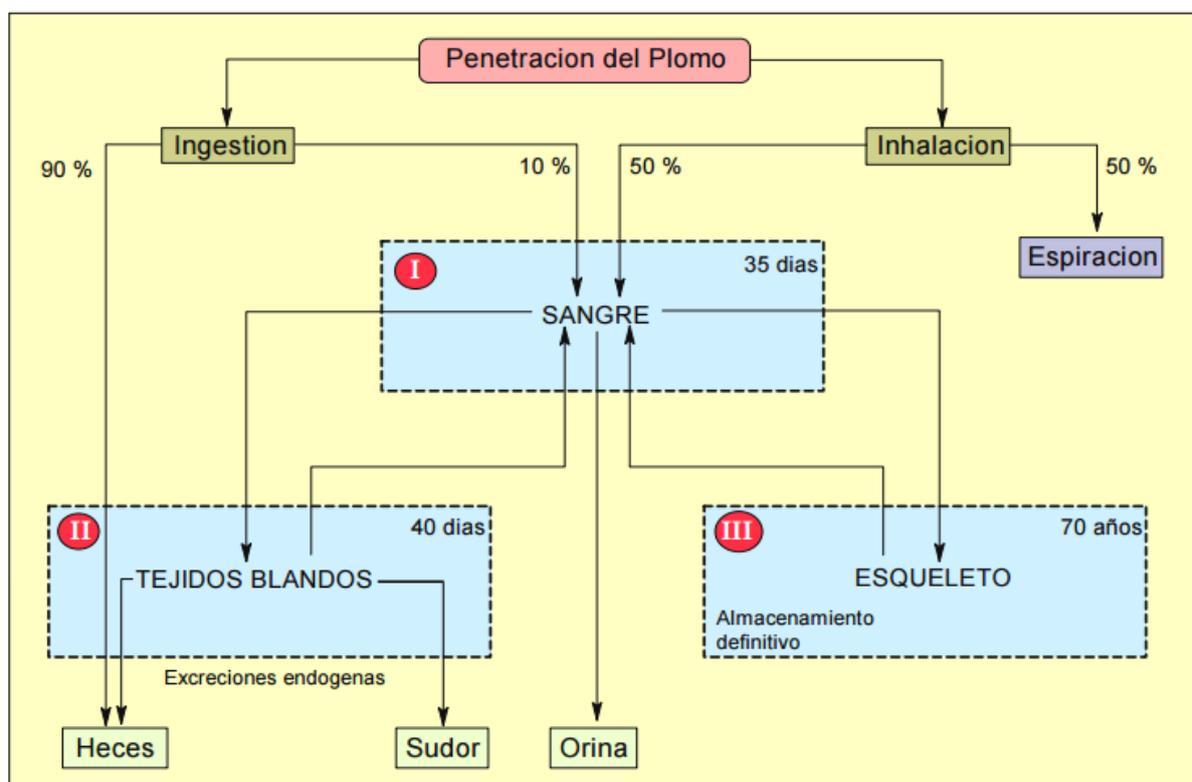


Figura 2: Distribución del plomo en el organismo

Fuente: (Gisbert, 2001)



El plomo es un tóxico cuya ingestión (en forma de vapor, humo o polvo) provoca saturnismo y que se acumula en los huesos. Niños de hasta 6 años, los niños absorben 4-5 veces más plomo que los adultos y mujeres embarazadas son los grupos más susceptibles de sufrir los efectos del plomo (Ihobe, 2008).

Como otros metales pesados el plomo se une e inactiva los grupos tiol ($-SH$) de proteínas, inhibe la biosíntesis del grupo hemo y puede sustituir al calcio en los huesos y en procesos bioquímicos, pequeñas dosis de Pb pueden causar neurotoxicidad ya que sustituye al calcio en las funciones nerviosas. Es tóxico para mamíferos y aves y se concentra en todos los organismos acuáticos. Se han observado problemas en la reproducción, una menor supervivencia y limitaciones en el crecimiento con niveles tan bajos como 1,0-5,1 $\mu g/l$ de Pb en agua (Alloway, 1995).

Está clasificado como un posible cancerígeno en humanos por estudios epidemiológicos realizados en trabajadores sin embargo no puede considerarse definitivo. Se ha demostrado que es carcinogénico en animales, produce carcinoma renal en ratas y ratones y gliomas en ratas y cáncer de pulmón en ratones (Ihobe, 2008).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que se puede predecir al plomo y los compuestos de plomo como carcinogénicos en seres humanos basado en evidencia limitada en estudios de seres humanos y en evidencia suficiente en estudios en animales. La EPA ha determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico es probablemente carcinogénico en seres humanos (ATSDR, 2007).

2.11.3 VALORES REFERENCIALES PARA EL PLOMO:

EFSA (European Food Safety Authority) ha considerado un valor de 30 μg diarios para una persona de 60 kg como sustituto de la TDI (Tasa de ingesta diaria admisible). La



exposición al plomo a través de los alimentos es de hasta 2,43 μg por kg de peso corporal al día lo que se traduce como 146 μg por día en una persona de 60 kg (EFSA, 2010).

De acuerdo a normativas nacionales vigentes establecidas por el ministerio de ambiente del Ecuador y la OMS, los niveles de plomo en suelo son: 25 mg/kg de suelo de calidad; para suelos en estado de remediación se tolera 100 mg/kg de suelo si es residencial y agrícola; para suelos industriales se tolera 150 mg/kg de suelo, en cambio según la normatividad señalada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), la concentración máxima aceptable de plomo en suelos de uso residencial y agrícola es de 400 mg/Kg y 140 mg/kg suelo según Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME, Canadá, esto implica una gran diferencia en cuanto a concentraciones por ello la interpretación dependerá según se compara con normativas internacionales o nacionales (EPA, 1994).

La ingesta promedio de plomo a través de los alimentos (TDI) es de aproximadamente 1 microgramo (1 microgramo es la millonésima parte de 1 gramo) por kilogramo de peso corporal al día. (ATSDR, 2007) y la dosis de referencia (RfD) para Pb propuesto por la FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos) 1997, es de 0.006 mg/kg/día.

2.11.4 CADMIO

El cadmio es un metal pesado presente en la corteza terrestre, generalmente se encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio), o azufre formando minerales como la greenockita o blenda de cadmio (CdS), otros minerales que contienen cadmio son la otavita (CdCO₃) y la monteponita (CdO). El nivel natural de cadmio en el suelo es generalmente menor a 1ppm, todo tipo de terrenos, rocas, algunos minerales de carbón y abonos minerales, contienen trazas de cadmio; se encuentra en una concentración de 1.5×10^{-5} % en peso de la corteza terrestre, no es nativo.



Básicamente se recupera como subproducto de los procesos de fundición y refinamiento de concentrados de zinc (Adriano, 2001).

La principal especie de cadmio en la solución del suelo es Cd^{2+} aunque también puede formar los siguientes iones complejos: $CdCl^+$, $CdOH^+$, $CdHCO_3^+$, $CdCl_3^-$, $CdCl_4^{2-}$, $Cd(OH)_3^-$ y $Cd(OH)_4^{2-}$ junto con complejos orgánicos (Kabata *et al*, 2001).

En suelos contaminados las especies de cadmio soluble predominantes son: el ion libre Cd^{2+} junto con otras especies neutras como $CdSO_4$ o $CdCl_2$, presentes en cantidades crecientes donde el pH es mayor que 6.5. El cadmio carece de función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales. Anteriormente se lo usaba como cubierta electro depositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión, la segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. Se recurre a cantidades apreciables en aleaciones de bajo punto de fusión semejantes a las del metal de Wood, en rociadoras automáticas contra el fuego y en cantidad menor, en aleaciones de latón (latón), soldaduras y cojinetes. Los compuestos de cadmio se emplean como estabilizadores de plásticos y en la producción de cadmio fosforado. Por su gran capacidad de absorber neutrones, en especial el isótopo 113, se usa en barras de control y recubrimiento de reactores nucleares, su óxido, hidróxido y cloruro se usa en galvanotecnia, su sulfuro como pigmento amarillo, los silicatos y boratos se emplean en los tubos de TV color (Alloway, 1995).

2.11.5 MECANISMO DE ACCIÓN Y TOXICIDAD DEL CADMIO

Una exposición a niveles altos ocurre cuando la gente fuma. El humo del tabaco transporta el Cadmio a los pulmones, la sangre transportará el Cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del Cadmio que está ya presente por comer comida rica en Cadmio. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan Cadmio en el aire y gente que trabaja en las industrias de refinación del metal. La



inhalación de cadmio puede dañar severamente los pulmones y puede incluso causar la muerte (ATSDR, 1999).

El Cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones los cuales son los órganos diana para el cadmio y el efecto crítico es la proteinuria. La concentración crítica de cadmio en la corteza renal que produciría un 10% de prevalencia de proteinuria de bajo peso molecular en la población general es aproximadamente 200 mg/kg, la cual se alcanzaría tras una ingesta diaria de aproximadamente 75 µg por persona durante 50 años. La tasa de absorción de cadmio varía con la fuente: 2.5 % para el procedente de los alimentos y 5% para el procedente del agua (Ihobe, 2008).

Lleva bastante tiempo antes de que el Cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano. Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son: diarreas, dolor de estómago y vómitos severos, fractura de huesos, fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad, daño al sistema nervioso central, daño al sistema inmune, desórdenes psicológicos, posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

Según ATSDR, 1999, dice que la EPA ha establecido un límite de 5 partes de cadmio por cada billón de partes de agua potable (5 ppb). La EPA no permite la presencia de cadmio en insecticidas. La Administración de Alimentos y Drogas (FDA) restringe la cantidad de cadmio en colorantes para alimentos a 15 partes de cadmio por cada millón de partes de colorante (15Nppm). La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) limita la cantidad de cadmio en el aire del trabajo a 100 microgramos por metro cúbico (100 ug/m³) en la forma de vapores de cadmio y a 200 ug de cadmio/m³ para polvos de cadmio (Foulkes, 1986).

El riñón es el órgano diana para el cadmio y el efecto crítico es la proteinuria. La concentración crítica de cadmio en la corteza renal que produciría un 10% de prevalencia de proteinuria de bajo peso molecular en la población general es aproximadamente 200 mg/kg, la cual se alcanzaría tras una ingesta diaria de aproximadamente 75 µg por persona durante 50 años. La tasa de absorción de cadmio



varía con la fuente: 2.5 % para el procedente de los alimentos y 5% para el procedente del agua.

El NOAEL (nivel sin efecto observable) de una dosis única oral se estima en 3 mg de Cd elemental/persona, y dosis letales oscilan en un intervalo de 350 a 8.900 mg. Los síntomas de toxicidad crónica incluyen alteraciones respiratoria y cardiovascular, disfunción renal, desórdenes en el metabolismo del calcio, neurotoxicidad y enfermedades óseas tales como osteoporosis y fracturas óseas espontáneas. La enfermedad "itai-itai" producida por Cd en Japón es un ejemplo de enfermedad ósea originada por la exposición crónica de la población al Cd vía alimentos y agua. El riñón es el órgano-diana tras la exposición a Cd y la lesión renal se caracteriza por una acumulación de Cd en los túbulos proximales. El primer signo de efectos tóxicos relacionados con Cd es una lesión tubular renal seguida de lesión glomerular que conduce a un aumento en la excreción urinaria de proteínas de bajo peso molecular (Satarug *et al.*, 2010).

Como se mencionó anteriormente la presencia de Cd en los huesos, constituye un factor de riesgo en el desarrollo de la osteoporosis, bajos niveles de exposición se asocian a una menor densidad mineral ósea (Schutte *et al.*, 2008).

El Cd también se considera un disruptor endocrino debido a su capacidad de unirse a los receptores celulares estrogénicos y mimetizar las acciones de los estrógenos y además existe evidencia de que la exposición a Cd puede conducir al desarrollo de cáncer de próstata y mama (Gallagher *et al.*, 2010).

La Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) clasificó a los compuestos de Cd como carcinógenos humanos (IARC, 1993).

Estudios sobre la inhalación de este metal pesado han demostrado un incremento altamente significativo del cáncer de pulmón en ratas dependiente de la dosis. También se ha observado en varios estudios un exceso de cáncer de pulmón entre trabajadores expuestos al cadmio (Ihobe, 2008).



2.11.6 VALORES REFERENCIALES PARA EL CADMIO

EFSA ha establecido una ingesta semanal tolerable (tolerable weekly intake o ingesta semanal tolerable, TWI) de cadmio de 2,5 μg por kg de peso corporal (EFSA, 2011). Esto se traduce, en una persona de 60 kg, en una TDI (ingesta diaria tolerable) de 21,4 μg . La exposición al cadmio a través de los alimentos oscila entre 2,04 y 3,66 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal por semana (EFSA, 2012).

En cuanto a la concentración máxima permisible en suelos, tenemos que el límite máximo permisible según Ministerio de ambiente del Ecuador en suelos de calidad es de 0.5 mg/kg de suelo, y para suelos con criterio de remediación el límite máximo permisible es de 5 mg/kg de suelo en el caso de residenciales y en el caso de industriales es de 10 mg/kg de suelo (Norma de calidad ambiental, 2003).

Según Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME, el valor aceptado de cadmio para suelos agrícolas es de 1,4 mg/kg de suelo (García Nieto *et al.*, 2011).

Otros estudios indican que el nivel promedio de cadmio en un suelo no contaminado es de alrededor de 250 ppb, es decir 0.025mg/kg de suelo, y la dosis de referencia (RfD) para Cd, el valor de 0.001 mg/kg/día (ATSDR, 1999).

Los valores de TDI del cadmio y plomo expuestos en el presente trabajo establecidos por normativas internacionales se emplearán como base para la comparación con los resultados obtenidos en la investigación.

2.12 EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO:

La evaluación del riesgo toxicológico es aquella actividad científica que permite valorar las propiedades tóxicas de una sustancia y las condiciones de exposición humana a dicha sustancia, con el fin de determinar la posibilidad de que se produzcan efectos adversos y caracterizar la naturaleza de los mismos en la población expuesta. La evaluación de riesgo permite dar soporte, con base científica, a la toma de decisiones

por los responsables de la gestión de sitios con peligros o contaminantes que afecten la salud de las personas y el medio ambiente (Díaz, 1999).

La evaluación de riesgos consiste en los siguientes pasos según se esquematiza en la figura 3.

