



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

**Evaluación de riesgos a la salud por exposición a suelo agrícola con
metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) en Carapongo, Lurigancho -
Chosica**

TESIS

Para optar el grado académico de Maestra en Ecología y Gestión Ambiental

AUTOR

Bachiller Olortegui Cristobal, Denisse Sofia

(ORCID: 0000.0001.5949.9879)

ASESOR

Doctor Vásquez Perdomo, Fernando

(ORCID: 0000.0002.0537.447X)

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de autor

Olortegui Cristobal, Denisse Sofia

Tipo de documento de identidad del AUTOR: DNI

Número de documento de identidad del AUTOR: 45744336

Datos de asesor

Doctor Vásquez Perdomo, Fernando

Tipo de documento de identidad del ASESOR: DNI

Número de documento de identidad del ASESOR: 07287415

Datos del jurado

JURADO 1: Doctora Sotomayor Cabrera, Arístides, DNI N°06242869, ORCID 0000-0001-9488-860X

JURADO 2: Doctora Yabar Torres, Guisela, DNI N°10473562, ORCID 0000-0001-5454-9187

JURADO 3: Magister Ugarte Alván, Carlos Alfredo, DNI N°10473562, ORCID 0000-0001-6017-1192

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 521197

Código del Programa: 1.06.13

Página del Jurado

Doctora Sotomayor Cabrera, Arístides
Presidente

Doctora Yabar Torres, Guisela
Miembro

Magister Ugarte Alván, Carlos Alfredo
Miembro

Doctor Vásquez Perdomo, Fernando
Asesor

*A mis hermanas Yta y Edith por ser mi
mayor ejemplo de empoderamiento,
fortaleza, perseverancia e inteligencia.
Gracias por siempre acompañar mis pasos
desde pequeña y mostrarme el camino hacia
una vida plena y mejor.*

Sofía Olórtegui

Agradecimientos

- A mi novio Christopher, por ser mi contención en momentos difíciles y el más entusiasmado con mis logros. Gracias por motivarme siempre a ser la mejor.
- A mis amados padres Miguel y María, y a mis hermanos que me han acompañado siempre y comparten la alegría de esta meta cumplida a pesar de todas las adversidades que se nos han presentado en el camino.
- A mi amiga Erminia, por su amistad sincera a través de los años y por ser mi máximo ejemplo de resiliencia en la vida.
- A mi asesor de tesis, el Dr. Fernando Vásquez Perdomo por su apoyo, motivación y confianza desde el primer ciclo de la maestría para desarrollar la investigación.
- A la señora Aida Gamarra, representante de la Asociación de pequeños agricultores de Carapongo “Sembrando esperanza” por su predisposición y facilidades brindados para el desarrollo de las actividades de muestreo.
- A los profesionales, el Dr. Moisés García, Ing. Franco Fernández, Qf. Fernando Villa, por su colaboración y participación en el acápite de la entrevista a expertos.

TABLA DE CONTENIDO

Página del Jurado	iii
Agradecimientos	v
TABLA DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del Problema	3
1.2 Formulación del Problema de Investigación	5
a. Problema general:.....	5
b. Problemas específicos:.....	5
1.3 Importancia y justificación del Estudio.....	5
1.3.1 Importancia teórico científica	5
1.3.2 Importancia metodológica	6
1.3.3 Importancia empírica	7
1.3.4 Importancia ambiental.....	7
1.4 Delimitación del Estudio.....	8
1.4.1 Delimitación espacial	8
1.5 Objetivos de la Investigación	9
a. Objetivo general	9
b. Objetivos específicos	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	10

2.1	Marco histórico	10
2.2	Investigaciones relacionadas con el tema.....	13
2.3	Estructura teórica y científica general.....	20
2.4	Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	28
2.4.1	Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola.....	29
2.4.2	Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo	32
2.5	Definición de términos básicos de variables e indicadores.....	36
2.6	Fundamentos teóricos	37
2.6.1	Toxicología del arsénico	37
2.6.2	Toxicología del cadmio	43
2.6.3	Toxicología del plomo	48
2.6.4	Metodología de la evaluación de riesgos a la salud.....	54
2.7	Hipótesis	60
a.	Hipótesis general.....	60
b.	Hipótesis específicas:	60
2.8	Variables.....	60
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		63
3.1	Niveles, tipo, y diseño de la investigación	63
3.1.1	Niveles de investigación.....	63
3.1.2	Tipo de investigación.....	63
3.1.3	Diseño de investigación.....	63
3.2	Población y muestra	64
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
3.4	Descripción de procedimientos de análisis de datos	65
3.4.1	Determinación de los metales pesados estudiados en el suelo agrícola	67
3.4.2	Identificación de las rutas de exposición de Carapongo	73
3.4.3	Caracterización del riesgo no cancerígeno.....	75

3.4.4	Caracterización del riesgo cancerígeno	79
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS		84
4.1	Resultados de la Evaluación de riesgos a la salud	84
4.1.1	Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo	84
4.1.2	Concentración en el punto de exposición	88
4.1.3	Niveles de riesgo no cancerígeno.....	89
4.1.4	Niveles de riesgo cancerígeno	93
4.2	Resultados de entrevistados	97
CONCLUSIONES		111
RECOMENDACIONES		112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		113
ANEXOS.....		124
	Anexo n°1 Declaratoria de Autenticidad.....	125
	Anexo n°2 Matriz de consistencia	126
	Anexo n°3 Matriz de operacionalización de variables	127
	Anexo n°4 Matriz de variables e indicadores	128
	Anexo n°5 Acta de consentimiento informado	129
	Anexo n°6 Ensayos de laboratorio.....	130
	Anexo n°7 Análisis estadístico ProUCL	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Mapa satelital de Carapongo	9
Figura 2-1 Factores de formación del suelo	22
Figura 2-2 Fases de formación de suelo.....	23
Figura 2-3 Contaminantes del suelo	24
Figura 2-4 Ciclos de los metales pesados	26
Figura 2-5 Dinámica ambiental de los metales pesados.....	27
Figura 2-6 Diferencia entre ECA y LMP.....	31
Figura 2-7 Dinámica ambiental del arsénico.....	39
Figura 2-8 Toxicocinética del cadmio	45
Figura 2-9 Efectos adversos del cadmio	47
Figura 2-10 Dinámica ambiental del plomo.....	50
Figura 2-11 Distribución del plomo según el modelo de tres compartimentos.....	52
Figura 2-12 Proceso de evaluación de riesgos.....	55
Figura 2-13 Curva Dosis- respuesta	56
Figura 2-14 Vías de exposición.....	57
Figura 2-15 Evaluación de riesgos a la salud	59
Figura 3-1 Área de estudio.....	64
Figura 3-2 Técnicas de recolección de datos.....	65
Figura 3-3 Esquema de Caracterización del Riesgo a la salud	66
Figura 3-4 Área de muestreo.....	67
Figura 3-5 Distribución de los puntos de muestreo	69
Figura 3-6 Labores de muestreo en suelo agrícola de Carapongo.....	70
Figura 3-7 Preservación y conservación de las muestras	71

Figura 3-8 Espectrometría de masas con Plasma con acoplamiento inductivo, ICP-MS ...	72
Figura 3-9 Modelo conceptual de Carapongo	74
Figura 4-1 Concentraciones de Arsénico en suelo agrícola de Carapongo.....	85
Figura 4-2 Concentraciones de Cadmio en suelo agrícola de Carapongo	86
Figura 4-3 Concentraciones de Plomo en suelo agrícola de Carapongo.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Normativa relacionada con el estudio	12
Tabla 2-2 Estándares de calidad ambiental para parámetros inorgánicos.....	30
Tabla 2-3 Características fisicoquímicas del arsénico	38
Tabla 2-4 Efectos adversos del arsénico	41
Tabla 2-5 Valores referenciales para arsénico según el ECA suelo	43
Tabla 2-6 Características fisicoquímicas del cadmio	44
Tabla 2-7Valores referenciales para cadmio según el ECA suelo	48
Tabla 2-8 Características fisicoquímicas del plomo	49
Tabla 2-9 Valores referenciales para plomo según el ECA Suelo	54
Tabla 2-10 Esquema de variables e indicadores	60
Tabla 2-11 Matriz de la definición operacional de variables.....	61
Tabla 3-1 Número de puntos de muestreo según el área.....	68
Tabla 3-2 Número de muestras tomadas en el suelo agrícola de Carapongo.....	68
Tabla 3-3 Vías de exposición por receptor humano.....	73
Tabla 3-4 Datos para el cálculo de lo dosis de exposición por ingestión	76
Tabla 3-5 Datos para el cálculo de lo dosis de exposición por inhalación	77
Tabla 3-6 Datos para el cálculo de lo dosis de exposición por contacto dérmico	78
Tabla 3-7 Niveles de riesgo a la salud para efecto no cancerígeno	79
Tabla 3-8 Clasificación IARC de los metales	79
Tabla 3-9 Datos para el cálculo de la dosis de exposición cancerígena por ingestión.....	80
Tabla 3-10 Datos para el cálculo de dosis de exposición cancerígena por inhalación.....	81
Tabla 3-11 Datos para cálculo de dosis de exposición cancerígena por contacto dérmico .	82
Tabla 3-12 Niveles de riesgo a la salud para efecto cancerígeno.....	83

Tabla 4-1 Determinación As, Cd y Pb en Carapongo Lurigancho - Chosica.....	84
Tabla 4-2 Estadística descriptiva de las concentraciones de metales pesados	84
Tabla 4-3 Determinación UCL.....	88
Tabla 4-4 Niveles de riesgo no cancerígeno para adulto.....	89
Tabla 4-5 Niveles de riesgo no cancerígeno para niño	90
Tabla 4-6 Resumen del riesgo cancerígeno.....	92
Tabla 4-7 Niveles de riesgo cancerígeno para adulto	93
Tabla 4-8 Niveles de riesgo cancerígeno para niño	94
Tabla 4-9 Resumen de riesgo cancerígeno por exposición a suelo agrícola.....	96

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar el riesgo a la salud humana por exposición a suelo agrícola con metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) en Carapongo, Lurigancho – Chosica, 2021. Se realizaron actividades de muestreo donde se tomaron un total de 10 muestras de suelo agrícola en un área aproximada de 1 hectárea. La determinación de los metales pesados se realizó en el laboratorio de Inspectorate Services Perú S.A.C. a través de técnica analítica de ICP-MS. Se encontró que las concentraciones de As, Cd y Pb en el suelo agrícola muestreado superaron los niveles establecidos en el DS-011-2017/MINAM para el ECA suelo de tipo agrícola, en su totalidad; asimismo, se calculó el valor del UCL95 para cada uno de los parámetros de estudio, As=229,80 mg/kg, Cd=3,07 mg/kg y Pb=235,60 mg/kg.

La caracterización de riesgo a la salud humana partió de la estimación de la Dosis de Exposición (DE) para riesgo no cancerígeno y para el riesgo cancerígeno. Posterior a ello, se procedió con la determinación del Índice de Peligrosidad (IP) para riesgo no cancerígeno y el Índice de Riesgo (IR) para el caso del riesgo cancerígeno. Para el caso de la evaluación del riesgo no cancerígeno, se determinó que el IP para receptor adulto ($IP = 2.58E+00$) representó un riesgo no aceptable ($IP > 1,0E+0$). Del mismo modo, para el receptor niño se obtuvo un riesgo no aceptable ya que el IP correspondió a $1.53E+01$. En ambos casos, solo el arsénico fue el parámetro que representó el riesgo no cancerígeno no aceptable por exposición a suelo agrícola.

Finalmente, se realizó la evaluación del riesgo cancerígeno por exposición a suelo agrícola debido a que el As, Cd y Pb son considerados como agentes cancerígenos por la IARC. Se obtuvo que el IR para el receptor adulto ($IR = 3.49E-04$) representó un riesgo no aceptable debido a que $IR_T > 1.00E-5$. Asimismo, se determinó un $IR = 1.04E-03$ para el receptor niño lo cual representa un nivel de riesgo cancerígeno no aceptable. En ambos casos, solo el arsénico fue el parámetro que representó el riesgo cancerígeno no aceptable por exposición a suelo agrícola.

Palabras clave: arsénico, cadmio, plomo, metales pesados, suelo agrícola, evaluación de riesgos, Toxicología.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in order to evaluate the risk to human health due to exposure to agricultural soil with heavy metals (arsenic, cadmium and lead) in Carapongo, Lurigancho - Chosica, 2021. Sampling activities were carried out where a total of 10 samples of agricultural soil in an area of approximately 1 hectare. The determination of heavy metals was carried out in the laboratory of Inspectorate Services Perú S.A.C. through ICP-MS analytical technique. It was found that the concentrations of As, Cd and Pb in the sampled agricultural soil exceeded the levels established in the DS-011-2017 / MINAM for the agricultural type soil ECA, in its entirety; Likewise, the UCL95 value was calculated for each of the study parameters, As = 229.80 mg / kg, Cd = 3.07 mg / kg and Pb = 235.60 mg / kg.

The characterization of risk to human health started from the estimation of the Exposure Dose (ED) for non-carcinogenic risk and for carcinogenic risk. After that, we proceeded with the determination of the Danger Index (PI) for non-carcinogenic risk and the Risk Index (RI) for the case of carcinogenic risk. For the case of the non-carcinogenic risk assessment, it was determined that the PI for adult receptor ($PI = 2.58E + 00$) represented an unacceptable risk ($PI > 1.0E + 0$). Similarly, for the child recipient, an unacceptable risk was obtained since the PI corresponded to $1.53E + 01$. In both cases, only arsenic was the parameter that represented the unacceptable non-carcinogenic risk due to exposure to agricultural soil.

Finally, an evaluation of the carcinogenic risk due to exposure to agricultural soil was carried out because As, Cd and Pb are considered carcinogens by the IARC. It was found that the IR for the adult receptor ($IR = 3.49E-04$) represented an unacceptable risk because $IR > 1.00E-5$. Likewise, an $IR = 1.04E-03$ was determined for the child recipient, which represents an unacceptable level of carcinogenic risk. In both cases, only arsenic was the parameter that represented the unacceptable carcinogenic risk due to exposure to agricultural soil.

Keywords: arsenic, cadmium, lead, heavy metals, agricultural soil, Risk assessment, Toxicology.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de actividades económicas de tipo industriales representa una oportunidad para el crecimiento económico; sin embargo, debido los procesos industriales y de combustión se generan liberaciones al ambiente, lo que puede provocar el desequilibrio o contaminación ambiental. La contaminación ambiental es un problema que repercute a nivel mundial, cuyas fuentes provienen de las acciones antrópicas a diferente nivel, por ejemplo; la actividad industrial, de los relaves generado en la minería, del uso aguas residuales domésticas, del uso de plaguicidas y fertilizantes en la actividad agrícola, del derrame de hidrocarburos, del parque automotor obsoleto, entre otros. Estas, a su vez, constituyen una fuente de agentes químicos, como los metales pesados, de quienes existe suficiente evidencia científica que da cuenta del impacto sobre la salud cuando ingresa al organismo por medio de la ingesta de suelo, alimentos y agua, inhalación de aire; y por contacto dérmico.

A nivel mundial, se ha reportado diferentes casos de contaminación ambiental como el accidente de Bophal, el accidente de Seveso, el desastre de Minamata entre otros, que dan cuenta de la importancia de una evaluación de riesgos oportuna ya que, de haber identificado el riesgo a la salud de manera oportuna, se pudo haber evitado tantas pérdidas humanas.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha diseñado una metodología que permite evaluar el riesgo que representa la presencia de los agentes contaminantes en el ambiente para las personas expuestas a determinadas matrices. Esta metodología está basada en datos toxicológicos e información actualizada del ambiente lo cual permitirá estimar el riesgo.

En el caso de la actividad agrícola, los suelos pueden verse afectados por los metales pesados cuyas fuentes pueden ser el uso de agroquímicos, por la calidad del agua para riego, la existencia de actividades económicas circundantes, la deficiente gestión de residuos sólidos en la zona, entre otros. Asimismo, se debe considerar los eventos naturales como los huaycos que provocan la remoción de los suelos y con ello, el arrastre de los contaminantes presentes en él hacia otros espacios.