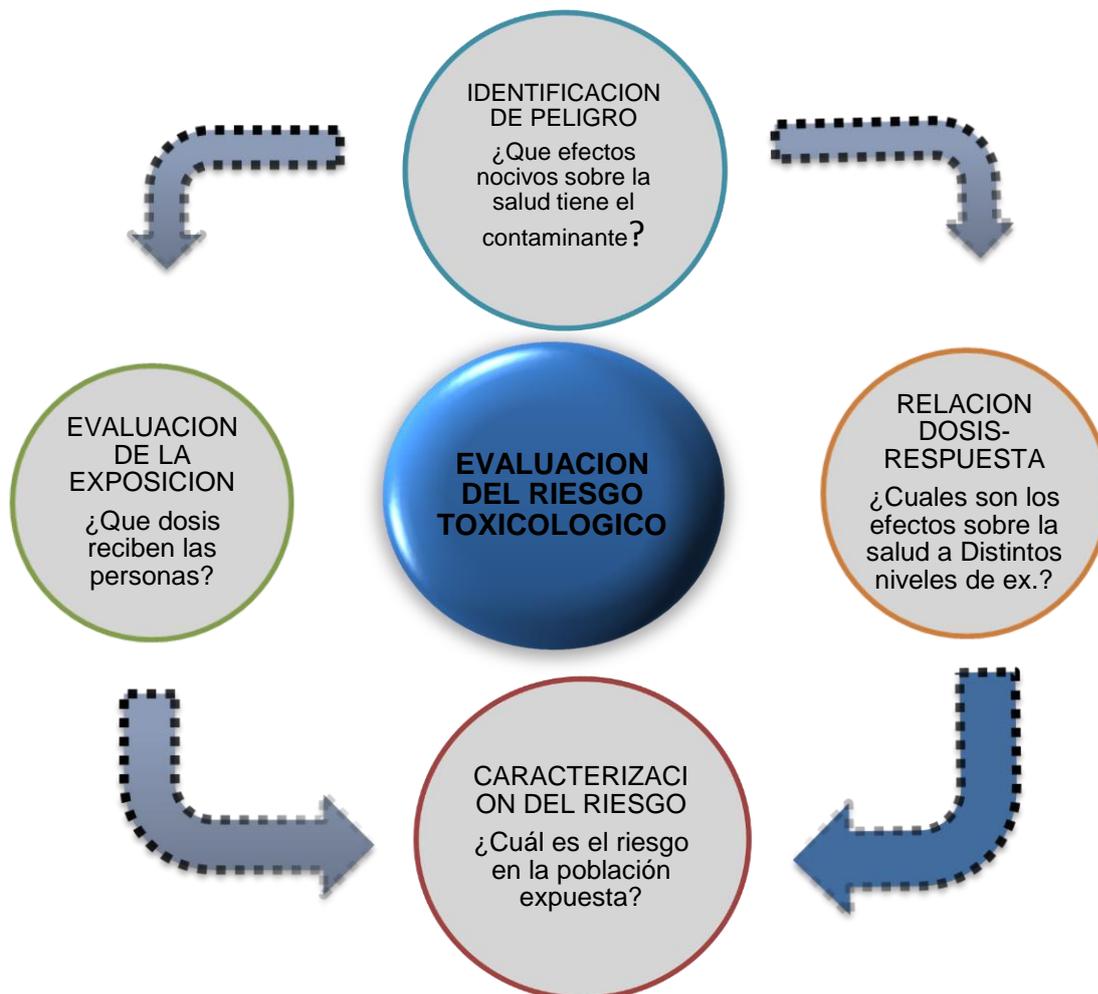


Figura 3: Pasos para la evaluación del riesgo toxicológico.

Fuente: ATSDR, 1992.



2.12.1 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

Este proceso consiste en la recolección y la evaluación de datos del orden toxicológico, sobre los daños que en los organismos vivos pueda producir una sustancia, en este caso el plomo y cadmio, que pueden causar efectos nocivos para la salud y que pueden estar presentes en un determinado alimento, sustancia ingerida como suelo o agua. La identificación del peligro sirve para determinar si es científicamente correcto relacionar que los efectos tóxicos observados en una especie ocurrirán en otras. Para el caso del plomo y cadmio se identificó el peligro al exponer el mecanismo de acción y toxicidad anteriormente (ATSDR, 1992).

2.12.2 CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS

Describe la relación cuantitativa y/o cualitativa entre la magnitud de la exposición a una sustancia (dosis) y el grado, frecuencia o intensidad del daño tóxico o enfermedad causada por dicha sustancia. Los datos provienen de estudios de preferencia en animales y, menos frecuentemente, de estudios en poblaciones humanas expuestas (García *et al.*, 1995).

2.12.3 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Incluye la descripción de la naturaleza y el tamaño de la población expuesta a una sustancia, la magnitud y duración de su exposición, así como las condiciones habituales en que se produce la exposición.

Es una combinación de los datos de exposición con los datos de consumo, mediante un análisis probabilístico (Díaz, 1999).



Para esto los datos sobre el consumo o ingesta de la sustancia investigada y los datos de exposición puede ser combinado, utilizando un enfoque determinista, también llamado " punto " estimación, o un enfoque probabilístico. El valor de contaminación podría ser el Percentil 95 o los niveles máximos autorizados en el Reglamento o un valor medio (media) de los datos de presencia, que se utilizan para evaluar diversos escenarios de riesgo (Dorne *et al.*, 2009).

La evaluación puede considerar exposiciones pasadas o actuales, o anticipar exposiciones en el futuro. Uno de los objetivos de esta fase del proceso es determinar cuantitativamente la dosis promedio diaria que la población está regularmente recibiendo de la sustancia bajo estudio (FAO/OMS, 2007).

2.12.4 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

Para esta etapa hay que relacionar y analizar los datos de los primeros tres componentes, con esto se determinará la posibilidad de que los humanos experimenten cualquiera de las diversas formas de toxicidad asociadas con la sustancia. Para sustancias no carcinogénicas, la dosis calculada al evaluar la exposición se confronta con los valores de dosis de referencia o de ingreso diario admisible ya establecidos para la sustancia en particular y se concluye si el valor de dicha dosis está por debajo de la DfR o IDA se dice que es seguro, o por encima se dice que hay peligro (FAO, 2007).

Para sustancias carcinogénicas se calcula primero el riesgo individual haciendo uso de los valores de "unidad de dosis" o de "unidad de riesgo", que son característicos para cada sustancia carcinogénica; el valor obtenido por alguna de estas dos opciones se multiplica por la población total expuesta para obtener así la incidencia de cáncer en exceso que se espera que ocurra como consecuencia de la exposición a la sustancia en particular.



2.13 GESTIÓN DEL RIESGO.

Es el proceso, que se basa en proponer políticas de prevención y control basadas en la evaluación de riesgos y otros datos importantes con el objeto de proteger a la población expuesta, las recomendaciones y sugerencias necesarias para solucionar el problema que involucra la contaminación con respecto a la población expuesta (Díaz, 1999).

2.14 COMUNICACIÓN DEL RIESGO

En esta etapa se da la información y criterios argumentando con las evidencias encontradas durante todo el proceso de análisis de riesgos con respecto a factores relacionados con los riesgos y percepciones de riesgos entre evaluadores, administradores de riesgos, consumidores, industria, comunidad académica y otras partes interesadas. (FAO, 2007).

2.15 CARACTERIZACIÓN DE RIESGO

Para el caso del plomo, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico es probablemente carcinogénico en seres humanos. La IARC ha determinado que los compuestos orgánicos de plomo no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos basado en evidencia inadecuada en estudios en seres humanos y en animales (ATSDR 2007).

Para el caso del cadmio, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha determinado que es carcinogénico para los seres humanos. La EPA ha establecido que si se inhala, el cadmio es probablemente un carcinógeno humano (ATSDR, 1999).

El cadmio no posee valor de Factor de riesgo de cáncer, tampoco valores de unidad de riesgo, solo se cuenta con el valor del FPC (factor potencial para el cáncer) para el



plomo en la literatura de Cal/EPA (EPA de California), este dato fue útil para el cálculo del riesgo de cáncer. El NOAEL para el Cd, es de 0.01 mg/kg/día para humanos que involucran exposiciones crónicas en comida ingerida (IRIS, 1987).

Dosis letales oscilan en un intervalo de 350 a 8.900 mg. No se cuenta con NOAEL para el plomo pero se asume el valor de 250 mg/kg/d (Díaz, 1999).



CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO DE ESTUDIO

El estudio realizado constituye un diseño descriptivo, analítico, prospectivo con corte longitudinal, cuasiexperimental y de campo, en la población a exposición crónica de plomo y cadmio. Los diseños longitudinales, recolectan datos a través del tiempo en puntos o períodos especificados, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias (Hernández *et al.*, 2006).

3.2 VARIABLES E INDICADORES

- **VARIABLE INDEPENDIENTE**

La concentración de plomo y cadmio en los suelos de los sectores aledaños al parque industrial de la ciudad de Cuenca (ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía).

El tiempo de residencia de la población expuesta y las enfermedades que se relacionan con la contaminación de las zonas estudiadas.

- **VARIABLES DEPENDIENTES**

Valores del cálculo del riesgo toxicológico de la población expuesta a suelos con los metales pesados investigados (Pb y Cd).

- **INDICADORES**



La concentración de plomo y cadmio en muestras de suelo, los resultados de las encuestas aplicadas a la población, los resultados del análisis estadístico y los resultados del cálculo del riesgo toxicológico.

3.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- **POBLACIÓN**

La investigación realizada se desarrolló en la ciudadela Abdón Calderón y Uncovía pertenecientes a la ciudad de Cuenca, capital de la provincia del Azuay. Estos sectores fueron seleccionados por la cercanía de los mismos al parque industrial de la ciudad en mención, cuyas poblaciones se encuentran expuestas a suelos contaminados, como los metales pesados y en forma particular el plomo y cadmio sobre los cuales se desarrolla este estudio. Hay que considerar que la ciudad de Cuenca cuenta con una población de 505.585 habitantes, de estos, 277.374 habitantes pertenecen a la zona urbana, en donde se encuentran las zonas investigadas (INEC, 2010).

- **TIPO DE MUESTREO Y DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS.**

El muestreo se realizó en forma estratificada y definida. Para la obtención de muestras de suelo se procedió a tomar de cinco sectores de cada una de las ciudadelas aledañas al parque industrial de la ciudad de Cuenca, (Abdón Calderón y Uncovía) a diferentes distancias para que sean representativas en cada zona investigada. Los lugares de muestreo de suelo se detallan a continuación:

Muestreo en la ciudadela Abdón Calderón:



- A. MUESTRA CALDERON C1: Av. de las Américas y Calle Gral. Córdova, de los alrededores de la iglesia de la ciudadela Abdón Calderón. a una distancia aproximada de 300m. del parque industrial.
- B. MUESTRA CALDERON C2: Av. De la independencia y Av. España cerca del puente Fabián Alarcón, a una distancia de 400m. del parque industrial.
- C. MUESTRA CALDERON C3: Av. de las Américas y Av. de la Independencia, diagonal al redondel de la bomba de los choferes 500m.
- D. MUESTRA CALDERON C4: Calle Vieja y la calle de la quebrada a una distancia de 600m. del parque industrial.
- E. MUESTRA CALDERON C5: la calle vieja y el río Machángara a una distancia de 700m. del parque industrial.

Muestreo en la ciudadela Uncovía.

- A. MUESTRA UNCOVÍA C1: Vía principal a Patamarca y la calle de tierra que colinda con el parque industrial, a una distancia de 200m.
- B. MUESTRA UNCOVÍA C2: Calle Cimarrones y río Machángara, a una distancia de 300m. del parque industrial.
- C. MUESTRA UNCOVÍA C3: zona comprendida entre las riveras de río Machángara junto al parque posterior de la Casa Comunal de la Uncovía 400m.
- D. MUESTRA UNCOVÍA C4: calle Cimarrones y la parte posterior de la quinta Luis cordero, junto a la casa comunal de la ciudadela Uncovía, a una distancia de 500m. del parque industrial.
- E. MUESTRA UNCOVÍA C5: la vía principal a Patamarca y una calle de tierra sin nombre cerca del cruce para el camino al camal, la distancia es de 600m. del parque industrial.

3.4 LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS INVESTIGADAS.



Figura 4: Mapa de la ciudadela Abdón Calderón junto al parque industrial de la ciudad de Cuenca.

Fuente: (Google earth, 2015)

En el mapa de la figura 4, se muestra la localización de la ciudadela Abdón Calderón con el punto de color azul, con respecto al parque industrial de la ciudad de Cuenca, observamos la cercanía de la zona de investigación, colindando con la zona de las fábricas. Tanto la ciudadela Abdón Calderón como el parque industrial pertenecen a la parroquia El vecino, ubicados al noroeste de la ciudad de Cuenca (ETAPA, 2002).



Figura 5: mapa de la ciudadela Uncovía junto al parque industrial de la ciudad de Cuenca

Fuente: Google earth 2015 (<https://earth.google.es/>)

En el mapa de la figura 5, se muestra la localización de la ciudadela Uncovía con el punto de color rojo, con respecto al parque industrial de la ciudad de Cuenca, se observa la cercanía de la zona de investigación, esta ciudadela pertenece a la parroquia Hermano Miguel y se localiza al norte de la ciudad de Cuenca.

3.5 SELECCIÓN ALEATORIA DE LUGARES DE MUESTREO



Para definir los puntos de muestreo de suelo se consideró que sean representativos y abarquen a cada zona estudiada, también se tomó como referencia los parques de recreación lo que implica mayor amenaza de contacto de suelos contaminados con la población expuesta, siendo los más vulnerables los niños y ancianos; se consideró además a sectores donde existe actividad agrícola por la influencia de contaminación indirecta a través de la cadena alimenticia, y se realizaron a determinadas distancias para ver si existe relación con el grado de contaminación. Para el estudio de campo se diseñaron y aplicaron encuestas a 100 personas entre las edades de 14 a 87 años de edad a fin de establecer tiempo de contacto promedio de la zona con la población y antecedentes de enfermedades relacionadas a la zona contaminada.

3.6 TAMAÑO DE MUESTRAS TOMADAS

Para que la investigación se ajuste a la realidad de la zona investigada la muestra tiene que ser representativa, el muestreo planteado fue aleatorio simple. Los resultados obtenidos fueron homogéneos en su mayoría, sin embargo una de las muestras obtenidas en el sector de la ciudadela Uncovía (muestra C2), presentó un valor heterogéneo comparado con los demás resultados (Montiel *et al.*, 2001).

Las muestras de suelo se tomaron en cinco puntos a diferentes distancias y que abarquen a cada zona investigada (NTE INEN-ISO 10381-4, 2014). Las muestras de suelo se recolectaron a una profundidad de hasta 15cm, cada muestra estaba compuesta por 16 submuestras, se realizó la preservación física de las mismas al ponerlas con hielo inmediatamente luego de su envasado, la cantidad recolectada para cada muestra fue aproximadamente de 1 kilogramo, inmediatamente fueron trasladadas al laboratorio del CESEMIN (Centro de Servicios y Análisis de Metales Metálicos y no Metálicos) de la Universidad de Cuenca, para su correspondiente análisis. Además se realizó la investigación de campo con la aplicación de encuestas como complemento, con el objeto de obtener información sobre el tiempo de permanencia en la zona y antecedentes de enfermedades relacionadas; el tamaño de la muestra se calculó a partir de la población total, cuyo resultado fue de 100 encuestas para cada zona, se aplicó la ecuación 1.



$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Ec. [1]

Fuente: (Suárez, 2012)

En donde: n = el tamaño de la muestra; N = tamaño de la población que es de 277374 para la zona urbana de la ciudad de Cuenca; σ = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5; Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza, es un valor constante se tomó en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 ; e = Límite aceptable de error muestral se tomó un valor que varía entre el 1% (0,01), (Suárez, 2012). En cuanto al tamaño de muestras de suelo se consideró lo establecido en Norma INEN 687 (NTE INEN 0687).