Tal es el caso de Carapongo, localidad ubicada en el distrito de Lurigancho Chosica donde algunas investigaciones realizadas en la zona reportan la presencia de metales pesados en el

suelo en concentraciones que superan los estándares de calidad ambiental por lo que la exposición humana al suelo agrícola de Carapongo puede representar un riesgo a la salud, de tipo cancerígeno y no cancerígeno para los agricultores. Con la finalidad de anticiparnos a eventos nefastos se desarrolla una evaluación de riesgos para poder identificar dichas situaciones y tomar acción de manera oportuna. Por ello, la evaluación de riesgos a la salud representa una herramienta importante ya que es una metodología efectiva para la identificación de los riesgos a la salud humana y al ambiente por exposición a agentes químicos ya que permite identificar los espacios contaminados que requieren de actividades de limpieza o remediación ambiental.

En este sentido, la presente investigación lleva a cabo una evaluación del riesgo a la salud por exposición a suelo agrícola con presencia de metales pesados durante el periodo 2021. Esta investigación consta de 4 capítulos donde el Capítulo I presenta el desarrollo del planteamiento del problema y justificación del estudio; así como, la importancia del estudio y los objetivos generales y específicos.

El marco teórico se desarrolla en el CAPÍTULO II. En esta parte se sustenta el estudio, se presentan las investigaciones nacionales e internacionales relacionadas con la determinación de metales pesados y la evaluación de riesgos a la salud por exposición a los mismos. Asimismo, se presentan definición de términos básicos de las variables e indicadores y se desarrollan los conceptos que explican la Toxicología de los metales pesados de estudio (arsénico, cadmio y plomo).

El marco metodológico se desarrolla en el Capítulo III. Dentro de este apartado se describe el tipo, método y diseño de la investigación. Asimismo, se define la población y muestra del estudio. También se describen las técnicas e instrumentos de recolección de datos al igual que la descripción de procedimientos de análisis de datos. Finalmente, la determinación de los metales pesados en el suelo agrícola y la caracterización del riesgo no cancerígeno y cancerígeno por exposición a suelo agrícola con presencia de metales pesados.

Finalmente, en el Capítulo IV; se presentan los resultados de la determinación de los metales pesados, concentración en el punto de exposición, el análisis de la evaluación de riesgos a la salud por exposición a suelo agrícola en Carapongo – Lurigancho y las entrevistas realizadas a los expertos.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Descripción del Problema

Durante la última década, en nuestro país, se han reportado casos críticos de contaminación por agentes químicos. Tal es el caso de La Oroya y el Callao debido a la contaminación ambiental por plomo; Ilo por el arsénico de fuente natural y la lluvia ácida; Madre de Dios por el cianuro y mercurio en el agua; Cerro de Pasco por los metales pesados en el agua; río Rímac por la presencia de metales pesados; Puno por metales pesados y residuos en el lago Titicaca; Ancash y Cajamarca por cadmio, plomo, arsénico en sus ríos, etcétera (Chung, 2008). La lista puede continuar y, sin ir muy lejos, en Lima metropolitana y el Callao, también se han registrado problemas ambientales y problemas de salud en las personas que se asientan cerca de las zonas industriales. Un ejemplo de ello es el caso de Mi Perú – Callao donde se reportó la problemática ambiental por plomo lo que decantó en la declaratoria de Emergencia Ambiental (RM-N°307-2017-MINAM) por el Ministerio del Ambiente.

La presente investigación se realizará en la localidad de Carapongo, Lurigancho – Chosica, ubicada en el Cono Este, uno de los distritos con mayor extensión de Lima. La población de Carapongo corresponde a, aproximadamente, 3200 habitantes (IGP, s.f.).

Lurigancho - Chosica posee un suelo de tipo agrícola el cual equivale a la mitad de la superficie ocupada del distrito. En el caso específico de Carapongo, este dedica el 62% de su territorio a las actividades agrícolas por su cercanía al río Rímac; por lo que es la agricultura y crianza de animales menores las actividades económicas que prevalecen en la zona y que contribuyen a hacerle frente a la pobreza (Juárez, 2012). Es importante mencionar que, Carapongo se encuentra a 13 km de distancia de los mercados mayoristas más importantes de la ciudad de Lima lo cual es primordial para el comercio de sus productos (IGP, s.f.). Las posibles fuentes de contaminación en Carapongo son la actividad minera, el uso de agroquímicos, cercanía al río Huaycoloro, herencia de contaminantes preexistentes y de origen natural. La presencia de metales pesados se debe principalmente, a la actividad minera en la cuenca alta (Infante & Sosa, 1994).

A nivel nacional, existen 24,302 concesiones mineras, 2,137 de ellas se ubican en Lima (8,8%). Según la Defensoría del Pueblo, en Madre de Dios se reportan la mayor cantidad de petitorios (23%), seguido de Lima (10,4%) y Cusco (10,1%) (MINEM, 2007).

Otra fuente de la presencia de metales en suelos agrícolas como los de Carapongo, pueden ser los fertilizantes, plaguicidas, estiércol (Mokgolele & Likuku, 2016). Por ejemplo, los fertilizantes fosforados aportan una importante cantidad de metales como el cadmio. Asimismo, para el control de plagas, es frecuente el uso de sales de zinc y arsenatos de cobre y plomo (Tiller, 1989).

Además, el agua utilizada para el riego y el uso muy frecuente de abonos orgánicos y biosólidos, siendo los más utilizados el lodo de depuradoras y el compost elaborado de residuos sólidos de la urbe e incluso los de residuos no municipales, aportan una importante cantidad de metales en los suelos agrícolas (Webber, 1981; Nicholson, Smith, Alloway, Carlton-Smith, & Chambers, 2003).

Aproximadamente el 90% de los agricultores riegan sus cultivos con las aguas del río Rímac a través de los canales de riego, el 74% de los encuestados son conscientes de que el agua utilizada está contaminada. El 73% de los encuestados refieren que los residuos sólidos domiciliarios y las aguas residuales domésticas son los causantes principales de la contaminación del agua; mientras que el 11% considera que los relaves y desechos resultantes de la minería también perjudican el agua y reconocen a los metales pesados como los principales agentes contaminantes. Los agricultores son conscientes de que los metales pesados pueden perjudicar la calidad del suelo, la calidad de sus cultivos y por consiguiente su salud (Juárez, 2012).

Por otro lado, es importante considerar otras fuentes de contaminación ya que la presencia de metales pesados en el suelo puede resultar de procesos geológicos y de procesos formativos del suelo (Kabata-Pendias & Adriano, 1995).

Los metales pesados (cadmio, arsénico y plomo) son liberados al agua, en parte, por la actividad minera presente en la cuenca alta del río Rímac. Los metales pesados presentes en altas concentraciones perjudican la salud de las personas, así como a los animales y plantas.

Otra fuente importante de la contaminación química y biológica del río Rímac es el río Huaycoloro por su cercanía a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Carapongo y por los vertimientos de Santa María de Huachipa (Alvariño & Iannacone, 2012).

Los agricultores se encuentran expuestos a suelo agrícola con presencia de metales pesados, como pueden ser el arsénico, cadmio y plomo. Estos contaminantes pueden generar un serio impacto sobre la salud de las personas ya que están asociados a daños renales, cognitivos, hematológicos, e incluso cáncer. Asimismo, estudios previos indican que existe presencia de estos contaminantes en la zona de Carapongo, Lurigancho (Juárez, 2012; Alvariño & Iannacone, 2012). En este sentido, la aplicación de la metodología de evaluación de riesgos a la salud constituye una herramienta para la identificación de peligros a la salud con la finalidad de evitar o reducir los efectos adversos. Bajo esta premisa, esta metodología sirve como base para la determinación de medidas de remediación ambiental.

Formulación del Problema de Investigación

a. Problema general:

¿Qué relación existe entre las concentraciones de los metales pesados en suelo agrícola y los valores de riesgo a la salud en la población expuesta de Carapongo, Lurigancho?

b. Problemas específicos:

- ¿Qué relación existe entre la concentración del metal pesado y el nivel de riesgo (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo (cancerígeno, no cancerígeno)?
- ¿Qué relación existe entre la exposición a varios metales pesados sobre el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno)?

Importancia y justificación del Estudio

1.3.1 Importancia teórico científica

Los contaminantes más complejos de remediar son los metales pesados; ello debido a su persistencia en el ambiente. Estos contaminantes generan un gran impacto ambiental negativo ya que alteran la calidad atmosférica, la calidad del agua y de los cultivos agrícolas.

Adicionalmente a ello, causan perjuicios sobre la salud de la población expuesta ya que se bioacumulan en los organismos debido a que no están sujetos a la degradación metabólica (McBride, 1994, citado en FAO, 2019; Rodríguez, McLaughlin, & Pennock, 2019). Frente a este problema, la Toxicología evalúa los efectos de los xenobióticos (sustancias químicas en general) sobre la salud y el ambiente a través de la evaluación de riesgos.

En la actualidad, este campo cobra relevancia debido al gran número de sustancias químicas que tienen aplicación en la vida cotidiana y, además, por los problemas de contaminación que se presentan en países como Perú. En este sentido, la evaluación de riesgos aporta información para prevenir efectos adversos en la salud debido a la capacidad tóxica de metales pesados como arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) presentes en el suelo agrícola de Carapongo, Lurigancho – Chosica.

1.3.2 Importancia metodológica

Lurigancho - Chosica es un distrito con un índice de pobreza del 58%. Muchas de las personas de esta localidad encuentran en la agricultura un medio de subsistencia (Quispe, 2018). Bajo esta premisa, resulta importante evaluar y asegurar la integridad de los agricultores que se encuentran expuestos a estas fuentes de arsénico, cadmio y plomo presentes en el suelo agrícola.

En este sentido, y desde un punto de vista macroeconómico, una de las funciones del Estado es poner en práctica políticas públicas que velen por una calidad de vida e integridad de todos los peruanos y peruanas haciendo uso adecuado del presupuesto fiscal. Por ello, el aporte de la presente investigación es que permitirá trabajar en la prevención de los posibles riesgos a la salud en la población y evitar casos como La Oroya en Pasco o Mi Perú en el Callao.

La Metodología de Evaluación de Riesgos a la Salud permite determinar niveles de riesgos basado en un valor de toxicidad (dosis de referencia) la cual representa umbrales seguros en los que se tiene la certeza estadística de que no ocurrirán efectos adversos (ATSDR, 2019a). Ello representa una ventaja frente a otras metodologías, debido a que contempla datos toxicológicos (receptor) y datos del sitio contaminado lo cual permite definir si la exposición de un receptor a determinado contaminante y condiciones genera un impacto en la salud.

Asimismo, permitirá establecer niveles de priorización para optimizar el uso de los recursos en la remediación de los posibles sitios impactados por la contaminación. Ello se sustenta en la premisa de que trabajar en la prevención es mucho más rentable, en el tiempo, que cubrir las necesidades en salud que puedan surgir por la contaminación ambiental (Dirección General del Medio Ambiente de España, 2016).

1.3.3 Importancia empírica

La contaminación ambiental es un tema que desde las últimas décadas ha cobrado mucho interés entre las personas, ya que cada vez es más lógico asociar los efectos de la contaminación del ambiente con la salud de las personas expuestas (OMS, 2017). Ello, debe ser asumido por el Estado como prioridad de gestión e incorporado en las políticas públicas para atender las necesidades de la población.

En este sentido, la evaluación del riesgo a la salud en personas expuestas brinda información ambiental de corte científico que permitirá mejorar la toma de decisiones y prevenir consecuencias en la salud y el ambiente de manera oportuna (Ize, s. f.). Por ello, la evaluación de riesgos a la salud debe ser considerada en el diseño de políticas públicas y dentro de los Ejes estratégicos de la gestión ambiental definidos en la Ley General del Ambiente N°28611, Eje Estratégico B. Mejora en la calidad de vida con ambiente sano y Eje Estratégico D. Patrimonio natural saludable.

Finalmente, la evaluación de riesgos a la salud permite generar información ambiental que podría ser difundida a través de los diferentes sistemas de información para promover la participación ciudadana de manera adecuada. Para ello, es muy importante trabajar en la sensibilización ciudadana, ética y educación ambiental con la finalidad de que la información sea interpretada adecuadamente y evitar los posibles conflictos ambientales que se puedan suscitar.

1.3.4 Importancia ambiental

Los metales pesados están presentes de manera natural en la corteza terrestre. La concentración y distribución de dichos metales se ven alteradas por la actividad humana, pudiendo transformarlos en contaminantes. Las actividades asociadas a la liberación de estos contaminantes pueden ser la minería, fundición, refinación, entre otros (Yacomelo, 2014).

Los riesgos a la salud por exposición a fuentes de contaminantes son cada vez más frecuentes debido al crecimiento desordenado de la urbe y las diferentes actividades económicas. Las liberaciones al ambiente generadas por dichas actividades pueden generar un impacto negativo sobre el ambiente y la salud de la población aledaña al punto de exposición.

Esta investigación permitirá evaluar el riesgo a la salud para las personas expuestas al suelo agrícola con presencia de metales pesados, es decir, identificar si este riesgo es aceptable o no aceptable para la salud de las personas. Previo a la evaluación del riesgo, se muestreará la matriz suelo para la determinación analítica de la presencia de metales pesados en el suelo agrícola de Carapongo.

Finalmente, servirá como antecedente para el desarrollo de futuras investigaciones en la línea de evaluación de Toxicología ambiental, riesgos toxicológicos, salud y ambiente.

Delimitación del Estudio

1.4.1 Delimitación espacial

El estudio se realizó durante el periodo 2021 en la localidad de Carapongo ubicado en el distrito de Lurigancho – Chosica, en la cuenca del río Rímac. Carapongo está situado en el margen derecho del río Rímac y posee una zona agrícola y urbana (Figura 1-1).

- Localidad : Carapongo
- Distrito: : Lurigancho-Chosica
- Provincia: : Lima
- Departamento: : Lima
- Coordenadas: : 12°00'07.88" S 76°51'01.99" W
- Altitud: : 200 m.s.n.m.

La superficie muestreada corresponde a 10341 m² de suelo agrícola pertenecientes a miembros de la Asociación de Pequeños Agricultores de Carapongo “Sembrando esperanza” de Lurigancho – Chosica.

Figura 1-1

Mapa satelital de Carapongo



Nota: Tomado de Google Earth, 2021

Objetivos de la Investigación

a. Objetivo general

Evaluar la relación que existe entre las concentraciones de metales pesados en suelo agrícola y los valores de riesgo a la salud en la población expuesta de Carapongo, Lurigancho.

b. Objetivos específicos

Analizar la relación que existe entre la concentración del metal pesado y el nivel de riesgo (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo (cancerígeno, no cancerígeno).

Determinar la relación que existe entre la exposición a varios metales y el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

La necesidad de aplicar una evaluación de riesgos a la salud por exposición a sitios contaminados, a partir de una metodología científica, surge en los años 80s, cuando en EEUU se estableció un marco normativo para estudiar áreas impactadas por agentes contaminantes (EPA, 2004). Ante esta necesidad, entidades internacionales como la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) desarrollaron metodológicas basadas en la evaluación ambiental -determinando las concentraciones de los contaminantes en las matrices ambientales involucradas en las rutas de exposición- para después, mediante la identificación de escenarios de exposición y tratamiento probabilístico de la información, generar una estimación cuantitativa del riesgo. Asimismo, la aplicación de esta metodología permitió establecer medidas de remediación ambiental. Para ello, es importante mencionar que identificar el riesgo de manera incompleta podría acarrear el gasto innecesario en la descontaminación del lugar evaluado; por el contrario, si se el riesgo es definido adecuadamente ello beneficiará la toma de decisiones por parte del sector gubernamental.

América Latina es una región con una vasta problemática social a causa de la deficiente educación, la pobreza, la escasez de puestos laborales bien remunerados, entre otras; por lo que el tema ambiental no es de alta prioridad. Por ello, arriesgar el presupuesto de los países en actividades de remediación ambiental solo por una inadecuada definición del riesgo no es dable. Es así que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) lideró un análisis exhaustivo de las metodologías con la finalidad de optimizarlas y disminuir la incertidumbre. También se propuso el monitoreo de biomarcadores de efecto y de exposición los cuales implican el monitoreo a través de muestras biológicas (Díaz-Barriga, 1999).

En México, los sitios contaminados se clasifican en regiones agrícolas, sitios mineros, campos petroleros, zonas industriales, rellenos sanitarios y áreas afectadas por contaminación natural (yacimientos, volcanes, incendios, entre otros (Díaz-Barriga, 1996).

En conclusión, se dice que América Latina enfrenta un problema de salud pública donde existen riesgos potenciales a la salud, por lo que contar con herramientas que permitan evaluar la peligrosidad de los sitios contaminados es de mucha importancia.

Evaluación Integrada de Riesgos

Actualmente, se considera al humano como parte del ecosistema, dado que, además de los agentes físicos, químicos y biológicos que impactan en las poblaciones, la calidad de vida de una población puede verse afectada por los factores que afectan directamente al ecosistema. En este sentido, la salud ambiental incluye un enfoque ecosistémico para concepción de una buena calidad de vida.

La metodología de evaluación de riesgo humano fue desarrollada independientemente de la metodología de evaluación de riesgo ecológico; no obstante, es urgente y prioritario contar con una metodología integrada para la evaluación de riesgos que involucre al receptor humano como a los receptores ecológicos en un solo proceso para definir mejores niveles de protección para las personas y el ambiente (Ilizaliturri et al., 2009).

Ambas metodologías, trabajadas aisladamente, pueden conducir a que se generen evidencias aparentemente contradictorias acerca de los riesgos asociados a un sitio contaminado. En este sentido, es importante integrar las metodologías para obtener información más precisa que pueda sustentar la toma de decisiones en materia de riesgo ecológico, salud ambiental y salud pública. Esta metodología integrada genera un modelo conceptual del sitio donde se establecen las rutas y vías de exposición de contaminantes y se definen los receptores humanos y ecológicos. Esta metodología de riesgo finaliza con un documento que por su información relevante puede utilizarse como instrumento de gestión ambiental.

La evaluación de riesgos a la salud en América Latina

Para la evaluación de riesgos a la salud en sitios contaminados, ecosistemas en peligro o durante eventos de emergencia ambiental o sanitaria como la provocada por el Covid-19, se debe tomar medidas que permitan preservar la salud de las personas. Ello resulta muy importante para una región como América Latina donde coexisten diversas realidades culturales, diferentes niveles de desarrollo económico y múltiples prioridades en torno al tema ambiental. Bajo este contexto, la Organización Panamericana de la Salud ha desarrollado un papel importante desde hace más de 20 años promoviendo el fortalecimiento de capacidades a través de sesiones de capacitación técnica para apoyar la formación de especialistas en la gestión de sitios contaminados en diferentes países. Es así que muchos países adoptaron esta herramienta para la evaluación de riesgos en sus respectivos territorios.

En nuestro caso, el Perú ajeno a esta herramienta y es así que, desde el año 2015, el Perú cuenta con la Guía para la Evaluación de Riesgos a la salud y al ambiente (ERSA) propuesta por el Ministerio del Ambiente. Esta guía permite analizar el riesgo tanto para receptores humanos como para receptores ecológicos la cual viene siendo aplicada para medir el posible impacto sobre la salud y el ecosistema, así como para la determinación de niveles de remediación ambiental.

Tabla 2-1

Normativa relacionada con el estudio

Normativa	Descripción
Constitución Política del Perú 1993	La Constitución Política del Perú plantea en el artículo I, Derechos fundamentales de la persona, artículo 22: A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.
Ley General del Ambiente N ° 28611	La presente Ley General del Ambiente establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva.
Ley General de Salud N ° 26842	En el capítulo VIII De la protección del ambiente para la salud: Cuando la contaminación del ambiente signifique riesgo o daño a la salud de las personas, la Autoridad de Salud de nivel nacional dictará las medidas de prevención y control indispensables para que cesen los actos o hechos que ocasionan dichos riesgos y daños.
Política Nacional del Ambiente. D.S. N° 012-2009-MINAM	Define como objetivo específico el aseguramiento de una calidad ambiental adecuada para la salud y el desarrollo integral de las personas, previniendo la afectación de ecosistemas, recuperando ambientes degradados y promoviendo una gestión integrada de los riesgos ambientales, así como una producción limpia y ecoeficiente
Política Nacional de Salud Ambiental 2011-2020. R.M. N° 258-2011/MINSA.	Los principios que se definen en la Política Nacional de Salud Ambiental y que están orientadas al objeto de estudio de la investigación son los siguientes: Respeto a la vida en un entorno saludable y el enfoque preventivo.
ECA suelo D.S. N ° 011-2017-MINAM.	Plantea los estándares para los principales parámetros que definen la calidad del suelo según su uso (agrícola, industrial y/o residencial).
Guía para el Muestreo de suelos y la Guía para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos. R.M. N° 085-2014-MINAM.	Define los lineamientos mínimos para el muestreo de suelos según la finalidad del estudio.

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

Ornelas et al. (2007), de la Universidad Autónoma de Chihuahua desarrollaron un estudio sobre evaluación de riesgo en una zona urbana cercana a una fundidora en la ciudad de Chihuahua en México, para lo cual emplearon las metodologías de la EPA y la ATSDR para calificar la concentración y caracterizar el riesgo trabajándose.

El estudio determinó que el suelo aporta el 98% de la dosis total de ingestión. En la caracterización del riesgo se encontró niveles de metales por encima de los estándares de referencia aplicados lo que representó un riesgo a la salud en las personas ubicadas dentro de los 1200 metros cerca de la fuente de emisión.

Yacomelo (2014) desarrolló una evaluación de riesgos toxicológica por exposición a suelos con metales en el sur del Atlántico en Colombia. En el estudio se determinó la presencia, concentración de los metales pesados en el suelo de algunos municipios del Sur del Atlántico. Se evaluó el nivel de absorción de metales pesados por parte de algunos cultivos desde el suelo.

La presencia de metales pesados representó un riesgo para las personas que consumían vegetales con concentraciones elevadas de estos contaminantes. Del mismo modo, se determinó que existe riesgo para los animales que consumían pastos con presencia de metales pesados; así como, para los eslabones superiores de la cadena trófica por una posible biomagnificación.

La caracterización del riesgo a la salud se realizó por medio del método presentado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS)/ Organización Mundial de la Salud (OMS) el cual está basado en la metodología de evaluación de riesgos a la salud diseñado en EE.UU. La investigación concluye que no se determinó la existencia de riesgo a la salud de las personas expuestas pese a que la estimación de la dosis de exposición se realizó con la máxima concentración leída en el laboratorio.

Tello (2015) realiza la evaluación del riesgo toxicológico de metales pesados plomo y cadmio por exposición a suelos en los alrededores del Parque Industrial ubicado en la Ciudad de Cuenca, Ecuador. Esta evaluación se realiza a través del método propuesto por el CEPIS/OPS, y concluye que los niveles de Plomo y Cadmio en las zonas estudiadas arrojaron concentraciones de ambos metales ligeramente por encima de los Límites Máximos Permisibles, propuestos por el Ministerio del Ambiente del Ecuador. Al Caracterizar el riesgo debido a estas concentraciones de plomo y cadmio se obtuvo que estaban por debajo de los niveles de referencia, lo que representa niveles seguros para las personas expuestas.

Agencia de Protección Ambiental (2015) llevo a cabo una investigación en “Red Hook”, campo deportivo en EEUU donde se determinó la presencia de plomo en suelos debido a las actividades de fundición realizadas en el sitio por la compañía “Columbia Smelting and Refining Works” previas a la construcción del campo deportivo. Los resultados de la evaluación de riesgos concluyeron que existía riesgos para la salud de las personas que frecuentaban el parque, por lo que las actividades de limpieza y descontaminación eran necesarias. Esta investigación demuestra que a pesar del cese de actividades de la empresa que realizaba la contaminación del suelo, es decir, que ya no existe una fuente activa de emisión, el mismo suelo fue capaz de retener al plomo, convirtiéndose, ahora, en la fuente de la contaminación; siendo así que, toda persona que se expone a ese suelo le representa un riesgo significativo para su salud.

En resumen, a pesar de que una actividad deje de funcionar en un espacio, siempre debe evaluarse los medios ambientales aledaños a la fuente de contaminación, pues estos podrían retener los contaminantes y, años más tarde, convertirse en un problema de salud pública.

Tepanosyan et al. (2017) realizó una investigación para la determinación de metales en el suelo y evaluación de riesgos para la población infantil de los jardines de infancia de Ereván en China. Las concentraciones totales de metales en los suelos se determinaron mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X de acuerdo con el método estándar 6200 de la EPA (USEPA, 2007). Se utilizó Monte Carlo para determinar la evaluación de riesgos.

La evaluación de riesgos para la salud mostró que, en todos los jardines de infancia, excepto en siete de ellos, el riesgo no cancerígeno para los niños se detectó significativo ($HI > 1$), mientras que el riesgo carcinogénico del arsénico pertenece al nivel muy bajo

(permitido). Para el caso del riesgo carcinogénico por exposición a cromo y el efecto aditivo de los demás contaminantes superaron el nivel de seguridad ($1,0E-06$) en todos los jardines de infancia y demostró que el potencial de desarrollar cáncer, aunque pequeño, existe. Por lo tanto, los jardines de infancia de la ciudad requieren acciones correctivas para eliminar o reducir la contaminación del suelo y los riesgos para la salud inducidos por metales pesados.

Cheng et al. (2018) desarrolló la evaluación de riesgos para la salud por la exposición a metales pesados a través del polvo doméstico del área urbana en Chengdu, China. Para esta investigación, utilizó el método de evaluación de riesgos de la salud humana de la EPA. La investigación se centró en los metales pesados Pb, Zn, Cu, Cr, Cd y Ni, para lo cual se utilizó como método analítico se utilizó el espectrómetro de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).

El estudio permitió determinar que las principales fuentes de emisión de plomo son la corrosión de aleaciones, materiales de construcción viejos y la pintura. Los resultados concluyeron que existen riesgos menores no cancerígenos y cancerígenos por la presencia de metales pesados en el polvo doméstico para los residentes de Chengdu; sin embargo, considerando que estos metales forman parte del PM₁₀ y PM_{2.5}, es recomendable analizar otras fuentes de emisión y ambientes interiores de los hogares para tener una mejor visión del nivel de riesgo para la salud al que estarían expuestas las personas que habitan Chengdu.

Doabi et al. (2018) desarrollaron una investigación con el objetivo de evaluar los riesgos para la salud de las personas por exposición a suelo agrícola, polvo atmosférico y cultivos alimentarios con metales pesados en Kermanshah, Irán. El análisis del contenido total de los metales pesados en las plantas se llevó a cabo utilizando el método 3051A de la EPA basado en fundamentos de espectrometría. La determinación de los metales pesados en suelo se determinó por espectrofotometría de absorción atómica.

La concentración de metales pesados en el suelo agrícola y el polvo atmosférico excedió los niveles de fondo y fue inferior a su Estándar de calidad ambiental iraní (IEQS) con la excepción del Ni. La evaluación del riesgo para la salud humana indicó que los valores no cancerígenos estaban por debajo del umbral (1). Los valores de riesgo carcinogénico para Ni y Cr fueron más altos que el valor seguro (10^{-6}), lo que sugiere que la población de Kermanshah podría estar expuestos a un riesgo potencial significativo cancerígeno.

Mohammadi et al. (2019) estudió los riesgos cancerígeno y no cancerígeno por el consumo de agua potable con metales pesados en Khorramabad, Irán. Los metales pesados fueron determinados a través de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). La estimación del riesgo potencial carcinogénico y no cancerígeno para la salud causado por la ingestión y absorción dérmica de metales pesados en el agua de la red de distribución de la ciudad de Khorramabad, fue llevado a cabo a través de la metodología de la Agencia de Protección Ambiental (USEPA). Las concentraciones de los metales pesados en agua potable se encontraban dentro de los estándares de la EPA y la OMS por lo que fueron aceptables. La estimación del riesgo para la salud indicó que el índice de peligrosidad superaba el límite aceptable, lo que representa un riesgo no cancerígeno para los consumidores. Este estudio también presenta que el riesgo carcinogénico para Pb, Cr, Cd y Ni se encontraba por encima del límite aceptable (1×10^{-6}).

Llop et al. (2013) en España, realizó una búsqueda bibliográfica para identificar estudios en los que la población infantil haya estado expuesta a niveles de plomo, considerando como espacio temporal los últimos 20 años. A partir de la revisión bibliográfica, se pudo obtener información de los niveles de plomo en aire de las ciudades de Madrid, Gijón, Barcelona, Valencia, Sabadell, Bilbao y Tarragona, observándose una disminución de las concentraciones de plomo en aire entre los años 1991 y 2010.

Finalmente, con la prohibición del uso de plomo en la gasolina se logró disminuir la concentración de plomo en aire en un 63% entre 1992 y 2001; sin embargo, se notó un pequeño incremento de las concentraciones de plomo en los municipios de Gijón y Tarragona. En general, como conclusión, se observó que las concentraciones de plomo en el aire y en la población disminuyeron progresivamente, gracias específicamente a las medidas legislativas asumidas y a la prohibición del uso del plomo como aditivo en la gasolina.

Jiang et al. (2016) estudiaron la distribución de fuentes de contaminación y evaluación de riesgos a la salud por exposición a suelos con metales pesados en Jiangsu, China. Para los fines de esta investigación, se analizaron las concentraciones de 15 metales mediante espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Asimismo, se analizaron las diferentes vías de ingreso por exposición a suelos con presencia de metales pesados tales como ingestión, contacto dérmico e inhalación. Además, se realizó una evaluación de riesgos cancerígena y no cancerígena a partir de los niveles de exposición a estos contaminantes.

A partir de esta investigación se pudo determinar que, si bien las concentraciones de metales pesados no superaban los estándares de referencia de calidad de suelos, si se observó la acumulación de metales en el área de estudio. Como resultado de ello, siete metales pesados (Cd, As, Pb, Cr, Ni, Zn y Cu) representaban riesgo a la salud, de tipo no cancerígeno, tanto en adultos como en niños. Por otro lado, en la evaluación de riesgo a la salud para efectos cancerígenos se determinó que, el valor total del riesgo se encontraba 10 veces por encima de los límites aceptables. Finalmente se pudo concluir que la principal fuente de riesgo era el consumo de productos de cosecha, con un aporte del 98 % al riesgo total.

Ynocente & Olórtégui (2018) realizaron una evaluación de riesgo toxicológico en los alrededores del Parque industrial infantas ubicado en el distrito de Los Olivos, considerando la exposición a suelos con plomo y cadmio. La investigación aplicó la metodología de la EPA y ATSDR para determinar la dosis de exposición y caracterizar el riesgo toxicológico por plomo y cadmio en el suelo de tipo urbano. Como resultado, se logró determinar un riesgo aceptable para los adultos y niños por exposición a suelo urbano con plomo y cadmio en las zonas aledañas al Parque Industrial Infantas.

Soto-Benavente et al (2020) estimó los riesgos en la salud humana por el consumo de yuca proveniente de sitios contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) en la Amazonía peruana. La metodología aplicada para la determinación de las concentraciones fue espectrofotometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y Espectrometría de fluorescencia atómica con generación de Hidruros (GHAFS). Se determinó que la concentración de metales pesados en suelos, muestras de yuca y plátano de zona minera y zona control no sobrepasaron los estándares nacionales e internacionales (EPA) para el consumo humano lo que no representó riesgos para la salud.

Oriundo & Martínez (2009) determinaron la presencia de plomo en suelos y polvo en las viviendas aledañas a fábricas en el Asentamiento Humano Cultura y Progreso ubicado en el distrito Chaclacayo. El análisis de plomo en suelo y polvo se realizó a través de la espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

Los resultados demostraron que las concentraciones de plomo excedieron la concentración establecida por la Organización Mundial de la Salud (25ppm); además, se obtuvo que la concentración de plomo en suelo y polvo era mayor a medida que la distancia entre el punto de muestreo y la fuente de emisión (fábrica) disminuían.