3.7 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.7.1 MÉTODOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para recolectar la información de campo con respecto al tiempo de permanencia y enfermedades relacionadas durante ese tiempo en la zona, edad y sexo de la población se aplicaron encuestas (el modelo de encuesta consta en el ANEXO 1). Los colaboradores fueron seleccionados aleatoriamente, participaron en el estudio personas de ambos sexos entre las edades comprendidas desde 14 hasta 87 años de edad, los pobladores que no son residentes permanentes fueron excluidos por la duración mínima e irregular en la zona. Por otro lado se analizaron cinco muestras de suelo por triplicado para determinar la concentración de plomo y cadmio en los suelos de las zonas estudiadas en el laboratorio del CESEMIN, mediante Absorción Atómica con digestión ácida.



3.7.2 TECNICAS

Las técnicas empleadas para la obtención de los datos tanto de la investigación de campo como del análisis de muestras fueron las siguientes:

3.7.2.1 ENCUESTA

Se aplicó una encuesta de diez preguntas para la recolección de datos referentes características personales como: edad, sexo, tiempo de permanencia, enfermedades frecuentes durante el tiempo de permanencia en la zona, el modelo de la encuesta se encuentra en el Anexo 1.

3.7.2.2 DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SUELOS

- **FUNDAMENTO**

Se aplicó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por digestión ácida, para determinar plomo y cadmio en muestras de suelo, esta técnica se basa en determinar cuantitativamente la mayoría de elementos del sistema periódico, por lo tanto es eficaz para el estudio de muestras de suelo; la medición de los metales pesados se da por absorción a una longitud de onda particular, para ello primero se atomiza la muestra con absorción atómica, la muestra nebulizada se disemina como aerosol en una llama de aire-acetileno u óxido nitroso-acetileno (Ruiz *et al.*, 2003).

- **EQUIPOS Y MATERIALES**

- a. Espectrofotómetro de Absorción atómica
- b. Cabeza del quemador de aire- acetileno
- c. Bomba de vacío
- d. Placa Caliente (calentador con agitador)
- e. Matraces de 250 ml



- f. Sistema de Filtración
- g. Membranas de acetato de celulosa de 0,45 μm .
- h. Pipetas volumétricas de 1, 2, 5 y 10 ml calibradas
- i. Balones aforados de 50, 100 ml calibrados
- j. Lámpara de plomo y lámpara de cadmio

- **PATRONES DE REFERENCIA Y REACTIVOS**

- a. Estándar de Plomo
- b. Acetileno, calidad comercial estándar.
- c. Agua libre de metales
- d. Ácido nítrico. HNO_3 concentrado libre de metales
- e. Agua acidulada al 1%

- **PROCEDIMIENTO**

Según Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos (NTE INEN-ISO 10381-4, 2014).

- a. **DIGESTIÓN POR ÁCIDO NÍTRICO**

Hay que mezclar la muestra y pasar a un volumen adecuado de la misma (1 g. de muestra) a un matraz de 250 ml, luego añadir 5 ml de HNO_3 concentrado y núcleos de ebullición. Llevamos a ebullición lenta y evaporamos sobre placa caliente hasta el menor volumen posible (aproximadamente 10 a 20 ml) antes de que tenga lugar una precipitación. Continuamos calentando y añadiendo el ácido nítrico concentrado necesario para completar la digestión, perceptible porque la solución se hace transparente y ligeramente coloreada. No hay que dejar que la muestra se seque durante la digestión.

Recójemos con agua las paredes del matraz o del vaso y filtramos mediante vacío o presión haciéndolo pasar por un filtro de membrana de (acetato de celulosa) de 0,4 a



0,45 μm de diámetro de poro, antes de usarlo filtramos un blanco de calidad reactivo, para asegurar la ausencia de contaminación (enjuáguelo con 50 ml de agua desionizada).

Pasamos el filtrado a un balón volumétrico de 50ml junto con dos partes de agua de 5 ml, añadiendo este líquido de enjuagado al matraz volumétrico. Enfriamos y diluimos hasta la señal, mezclamos cuidadosamente. Tomamos porciones de esta solución para las determinaciones del metal requeridas. Alternativamente, tomamos un volumen mayor de muestra en todo el procedimiento.

b. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Según protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos (Zagal, 2007).

- Seleccionar la solución de la muestra del digerido previo realizado.
- Seleccionar al menos un estándar 0 y tres soluciones estándares que cubran el rango de concentración esperado de la muestra y que estén en el rango óptimo del elemento a determinar.
- Elegir la lámpara a usar y dejarla calentar por un mínimo de 15 minutos, a menos que se use un modelo doble haz.
- Alinear el equipo, seleccionar la longitud de onda y el ancho del slit., encender la llama y regular el flujo del acetileno y del oxidante.
- Aspirar un blanco cero consistente en agua con ácido en la misma concentración de las muestras y de la serie de estándares.
- Ajustar el 0 del instrumento.
- Aspirar una solución estándar y ajustar la velocidad de aspiración del nebulizador hasta obtener la máxima respuesta.
- Ajustar el mechero, vertical y horizontalmente, hasta obtener la máxima respuesta.
- Aspirar el blanco cero nuevamente y reajustar el 0.
- Aspirar una solución estándar de concentración cercana al medio del rango.
- Registrar la absorbancia de esta solución estándar cuando esté recién preparada y con una lámpara nueva. Este registro es útil para verificar la



consistencia del funcionamiento del instrumento y del envejecimiento de la lámpara y de la solución estándar en subsecuentes determinaciones.

- Aspirar el blanco cero nuevamente y reajustar el 0.
- Calibrar el instrumento con la serie de soluciones estándares empezando por el estándar 0 y terminando con el estándar más alto.
- Aspirar el blanco cero nuevamente y reajustar el 0.
- Aspirar y registrar la absorbancia o la concentración del elemento en los blancos del método y en la muestra.
- Diluir si es necesario.
- Cuando se ha finalizado el análisis, aspirar el blanco cero, cerrar primero la válvula del acetileno y luego la del aire.

c. DATOS REFERENCIALES DE PLOMO Y CADMIO EN SUELOS

Estos datos se obtuvieron de normativas internacionales como la EPA, ASTDR; y de normativas nacionales como el Ministerio de Ambiente del Ecuador.

3.7.3 EVALUACION DEL RIESGO

Para el cálculo de la evaluación del riesgo toxicológico por exposición a plomo y cadmio presentes en las muestras de los suelos de las zonas investigadas: Ciudadela Calderón y Ciudadela Uncovía; con toda la información recolectada, tanto los datos de las encuestas como las concentraciones de los contaminantes, se determinaron y calcularon los siguientes parámetros:

1. Concentraciones de plomo y cadmio en los suelos investigados.
2. Se identificó la ruta de exposición, la digestiva por ingesta de suelo.
3. Se calculó la dosis de exposición.
4. Se calculó el índice de peligro.
5. Se determinó el margen de exposición.



6. Se calculó el riesgo individual de cáncer al plomo.

Para cumplir con todos los parámetros indicados se aplicaron ecuaciones, así el EMEG (Guía de Evaluación para Medios Ambientales, EMEG por sus siglas en inglés), ha sido propuesto por la ATSDR. Representa la concentración de un contaminante en el agua, el suelo o el aire, que es poco probable esté asociada con cualquier riesgo apreciable de efectos deletéreos no cancerosos, durante una duración de exposición determinada. Para el cálculo de este parámetro se emplean valores como MRL o RfD Dosis de referencia (Reference dose "RfD"). Este concepto indica el consumo diario de la sustancia tóxica durante toda la vida del individuo y que no causa algún efecto. Para obtener su valor se consultó a la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (ATSDR); que propone un valor de 0,001 mg/kg/día para Cd (ATSDR, 1999) y el valor de RfD para plomo se obtuvo de la información reportada por la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA, 1997), la cual propone el valor de 0,006 mg/kg/día. El PC que es el peso corporal se tomó de 70kg para adultos y 25 kg para niños. La TI que es la tasa de ingesta o ingreso del medio contaminado en este caso el suelo al organismo se utilizó el valor de 50mg/kg para adultos y 350 mg/kg para niños (Yáñez *et al.*, 1997). Para el cálculo del EMEG (Guía de Evaluación para Medios Ambientales, EMEG por sus siglas en inglés), se empleó la ecuación 1.

$$\text{EMEG} = \frac{\text{MRL o RfD (mg/kg/día)} \times \text{PC (kg)}}{\text{TI (mg/kg)}}$$

Ec. [2]

Fuente: (CEPIS/OPS, 2005)

DE es la dosis de exposición al tóxico presente en el medio contaminado, se expresa en mg/kg/día. Para el cálculo de la DE se emplearon los siguientes valores: C es la concentración del tóxico determinada en las muestras de suelo se consideraron valores promedio, para la ciudadela Calderón el valor promedio de plomo determinado



es de: 37.556 mg/kg de suelo; para el cadmio es de: 0.518 mg/kg de suelo y los valores para la ciudadela Uncovía fueron para el plomo: 78.224 mg/kg de suelo, para el cadmio 0.756 mg/kg de suelo; TI igual que en la fórmula anterior, es la tasa de ingesta o ingreso al organismo del medio contaminado el suelo, se utilizó el valor de 50mg/kg para adultos y 350 mg/kg para niños (Yáñez *et al.*, 1997). Para determinar la DE (dosis de exposición), se aplicó la ecuación 2.

$$DE \text{ (mg/kg/día)} = \frac{C \text{ (mg/kg)} \times TI \text{ (mg/kg)}}{PC \text{ (kg)}} \times FE$$

Ec. [3]

Fuente: (CEPIS/OPS, 2005)

FE es el factor de exposición con un valor de: 0.85, fue calculado considerando que la población investigada vive permanentemente en la zona de estudio, 6 días a la semana, 52 semanas al año, durante 70 años, se calculó este valor según la ecuación 3.

$$FE = \frac{\text{Frecuencia de exposición}}{\text{Tiempo de exposición}}$$

$$FE = \frac{(\# \text{ días/ semana})}{(7 \text{ días/semana})} \times \frac{(\# \text{ semanas /año})}{(52 \text{ semanas al año})} \times \frac{(\# \text{ años})}{(70 \text{ años})}$$

Ec. [4]

Fuente: (CEPIS/OPS, 2005)

IP es el índice de peligro, para el cálculo se empleó la DE (dosis de exposición) calculada con la fórmula anterior y este valor se dividió para el RfD (Dosis de referencia), (ATSDR, 1999 y FDA, 1997). IP indica seguridad en las condiciones locales de exposición cuando tiene un valor de uno o menor de uno, es decir, se



está en o por debajo de la dosis establecida como límite seguro, la DRf. Si el valor crece progresivamente sobre uno, significa que la exposición local está incrementándose a niveles peligrosos que cada vez aumentan la posibilidad de que aparezcan los efectos adversos en la población.

ME es el margen de exposición al tóxico en el medio ambiente valorado, en este caso suelo, para ello se empleó el NOAEL para del Cd de 0.01 mg/kg/día (IRIS, 1987), como no existe información de NOAEL para plomo se recomienda el valor de 250mg/kg para plomo en suelo en áreas de recreación infantil (Madhavan *et al.*, 1989).

Estos valores se dividen cada uno para la DE dosis de exposición o exposición actual calculada con la fórmula anterior. ME es un valor inverso al IP, mientras más grande el valor del ME por encima de uno, más amplio es el margen de seguridad y menor la posibilidad de que aparezcan los efectos en la comunidad. Tanto el índice de peligro como el margen de exposición fueron calculados según la ecuación 4.

PARA NO CARCINOGENICOS

1. Calcular Índice de peligro (IP)

$$IP = \frac{\text{Dosis de Exposición medida (DE)}}{\text{DfR o IDA}}$$

2. Estimar el margen de Exposición (ME)

$$ME = \frac{\text{NOAEL (estudio crítico)}}{\text{Dosis de Exposición medida (DE)}}$$

Ec. [5]

Fuente: (CEPIS/OPS, 2005)

Finalmente se calcula el RI riesgo individual de padecer cáncer de una persona expuesta al tóxico, para este cálculo se necesita del valor del FPC factor potencial de



cáncer de la sustancia investigada que existe en la base de datos científica, en este caso esta información solo existe para el plomo, según Cal/EPA (California Environmental Protection Agency), cuyo valor es de: 0.0085mg/kg/día.

El valor del riesgo individual, por lo general es una cifra muy pequeña, indica las posibilidades personales de desarrollar el cáncer del orden de diez milésimas o cien milésimas, se multiplica por el tamaño de la población expuesta bajo estudio para obtener el riesgo poblacional, el valor obtenido localmente representa un escenario hipotético que debe interpretarse como el número de casos con cáncer que aparecería en esa población en el supuesto de que todos sus miembros estuvieran permanentemente expuestos de por vida a la concentración del carcinógeno encontrada en esa comunidad.

El riesgo poblacional es una proyección probabilística de la incidencia del efecto en la población expuesta de por vida. En la realidad las condiciones existentes al momento de la evaluación no se van a mantener en el futuro debido a los cambios demográficos y de contaminación, sin embargo se asume este escenario como un supuesto teórico necesario para establecer el proceso matemático de proyección del riesgo (CEPIS/OPS, 2005).

Lo ideal del cálculo del riesgo es proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en cuanto al manejo y solución del problema local de contaminación ambiental a las entidades competentes, el dato da una idea objetiva acerca de la magnitud actual del riesgo y que podría ser real si las condiciones se mantuvieran muy estables por mucho tiempo en el futuro.

Esta proyección es un hecho real en ciudades que están en permanente crecimiento y que incrementan sus fuentes emisoras de carcinógenos, como ocurre en países y ciudades con sectores vulnerables por localizarse junto a zonas industriales. El riesgo individual de padecer cáncer fue calculado según la ecuación 5.

CÁLCULO DEL RIESGO DE CÁNCER

RIESGO INDIVIDUAL

Se emplea cualquiera de las dos ecuaciones siguientes:

$$RI = \text{Factor potencial de cáncer (FPC)} \times \text{Dosis de Exposición medida (DE)}$$



Fuente: (CEPIS/OPS, 2005)

3.7.4 INSTRUMENTOS

Equipos de laboratorio, materiales de vidrio y reactivos, cuestionario para aplicar las encuestas, para el almacenamiento y procesamiento de datos: paquete Excel 2010, Excel 2013 y paquete estadístico SPSS versión 22.

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.8.1 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

La población investigada a la que se le aplicó la encuesta, comprendía 200 encuestados, 100 para La ciudadela Abdón Calderón y 100 para la ciudadela Uncovía, las encuestas proporcionaron información con respecto a variables como edad, sexo, enfermedades y tiempo de permanencia en la zona investigada. Los datos recolectados tanto del estudio de campo, como del análisis de suelos y valores referenciales investigados en normativas nacionales e internacionales, fueron almacenados y analizados estadísticamente utilizando el paquete Excel 2013, Excel 2010 y el paquete estadístico SPSS.