Juárez (2012) realiza una evaluación de la contaminación por metales pesados en el río Rímac y el posible impacto sobre la agricultura que se desarrolla en el Cono Este de Lima Metropolitana, para ello se revisaron datos, de diferentes años, obtenidos por entidades estatales como DIGESA y SEDAPAL. Del análisis de estos datos se obtuvo que el contenido de cadmio y cromo en periodo de estudio fue aceptable para su uso en el regadío de hortalizas en la cuenca baja; sin embargo, los datos del arsénico y plomo indican que hubo afectación en las zonas de producción de hortalizas en la cuenca baja del río Rímac. Los datos analizados también permitieron identificar que los años de mayor contaminación por plomo y arsénico fueron en el 2000 y el 2002. Cabe mencionar que el 100% de las muestras de arsénico total en suelos, 40% de las muestras de cadmio total en suelos y 4% de las muestras de plomo total en suelos superan el estándar sugerido para suelos. Finalmente, el estudio concluye que puede existir un riesgo importante en el consumo de hortalizas de follaje debido a la contaminación de suelos por aguas contaminadas con arsénico, ya que este metal puede ser fácilmente bioacumulado hasta niveles riesgosos en hortalizas, como el huacatay y la lechuga.

Flores (2017) realiza una investigación en torno a la contaminación del suelo agrícola impactado por las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la ribera del Lago Titicaca, específicamente del Centro Poblado de Uros-Chulluni en Puno. En la investigación se determinó que los metales pesados son los principales contaminantes del suelo agrícola del pueblo de Uros Chulluni; ya que metales como sodio, arsénico, boro y titanio superaron el estándar de Canadá, para los parámetros. Respecto del estándar nacional para suelo de tipo agrícola, el arsénico fue el único contaminante de preocupación.

Sánchez (2019) buscó determinar los niveles de metales pesados (Pb, Al y Sr) en dos épocas, la avenida y el estiaje, en el Río Osmore, ubicado en el departamento de Moquegua. En la investigación se realizó un monitoreo de campo y un análisis experimental, de tipo descriptivo, analítico correlacional.

Se logró determinar que las concentraciones de aluminio, plomo y estroncio se encontraban dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para agua, por lo que no representaban riesgo alguno para la salud ni el ambiente. Sin embargo, en época de avenida, para el caso del aluminio, el 85% de los puntos muestreados superó la norma lo cual permite concluir que existe un riesgo importante de contaminación por aluminio.

Andrade et al. (2020) determinó, por medio del método de espectrometría de emisión óptica ICP-OES, concentraciones que superaron el estándar nacional, de 40,19 mg/kg y 505,2 mg/kg para cadmio y arsénico respectivamente en suelos destinados a la producción de *Solanum tuberosum* en Puno. Estos resultados concluyeron que el suelo analizado presentó una tendencia de mayor acumulación de arsénico, cadmio y plomo por su cercanía con la laguna de oxidación que es la principal fuente de contaminantes.

Tineo & Periche (2019) evaluaron las concentraciones de metales pesados en el valle del río Tumbes y el nivel de absorción de estos contaminantes en el arroz. Las muestras sólidas fueron analizadas mediante el ICP-MS, mientras que las muestras líquidas se analizaron directamente por ICP-EOS.

Los suelos cultivados con arroz de la margen izquierda del río Tumbes se encuentran contaminados con elementos como As, Cr y Pb, superando los niveles máximos permisibles de la normativa nacional e internacional. Se encontró evidencia de contaminación en los granos de arroz principalmente Cr, Cd y Pb pues algunas de las muestras superaron los estándares europeos y del *Codex alimentarius*. Concluyeron que existe una transferencia de estos contaminantes del suelo hacia el grano de arroz.

Arévalo-Gardini et al (2016) determinaron la presencia de metales pesados y la calidad en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*) en tres zonas del Perú: zona norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas); zona centro (Huánuco, San Martín y Junín) y zona sur (Cuzco). Dicha determinación se realizó a través de espectrofotometría de absorción atómica a través del muestreo de suelos.

Los resultados del análisis fisicoquímico demostraron que los suelos estudiados poseen condiciones físicas y químicas adecuadas para el cultivo de cacao. Asimismo, las lecturas de las concentraciones de cobre, zinc, cadmio, níquel y plomo encontrados en los suelos muestreados estuvieron dentro de los estándares planteados por la Agencia de Protección Ambiental para suelos de tipo agrícola. Finalmente, los valores promedio de, zinc, níquel y plomo fueron mayores en la zona sur, mientras que en la zona norte los valores de cobre y cadmio fueron mayores.

Riveros (2014) realizó una investigación con la finalidad de determinar el nivel de contaminación que existe en suelos agrícolas con metales pesados, así como, los efectos adversos en hortalizas del Valle Higuera en Huánuco. El principal problema se debe al uso

del agua del río Higueras para el riesgo de los cultivos hortícolas impactando sobre la calidad del producto que es ingerido por las personas.

Dentro de los resultados de la investigación, se determinó que la presencia de cadmio estaba muy cerca de los valores límites ambientales establecidos en la normativa, y que además existía una tendencia de incremento de las concentraciones de este metal pesado en el agua, al comparar los resultados obtenidos con los datos históricos del sitio. Por otro lado, no llegaron a encontrar niveles altos de metales en suelos, pero sí en los productos hortícolas, como la lechuga y el apio, especialmente para el parámetro cadmio, el cual superaba todos los límites recomendados para su ingestión. De forma similar, aunque no excesiva, el plomo superaba los límites permisibles de presencia de este metal en alimentos.

Astete et al. (2009) estudiaron los niveles de metales pesados en sangre y la repercusión sobre la salud de población infantil expuesta a la actividad minera en Las Bambas, Apurímac. Este estudio incluyó a niños menores de diez años con un tiempo de residencia mayor a un año a quienes se le midió hemoglobina a través del método de colorimetría. Asimismo, se procedió con la determinación de plomo en sangre por la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica; y finalmente, se midió el desarrollo psicomotor a través de métodos de psicología como la escala de evaluación del desarrollo psicomotor y el test de inteligencia de Stanford Binet.

Los resultados demostraron que el 85,8% de la población infantil presentaba un cuadro de intoxicación por plomo; sin embargo, solo el 20% presentó un diagnóstico con anemia. Asimismo, respecto de la evaluación del desarrollo psicomotor en niños de 1 a 5 años, el 79,2% en Quiulacocha y el 85,4% en Champamarca fueron normales. Finalmente, sobre la evaluación del coeficiente intelectual realizada a los niños de 3 a 10 años se encontró que, en Quiulacocha sólo el 9,8% tiene retardo mental fronterizo; mientras que en Champamarca el 2% tiene retardo mental leve y profundo).

2.3 Estructura teórica y científica general

Generalidades de suelo: composición y formación. El suelo es la base superficial sobre la que se sostiene la vida. El suelo tiene un espesor pequeño y se sitúa entre la zona continental de la corteza terrestre y la atmósfera.

El suelo está formado por tres fases correspondientes a la fase sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida, posee una carga orgánica formada por los restos de seres vivos en fase de descomposición; y una carga inorgánica compuesta por minerales y rocas. La fase líquida, se refiere al agua del suelo que disuelve los minerales y promueve la formación de coloides de la arcilla y humus. Por último, la fase gaseosa, que se refiere al aire presente en el suelo (Porta, 2008).

La formación de suelos consta de las siguientes etapas: fragmentación mecánica de las rocas, meteorización química, instalación de plantas y animales y, finalmente, la mezcla de todos los materiales. En función a las distintas combinaciones de los factores como la roca madre, clima y relieve es que se dan origen a determinado tipo de suelo (Jordán, 2005).

Factores de formación del suelo

Las características de los suelos dependen de los diferentes factores que lo componen y de la forma en cómo interactúan, es decir, en función a las distintas combinaciones de los factores, se obtiene uno u otro tipo de suelo (Sanzano, 2019).

Los factores más importantes son:

- El clima, dependiendo del tipo de clima se puede acelerar el proceso de meteorización de la roca madre, este es el caso del clima húmedo.
- Los organismos vivos, La acumulación y descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la estabilidad de la estructura son ejemplos de la actividad de los organismos presentes en el suelo.
- El relieve, es más fácil que se genere un suelo cuando el relieve es suave, a diferencia de un relieve abrupto donde los materiales resultantes de la erosión son movilizados a otras zonas.
- La roca madre, de esta se genera directamente el suelo y lo hace por procesos de meteorización. Se sabe que mientras más dura sea la roca madre, más tiempo tomará la formación del suelo.

- Tiempo, considerado como un factor de formación de suelos es en realidad una variable independiente, ya que no está influenciado por ningún otro factor ambiental.
- Hombre, el uso intensivo de las tierras agrícolas, ganaderas, la presión poblacional han producido grandes cambios en las propiedades de los suelos. Muchos de esos cambios son conocidos e incluyen a la erosión, el drenaje, la salinización, el agotamiento o el enriquecimiento de la materia orgánica y de los nutrientes, la compactación y las inundaciones.

Figura 2-1

Factores de formación del suelo



Nota: Adoptado de *Factores de formación del suelo*, por Sanzano, 2019, Universidad Nacional de Tucumán

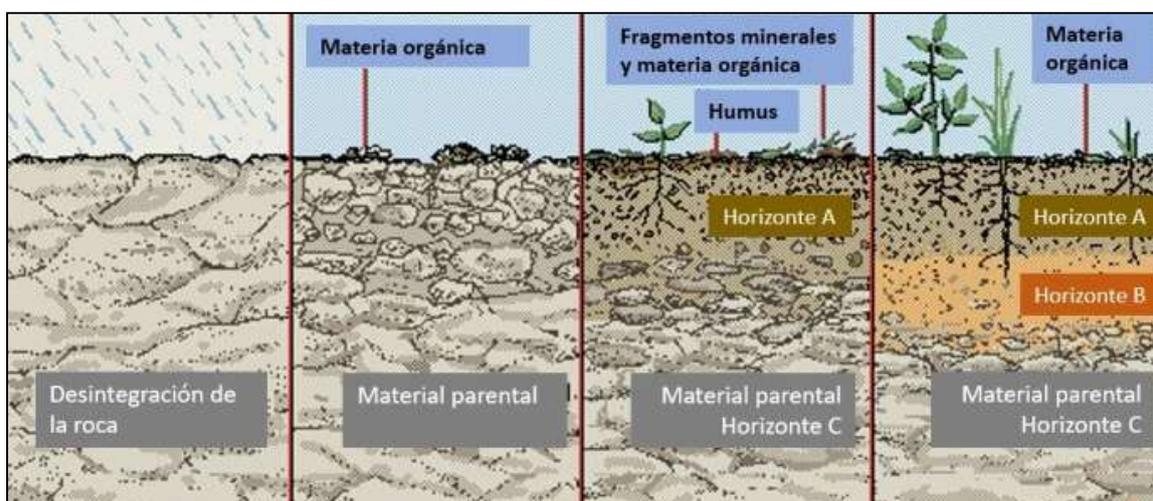
Fases de formación del suelo

Existen una serie de etapas que, con la interacción del tiempo y los factores ya mencionados, llevan a cabo el proceso de formación de suelos. Estas etapas son:

- a. Desintegración mecánica de las rocas: la meteorización de la roca madre da como resultado fragmentos más pequeños de roca.
- b. Meteorización química: se da sobre los fragmentos de roca madre. Ocurre una alteración y descomposición química de la roca cuando el agua se filtra entre los espacios que deja la roca al fragmentarse; finalmente esta etapa origina fragmentos finos de roca que se acumulan en la parte superficial.
- c. Meteorización biológica: Los animales y las plantas son los responsables de la meteorización biológica. Las raíces logran introducirse a través de las grietas gracias a la presencia de agua y ácidos. Con el tiempo, ello promueve la modificación de la estructura de las rocas.
- d. Instalación de plantas y animales: los organismos se asientan sobre el suelo desmenuzado liberando productos químicos, liberados como parte de sus procesos metabólicos, que van a continuar el proceso de meteorización. Estos organismos al morir se incorporan al suelo y sufren procesos de descomposición y fermentación.
- e. Mezcla de todos los materiales: tanto los materiales orgánicos e inorgánicos, junto al agua y el aire al mezclarse provocan una diferenciación en los suelos, formando una especie de capas conocidas como horizontes.

Figura 2-2

Fases de formación de suelo



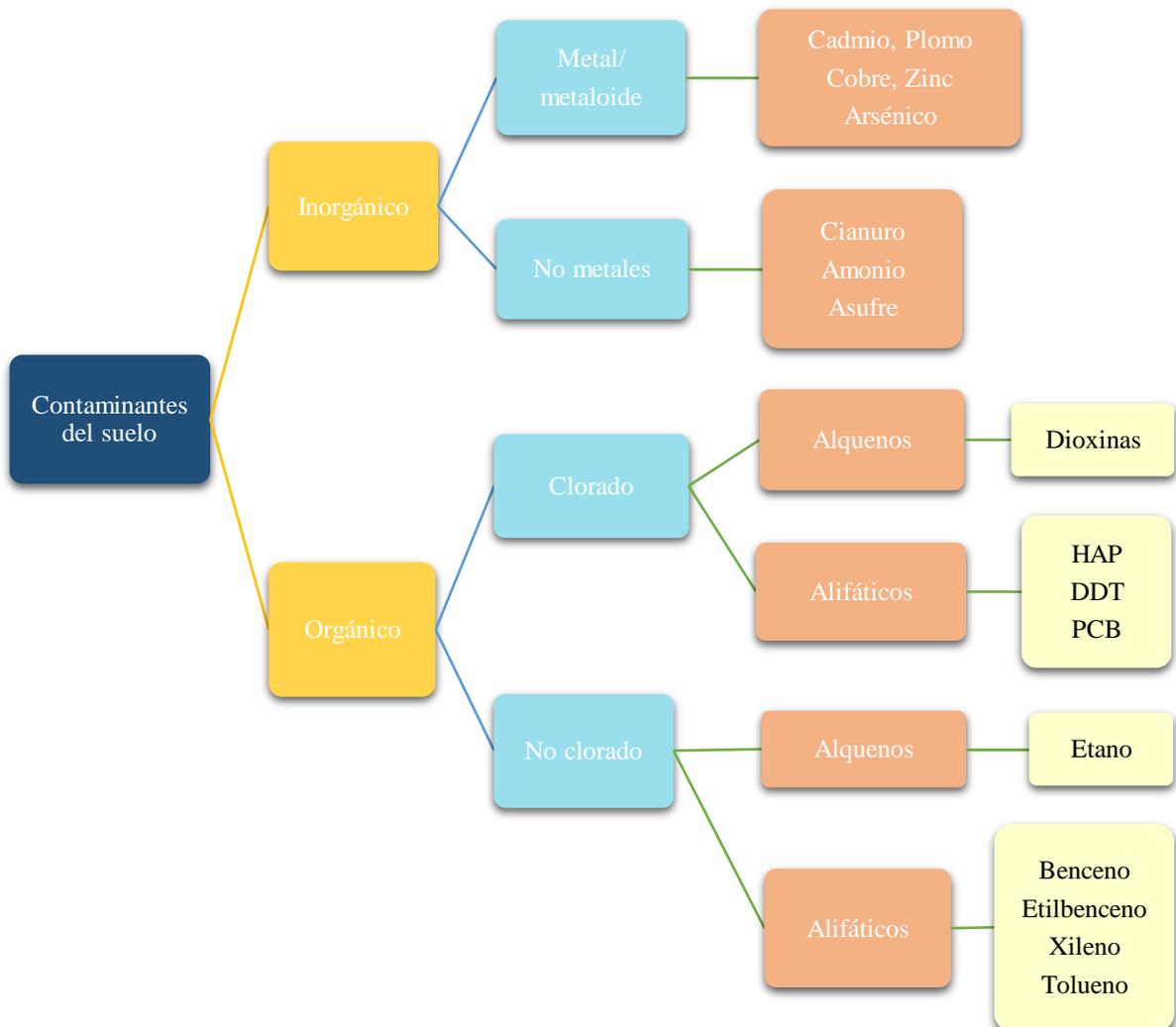
Nota: Tomado de Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, 2017

Contaminación del suelo por metales pesados. La contaminación del suelo consiste en el ingreso o presencia de metales pesados en el suelo provocando, con el tiempo suficiente y bajo ciertas condiciones, alteración del equilibrio natural del suelo y daños a la salud de las personas (Albert, 2004).

Un suelo contaminado puede representar un peligro toxicológico para la salud humana, peligro de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, atmósfera y sedimentos. Asimismo, puede causar diversos efectos en el ecosistema afectando principalmente a seres vivos, así como vegetales y animales (Sabroso & Pastor, 2004).

Figura 2-3

Contaminantes del suelo



Nota: Tomado de *La contaminación del suelo: una realidad oculta*, FAO, 2019.

Es importante mencionar que la presencia de metales pesados en el suelo puede deberse a procesos naturales, así como a procesos antropogénicos:

Fuentes naturales. Los metales pesados existen en la naturaleza de manera natural por la meteorización de las rocas. Estos metales pesados son producidos en parte por el proceso natural de transformación de las rocas para dar origen al suelo. Es importante mencionar que los metales pesados de origen natural, generalmente, se encuentran dentro de los umbrales de toxicidad manteniendo un equilibrio ambiental (Yacomelo, 2014).

Fuentes antropogénicas. La concentración de metales pesados en suelo ha aumentado a razón del incremento de la actividad antropogénica; específicamente, se hace referencia a las liberaciones industriales, emisiones de actividades mineras, uso de agroquímicos, lodos residuales, emisiones vehiculares y los residuos sólidos domésticos (Manahan, 2007).

La liberación de metales pesados al ambiente ocurre al inicio del proceso de producción (insumos), cada que los minerales son extraídos de la corteza, durante el uso de los productos que contienen dichos metales y, por último, al final del proceso de producción (Bradl, 2005).

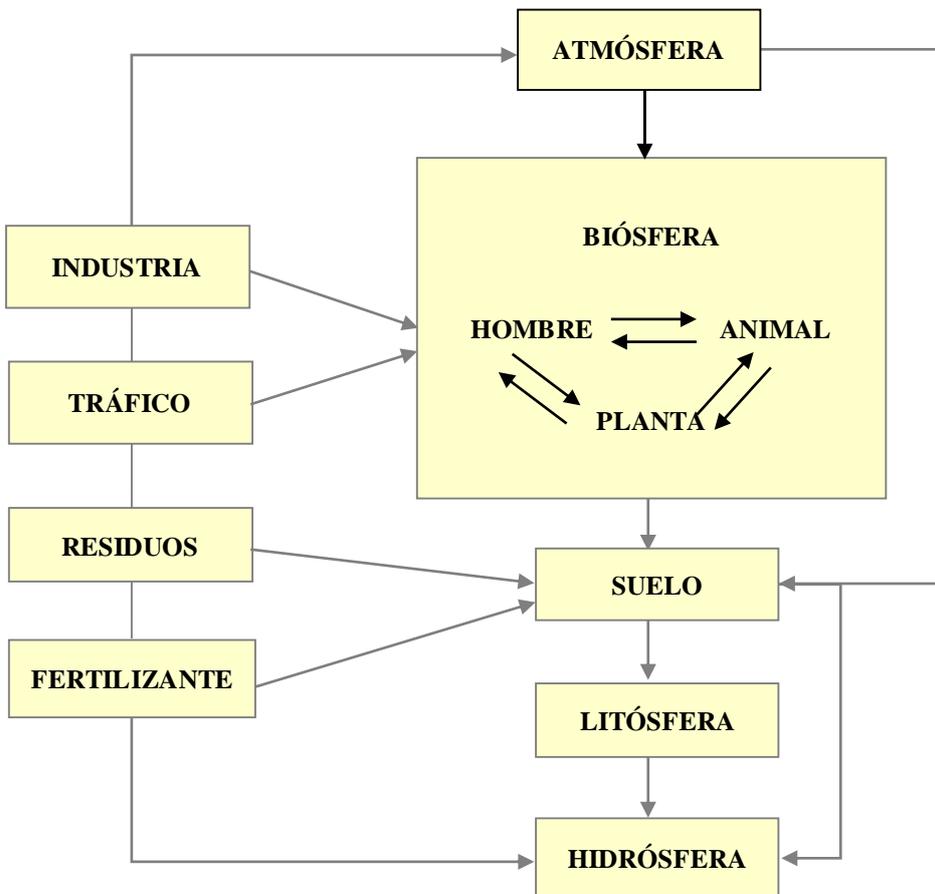
Dinámica ambiental de los metales pesados

La presencia de los metales pesados a niveles traza se debe a la degradación ambiental del material geológico original, es decir, sin aportes externos. Por el contrario, se habla de contaminación ambiental del suelo cuando se producen aportes externos que provocan la alteración de los ciclos biogeoquímicos que se llevan a cabo en el ambiente (Polo, Hernández, & Fritis, 2002).

Las principales fuentes de los metales en el suelo son las emisiones industriales, las actividades mineras, el uso de agroquímicos, lodos de plantas de tratamiento de aguas, las emisiones vehiculares y los residuos sólidos domésticos, entre otros. La diferencia de los metales pesados con respecto de los contaminantes de tipo orgánico es que los primeros no pueden ser degradados; por el contrario, son transformados en otras formas químicas, por lo que migran de un medio a otro (Figura 2-4) (Díaz, 1990).

Figura 2-4

Ciclos de los metales pesados



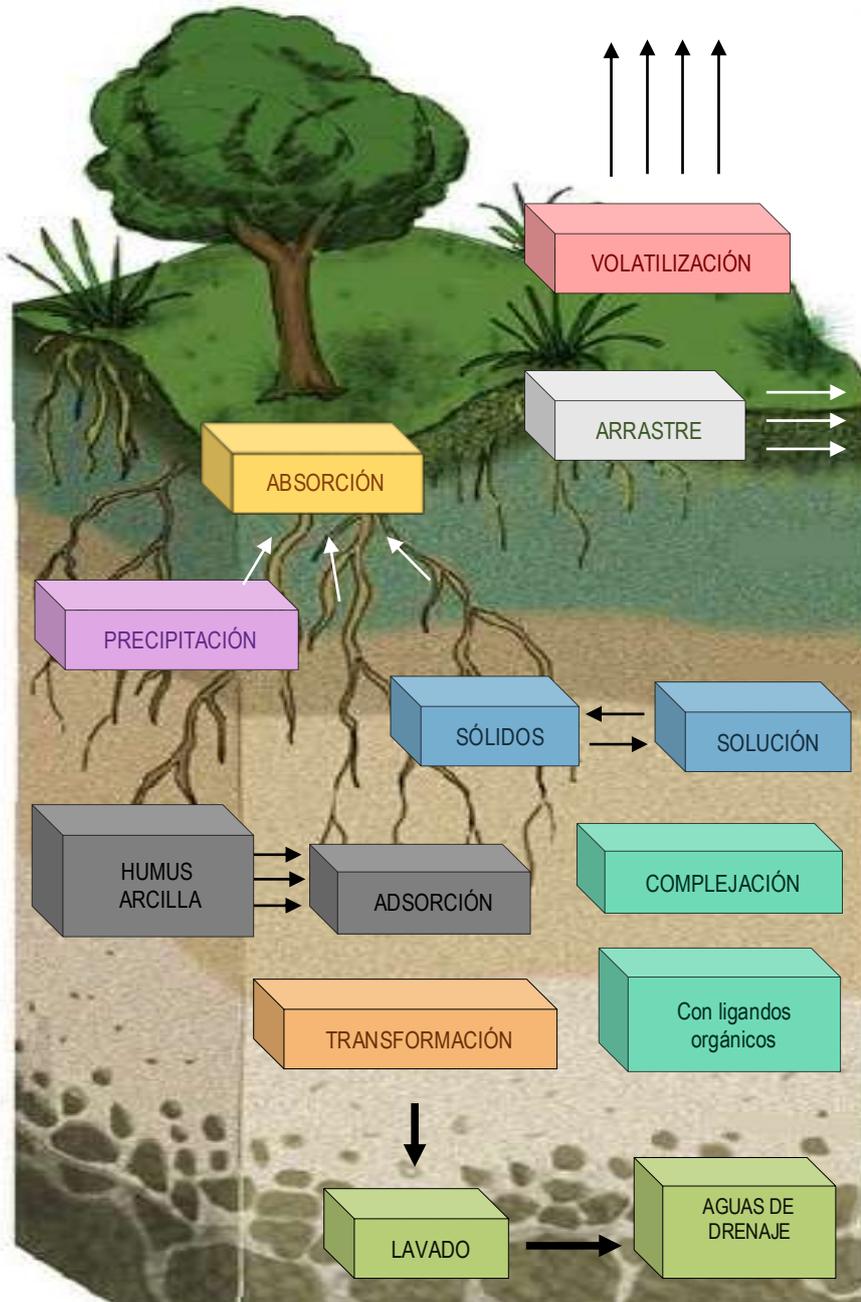
Nota: Tomado de Ciencia y Medio Ambiente, Polo, Hernández, & Fritis, 2002

La dinámica de los metales pesados presentes en el suelo puede explicarse a través de estos cuatro destinos (García & Dorronsoro, 2005).

- Transferencia a la atmósfera a través del mecanismo de volatilización.
- Movilización hacia los cuerpos de agua superficial por escorrentía o migración de los metales pesados hacia el agua subterránea.
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas lo que permite la bioacumulación en los organismos y la biomagnificación en la cadena trófica.
- Inmovilización de metales pesados en el suelo por mecanismos como la adsorción (fijación a moléculas inorgánicas), complejación (fijación a moléculas orgánicas) y precipitación (formación de carbonatos, sulfatos y fosfatos).

Figura 2-5

Dinámica ambiental de los metales pesados



Nota: Adaptado de *Contaminación por metales pesados*, por I. García y C. Dorronsoro, 2005, Universidad de Granada

Factores que influyen en la disponibilidad de los metales en el suelo

De acuerdo con Galán & Romero (2008), los factores que influyen sobre la disponibilidad y movilidad de los contaminantes en el suelo son:

- ✚ **pH:** Es el principal factor que controla la movilidad de los metales en el suelo. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, ya que a esas condiciones la solubilidad es alta. Por el contrario, algunos elementos como el As, Mo, Cr y Se tienden a estar disponibles a pH alcalino
- ✚ **% arcilla:** Los suelos arcillosos retienen mayores concentraciones de metales que los suelos arenosos. Esto debido a su mayor área superficial y a la presencia de cargas eléctricas (principalmente negativas) en su superficie lo que les confiere la capacidad de retener metales.
- ✚ **Potencial REDOX:** El potencial de oxidación-reducción favorece la formación de reacciones de óxido-reducción las cuales tienen estrecha relación con el pH. Un aumento del potencial redox disminuye el pH lo que contribuye a la movilidad de los metales.
- ✚ **Materia orgánica:** El contenido de materia orgánica puede contribuir a la inmovilización de los metales en el suelo ya que favorece la formación de complejos estables.
- ✚ **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** La CIC depende del contenido de arcilla y materia orgánica por lo que es otro factor que influye en la disponibilidad de los metales. Cuanto mayor sea la CIC del suelo, mayor será la inmovilización de los metales.
- ✚ **Presencia de óxidos de Al, Fe, Mn:** Se encargan de la retención e inmovilización de metales pesados debido al pequeño tamaño de sus partículas, ($<2\mu\text{m}$). Tienen una alta afinidad por metales divalentes como Cu y Pb.

2.4 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

La aplicación de las teorías de estudio se realiza en función de las variables que fueron identificadas para el desarrollo de la presente investigación.

2.4.1 Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola

El término de concentración se refiere a la relación que existe entre los metales pesados y el suelo agrícola. Esta relación es medida a través de instrumentos de gestión ambiental como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP).

Teoría de la Gestión Ambiental. - Estos instrumentos forman parte de la gestión ambiental la cual se define como:

“Proceso permanente y continuo, constituido por el conjunto estructurado de principios, normas técnicas, procesos y actividades, orientado a administrar los intereses, expectativas y recursos relacionados con los objetivos de la política ambiental y alcanzar así, una mejor calidad de vida y el desarrollo integral de la población, el desarrollo de las actividades económicas y la conservación del patrimonio ambiental y natural del país” (Art. 13°, Ley N° 28611).

En este sentido, la gestión ambiental se asume como la estrategia diseñada por cada país para hacer frente a sus necesidades entorno a materia ambiental y todos los aspectos que involucra, calidad ambiental, biodiversidad, ordenamiento territorial, etcétera. La gestión ambiental involucra a diversos actores tales como gobierno central, gobierno regional y local, sector empresarial, sociedad civil y a la academia.

A. Concentración del metal pesado

Los metales pesados pueden representar problemas graves de contaminación debido a que no cumplen una función biológica en el organismo de plantas y animales. Muchos de estos metales como el plomo, arsénico y mercurio, tienden a acumularse en el organismo y, a biomagnificarse a través de la cadena trófica. En esta parte, se trae a colación, la teoría sobre el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) los cuales regulan las concentraciones de los contaminantes en diferentes matrices ambientales. Cabe precisar que el ECA peruano regula metales como arsénico, plomo, mercurio, cadmio, bario y cromo debido a su alta toxicidad.

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP). - El artículo 31 de la Ley Nro. 28611 define al ECA como la medida de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que no representa riesgo

significativo para la salud ni el ambiente. Un estándar se mide sobre las matrices ambientales de aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor (MINAM, 2005).

Tabla 2-2

Estándares de calidad ambiental para parámetros inorgánicos

Parámetros inorgánicos	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo
Arsénico	50	50	140
Bario total	750	500	2 000
Cadmio	1,4	10	22
Cromo total	-	400	1000
Cromo VI	0,4	0,4	1,4
Mercurio	6,6	6,6	24
Plomo	70	140	800
Cianuro Libre	0,9	0,9	8

Nota: Se considera todos los parámetros inorgánicos del ECA Suelo.
Tomado del DS N° 011-2017-MINAM

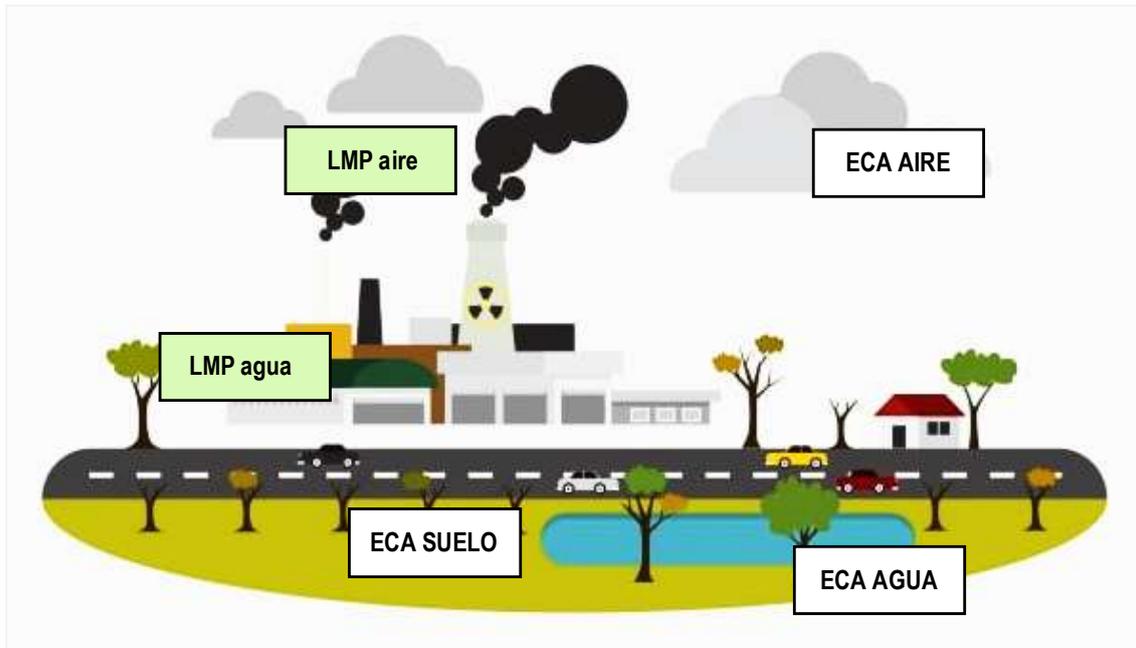
El Límite Máximo Permissible (LMP) consiste en la medición de la concentración de las sustancias químicas y parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión o efluente. Superar o exceder los límites máximos permisibles podría provocar efectos adversos sobre la salud y el ambiente (MINAM, 2005). A la fecha, se han planteado LMP para los sectores de minería, transportes y comunicaciones, electricidad, hidrocarburos, construcción y saneamiento, curtiembres, industria cementera y papel, entre otros (ESAN, 2016).