Se aplicó Estadística descriptiva: media, mediana, moda, varianza, frecuencia, porcentajes y desviación estándar, prueba del chi-cuadrado, prueba de Pearson, según sea el caso así:

En lo referente al tratamiento de datos obtenidos de la encuesta, se valoró el porcentaje y estadística descriptiva de acuerdo al sexo de la población de cada zona investigada, para la distribución de la población por edades se aplicó estadística descriptiva: mínimo, máximo. Suma, media, desviación estándar, varianza; con respecto al tiempo de permanencia en las zonas investigadas, se determinaron los porcentajes y se compararon entre los sitios de estudio, se determinaron frecuencias de la presencia de enfermedades padecidas y de tóxicos en el ambiente de los sitios estudiados; se aplicó la prueba de chi-cuadrado con un nivel de significancia del 5% ($p > 0.05$) para ver la relación de las variables de la encuesta (contaminación y enfermedades).

Con respecto al análisis de las muestras de suelo de la ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía, se aplicó estadística descriptiva a los datos de las concentraciones de plomo y cadmio en las zonas de estudio como: media, mediana, moda, desviación estándar, varianza, mínimo, máximo; se aplicó el “coeficiente de correlación de Spearman” entre las variables (concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias) con un valor de P o significancia de 0.05.

Se calculó y comparó las concentraciones de plomo y cadmio con normativas nacionales e internacionales.

Para el cálculo de los parámetros de caracterización del riesgo como: DE (dosis de exposición), IP (índice de peligro), ME (Margen de exposición) y RC (Riesgo Cancerígeno), al igual que para el EMEG (Evaluación para medios ambientales) se aplicaron las fórmulas antes descritas en el “3.4.2.4 EVALUACION DEL RIESGO”.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población investigada estuvo comprendida por 200 encuestados, 100 para la ciudadela Abdón Calderón y 100 para la ciudadela Uncovía, las encuestas proporcionaron información con respecto a variables como edad, sexo, enfermedades y tiempo de permanencia en la zona investigada.

4.1.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS: EDAD POBLACIÓN ESTUDIADA

Tabla 4: Estadísticos Descriptivos sobre la edad de las poblaciones investigadas.

Zonas de estudio	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
CALDERON: EIDADES	100	14,00	87,00	46,6600	19,23655
UNCOVÍA: EIDADES	100	14,00	76,00	35,8700	16,16497
N válido (por lista)	100				

Fuente: Autor

Como se observa en la tabla 4 el número de encuestados corresponde a una población de 100 para cada zona, el mínimo de edad para ambas poblaciones de la ciudadela Calderón y de la ciudadela Uncovía fue de 14 años, el máximo para la ciudadela Calderón fue de 87 años, mientras que para la ciudadela Uncovía fue de 76 años, la media fue de 46.6 años y 35.8 años, con una desviación estándar de 19 y 23 respectivamente.

4.1.2 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS: SEXO POBLACION ESTUDIADA

Tabla 5: Ciudadela Abdón Calderón, población por sexo.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	F	62	62,0	62,0	62,0
	M	38	38,0	38,0	100,0
	Total	100	100,0	100,0	

Fuente: Autor

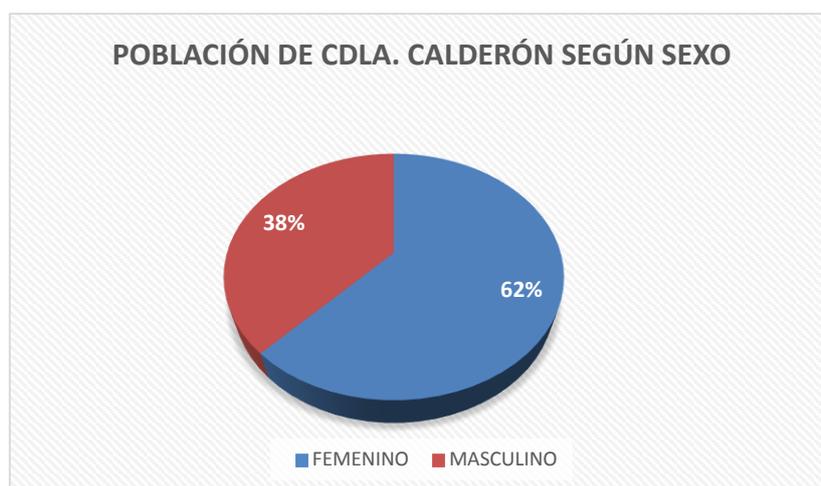


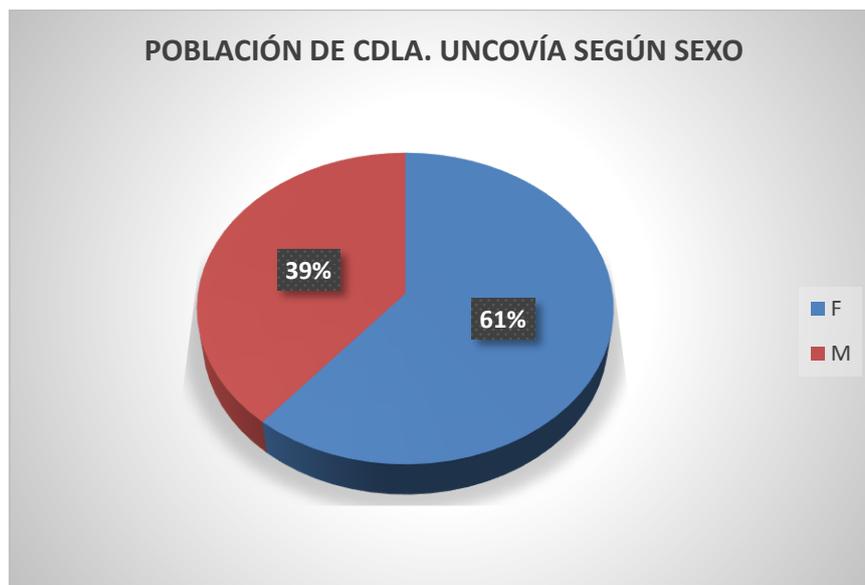
Figura 6: Población de la ciudadela Abdón Calderón por sexo.

Fuente: Autor

En la tabla 5 se observan los resultados de la población encuestada de la ciudadela Calderón, se obtuvo una frecuencia y porcentaje de 62 para el sexo femenino y de 38 para el masculino, observándose que la mayoría de la población a la que se le aplicó la encuesta estuvo conformada por mujeres, igualmente se corrobora este resultado con la fig. 6.

Tabla 6: Ciudadela Uncovía, población por sexo.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	F	61	61,0	61,0	61,0
	M	39	39,0	39,0	100,0
	Total	100	100,0	100,0	

Fuente: Autor**Figura 7: Población de la ciudadela Uncovía por sexo.****Fuente: Autor**

En la tabla 6 se observan los resultados de la población de la ciudadela Uncovía con una frecuencia y porcentaje de 61 para el sexo femenino y de 39 para el masculino, observándose que la mayoría de la población encuestada igual que en el caso anterior fueron mujeres, además este resultado se corrobora con la fig. 7.

Tabla 7: Comparación entre poblaciones investigadas de acuerdo al tiempo de permanencia en las zonas de estudio.

¿Tiempo que vive en la zona?	CDLA. CALDERON	CDLA. UNCOVÍA
1-5 AÑOS	2	16
5-10 AÑOS	5	20
10-20 AÑOS	15	23
MAS DE 20 AÑOS	78	41

Fuente: Autor

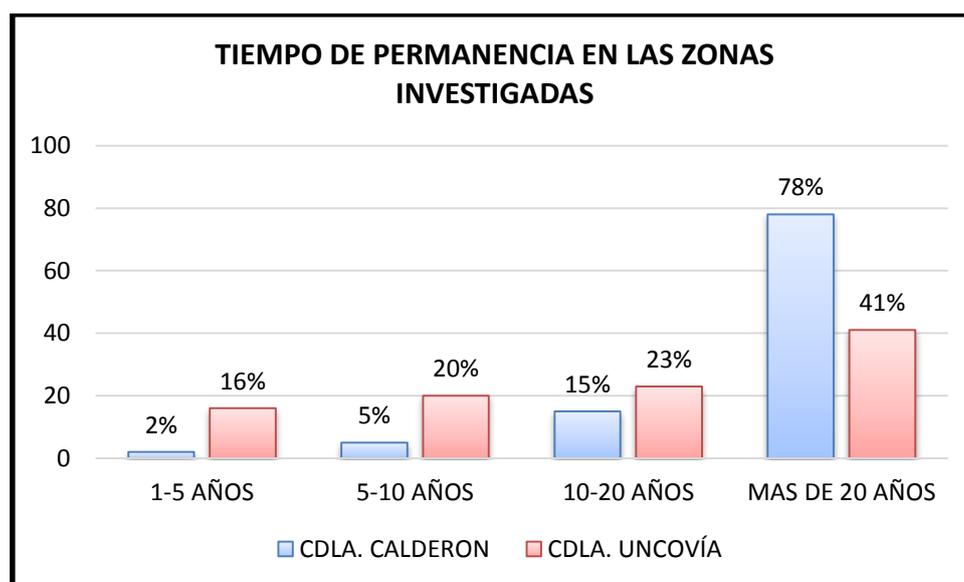


Figura 8: Comparación entre poblaciones investigadas de acuerdo al tiempo de permanencia en las zonas de estudio.

Fuente: Autor

En la tabla 7 y en la fig. 8, se puede observar que existe un 78% y 41% mayoritarios de las poblaciones de la ciudadela Calderón y de la ciudadela Uncovía respectivamente cuya permanencia en las zonas de estudio es de más de 20 años, siendo mayor el porcentaje en la ciudadela Calderón, estos datos sirvieron de soporte para poder hacer los cálculos predictivos del riesgo a una exposición durante toda la vida, ya que la mayoría de las poblaciones son residentes hijos.



Tabla 8: Frecuencias de enfermedades padecidas por poblaciones estudiadas durante la permanencia en zonas de estudio.

¿Cuál de las siguientes enfermedades ha padecido con mayor frecuencia durante su tiempo de permanencia en la zona?	CDLA. CALDERON	CDLA. UNCOVÍA
RESPIRATORIAS	96	92
DIGESTIVAS	38	17
AUDITIVAS	10	12
DERMATOLÓGICAS	20	14
OTRAS	2	3
NINGUNA	1	3

Fuente: Autor

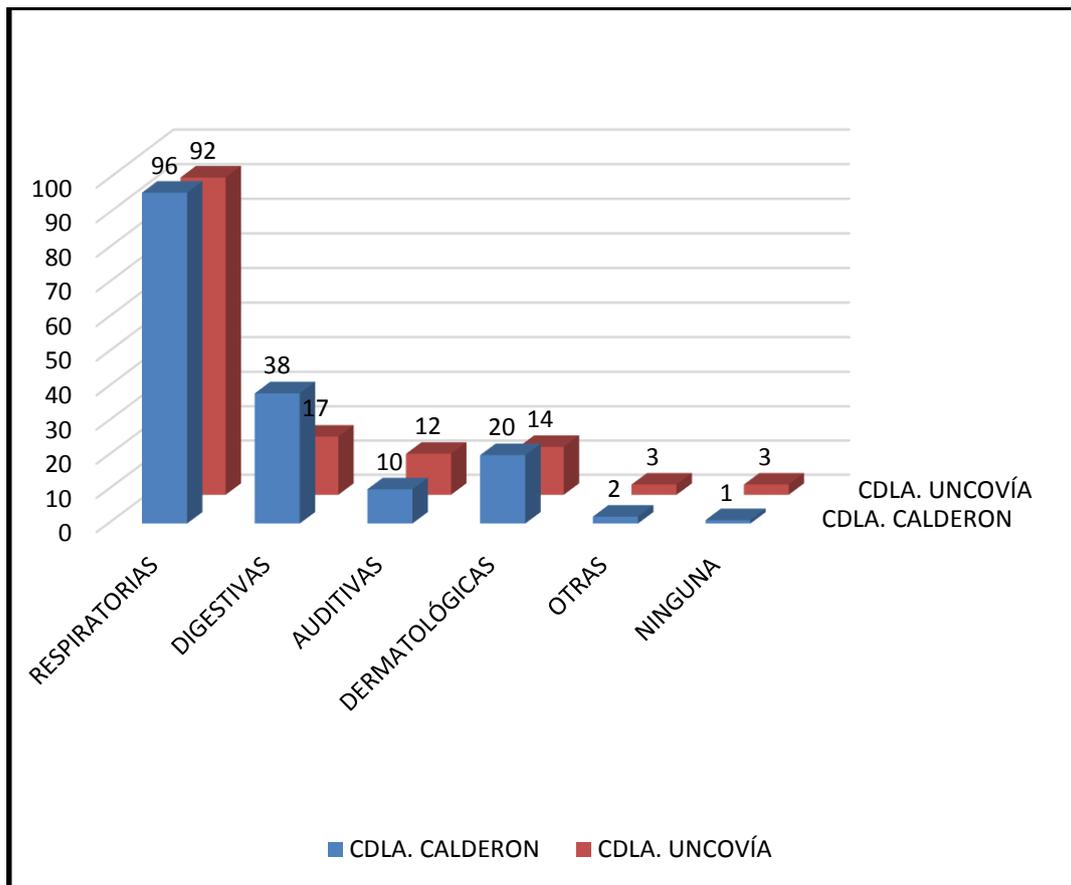


Figura 9: Frecuencias de enfermedades padecidas por poblaciones durante la permanencia en zonas de estudio según encuestas.

Fuente: Autor

Según se observa en la tabla 8 y en la fig. 9, se puede observar una mayor frecuencia de enfermedades respiratorias en las zonas de estudio con un valor de 96 para la ciudadela Calderón y 92 para la ciudadela Uncovía, pues como se investigó la mayoría de tóxicos ambientales y en particular los suelos y polvos contaminados son inhalados e ingeridos mediante el aire contaminado, estos datos también sirven de respaldo para poder hacer los cálculos predictivos al aplicar las fórmulas para la evaluación de riesgos en particular para poder aplicar el valor constante de la tasa de ingesta suelos.



Tabla 9: Frecuencia de principales tóxicos presentes en zonas de estudio de acuerdo a encuestas.

¿En la zona que habita, cree Usted que exista alguno de los siguientes contaminantes?	CALDERON	UNCOVÍA
Metales pesados	99	58
Insecticidas	0	9
Gases tóxicos	100	65
Derivados del petróleo	97	16
Otros	4	0
Ninguno	1	5

Fuente: Autor

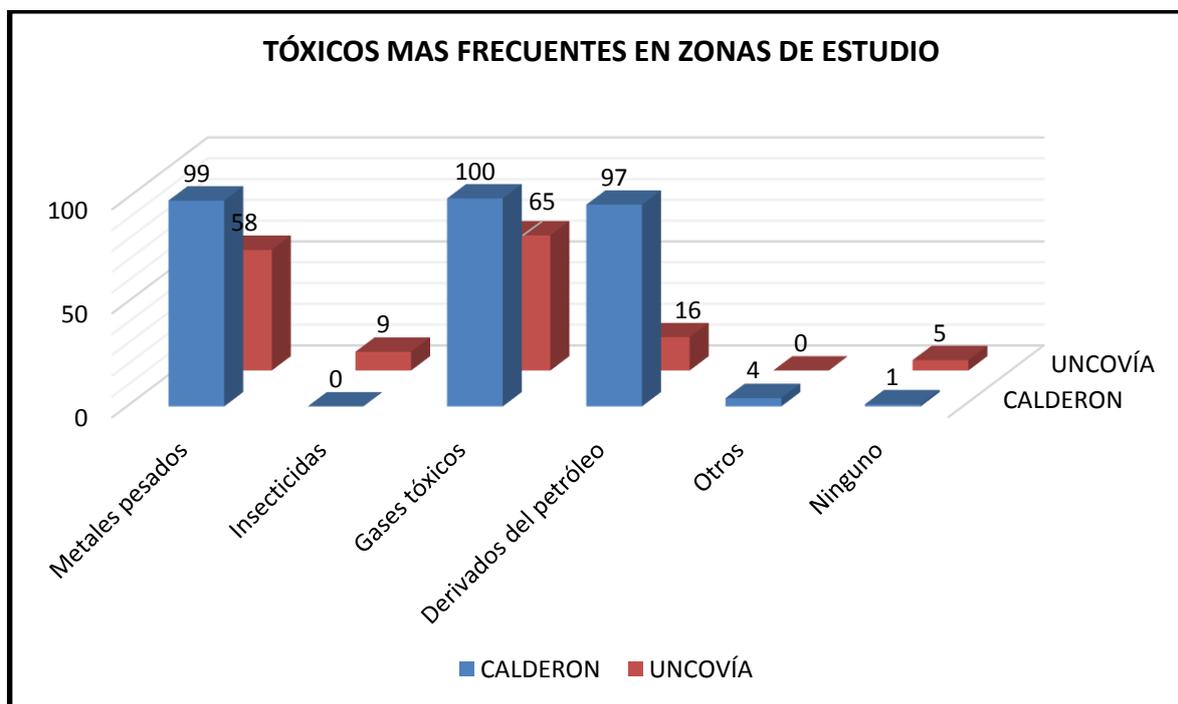


Figura 10: Frecuencia de principales tóxicos presentes en zonas de estudio de acuerdo a encuestas.

Fuente: Autor



En la tabla 9 y en la fig. 10, se puede observar una frecuencia de 99 para la presencia metales pesados, 100 para gases tóxicos y 97 para derivados del petróleo con respecto a la presencia de tóxicos en la Ciudadela Calderón, según lo indicado por los encuetados es un sector rodeado no solo de fábricas del parque industrial, también existen gasolineras cercanas, en cuanto al sector de la ciudadela Uncovía se observa una frecuencia de 65 para gases tóxicos y 58 para metales pesados.

Tabla 10: Ciudadela Calderón, tabulación cruzada para relacionar Contaminación con respecto a Salud, según encuesta aplicada.

			¿Ha sabido de casos particulares de contaminación que han afectado a la salud de la población que habita en el sector que Usted vive?		Total
			NO	SI	
¿Cerca de su domicilio existe contaminación?	NO	Recuento	2	0	2
		Recuento esperado	,3	1,7	2,0
	SI	Recuento	12	86	98
		Recuento esperado	13,7	84,3	98,0
Total	Recuento	14	86	100	
	Recuento esperado	14,0	86,0	100,0	

Fuente: Autor



Tabla 11: Ciudadela Calderón, resultados de la relación entre Contaminación y Salud, según encuesta aplicada. Prueba de Chi cuadrado.

	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Chi-cuadrado de Pearson	12,536 ^a	1	,000		
Corrección de continuidad ^b	6,307	1	,012		
Razón de verosimilitud	8,125	1	,004		
Prueba exacta de Fisher				,018	,018
Asociación lineal por lineal	12,411	1	,000		
N de casos válidos	100				

Fuente: Autor

Tabla 12: Ciudadela Uncovía, tabulación cruzada para relacionar Contaminación con respecto a Salud, según encuesta aplicada.

			¿Ha sabido de casos particulares de contaminación que han afectado a la salud de la población que habita en el sector que Usted vive?		Total
			NO	SI	
¿Cerca de su domicilio existe contaminación?	NO	Recuento	5	0	5
		Recuento esperado	2,2	2,9	5,0
	SI	Recuento	38	57	95
		Recuento esperado	40,9	54,2	95,0
Total	Recuento		43	57	100
	Recuento esperado		43,0	57,0	100,0

Fuente: Autor



Tabla 13: Ciudadela Uncovía, resultados de la relación entre Contaminación y Salud, según encuesta aplicada. Prueba de Chi cuadrado.

	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Chi-cuadrado de Pearson	6,977 ^a	1	,008		
Corrección de continuidad ^b	4,743	1	,029		
Razón de verosimilitud	8,791	1	,003		
Prueba exacta de Fisher				,013	,013
Asociación lineal por lineal	6,907	1	,009		
N de casos válidos	100				

Fuente: Autor

En las tablas 10,12, se observan los datos de la correlación entre el deterioro de la salud de la población con respecto a la contaminación existente en la zona según las encuestas aplicadas y en las tablas 11,13, se observan los resultados de la prueba del chi-cuadrado, para la Ciudadela Calderón con un valor de 0 y para la ciudadela Uncovía un valor de 0.008, estos valores son inferiores a 0.05, lo cual indica la correlación existente entre variables.



4.2 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CADMIO EN SUELOS DE ZONAS ESTUDIADAS.

Tabla 14: Concentraciones de plomo y cadmio en suelos de ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía.

ZONAS DE ESTUDIO	PLOMO mg/kg			CADMIO mg/kg		
	ANALISIS 1	ANALISIS 2	ANALISIS 3	ANALISIS 1	ANALISIS 2	ANALISIS 3
UNCOVÍA 1	38,02	37,28	39,66	0,97	0,9	1
UNCOVÍA 2	287,24	279,82	284,07	0,7	0,6	0,67
UNCOVÍA 3	34,08	34,5	32,63	1	1	0,9
UNCOVÍA 4	14,12	14,39	13,96	0,7	0,7	0,7
UNCOVÍA 5	20,96	21,73	20,9	0,5	0,5	0,5
CALDERÓN 1	22,3	22,18	21,99	0,6	0,6	0,6
CALDERÓN 2	22,85	23,19	23,2	0,4	0,43	0,46
CALDERÓN 3	58,34	58,68	59,35	0,5	0,5	0,5
CALDERÓN 4	55,73	57,31	55,18	0,63	0,66	0,7
CALDERÓN 5	27,56	28,4	27,08	0,4	0,4	0,4

Fuente: Autor

La tabla 14, contiene los resultados de las determinaciones de las concentraciones por triplicado realizadas a cada una de las cinco muestras de las zonas de estudio (ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía).



Tabla 15: Estadística descriptiva de las concentraciones de plomo (mg/kg), en suelos de la ciudadela Uncovía.

		UNCOVIA 1	UNCOVÍA 2	UNCOVÍA 3	UNCOVÍA 4	UNCOVÍA 5
N	Válido	3	3	3	3	3
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		38,3200	283,7100	33,7367	14,1567	21,1967
Mediana		38,0200	284,0700	34,0800	14,1200	20,9600
Moda		37,28 ^a	279,82 ^a	32,63 ^a	13,96 ^a	20,90 ^a
Desviación estándar		1,21803	3,72308	,98114	,21733	,46285
Varianza		1,484	13,861	,963	,047	,214
Mínimo		37,28	279,82	32,63	13,96	20,90
Máximo		39,66	287,24	34,50	14,39	21,73

Fuente: Autor

Tabla 16: Estadística descriptiva de las concentraciones de cadmio (mg/kg), en suelos de la ciudadela Uncovía.

		UNCOVÍA 1	UNCOVÍA 2	UNCOVÍA 3	UNCOVÍA 4	UNCOVÍA 5
N	Válido	3	3	3	3	3
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		,9567	,6567	,9667	,7000	,5000
Mediana		,9700	,6700	1,0000	,7000	,5000
Moda		,90 ^a	,60 ^a	1,00	,70	,50
Desviación estándar		,05132	,05132	,05774	,00000	,00000
Varianza		,003	,003	,003	,000	,000
Mínimo		,90	,60	,90	,70	,50
Máximo		1,00	,70	1,00	,70	,50

Fuente: Autor



Tabla 17: Estadística descriptiva de las concentraciones de plomo (mg/kg), en suelos de la ciudadela Abdón Calderón.

		CALDERON 1	CALDERON 2	CALDERON 3	CALDERON 4	CALDERON 5
N	Válido	3	3	3	3	3
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		22,1567	23,0800	58,7900	56,0733	27,6800
Mediana		22,1800	23,1900	58,6800	55,7300	27,5600
Moda		21,99 ^a	22,85 ^a	58,34 ^a	55,18 ^a	27,08 ^a
Desviación estándar		,15631	,19925	,51391	1,10573	,66813
Varianza		,024	,040	,264	1,223	,446
Mínimo		21,99	22,85	58,34	55,18	27,08
Máximo		22,30	23,20	59,35	57,31	28,40

Fuente: Autor

Tabla 18: Estadística descriptiva de las concentraciones de cadmio (mg/kg), en suelos de la ciudadela Abdón Calderón.

		CALDERON 1	CALDERON 2	CALDERON 3	CALDERON 4	CALDERON 5
N	Válido	3	3	3	3	3
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		,6000	,4300	,5000	,6633	,4000
Mediana		,6000	,4300	,5000	,6600	,4000
Moda		,60	,40 ^a	,50	,63 ^a	,40
Desviación estándar		,00000	,03000	,00000	,03512	,00000
Varianza		,000	,001	,000	,001	,000
Mínimo		,60	,40	,50	,63	,40
Máximo		,60	,46	,50	,70	,40
Suma		1,80	1,29	1,50	1,99	1,20

Fuente: Autor



En las tablas 15, 16, 17, 18, se observa la media, mediana, moda desviación estándar, varianza, mínimo, máximo y suma aplicados a las concentraciones de plomo y cadmio tanto de la ciudadela Calderón como de la ciudadela Uncovía, en todos los casos se observa que tanto la media, mediana y moda tienen valores similares, decimos que hay una distribución simétrica de los datos de las concentraciones, la varianza igual en todos los casos da valores de cero o muy pequeños, los valores máximos y mínimos para las muestra por triplicado son similares, esto corrobora la simetría de los valores, a excepción del caso de la muestra 2, de la ciudadela Uncovía para la determinación de plomo en la tabla 15, en donde si se observa una variación de los resultados.

Tabla 19: Promedios, Mínimos, Máximos de concentraciones de plomo y cadmio.

PROMEDIOS	PLOMO UNCOVÍA	PLOMO CALDERON	CADMIO UNCOVÍA	CADMIO CALDERON
CONCENTRACION	78,224	37,556	0,756	0,51866667
MINIMO	13,96	21,99	0,5	0,4
MAXIMO	287,24	59,35	1	0,7

Fuente: Autor

La tabla 19 contiene los resultados de los promedios de las concentraciones de plomo y cadmio, al determinar el mínimo y máximo se evidenció diferencias significativas en las concentraciones de plomo de los suelos de la ciudadela Uncovía, el resto de las muestras de suelo de las zonas investigadas, presentaron concentraciones bastante uniformes.



4.3 COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PLOMO Y CADMIO CON DISTANCIA

Tabla 20: Ciudadela Uncovía, relación de las concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.

DATOS	CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SUELO	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN SUELO	DISTANCIA CON RESPECTO ZONA INDUSTRIAL
UNCO 1	38,32	0,95666667	200
UNCO 2	283,71	0,65666667	300
UNCO 3	33,7366667	0,96666667	400
UNCO 4	14,1566667	0,7	500
UNCO 5	21,1966667	0,5	600

Fuente: Autor

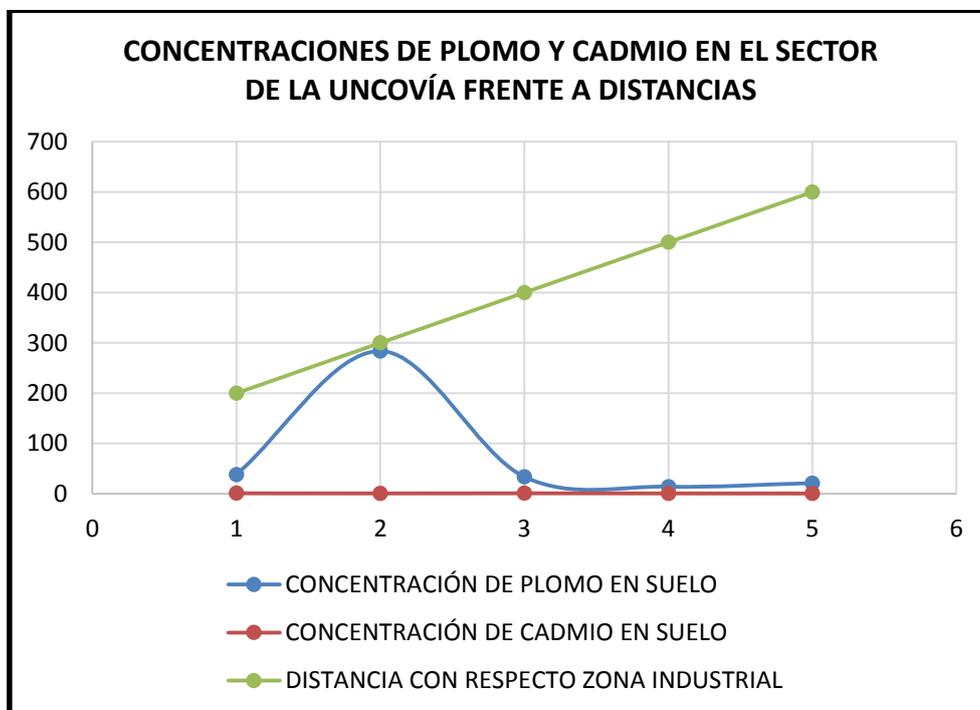


Figura 11: Ciudadela Uncovía, concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.

Fuente: Autor



Tabla 21: Ciudadela Abdón Calderón, relación de las concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.

DATOS	CONCENTRACIÓN DE PLOMO (mg/kg) EN SUELO	CONCENTRACIÓN DE CADMIO (mg/kg) EN SUELO	DISTANCIA (metros) CON RESPECTO ZONA INDUSTRIAL
CALDER 1	22,1566667	0,6	300
CALDER 2	23,08	0,43	400
CALDER 3	58,79	0,5	500
CALDER 4	56,0733333	0,66333333	600
CALDER 5	27,68	0,4	700

Fuente: Autor

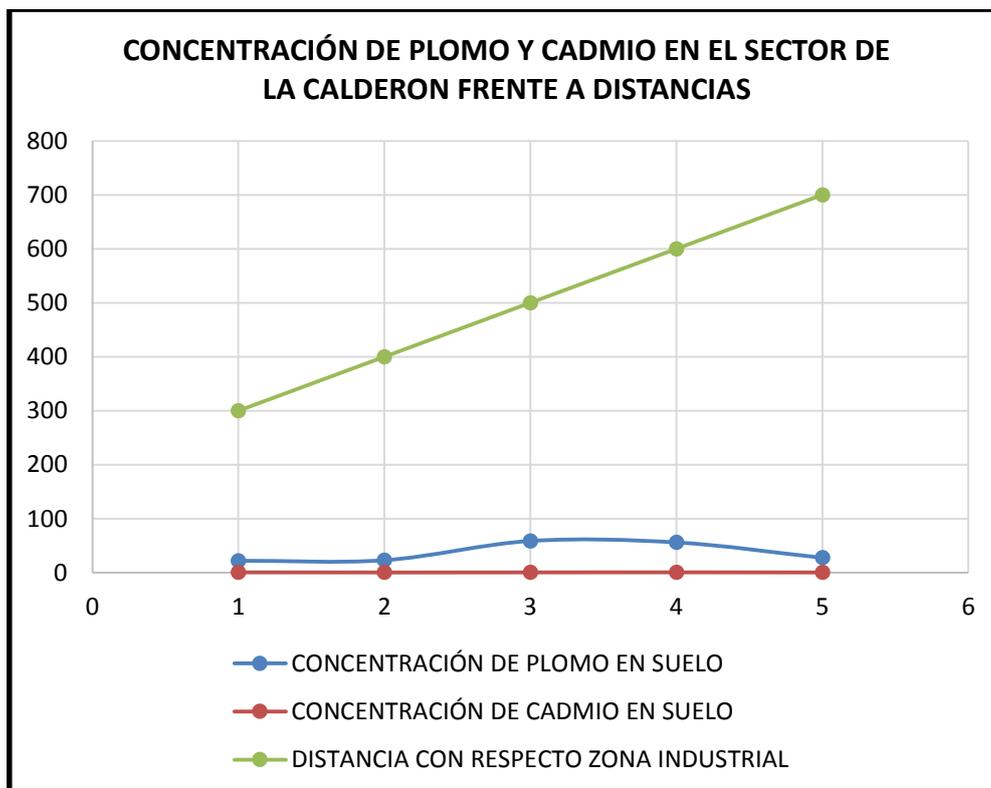


Figura 12: Ciudadela Uncovía, concentraciones de plomo y cadmio con respecto a las distancias.