Tanto los ECA como los LMP tienen la finalidad de proteger el ambiente y la salud, regulando parámetros que, debido a su toxicidad, son considerados como peligrosos. La principal diferencia entre ambos valores radica en que el primero establece un valor guía de referencia en el ambiente (como cuerpo receptor) mientras que el segundo establece un límite de emisiones, liberaciones o descargas al ambiente a partir de una fuente determinada.

Otra diferencia es que el hecho de medir los LMP en la fuente de emisión los hace exigibles y de obligatorio cumplimiento según la normativa de cada sector.

Figura 2-6

Diferencia entre ECA y LMP



Los ECAs se miden en el cuerpo receptor y mide los aportes de todas las emisiones mientras que los LMPs se miden desde la fuente emisora. Los LMP son elaborados por actividad económica. A la fecha, los sectores que cuentan con su respectivo LMP son: energía y minas, transporte y comunicaciones y producción.

Finalmente, es importante mencionar que, los LMP son instrumentos de gestión ambiental usados para la fiscalización ambiental ya que permite identificar a cada aportante; mientras que los ECA no tienen esta aplicación ya que se mide sobre la matriz ambiental la cual recibió los aportes de diferentes fuentes.

B. Exposición a varios metales

La exposición se refiere al nivel de contacto entre un agente estresante (metales pesados como arsénico, cadmio y plomo) y un organismo receptor a través de una ruta de exposición (recorrido o desplazamiento del contaminante desde la fuente hasta el receptor) y una vía de exposición (inhalatoria, dérmica e ingestión) (ATSDR, 2019b).

Para el caso de la presente investigación, se ha visto pertinente considerar la teoría de la agricultura sostenible debido a que es la principal actividad que se desarrolla en la localidad de Carapongo y forma parte del objeto de estudio.

Agricultura sostenible. - Se define como el manejo adecuado y conservación de los recursos naturales para garantizar que las necesidades de las generaciones actuales y futuras sean cubiertas permanentemente. El desarrollo sostenible permite preservar el suelo, el agua, la flora y fauna; es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable (García G. J., 2013).

En este sentido, la agricultura sostenible aplica las mejores prácticas disponibles y adecuadas para mejorar la producción de una determinada parcela, buscando mantener el equilibrio en el ambiente y respetando todas las interrelaciones ecológicas optimizando el uso de los recursos naturales como: agua, suelo, sol, animales y plantas. Algunas de las prácticas propias de la agricultura sostenible son: Eliminación del uso de agroquímicos, el suelo es considerado organismo vivo, recuperación de tierras degradadas y trabaja en la diversificación de los productos (Landerero, et al., 2016).

Es importante mencionar que la aplicación de una agricultura responsable con el ambiente es importante, sobre todo, en países como el nuestro ya que, en muchas partes del país como Arequipa, La Libertad, Ica, entre otros, desarrollan esta actividad a gran escala. En este sentido, no solo se requiere producir más sino también asegurar la calidad de los recursos que sustentan la actividad agrícola como el agua y el suelo para que de esta forma se pueda producir alimentos de manera sostenible y responsable en el tiempo.

2.4.2 Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo

El riesgo se debe entender como la posibilidad o probabilidad de que se presente un efecto en la salud luego de que una persona se encuentre expuesta a una cantidad específica de determinado agente peligroso. Ello se sustenta en la teoría de evaluación de riesgos propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Evaluación de riesgos a la salud. -Antes de definir a la “Evaluación de riesgos” debe primero comprenderse el término “riesgo”, éste se define como la probabilidad de que un evento determinado ocurra, es decir, si nos enmarcamos en el ámbito de la salud diríamos que el riesgo es la probabilidad de que un efecto adverso o nocivo ocurra en una persona.

Es así como la evaluación de riesgos a la salud es el término que engloba el proceso de recopilación de información toxicológica sobre una sustancia química y se analiza con finalidad la determinar la existencia de posibles riesgos asociados a una exposición. Este proceso de recopilación de datos y la evaluación de esta información se puede dividir en diferentes etapas, las cuales pueden ser: (i) identificación de peligros, (ii) relación dosis-respuesta, (iii) evaluación de la exposición, y (iv) caracterización del riesgo. De acuerdo con la región o país, estas fases pueden tener diferentes nombres, pero en esencia mantienen la misma finalidad. La evaluación de riesgos también se puede aplicar sobre componentes bióticos como la flora y fauna y, de esta manera, estimar niveles de riesgo para estos receptores. (ATSDR, 2002, págs. 139-146).

La evaluación de riesgos como metodología de evaluación se basa en criterios toxicológicos y de exposición, por lo cual brinda información importante acerca del nivel de riesgo que un área contaminada representa para la salud, esto permite a los tomadores de decisiones establecer acciones dirigidas a la remediación con la finalidad de reducir este riesgo.

A. Tipo de riesgo (cancerígeno, no cancerígeno)

Los riesgos pueden clasificarse en riesgo cancerígeno y no cancerígeno. El riesgo cancerígeno busca determinar la probabilidad de que una persona manifieste algún tipo de cáncer durante el transcurso de toda su vida, de entre una población expuesta de por vida a una determinada concentración promedio de un contaminante y que se encuentre por encima de la probabilidad basal o normal de contraer cáncer. El riesgo no cancerígeno busca determinar si la exposición rebasa el umbral o valor en el que se espera que no se espera que no se produzca un daño o efecto tóxico (MINAM, 2015, págs. 48-51).

Caracterización del riesgo. - La caracterización de riesgos es una etapa importante e integral del proceso de evaluación de riesgos para la salud, al cual se le conoce como el paso final e integrador de la evaluación de riesgos. Esto debido a que integra la información obtenida en las etapas anteriores de la evaluación de riesgos y sintetiza una conclusión general sobre el nivel de riesgo, sea este aceptable o no aceptable, el cual es útil para los tomadores de decisiones. Por otro lado, de acuerdo con las guías de evaluación de riesgos, la caracterización del riesgo puede realizarse para dos importantes grupos de efectos, los cancerígenos y los no cancerígenos o tóxicos.

En resumen, la caracterización del riesgo consiste en reunir toda la información obtenida en otras etapas de la evaluación de riesgos y determinar el riesgo real por exposición a una sustancia determinada (EPA, 2000, págs. 10-12).

La caracterización de un riesgo se basa en la existencia de una exposición y de la peligrosidad de la sustancia, evaluándolas como parte de una ruta de exposición el cual cuenta con cinco componentes: fuente, mecanismos de transporte, vías de exposición, punto de exposición y receptor. Si uno de estos componentes de una ruta de exposición faltase la ruta se considera como incompleta y no se considera como parte de la evaluación de riesgos; en resumen, para que exista un riesgo se requiere como mínimo de un contaminante, de un receptor y de un medio físico en el que se dé la exposición, por otro lado, para evaluar el efecto también es importante considerar la susceptibilidad del receptor, lo cual puede potenciar el efecto de los contaminantes en la persona.

B. Nivel de riesgo (aceptable, no aceptable)

El nivel de riesgo se define según el tipo de riesgo. Así, para el riesgo cancerígeno se considera como no aceptable cuando un compuesto tóxico genera una probabilidad de más de un caso de cáncer por cada cien mil individuos. Para el caso del riesgo no cancerígeno, el riesgo es no aceptable cuando el cociente de la dosis de exposición (DE) y la dosis de referencia (DRf) es mayor a uno (>1) (MINAM, 2015, págs. 48-51).

La determinación de un riesgo aceptable o no aceptable demanda de gran responsabilidad sobre el investigador y, sobre todo, de ética y compromiso social en la comunicación de los resultados. Por ello, es pertinente hacer un llamado a esta teoría.

Ética ambiental. - Actualmente, se percibe que las acciones de la persona humana están basadas en una conducta comercial y consumista de productos y servicios particulares. La producción de estos bienes y servicios, representan un impacto negativo sobre el ambiente por lo que representa la extracción de materia prima hasta la disposición final de los residuos generados. Es lo que se define como un esquema de producción-acumulación-consumo (Gómez, Vargas, & Posada, 2007), el cual funciona como un parte de un marco que se centra en encontrar el beneficio inmediato, la producción incontrolada, el despilfarro, y con esto, una producción descontrolada de residuos y acumulación, ya que al finalizar el ciclo de vida de los productos (tanto domésticos como industriales) se disponen en vertederos altamente contaminantes y costosos, con consecuentes efectos ambientales y económicos.

Se conoce que, en los últimos 20 años, la producción de residuos tóxicos ha alcanzado los 400 millones de toneladas anuales (Ojeda & Martínez, 1998) siendo la mayor cantidad de residuos generados en los países desarrollados con un volumen medio de dos kilos de basura diaria por persona; mientras que, en países en vías de desarrollo, la tasa es de aproximadamente medio kilo por persona (Elizalde, 2000). Los ecosistemas se ven alterados debido al estilo de vida insostenible en el tiempo, pues se desconoce si la disponibilidad del capital natural puede sustentar la carga de la economía prevista para las futuras generaciones, ya que en la actualidad el consumo de los recursos naturales es mayor que su tasa de regeneración del ambiente, lo que se traduce en el agotamiento de los recursos (Ojeda & Martínez, 1998). Lo mencionado anteriormente muestra una asociación entre el sistema económico actual y el deterioro del ambiente. Una de las causas es la no consideración de los límites biofísicos de los ecosistemas, siendo la única preocupación la satisfacción inmediata de necesidades humanas por medio de patrones de producción y consumo guiados únicamente por términos monetarios, generando una gran presión sobre los recursos que no son ilimitados. Esta forma en la que la sociedad se relaciona con el medio ambiente debe ser prontamente replanteado, incorporándose un punto de vista que englobe criterios ambientales, biofísicos y sociales, dejando de lado la búsqueda de beneficios individuales (Castiblanco, 2008).

En este sentido, la ética ambiental promueve la adopción de conductas responsables y amigables con el ambiente basadas en la cooperación, solidaridad, reciprocidad y compromiso social (Ojeda & Martínez, 1998; Elizalde, 2000). Es así como surge la responsabilidad social empresarial, donde la organización desarrolla sus actividades logrando un punto medio entre sus objetivos económicos, sociales y ambientales.

Bajo este enfoque, y tomando en cuenta los conceptos de Desarrollo Sostenible y educación ambiental, es un compromiso ético garantizar condiciones sociales, ambientales, económicas, políticas y culturales, para que las generaciones actuales y futuras tengan acceso a la calidad de vida (Marín, 2011).

En tiempos modernos, y bajo el escenario mundial que ha desarrollado la pandemia, es importante replantear el estilo de vida y modificar conductas orientadas al consumo innecesario de bienes y servicios. En este sentido, cada persona debe asumir la responsabilidad de sus acciones frente a la conservación del ambiente en general.

2.5 Definición de términos básicos de variables e indicadores

- **X- Concentraciones arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola:** La contaminación del suelo se da cuando sus características físicas, químicas o biológicas se ven alteradas por la presencia de algún agente estresante. Esta alteración, de acuerdo a su naturaleza, extensión o permanencia en un determinado tiempo, genera una pérdida de sus propiedades funcionales y/o representar un riesgo para la salud y el ambiente (Mijangos, 2014, pág. 6). Dentro de los procesos de contaminación se encuentran elementos a los cuales se les atribuye entre estos, los de tipo metálico (metales pesados) los cuales se encuentran en suelos ya sea como componentes naturales o como resultado de la actividad humana (Pérez, Moura do Amaral, Balbín, R, & Lima, 2012, pág. 43).
- **X1- Los metales pesados** son elementos con elevado peso atómico tales como el cromo, mercurio, arsénico, plomo y cadmio, los cuales pueden ser nocivos para los organismos aun en pequeñas concentraciones y a bioacumularse en la cadena trófica (EPA, 2016).
- **X2- Exposición a varios metales pesados:** Nivel de contacto entre un agente estresante (físico, químico o biológico) y un organismo receptor a través de una ruta y vía de exposición (ATSDR, 2019b). Por otro lado, se conoce que existe interacción entre los contaminantes a los que un receptor se encuentra expuesto; tales como la aditividad, sinergismo, potenciación o incluso, el antagonismo. En este sentido, se considera la exposición a varios metales dado que se asume como mínimo una aditividad entre los efectos de los metales presentes en el suelo (Qingbiao et al., 2004; MINAM, 2015).
- **Y- Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo:** El riesgo se define como la probabilidad de que ocurra un efecto en la salud después de que una persona haya estado expuesta a una cantidad específica de algo peligroso (ATSDR, 2019a).
- **Y1- Tipo de riesgo:** Los riesgos pueden clasificarse en riesgo cancerígeno y no cancerígeno. El riesgo cancerígeno busca determinar el límite superior de la probabilidad de que una persona contraiga cáncer durante su vida entera, entre todas las personas expuestas de por vida a una concentración promedio del contaminante y por encima de la probabilidad basal normal de contraer cáncer. El riesgo no cancerígeno busca determinar si la exposición rebasa el umbral o valor en el que se espera que no se espera que no se produzca un daño o efecto tóxico (MINAM, 2015, págs. 48-51).

- **Y2- Nivel de riesgo:** El nivel de riesgo se define según el tipo de riesgo. Así, para el riesgo cancerígeno se considera como no aceptable cuando un compuesto tóxico genera una probabilidad de más de un caso de cáncer por cada cien mil individuos. Para el caso del riesgo no cancerígeno, el riesgo es no aceptable cuando el cociente de la dosis de exposición (DE) y la dosis de referencia (DRf) es mayor a uno (>1) (MINAM, 2015, págs. 48-51).

2.6 Fundamentos teóricos

2.6.1 Toxicología del arsénico

El arsénico, cuyo nombre deriva del griego *arsenikos* que significa ‘potente’, es un metaloide cristalino, quebradizo, gris acero, llamado el rey de los venenos y el veneno de los reyes. Fue aislado en el siglo XIII y se utilizó como medicamento para el tratamiento de la psoriasis, asma, sífilis, entre otros (Lombardo, 2019).

Se presenta bajo las siguientes formas:

- Arsénico inorgánico: Trióxido de arsénico, arseniato de sodio y tricloruro de arsénico.
- Arsénico orgánico: Ácido metilarsínico, arsenobetaína, encontrados en carne de pescado.
- Arsina (AsH_3) compuesto arsenical gaseoso.

A. Características fisicoquímicas

Los compuestos de arsénico poseen baja conductividad; por ello, pueden comportarse como metal y como no metal, de ahí su denominación de metaloide. Asimismo, al combinarse con oxígeno, cloro o azufre forma compuestos inorgánicos, y orgánicos al hacerlo con carbón o hidrógeno (Klaassen & Watkins, 2012). (Tabla 2-3).

Tabla 2-3*Características fisicoquímicas del arsénico*

Símbolo	As
Número CAS	7440-38-2
Número atómico	33
Peso atómico	74,92 uma
Grupo	15
Periodo	4
Bloque	p
Estados de oxidación	-3, 0, +3 y +5
Configuración electrónica	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³

Nota: Adaptado de Química, por R. Chang, 2002, McGraw Hill.