Fuente: Autor



Interpretación: En las tablas 20 y 21 se colocan los resultados de los promedios de las concentraciones de plomo, cadmio con respecto a las distancias de recolección de las muestras en las zonas de estudio como son la ciudadela Abdón Calderón y ciudadela Uncovía, en las figuras 11 y 12 se observa que no existe relación entre ambas variables.

4.4 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPERMAN PARA COMPARAR CONCENTRACIÓN CON DISTANCIAS.

Sirve para comprobar la relación entre las variables antes citadas: concentración con respecto a las distancias de recolección de las muestras en las tablas 20 y 21 los resultados obtenidos fueron los siguientes:

VALOR DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Uncovía: Distancia vs concentración Cd

Rho: -0.5

Uncovía: Distancia vs concentración Pb

Rho: -0.8

Calderón: Distancia vs concentración Cd

Rho: -0.3

Calderón: Distancia vs concentración Pb

Rho: 0.6

VALOR DE P O SIGNIFICANCIA

Uncovía: Distancia vs concentración Cd

P: 0.391

Uncovía: Distancia vs concentración Pb

P: 0.104

Calderón: Distancia vs concentración Cd



P: 0.285

Calderón: Distancia vs concentración Pb

P: 0.624

Como se puede observar el valor de P es mayor a 0,05; se dice que no existe correlación entre la distancia con respecto a las concentraciones de plomo y cadmio encontradas en las zonas de estudio, además los valores de Rho oscilan entre -0.8 y 0.6 (inferiores a la unidad), esto corrobora que la relación es nula o inexistente.

4.5 COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PLOMO Y CADMIO CON NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES

Tabla 22: Concentraciones de plomo en las zonas de estudio y valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.

PLOMO UNCOVÍA mg/kg	PLOMO CALDERON mg/kg	PLOMO EPA (LIMITE MAXIMO PERMITIDO) mg/kg	PLOMO ECUADOR MINISTERIO AMBIENTE (LIMITE MAXIMO PERMITIDO EN SUELOS CALIDAD) mg/kg	PLOMO ECUADOR MINISTERIO AMBIENTE (LIMITE MAXIMO PERMITIDO EN SUELOS DE REMEDIACIÓN RESIDENCIALES) mg/kg
78,224	37,556	400	25	100

Fuente: Autor

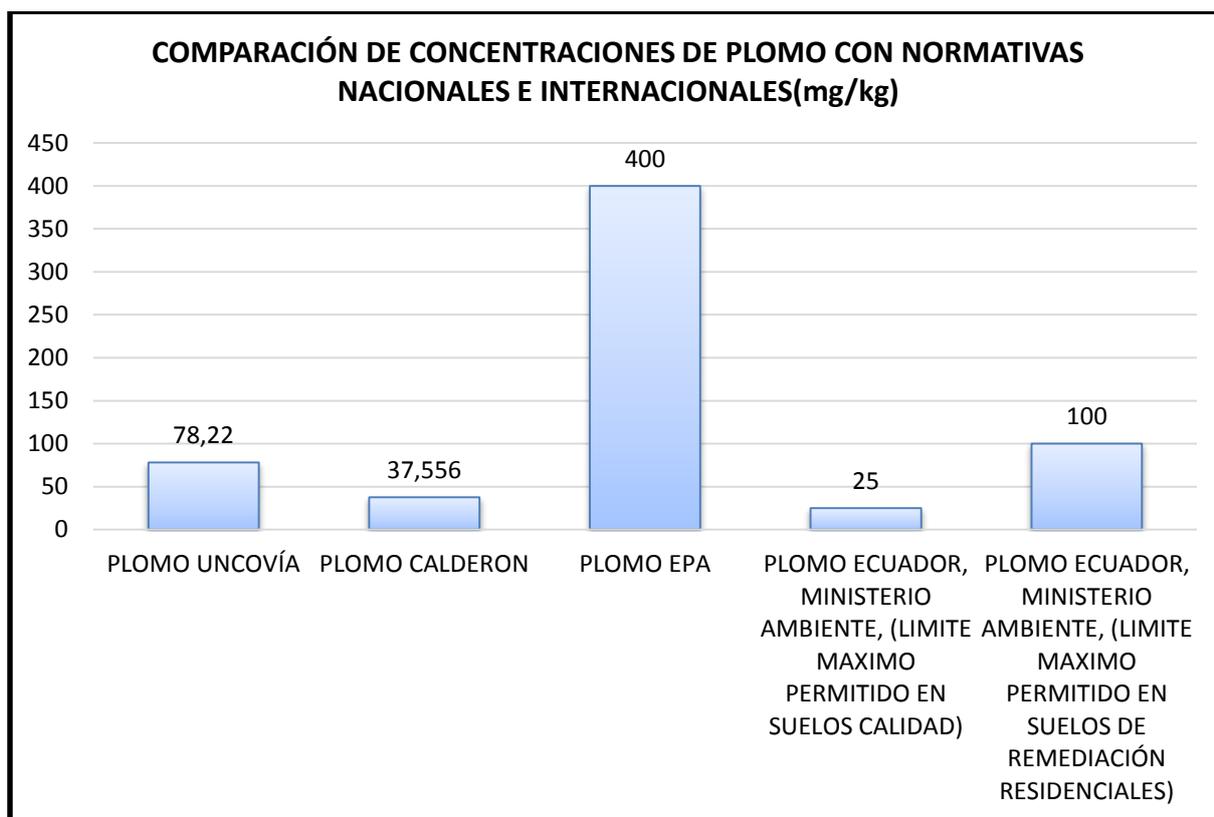


Figura 13: Comparación de valores promedio de plomo en zonas de estudio con valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.

Fuente: Autor

En la tabla 22 y en la fig. 13, se observa que de acuerdo al Ministerio de Ambiente del Ecuador el límite máximo permisible para la concentración de plomo en suelos de calidad es de 25 mg/kg de suelo y en suelos en remediación es de 100mg/kg de suelo, mientras que normativas internacionales como la EPA permiten hasta 400mg/kg de suelo; el valor promedio de las concentraciones de plomo de la ciudadela Calderón es de 37.56mg/kg de suelo y para la ciudadela Uncovía es de 78.22mg/kg, al comparar estos valores promedio de plomo de las zonas de estudio con el parámetro del Ministerio de Ambiente del Ecuador para suelos de calidad, no cumple, mientras que al comparar con el resto de parámetros indicados si se cumple.



Tabla 23: Concentraciones de cadmio en las zonas de estudio y valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.

CADMIO UNCOVÍA (mg/kg)	CADMIO CALDERON (mg/kg)	CADMIO Canadian Council of Ministers of the Environment, (LIMITE MAXIMO PERMITIDO EN SUELOS AGRICOLAS) (mg/kg)	CADMIO, ASTDR 1999 (mg/kg)	CADMIO ECUADOR, MINISTERIO AMBIENTE, (LIMITE MAXIMO PERMITIDO EN SUELOS CALIDAD) (mg/kg)	CADMIO ECUADOR, MINISTERIO AMBIENTE, (LIMITE MAXIMO PERMITIDO EN SUELOS DE REMEDIACIÓN RESIDENCIALES) (mg/kg)
0,76	0,52	1,4	0,025	0,5	2

Fuente: Autor

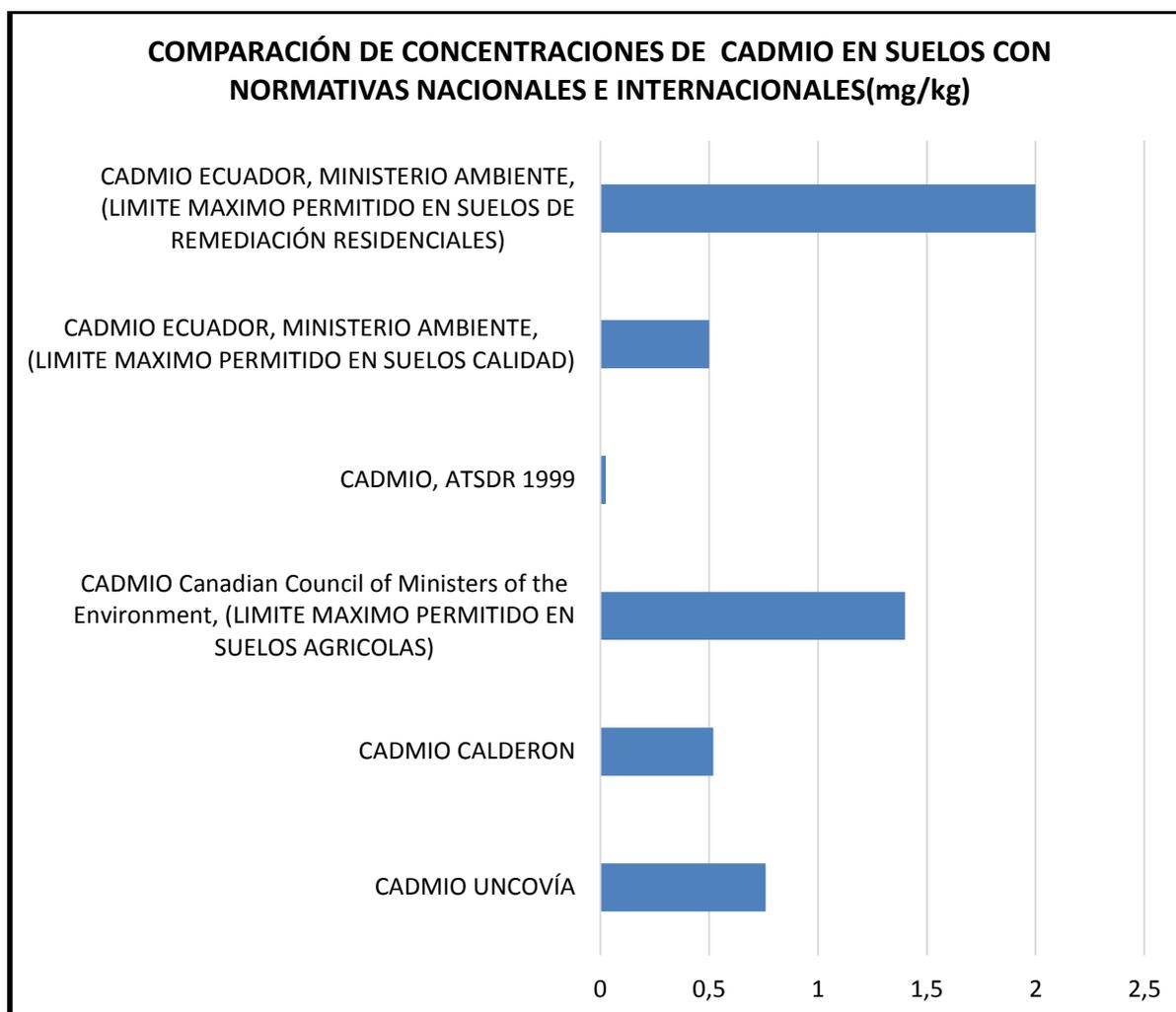


Figura 14: Comparación de valores promedio de cadmio en zonas de estudio con valores referenciales de normativas nacionales e internacionales.

Fuente: Autor

En la tabla 23 y en la fig. 14, Se observa que de acuerdo al Ministerio de Ambiente del Ecuador el límite máximo permisible para la concentración de Cadmio en suelos de calidad es de 0,5 mg/kg de suelo y en suelos en remediación es de 2mg/kg de suelo, mientras que normativas internacionales como Canadian Council of Ministers of the Environment permiten hasta 1.4mg/kg de suelo, ATSDR 1999 para cadmio permite 0.025mg/kg de suelo, al comparar los valores promedio de las concentraciones de Cadmio de la ciudadela calderón 0.5mg/kg de suelo y de 0.76 mg/kg de suelo para la ciudadela Uncovía con el parámetro ATSDR 1999 para cadmio, no cumple, mientras que al comparar con el resto de parámetros indicados si se cumple el límite máximo



permitido, a excepción de la concentración de cadmio en la ciudadela Uncovía que no cumple al comparar con la concentración de suelos de calidad del Ministerio de Ambiente del Ecuador.

4.6 EVALUACIÓN PARA MEDIOS AMBIENTALES (EMEG)

Tabla 24: Datos para el cálculo del EMEG (Guía de evaluación para medios ambientales)

	PLOMO ADULTOS	PLOMO NIÑOS	FUENTE INVESTIGAD A		CADMIO ADULTOS	CADMIO NIÑOS	FUENTE INVESTIGAD A
RFD: dosis de referencia (mg/kg/d)	0,006	0,006	FDA 1997	RFD (mg/kg/d)	0,001	0,001	según ATSDR 1999
PC: Peso corporal (kg)	70	25	Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997)	PC(kg)	70	25	Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997)
FACTOR AJUSTE(kg/d)	0,000001	0,000001	Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997)	FACTOR AJUSTE(kg/d)	0,000001	0,000001	Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997)
TI: Tasa de ingesta diaria admisible para suelos (mg/día)	50	350		TI (MG/DIA)	50	350	

Fuente: Autor



Tabla 25: Valores de EMEG (Guía de evaluación para medios ambientales) para el plomo y cadmio

EMEG PLOMO	EMEG CADMIO
NIÑOS: 428,57 mg/Kg	NIÑOS: 71,43 mg/Kg
ADULTOS: 8400 mg/Kg	ADULTOS: 1400 mg/Kg

Fuente: Autor

En la tabla 24 se exponen los valores obtenidos del EMEG (Guía de evaluación para medios ambientales), estos se calcularon según la fórmula expuesta anteriormente en el literal 3.4.2.4 de la evaluación del riesgo, empleando los valores de 0,006 mg/kg/día de ingesta de suelo con plomo (según FDA 1997), y 0.001mg/kg7día de ingesta de suelo con cadmio (según ATSDR 1999), como se observa al comparar las concentraciones obtenidas de plomo y cadmio en suelos de las zonas de estudio presentes en la tabla 19, ninguna excede la concentración del EMEG, por tanto están dentro de concentraciones seguras para la población expuesta, ello implica que no existe riesgo con respecto a este parámetro de calidad ambiental.

4.7 RIESGO TOXICOLÓGICO

Los datos expuestos se obtuvieron utilizando el programa Excel 2013, aplicando las fórmulas, con los valores referenciales citados en “3.7.3 EVALUACION DEL RIESGO” y con las concentraciones determinadas para plomo y cadmio en las muestras de suelo de las zonas investigadas. A continuación se detallan cada uno de los cálculos realizados:



4.7.1 DOSIS DE EXPOSICIÓN CALCULADAS (DE) mg/kg/d

Tabla 26: Dosis de Exposición (DE) calculadas para niños y adultos en mg/kg/día.

	NIÑOS		ADULTOS		
	PLOMO	CADMIO	PLOMO	CADMIO	ZONA
DE	0,00093853	8,9964E-06	4,7828E-05	4,59E-07	CIUDADELA UNCOVÍA
DE	0,00044692	6,1721E-06	2,2802E-05	3,149E-07	CIUDADELA CALDERON

Fuente: Autor

En esta tabla 26 se exponen los valores de DE, que es la dosis de exposición calculada con las concentraciones promedio del plomo y cadmio expuestas en la tabla 19 para cada zona de estudio.

4.7.2 INDICE DE PELIGRO

Tabla 27: Índice de peligro calculado para niños y adultos

IP (Pb) NIÑOS	IP (Cd) NIÑOS	IP (Pb) ADULTOS	IP (Cd) ADULTOS	ZONA
0,15514433	0,0089964	0,00791552	0,000459	CIUDADELA UNCOVÍA
0,074486	0,00617213	0,00380032	0,00031491	CIUDADELA CALDERON
0,006 (según FDA 1997)	0.001 (según ATSDR 1999)	0,006 (según FDA 1997)	0,001 (según ATSDR 1999)	DfR (mg/kg/día)

Fuente: Autor



En la tabla 27 se observan los valores de IP (índice de peligro), calculados a partir de las DE (dosis de exposición) del plomo y cadmio, para niños y adultos, estos valores denotan seguridad en las condiciones locales de exposición cuando resulta en un valor de uno o menor de uno, o sea, se está en o por debajo de la dosis establecida como límite seguro, que es la DfR (dosis de referencia). Al crecer el valor progresivamente sobre uno, significa que la exposición local está incrementándose a niveles peligrosos que cada vez aumentan la posibilidad de que aparezcan los efectos adversos en la población, pero en este caso los valores obtenidos son inferiores a la unidad y al valor de DfR, aunque para el caso del plomo, sobrepasan ligeramente los índices de peligros para niños valorados en ambos sectores tanto en la ciudadela Calderón como en la ciudadela Uncovía comparados con la DfR.

4.7.3 MARGEN DE EXPOSICIÓN

Tabla 28: Margen de Exposición (ME) calculado para niños y adultos

	ME (Pb) NIÑOS	ME (Cd) NIÑOS	ME (Pb) ADULTOS	ME (Cd) ADULTOS	ZONA
DE 1	268567,119	1111,55573	5263922,55	21786,4924	CIUDADELA UNCOVÍA
DE 2	73138,7647	840,336134	1433486,24	16470,6657	
DE 1	559389,236	1620,18622	10963998,6	31755,6088	CIUDADELA CALDERON
DE 2	353972,277	1200,48019	6937891,99	23529,4118	

Fuente: Autor

En la tabla 28, se exponen los valores del margen de exposición (ME), calculados para el plomo y cadmio tanto para niños como para adultos en las zonas de estudio, el ME (margen de exposición) es una imagen inversa a la del IP (índice de peligro), mientras más grande el valor del ME por encima de uno, más amplio es el margen de seguridad y menor la posibilidad de que aparezcan los efectos adversos en la población



expuesta, según los valores obtenidos del estudio se observa que sobrepasan el valor de uno, los cantidades elevadas indican un gran margen de seguridad para la población expuesta tanto en niños como en adultos.

4.7.4 RIESGO CANCERÍGENO DEL PLOMO

Tabla 29: Riesgo cancerígeno calculado para niños y adultos

RC (Pb) NIÑOS	RC (Pb) ADULTOS	RP(Pb)NIÑOS	RP(Pb) ADULTOS	ZONA
8E-06	4,0369E-07	2,194683220014	0,1119734845149	CIUDELA UNCOVÍA
4E-06	1,9382E-07	1,053684467964	0,0537595607901	CIUDELA CALDERON

Fuente: Autor

En la tabla 29 se exponen los valores del RC(riesgo cancerígeno), calculados para el plomo, para obtener este valor se necesita del FPC(factor potencial), este dato se dispone solo para el plomo según CalEPA, es de 0.0085 mg/kg/día, de acuerdo a los resultados obtenidos se sabe que el riesgo individual de padecer cáncer por exposición a este tóxico es muy pequeño tanto para adultos como para niños en las zonas de estudio, el riesgo poblacional se calculó basados en el dato poblacional de: 277.374 habitantes pertenecen a la zona urbana de la ciudad de Cuenca, en donde se encuentran las zonas investigadas. (Según Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos en el año 2010), el resultado para la ciudadela Uncovía en cuanto a niños se refiere, fue de 2.19 lo que indica que 2 niños de una población de 277 374 habitantes, van a padecer cáncer a causa de la exposición al plomo en suelo, en el caso de adultos 0.1 individuos con respecto a la misma población tienen el riesgo de padecer cáncer por exposición al plomo en suelo; para el caso de la ciudadela Calderón, 1 niño de cada 277374 habitantes va a contraer cáncer por exposición al plomo en suelo y para los adultos, 0,05 individuos van a padecer cáncer por exposición al plomo en suelos de las zonas de estudio.



El crecimiento industrial en nuestro país Ecuador, se da día a día y a pasos agigantados, actualmente con la fabricación de pinturas, plásticos, muebles y electrodomésticos, como las cocinas de inducción que el gobierno actual está fomentando, todo ello demuestra la necesidad de realizar estudios cada vez más frecuentes sobre la calidad ambiental; como resultado de la industrialización se emanan productos que resultan ser dañinos y afectan al ecosistema. La industrialización es positiva cuando implica el desarrollo de un país, nación, continente; sin embargo este desarrollo está íntimamente ligado a la contaminación ambiental, ya que el capitalismo imperante especialmente en potencias económicas y la demanda creciente hacen que se pierda el equilibrio entre el desarrollo industrial y la cantidad de contaminantes producidos, en este sentido el desarrollo industrial resulta negativo en cuanto a calidad de vida y secuela ambiental.



CONCLUSIONES

Mediante la presente investigación se determinaron las concentraciones de plomo y cadmio en las muestras de suelos de las dos zonas de estudio como son la ciudadela Abdón Calderón y la ciudadela Uncovía, sectores aledaños al parque industrial de la ciudad de Cuenca.

Los valores promedio obtenidos de los metales pesados investigados, sobrepasaron ligeramente los límites máximos permitidos según la norma nacional del Ministerio de Ambiente del Ecuador, para suelos de calidad; al comparar con los parámetros para suelos de remediación están dentro de lo permitido; se realizaron también comparaciones con los límites máximos permisibles establecidos por normativas internacionales como la EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos) y Cal/EPA (California Environmental Protection Agency), observándose que los valores están dentro del margen autorizado.

Se evaluó el riesgo toxicológico a partir de las concentraciones de los metales pesados investigados en muestras de suelo, tanto para la población de niños como de adultos que habitan las zonas investigadas, para ello se determinaron los valores de DE (dosis de exposición) del plomo y cadmio los cuales están en o por debajo de las dosis establecidas como límite seguro, que es la DfR (dosis de referencia), esto sugiere condiciones locales seguras de exposición; los IP (índices de peligro) calculados para el Cadmio, indican que no hay riesgo en cuanto a este parámetro, pero para el caso del plomo, sobrepasa ligeramente los índices de peligros valorados para niños en ambos sectores, indicando riesgo mínimo. El margen de exposición (ME), calculado para el plomo y cadmio en niños y adultos en ambas zonas de estudio, muestra la existencia de un buen margen de seguridad. Los valores del RC (riesgo cancerígeno) individual y el riesgo poblacional calculados únicamente para el plomo son pequeños, sin embargo el riesgo está presente para la población expuesta.

Al correlacionar los resultados de las concentraciones de Pb y Cd en las zonas de estudio, las encuestas aplicadas y los valores obtenidos de los parámetros calculados para la evaluación del riesgo, todos estos datos sugieren riesgo toxicológico mínimo para la población infantil en particular haciendo referencia a la presencia de plomo.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Montiel & Blanco. (2001). Métodos de optimización de muestreo en los estudios de las propiedades físicas del suelo. *Edafología*, 51-59.
- Adriano, D. C. (2001). *Ecological and Health Risks of Metals. Trace Elements in the Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals*. New York: Springer-Verlag. 2nd Edition.
- AEMA. (2002). *Uso sostenible del agua en Europa*. Madrid : Ministerio de Medio Ambiente.
- AEMA-PNUMA. (2002). *Junta de Andalucía*. Obtenido de Consejería de Medio Ambiente: <http://www.pnuma.org/agua-miaac/SUBREGIONAL%20MESO/MATERIAL%20ADICIONAL/BIBLIOGRAFIA-WEBCGRAFIA/Modulo%20%20Herramientas%20claves%20para%20el%20MIAAC/Indicadores/Doc%20.%20Indicadores%20climatico%20Andalucia.pdf>
- Alloway, B. J. (1995). Heavy Metals in Soils. *Blackie Academic Professional*, 368.
- ATSDR. (1992). Evaluación de riesgos en salud por la exposición a residuos Peligrosos. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (Manual). Atlanta*.
- ATSDR. (1999). Toxicological Profile for Cadmium. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public health statement for cadmium*, 434.
- ATSDR. (2007). *Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public health statement for Plomo*.
- Buitron, B. (2006). *Exposición a plomo en el Ecuador. Ministerio de Salud Pública del Ecuador*. Quito.
- Carroll, C. & Essick, P. (2008). Basura Tecnológica. *National Geographic*, 2-25.



- CEPIS/OPS. (2005). *Curso de Autoinstrucción*. Obtenido de Evaluación de Riesgo asociado a Contaminantes de Aire: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_riesgoaire/lecciones/leccion2d.html
- Comisión Europea. (2015). *Relativa a la aceptación de la enmienda del Protocolo de 1998 del Convenio de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia en materia de metales pesados*. Obtenido de file:///C:/Users/HP-COMPAQ/Downloads/1_ES_ACT_part1_v4%20(1).pdf
- Díaz Barriga, F. (1999). Metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados. *OPS/CEPIS/PUB/99.34*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Mundial de la Salud., 96 P.
- Dorne, L., Bordajandi, B., Amzal, P., & Ferrari, P. (2009). Combining analytical techniques, exposure assessment and biological effects for risk assessment of chemicals in food. *Elsevier Ireland Ltd*.
- Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por sales solubles*. Obtenido de Tecnología de Suelos.Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/medida.htm>
- EFSA, E. F. (2010). EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific Opinion on Lead in Food (CONTAM). *The EFSA Journal*, 8 (4), pp: 1.570.
- EFSA, E. F. (2011). *Declaración sobre la ingesta semanal tolerable de cadmio*. Obtenido de The EFSA Journal: <http://www.efsa.europa.eu/en/publications/efsajournal.htm>
- EFSA, E. F. (2012). *Informe científico de EFSA sobre la exposición de cadmio a través de la dieta en la población Europea*. Obtenido de Gobierno de España. Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad. Aecosan: http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/web/punto_focal_efsa/detalle/exposicion_cadmio.shtml



- EPA. (1994). Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, N.C. *Guidance Manual for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children. Technical Review Workgroup for Lead. Office of Emergency and Remedial Response. U.S.*
- ETAPA. (2002). *Determinaciones para el Uso y Ocupación del Suelo Urbano*. Obtenido de Etapa. net: http://www.etapa.net.ec/AGUA/AMRA/ETAPA-EP/.../Ordenanza_word1.doc
- FAO/OMS. (2007). *Análisis de riesgos relativos a la inocuidad de los alimentos. Guía para las autoridades nacionales de inocuidad de los alimentos*. Obtenido de Estudio FAO: Alimentación y nutrición N° 87 : <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0822s/a0822s.pdf>
- FDA. (1997). Código de alimentos, Recomendaciones del Servicio de Salud Pública de EE.UU. Publicación del Servicio Nacional de Información Técnica PB97-133656. *Administración de Medicamentos y Alimentos*.
- Foulkes, C. E. (1986). *La absorción de cadmio. Manual de Farmacología Experimental*. Berlín: Ed. Springer Verlag.
- Gallagher, C.M., Chenn, J.J. & Kovach, J.S. (2010). Environmental cadmium and breast cancer risk. *Aging (Albany NY)*, 804-814.
- García I. & Dorronsoro C. (2002). *Contaminación de suelo. Edafología. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada*. España: Granada. Obtenido de Edafología. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de granada: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100005
- García Nieto, Edelmira., Carrizales Yáñez, Leticia., Juárez Santacruz, Libertad., García Gallegos, Elizabeth., Hernández Acosta, Elizabeth., Briones Corona, Elia. & Vásquez Cuecuecha, Oscar G. (2011). Plomo y arsénico en la subcuenca del Alto Atoyac en Tlaxca. *Revista Chipingo*, 7-17.