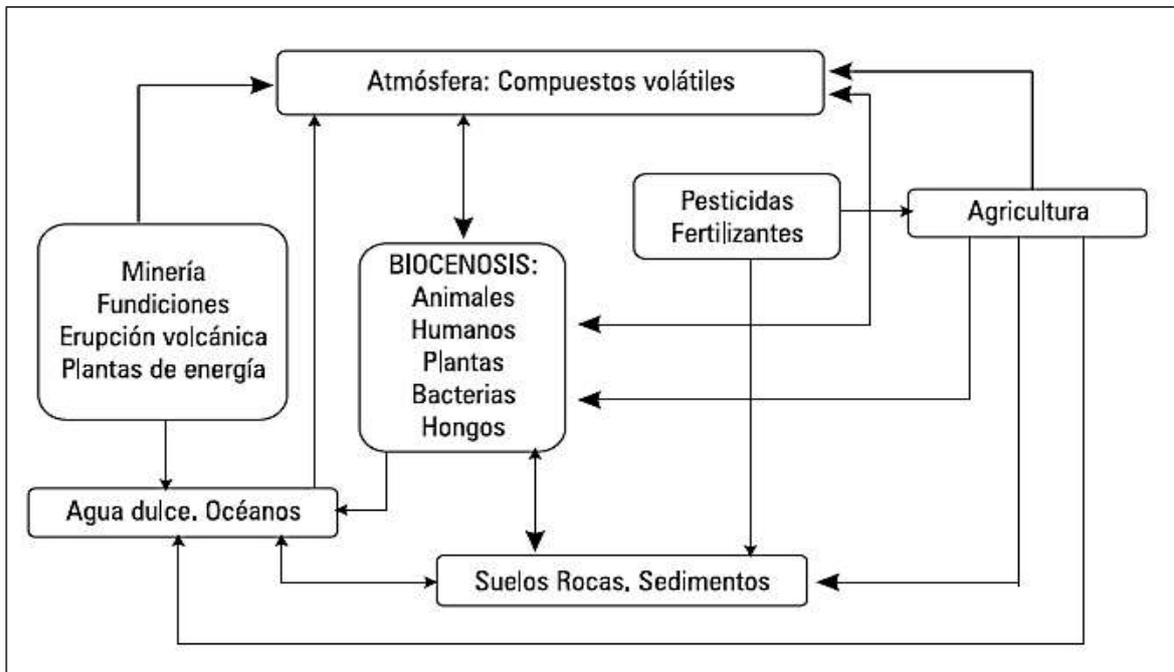
B. Dinámica ambiental del arsénico

El ciclo biogeoquímico del arsénico fue propuesto en el siglo pasado por Frost y Mckensie. Este esquema explica que las principales fuentes de arsénico antropogénico son la minería, la actividad de fundición y las plantas de energía. La fuente natural de arsénico es, principalmente, la actividad volcánica. Estas fuentes “suministran” de arsénico a la atmósfera y a los océanos. Asimismo, la actividad agrícola, a través del uso de pesticidas y fertilizantes, son una fuente de compuestos de arsénico los cuales alcanzan a los suelos y sedimentos.

Finalmente, los organismos entran en contacto con los compuestos de arsénico a través de la exposición a matrices como aire, suelo, sedimentos, alimentos y agua con presencia de arsénico (Ramírez, 2013).

Figura 2-7

Dinámica ambiental del arsénico



Nota: Adaptado de “Exposición ocupacional y ambiental al arsénico” (p. 238), por A. Ramírez, 2013, Anales de la Facultad de Medicina, 74(3).

C. Toxicocinética

La toxicocinética está referida a la absorción, distribución y excreción del arsénico del organismo. En este sentido, las principales vías de absorción son la inhalatoria y digestiva; no obstante, existen otras como la vía de absorción dérmica que representa una vía de ingreso menor.

Desde un punto de vista ambiental, la ingestión de agua de consumo también representa una vía de ingreso relevante. En un contexto ocupacional, la vía de exposición más importante de los compuestos arsenicales es la inhalación. Esta depende del tamaño de las partículas, la solubilidad y la forma química del compuesto. Es importante mencionar que la forma química predominante en la matriz de aire es el arsénico inorgánico trivalente (iAs^{+3}) presente en partículas que se depositan en el tracto respiratorio superior y que, posteriormente son desplazadas por las microvellosidades hacia el exterior o al tubo digestivo. Las partículas menores a $7 \mu m$ se absorben en el pulmón, aproximadamente entre 75 y 85%. (Ramírez, 2013).

Una vez absorbido, el arsénico alcanza la sangre donde se une a las globulinas. Durante las primeras 24 horas de distribución, el arsénico alcanza órganos blandos como el hígado, pulmón, riñón y bazo. Es aquí donde se une a los grupos sulfhidrilo de las proteínas. En el tejido óseo, puede competir y desplazar al fósforo y depositarse en los huesos por muchos años. Asimismo, una pequeña cantidad de arsénico es capaz de atravesar las barreras hematoencefálica y placentaria (ATSDR, 2007). Durante las próximas 30 horas, se deposita en cabello y uñas por lo que las muestras de pelo pueden dar indicios del tiempo de exposición al arsénico (Ramírez, 2013).

La vía principal de eliminación es la urinaria, por esta vía es común que los humanos eliminen una mezcla de compuestos de arsénico, como el inorgánico, y las formas monometiladas y dimetiladas; siendo la composición en la orina 10 a 30% de arsénico inorgánico, 10 a 20% monometilada y 55 a 76% dimetilada. El arsénico también puede ser eliminado por descamación de la piel, incorporación en cabello y uñas, por heces y sudor (Instituto de Salud Pública de Chile, 2015).

D. Toxicodinamia

El grado de toxicidad del arsénico depende de la forma arsenical, siendo los compuestos inorgánicos más tóxicos que los orgánicos, y los compuestos trivalentes más tóxicos que los pentavalentes; es decir, del arsénico inorgánico (iAs), en la forma de arsenito (iAs³⁺) es más tóxica que la forma de arsenato (iAs⁵⁺) y ambas, más que sus compuestos metilados: el ácido monometilarsónico (MMA) y el ácido dimetilarsínico (DMA) (Klaassen & Watkins, 2012).

Se ha encontrado que la toxicidad de los arsenicales en humanos se ajusta al siguiente orden, de mayor a menor toxicidad: arseninas > inorgánicos arsenitos > compuestos orgánicos trivalentes arsenóxidos > arseniatos inorgánicos > compuestos orgánicos pentavalentes > arsénico elemental (Giannuzzi, 2018; Bradl, 2005). Los compuestos orgánicos de arsénico como la arsenobetaína, arsenocolina y arsenoazúcares son considerados no tóxicos (Medina-Pizzali, Robles, Mendoza, & Torres, 2018).

El arsénico es parte del grupo de metales pesados conocidos como tioles privo ya que forma enlaces covalentes con el átomo de azufre presente en los grupos sulfhidrilo. Esto indica que, solo en presencia de agua, el arsénico puede liberarse para participar en reacciones bioquímicas; lo que significa que los compuestos sólidos de arsénico no son activos en el organismo hasta que no sean reducidos (Klaassen & Watkins, 2012).

E. Manifestaciones clínicas

Manifestaciones a corto plazo: Los síntomas de la intoxicación aguda empiezan a los 30 o 60 minutos con una sensación de quemadura y sabor metálico en la boca (Abernathy & Morgan, 2001). Asimismo, pueden presentarse cuadros de afectación gastrointestinales como el dolor abdominal y cólicos, diarrea, náuseas y vómitos. Estos últimos pueden desencadenar cuadros de desequilibrio electrolítico y deshidratación. Finalmente, se pueden manifestar fallas a nivel del sistemas cardiovascular, renal y hepático y provocar la muerte (Saha, Dikshit, & Bandyopadhyay, 1999).

Manifestaciones a largo plazo: Una infinidad de efectos sobre la salud están relacionados con la exposición crónica al arsénico afectando casi todos los órganos y principales sistemas del cuerpo.

La ingestión crónica de arsénico en el agua y los alimentos es conocida como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), siendo un problema de salud pública de larga data en países como Argentina, Chile y México (Secretaría Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2006).

Tabla 2-4

Efectos adversos del arsénico

Órgano blanco	Efectos en la salud
Sistema nervioso	Neuropatías, encefalopatías, trastornos de aprendizaje, disminución habilidades motoras, Alzheimer
Sistema inmune	Inhibición o proliferación de células inmunes, inducción enfermedades autoinmunes
Sistema cardiovascular	Lesiones cardíacas críticas, daño al sistema vascular
Sistema renal	Citotoxicidad puede causar proteinuria y oliguria, disfunción renal, cáncer en riñón y vejiga
Sistema hematopoyético	Anemia hemolítica, leucopenia, trombocitopenia, cáncer

Sistema reproductivo y en feto	Infertilidad ambos sexos, disfunción y necrosis en gónadas masculinas, cáncer en próstata. En feto: retraso en el crecimiento, malformaciones congénitas, muerte
Sistema respiratorio	Disfunción pulmonar, aumento mortalidad enfermedades respiratorias, cáncer pulmonar
Sistema hepático	Acumulación y hepatotoxicidad, ascitis, fibrosis hepática, fibrosis portal no cirrótica, cirrosis, cáncer hepático
Sistema endocrino	Diabetes mellitus T2, cáncer en páncreas
Sistema muscular	Debilidad muscular, progresiva disminución movilidad funcional
Piel	Melanosis queratosis, cambios pigmentación, cáncer dérmico

Fuente: Adaptado de “Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana”, por Medina-Pizzali et al., 2018, *Revista peruana de medicina experimental de salud pública*, 35(1)

F. Fuentes de contaminación

El arsénico es un constituyente natural de la corteza terrestre y se puede encontrar ampliamente distribuido en el ambiente. La principal preocupación por el arsénico se presenta cuando este metal se encuentra en altas concentraciones en el agua subterránea, tal es el caso de países como Argentina, Bangladesh, Chile, China, La India, México y EEUU, que cuentan con fuentes de agua subterránea contaminada naturalmente con arsénico (Alarcón, Leal, Benavides, & Dominguez, 2013).

El arsénico puede encontrarse también en mariscos, pescados y en productos cárnicos y lácteos; sin embargo, la exposición por esta vía no suele ser muy relevante dado que la concentración de este metal es baja y se encuentra en su forma orgánica (menos tóxica) (Suárez, González-Delgado, González, & Rubio, 2004).

Las fuentes antropogénicas de arsénico en el ambiente son la producción de agroquímicos, específicamente pesticidas y herbicidas, las actividades mineras, la industria de la fundición, la refinería de metales y la siderurgia, además, del uso de combustibles fósiles. Por otro lado, el arsénico se usa en la producción de medicamentos y como preservante de madera, por lo que la mala disposición de estos productos puede conllevar a la exposición a arsénico (Klaassen & Watkins, 2012; Sarkar, 2002).

G. Valores referenciales

Las concentraciones de arsénico permisibles en el suelo, según el MINAM, son los siguientes:

Tabla 2-5

Valores referenciales para arsénico según el ECA suelo

Suelo agrícola	Suelo residencial/ parques	Suelo comercial/ industrial/ extractivo
50 mg/Kg	50 mg/Kg	140 mg/Kg

Nota: Tomado de D.S. 011-2017-MINAM

2.6.2 Toxicología del cadmio

El cadmio, *cadmia* en latín y en griego *kadmeia*, significa “calamina” fue descubierto por el alemán Friedrich Stromeyer en el año 1817 (Pérez & Azcona, 2012). Este elemento químico puede producir cáncer órganos como la próstata y el pulmón por lo que es clasificado por la IARC como cancerígeno perteneciente al grupo 1: Agentes cancerígenos para el hombre y los animales (Giannuzzi, 2018).

A. Características fisicoquímicas

Así como el plomo se comporta de manera similar al calcio, el cadmio tiene un comportamiento similar al zinc, pero con la diferencia de tener una elevada afinidad por radicales sulfhidrilos o azufre (Pounds, Long, & Rosen, 1991).

Tabla 2-6*Características fisicoquímicas del cadmio*

Símbolo	Cd
Número CAS	7440-43-9
Número atómico	48
Peso atómico	112,411 u
Grupo, periodo y bloque	12, 5, d
Estados de oxidación	+2
Electronegatividad	1,69
Configuración electrónica	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ²

Nota: Adaptado de Química, por R. Chang, 2002, McGraw Hill.

B. Dinámica ambiental del cadmio

La transferencia ambiental de cadmio presente en el suelo hacia otras matrices o la cadena alimenticia depende de varios factores como el pH del suelo, tipo de suelo, porcentaje de arcilla, contenido de zinc y materia orgánica en el suelo. De estos factores mencionados, el pH del suelo es el factor principal que determina la concentración de cadmio en dicha matriz.

Si bien es cierto que la materia orgánica disminuye la disponibilidad del cadmio en el suelo, se debe tener presente que, al incrementar la materia orgánica, el pH del suelo disminuye lo que podría provocar el aumento de la disponibilidad del cadmio (Chávez et al. 2016). Con respecto del aire, el cadmio se encuentra adherido a partículas, especialmente aquellos en la categoría submicrónica (aproximadamente 0,5-1 μm) (OMS, 2007).

Las principales especies de cadmio en emisión son óxidos, cloruros, sulfuros y la forma elemental. Los óxidos (CdO) son emitidos por la mayoría de las fuentes antropogénicas.

C. Toxicocinética

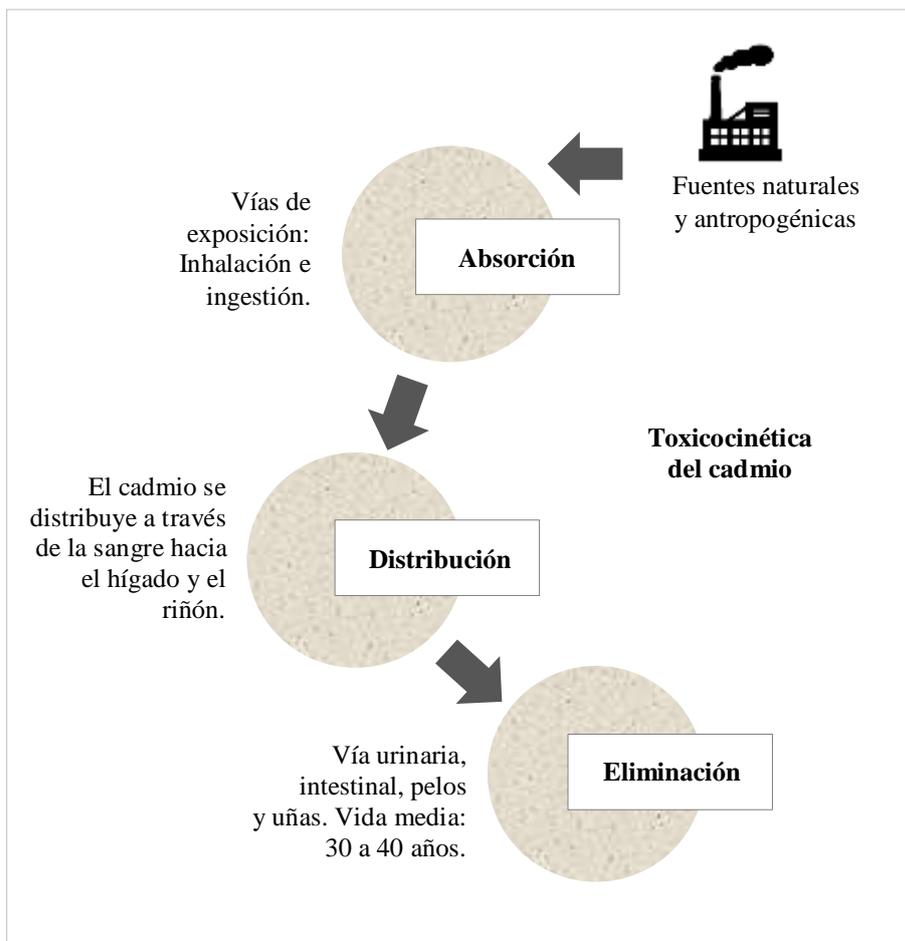
Absorción: Las vías de exposición más frecuentes son la ingestión y la vía de inhalación debido al consumo de agua y alimentos contaminados con cadmio; y por las partículas de cadmio suspendidas en el aire respectivamente. Asimismo, el cigarrillo contiene cadmio por lo que representa un riesgo para la salud de fumadores activos como pasivos (Ramírez, 2002).