- García, I., Díez, M., Martín, F., Simón, M. & Dorronsoro, C. (2009). *Mobility of Arsenic and Heavy Metals in a Sandy-Loam Textured and Carbonated Soil*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~fjmartin/TRABAJOS%20PUBLICADOS%20PDF/Pedosphere%202009.pdf>
- García, M., Molina, E., Terry, C., Borroto, R. & Fernández, N. (1995). Aspectos metodológicos de la evaluación de riesgos para la salud por exposición a desechos peligrosos. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 34(2): 114-8.
- Gisbert Calabiug, J. A. (2001). *Medicina Legal y Toxicología*. Barcelona: Masson Editores.
- González Julia, Alfaro Gonzalo, Arriagada María Paz, Castillo Carmen, Muñoz Verónica, Espina Juan Pablo & Aranda Waldo. (2006). Exposición Ocupacional al plomo y cadmio en personal de salud; Volumen 10 (3). *Revista Chilena de Salud Pública*, 139-145.
- Google earth. (2015). Obtenido de (<https://earth.google.es/>)
- Hernández, Fernández & Baptista. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-hill. Interamericana. Cuarta Edición.
- IARC, I. A. (1993). Cadmium and cadmium compounds. In Beryllium, Cadmium, Mercury and Exposures in the. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans*, 119-239.
- Ihobe, G. (2008). *Seguridad para la investigación y recuperación de suelos contaminados*. Obtenido de GUÍA TÉCNICA DE IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS PREVENTIVAS CONTRA LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO: <http://www.ihobe.eus/Publicaciones/ficha.aspx?IdMenu=750e07f4-11a4-40da-840c-0590b91bc032&Cod=859ff665-2868-4236-bf4e-2f44fec0fa51&Idioma=es-ES&Tipo=>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de Resultados del censo 2010: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>



- IRIS. (1987). *Sistema de Información Integral de Riesgos*. Obtenido de Cadmio (Número CAS 7440-43-9): <http://www.epa.gov/iris/subst/0141.htm>
- Kabata Pendias, A. & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils*. London, New York: Boca Ratón. 3ra edición.
- Landrigan P.J., Schechter C.B., Lipton J.M., Fahs M.C. & Schwartz J. (2002). Environmental pollutants and disease in American children: Estimates of morbidity, mortality, and costs for lead poisoning, asthma, cancer, and developmental disabilities. *Environmental Health Perspectives*, 721-728.
- Loghman, A. (1997). Renal effects of environmental and occupational lead exposure. *Environmental Health Perspectives*., 928 – 938.
- Madhavan, S., Rosenman, K. D. & Shethata, T. (1989). Lead in soil: Recommended maximum permissible levels. *Environ. Res*, 49. 136-142.
- Mancilla Villa Óscar R., Ortega Escobar Héctor M., Ramírez Ayala Carlos, Uscanga Mortera Ebandro, Ramos Bello Rosalía & Reyes Ortigoza Amada L. (2012). *Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México*. Obtenido de Revista internacional de contaminación ambiental: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992012000100004&script=sci_arttext
- Martínez, S. (2005). *La Contaminación del Suelo*. Obtenido de La Contaminación del suelo: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11036/Tasm03de16.pdf;jsessionid=5244C32E201766269B7600E20C724F98.tdx1?sequence=3>
- Martínez, Samanta A.; Cancela, Liliana M. & Virgolini, Miriam B. (2011). *El estrés oxidativo como mecanismo de acción del plomo: Implicancias terapéuticas*. Obtenido de Acta toxicol. argent. (online): http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432011000200002&lng=es&nrm=iso. ISSN 1851-3743



- Ministerio del Ambiente, 2003. (2003). *TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, PARTE I, Norma: Decreto Ejecutivo # 3516*. Quito: Registro Oficial Suplemento # 2.
- Nagel, C. (2015). *El mundo Físico. Atlas Mundial Clarin*. Argentina: Troquel Geografía Argentina. Obtenido de El mundo físico.
- Needleman, H.L., McFarland, C., Ness, R.B., Fienberg, S.E. & Tobin, M.J. (2002). Bone lead levels in adjudicated delinquents. A case control study. *Neurotoxicol Teratol*. CrossRefMedlineWeb of Science. *Neurotoxicol Teratol*, 711-717.
- Newman M.C. & Jagoe C.H. (1996). *Ecotoxicology*. Florida: Boca Ratón 411pag.
- Newman M.C. & Unger M.A. (2003). *Fundamentals of Ecotoxicology, 2nd edn. Boca Raton, FL: Lewis/CRC Press*. Florida: Boca Ratón, 2da edic.
- Norma de calidad ambiental, R. s. (2003). *Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*. Republica del Ecuador: Libro VI, anexo 2.
- NTE INEN 0687. (s.f.). *Mecánica de suelos. Toma de muestras*. Obtenido de normas INEN: <http://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0687.1982.pdf>
- NTE INEN-ISO 10381-4. (2014). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de Normas Técnicas Ecuatorianas: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/EAL/nte_inen_iso_10381_4extracto.pdf
- Olivares, S., Lima, L., De La Rosa, D. , Enríquez, I., Saborit, I., García, D., Rodríguez, Ma. & Romero, P. (2009). *Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en vegetales cultivados en la cercanía del aterradero de calle 100*. La Habana: CITMA.



- Orellana, J. (2005). *Contaminación*. Obtenido de Ingeniería Sanitaria: http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_02_Contaminacion.pdf
- PNUMA. (2010). *Análisis del flujo del comercio y revisión de*. Obtenido de Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish_and_English.pdf
- Prieto, G., Lawrence J. & Beroza G. (2009). *Journal of geophysical research, Vol. 114*. Obtenido de Anelastic Earth structure from the coherency of the ambient seismic field: http://www.mit.edu/~gprieto/pubs/gprieto_09.pdf
- Puga Soraya, Sosa Manuel, Lebgue Toutcha, Quintana Cesar & Campos Alfredo. (2006). *Ecología Aplicada*. Obtenido de Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>
- Ramos Gómez, M. (2012). Movilidad de metales en jales procedentes del distrito minero de Guanajuato. México. *Rev. Int. Contam. Ambient [online]*, vol.28, n.1, pp. 49-59. ISSN 0188-4999.
- Repetto Jiménez, M. &. (2009). *Toxicología Fundamental*. España: Díaz de Santos. Cuarta Edición.
- Ruiz Jiménez, J., Luque García, M.D. & Luque de Castro. (2003). Dynamic ultrasound-assisted extraction of cadmium and lead from plants prior to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Elsevier*, 231-237.
- Sabroso González, M^a del Carmen & Pastor Eixarch, Ana. (2004). *Guía sobre contaminación de suelos*. Obtenido de conectapyme.com: http://www.conectapyme.com/files/medio/guia_suelos_contaminados.pdf



- Satarug, S., Garrett, S., Sens, M. & Sens, D. (2010). Cadmium, environmental exposure and health outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 182-190.
- Schutte, R., Nawrot, T., Richart, T., Thijs, L., Roels, H.A. & Van Bortel, L.M. (2008). Estructura y función arterial y la exposición ambiental cadmio. *Occup Environ Med.*, 412–419.
- Seoanez Calvo, M. (2000). *Residuos: Problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Suárez, M. O. (2012). *Interaprendizaje de estadística básica*. Ibarra: Coordinación de publicación: Universidad Técnica del Norte.
- Tchernitchin, A., Olivares, F., Aranda, C., Bustamante, R., Gaete, L., Ferrada, k., Villagra, R., Vera, J., Iturbe, R.J., Kim, Yoon A., Hernández, N., Bizjak, T. & Novsak, S. (7 de Marzo de 2008). *Efectos de exposición aguda a cadmio en la acción de estrógenos en útero de rata impúber*. Obtenido de Revista chilena de pediatría, 79(4), 373-380: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062008000400004&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0370-41062008000400004.
- Valdivia Infantas, M. M. (2005). *Intoxicación por Plomo*. Obtenido de Rev. Soc. Per. Med. Inter.: http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf
- Yáñez, L., Calderón, J., Carrisalez, L. & Díaz-Barriga, F. (1997). Evaluación del riesgo en sitios contaminados con plomo aplicando un modelo de exposición integral (IEUBK). *Evaluación de riesgos para la salud en la población expuesta a metales en Bolivia*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud OPS/OMS, A-1 a A-17.
- Zagal, E. & Sadzawka, A. (2007). *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*. Obtenido de http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/4_jornada/Protocolos_suelos%20y_lodos_Sadzawka.pdf



- Zalidis, G. C. (2002). *Restoration of Mediterranean Wetlands. Hellenic Ministry of the Environment, Physical Planning and Public Works*. Greece: Athens & Greek Biotope.



ANEXOS

Anexo 1: Modelo de la encuesta aplicada a los pobladores de las zonas investigadas:

ENCUESTAS NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DE TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL: “EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO DE PLOMO Y CADMIO EN SUELOS DEL ENTORNO DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA”.

NOMBRE:..... EDAD:.....

SEXO:.....

1. ¿Ha escuchado hablar sobre la contaminación ambiental?

NADA..... POCO..... REGULAR..... MUCHO.....

2. ¿Cuánta contaminación cree Usted que existe en la zona en la que vive?

NADA..... POCO..... REGULAR..... MUCHO.....

3. ¿Tiempo que vive en la zona?

DE 1 A 5 AÑOS..... DE 5 A 10 AÑOS..... DE 10 A 20 AÑOS..... MAS DE 20 AÑOS.....

4. ¿Cerca de su domicilio existe contaminación?

SI.....NO.....

En caso de ser positiva su respuesta mencione como se genera esa contaminación:.....

.....

5. ¿Ha sabido de casos particulares de contaminación que han afectado a la salud de la población que habita en el sector que Usted vive?

SI..... NO.....

En caso de ser positiva su respuesta mencione cuales son los casos particulares que Usted tiene conocimiento:.....

.....



6. ¿Cuál de las siguientes enfermedades ha padecido con mayor frecuencia durante su tiempo de permanencia en la zona?

ENFERMEDADES	MARQUE CON UNA X
RESPIRATORIAS	
DIGESTIVAS	
AUDITIVAS	
DERMATOLÓGICAS	
OTRAS INDIQUE CUAL	
NINGUNA	

7. ¿Indique cual o cuales de las siguientes afecciones cree Usted que son consecuencia de la contaminación?

ENFERMEDADES	MARQUE CON UNA X
RESPIRATORIAS	
DIGESTIVAS	
AUDITIVAS	
DERMATOLÓGICAS	
CÁNCER	
NINGUNA	

8. En la zona que habita, cree Usted que exista alguno de los siguientes contaminantes. Marque con una x en el espacio correspondiente:

CONTAMINANTE	MARQUE CON UNA X
Metales pesados	
Insecticidas	
Gases tóxicos	
Derivados del petróleo	
Otros	
Ninguno	

9. ¿Usted cree que existen riesgos para la salud de las personas, habitar en sectores cercanos a zonas industriales?

SI..... NO.....

10. ¿Usted cree que existe preocupación por parte de las autoridades pertinentes sobre el riesgo de contaminación ambiental y los efectos adversos para la salud de las personas que habitan junto a zonas industriales?

SI..... NO.....



Anexo 2: Tabla de datos de la población total encuestada por edades y sexo.

ENCUESTAS CALDERON		ENCUESTAS UNCOVÍA	
EDADES:	SEXO	EDADES:	SEXO
14	F	14	M
15	F	14	F
18	M	15	M
18	F	15	F
19	F	15	F
20	F	15	M
20	M	16	F
20	F	17	F
20	F	17	F
21	F	17	M
22	F	17	F
22	M	17	F
23	M	17	F
24	M	18	F
24	F	18	M
24	F	19	M
24	F	19	F
26	F	20	F
26	M	20	F
28	M	20	F
28	F	20	F
28	F	20	M
29	M	21	M
30	M	22	M
30	F	22	M
30	F	22	F
31	F	22	M
32	F	22	F
32	M	22	M
33	M	22	F
34	F	23	F
34	M	23	F
34	F	23	M
35	M	24	F
35	M	24	M
35	F	25	M
36	M	26	M
36	M	26	M
38	M	27	F
38	M	27	F
39	F	27	F
39	F	27	F
40	F	29	M



42	F	30	F
42	M	30	F
44	F	30	F
44	F	31	F
44	M	32	F
46	F	33	F
47	M	35	F
47	F	35	M
48	F	35	F
48	M	35	F
49	M	36	F
50	F	36	M
51	F	37	F
51	F	37	F
51	F	38	M
52	F	39	F
52	F	40	F
52	F	40	F
53	F	40	F
54	F	41	M
54	M	41	F
54	F	41	M
55	M	44	M
56	M	45	F
57	M	45	M
59	M	45	F
60	F	46	F
60	F	47	F
60	F	48	F
60	M	48	F
61	F	48	F
61	F	48	M
62	F	48	F
62	M	49	M
63	F	49	M
63	M	49	M
63	M	49	M
63	F	50	M
64	M	50	F
66	F	51	F
66	M	52	F
68	F	52	M
68	F	55	F
69	F	55	M
70	F	55	M
71	M	57	FF
74	F	59	M
75	F	60	F



77	F	60	M
77	F	62	F
80	F	63	M
80	F	65	F
80	F	66	M
82	M	70	F
84	F	71	F
84	M	72	M
87	M	76	F



Anexo 3: Tabla de datos para el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman entre dos variables: distancia vs concentración de plomo y cadmio de la ciudadela Abdón Calderón y Ciudadela Uncovía.

			Correlaciones					
			DISTANCI AUNV	CDUN V	PBUN V	PBCA L	CDCA L	DISTANIC ACAL
Rho de Spearman	DISTANCIA UNV	Coeficiente de correlación	1,000	-,500	-,800	,600	-,300	1,000**
		Sig. (bilateral)	.	,391	,104	,285	,624	.
		N	5	5	5	5	5	5
	CDUNV	Coeficiente de correlación	-,500	1,000	,100	,300	,600	-,500
		Sig. (bilateral)	,391	.	,873	,624	,285	,391
		N	5	5	5	5	5	5
	PBUNV	Coeficiente de correlación	-,800	,100	1,000	-,600	-,300	-,800
		Sig. (bilateral)	,104	,873	.	,285	,624	,104
		N	5	5	5	5	5	5
	PBCAL	Coeficiente de correlación	,600	,300	-,600	1,000	,100	,600
		Sig. (bilateral)	,285	,624	,285	.	,873	,285
		N	5	5	5	5	5	5
	CDCAL	Coeficiente de correlación	-,300	,600	-,300	,100	1,000	-,300
		Sig. (bilateral)	,624	,285	,624	,873	.	,624
		N	5	5	5	5	5	5
	DISTANICA CAL	Coeficiente de correlación	1,000**	-,500	-,800	,600	-,300	1,000
		Sig. (bilateral)	.	,391	,104	,285	,624	.
		N	5	5	5	5	5	5



Anexo 4: Imagen del reporte de resultados del laboratorio CESEMIN de las concentraciones de plomo y cadmio en las muestras de suelo de las zonas investigadas.

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Metales y No Metales UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	N° RMG-350-359 Hoja 1 de 1
---	------------------------------	-------------------------------

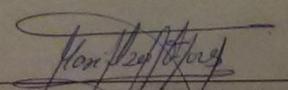
CLIENTE: MARÍA DE LOS ÁNGELES TELLO
MUESTRAS: SUELO (10)
FECHA: 2014-09-05

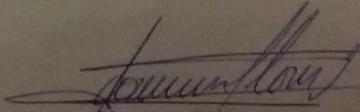
ANÁLISIS QUÍMICO

MUESTRA	PLOMO mg/Kg			CADMIO mg/Kg		
	A	B	C	A	B	C
UNCOVÍA C1	38,02	37,28	39,66	0,97	0,90	1,00
UNCOVÍA C2	287,24	279,82	284,07	0,70	0,60	0,67
UNCOVÍA C3	34,08	34,50	32,63	1,00	1,00	0,90
UNCOVÍA C4	14,12	14,39	13,96	0,70	0,70	0,70
UNCOVÍA C5	20,96	21,73	20,90	0,50	0,50	0,50
CALDERÓN C1	22,30	22,18	21,99	0,60	0,60	0,60
CALDERÓN C2	22,85	23,19	23,20	0,40	0,43	0,46
CALDERÓN C3	58,34	58,68	59,35	0,50	0,50	0,50
CALDERÓN C4	55,73	57,31	55,18	0,63	0,66	0,70
CALDERÓN C5	27,56	28,40	27,08	0,40	0,40	0,40

OBSERVACIONES:

- Método: Digestión Ácida y Absorción Atómica
- Fecha de recepción de muestra: 2014-07-15


 Responsable Area Metales


 Director CESEMIN

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01 Universidad de Cuenca, sector Balzain - Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador
<http://www.ucuenca.edu.ec/cesemin/>