Distribución: La distribución del cadmio en el organismo se da a través de las metalotioneínas presentes en la sangre, las cuales lo transportan hacia el hígado y el riñón. Tiene la capacidad de atravesar la barrera placentaria, formándose así el complejo metal-proteína que se acumula progresivamente en la placenta durante el embarazo, actuando como mecanismo protector frente al feto.

Eliminación: la eliminación del cadmio se da principalmente por las vías urinaria, intestinal. Se conoce que en cierto grado de excreción puede ser por la bilis, pero cuando esto sucede, el intestino vuelve a absorberlo a través del ciclo entero-hepático. La eliminación del cadmio es lenta lo que favorece su acumulación (Pérez & Azcona, 2012).

Figura 2-8

Toxicocinética del cadmio



Nota: Adaptado de "Toxicología del cadmio" por A. Ramírez, 200, *Anales de la Facultad de Medicina*, 63(1).

D. Toxicodinamia

La capacidad tóxica del cadmio se manifiesta a nivel local y general. A nivel local, la exposición aguda desencadena cuadros de irritación de la mucosa nasal, el árbol respiratorio y el tubo digestivo. A nivel general, se manifiestan daños en la función renal, pulmonar y ósea. La evidencia científica refiere que estos daños se deben a que el cadmio interfiere con el metabolismo de metales como Cu, Fe y Zn presentes en algunas enzimas (Ramírez, 2002).

El cadmio inhibe la absorción de cadmio en los intestinos e impide su depósito en los huesos. Asimismo, se une a los grupos sulfhidrilos alterando las reacciones bioquímicas a nivel de los macrófagos pulmonares (Giannuzzi, 2018).

E. Manifestaciones clínicas

Intoxicación aguda

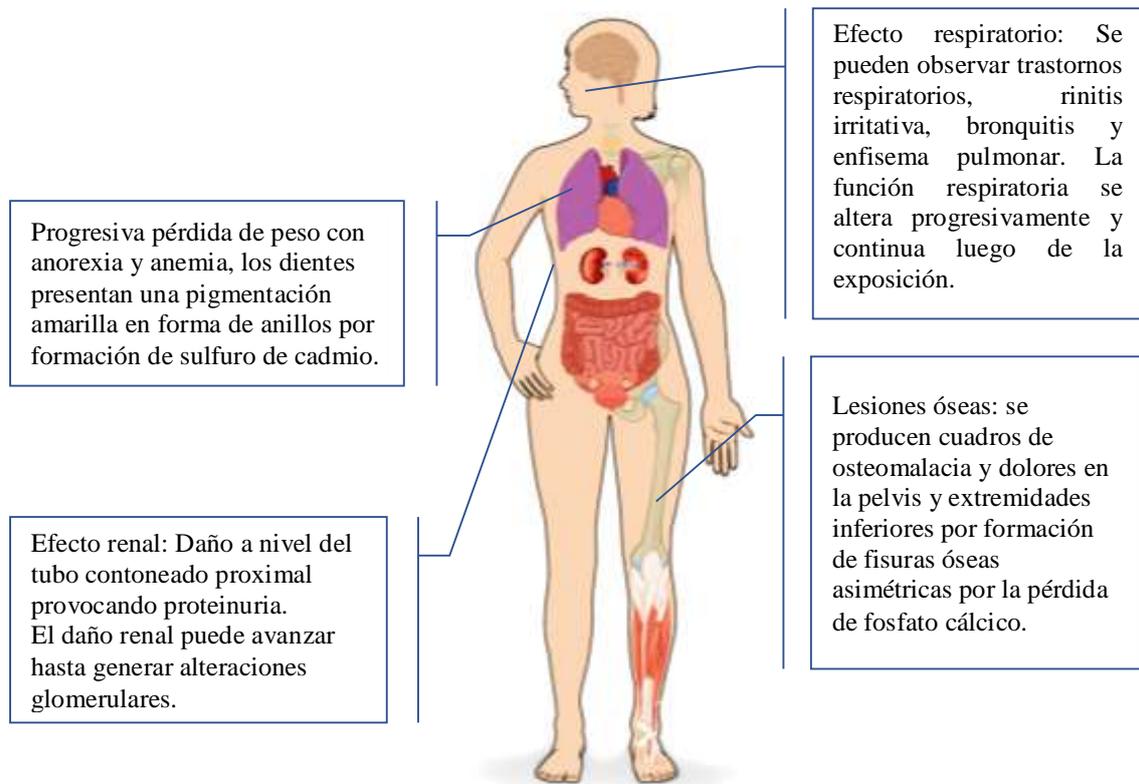
Los efectos en la salud debido a una exposición aguda a cadmio dependen de la vía de exposición. En este sentido, si la vía de ingreso es la vía digestiva, las manifestaciones clínicas corresponden a cuadros de gastroenteritis, cólicos, vómitos, diarreas, dolor abdominal y cefalea. Por el contrario, si la vía de exposición fue la inhalatoria, las manifestaciones clínicas corresponden a irritación pulmonar con disnea, cianosis, tos y en algunos casos graves, se puede presentar cuadros de edema pulmonar mortal (Giannuzzi, 2018).

Intoxicación crónica

La intoxicación crónica se presenta comúnmente bajo una exposición ocupacional prolongada donde se observa efectos adversos en diferentes órganos del cuerpo (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011).

Figura 2-9

Efectos adversos del cadmio



Nota: Adaptado de *Toxicología general y aplicada*, por L. Giannuzzi, 2018, Universidad de la Plata.

F. Fuentes de contaminación

La fuente natural más importante es la actividad volcánica por las emisiones atmosféricas al ambiente (Giannuzzi, 2018).

Las principales fuentes antropogénicas de cadmio son la deposición atmosférica a través de las emisiones de la fundición de cobre, aluminio y plata donde se liberan sulfuros de cadmio (CdS); de la industria de pintura, la industria fotográfica, entre otros.

El cadmio elemental y el cloruro de cadmio (CdCl_2) se liberan durante procesos de alta temperatura como la combustión de combustibles fósiles orgánicos y la incineración de desechos (Sarkar, 2002). Adicionalmente, otras fuentes antropogénicas son el uso de fertilizantes fosfatados y de lodos residuales municipales en la actividad agrícola (Ramírez, 2002).

G. Valores referenciales

Los estándares de calidad ambiental para cadmio en la matriz suelo, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-7

Valores referenciales para cadmio según el ECA suelo

Suelo agrícola	Suelo residencial/ parques	Suelo comercial/ industrial/ extractivo
1,4 mg/Kg	10 mg/Kg	22 mg/Kg

Nota: Tomado de D.S. 011-2017-MINAM

2.6.3 Toxicología del plomo

El plomo es una de las sustancias más estudiada en la Toxicología debido a su gran impacto en la salud y el ambiente. Según la data sobre las civilizaciones de Grecia y Roma en plomo viene siendo usado desde hace 8000 años. En Grecia se identificó que el cólico y parálisis eran causados por plomo; en Roma, las tuberías estaban revestidas con plomo.

Durante la Edad Media, hubo muchos casos de intoxicaciones por el consumo de vino con plomo (Lombardo, 2019). En el antiguo Egipto, el plomo era usado junto con metales como el estaño y antimonio. Nicandro de Colofón describió la enfermedad provocada por el plomo como saturnismo en honor al titán griego Saturno. Existen evidencias literarias que refieren que, debido a los múltiples usos del plomo como endulzante de vino, cubiertos, tuberías, conservación de alimentos, entre otros, la clase alta de los romanos padeció de saturnismo (Rubio et al. 2004).

A inicios de la Revolución industrial, las concentraciones de plomo se incrementaron significativamente de la mano con los problemas a la salud ya que cuando el plomo es liberado al ambiente, suele bioacumularse en plantas y animales e ingresar en la cadena alimentaria (Halliwell, Turoczy, & Stagnitti, 2000).

En un plano nacional, es importante mencionar que el Perú es un país minero ubicándose en el cuarto lugar a nivel mundial en la producción de plomo (Astete et al., 2009).

A. Características fisicoquímicas

El plomo es un metal maleable y elástico. Funde a 327,4 °C y ebulle a 1740 °C (Osorio et al, 2014). Es considerado como un metal pesado ya que posee una alta densidad de 11,35 g/cm³ (Osorio, Hernández, Sarmiento, González, & Barbosa, 2014).

Tabla 2-8

Características fisicoquímicas del plomo

Símbolo	Pb
Número CAS	7439-92-1
Número atómico	82
Peso atómico	207.2
Grupo, periodo y bloque	14, 6, p
Estados de oxidación	+2
Configuración electrónica	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²

Nota: Adaptado de Química, por R. Chang, 2002, McGraw Hill.

B. Dinámica ambiental del plomo

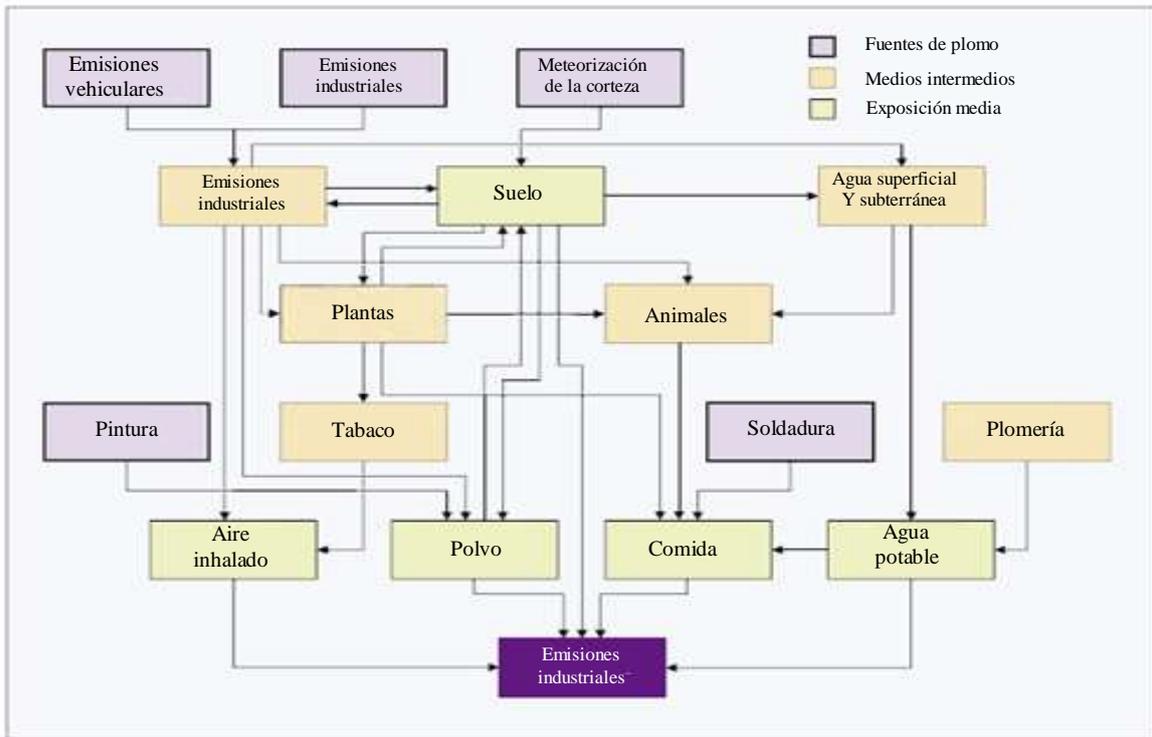
Una fuente antropogénica importante fue el plomo orgánico presente en la gasolina. Durante la combustión en motores de vehículos, el plomo orgánico se transforma y libera bajo la forma de óxido de plomo (inorgánico). Esto provocó que las personas que habitaban cerca a zonas con mucha congestión vehicular se vean expuestas a plomo inorgánico (OMS, 2007).

Otra fuente importante son las prácticas agrícolas ya que son una fuente de entrada de plomo por los fertilizantes e insumos químicos requeridos.

El plomo antropogénico es movilizado en el ambiente a partir de diversos procesos generando vapores y polvos que permanecen suspendidos hasta caer sobre la matriz de suelo, cuerpos de agua, flora, fauna y poblaciones aledañas. Ello dependerá de factores como la dirección del viento, altura de la chimenea de emisión, entre otros (Cala & Kunimine, 2003; OMS, 2007).

Figura 2-10

Dinámica ambiental del plomo



Nota: Adaptado de *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution* (p. 56), por OMS, 2007, OMS.

La dinámica ambiental del plomo inicia en la matriz suelo. Es aquí donde el plomo empieza su dispersión y movilización a diferentes matrices. La movilidad de metales pesados como el plomo, depende de varios factores como el pH y la cantidad de materia orgánica en el suelo (Bradl, 2004).

La concentración de plomo en el suelo generalmente disminuye a medida que aumenta la distancia de la fuente contaminante (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006; OMS, 2007).

C. Toxicocinética

El plomo puede ingresar al organismo por tres vías principales:

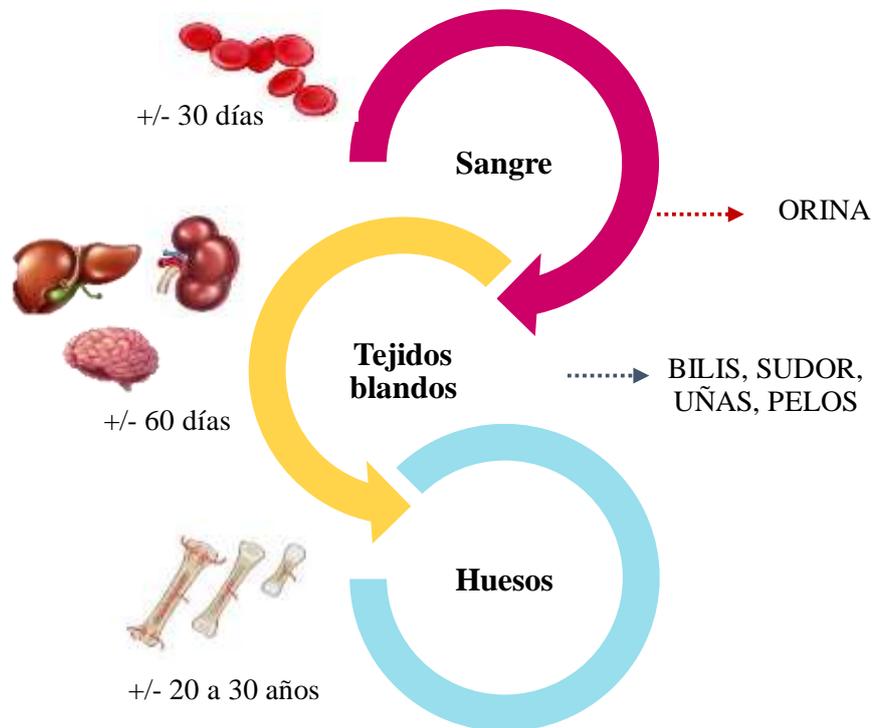
- Vía inhalatoria: Es la vía más importante ya que se calcula que el 50 % de las partículas inhaladas son retenidas y de éstas se absorbe aproximadamente el 90%. Las partículas inhaladas suelen ser submicrónicas, de ahí que penetren fácilmente hasta el alvéolo (Valdivia, 2005).
- Vía digestiva: los compuestos de plomo que ingresan por esta vía (a excepción del acetato de plomo) son poco solubles y, por lo tanto, de poca absorción (5 a 10 %). En casos especiales de niños enfermos, la absorción podría aumentar hasta un 25% lo cual tiene un efecto más tóxico por la gran actividad neuronal (Valdivia, 2005). En el caso de adultos normales, la cantidad de plomo eliminado por las heces puede alcanzar hasta el 95 %.
- Vía cutánea: Los compuestos orgánicos pueden absorberse casi de forma completa por ser muy liposolubles; en cambio, los compuestos inorgánicos de plomo no se absorben por la piel a menos de que existan lesiones cutáneas que permitan el ingreso del tóxico (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011).

En el organismo, el plomo se distribuye en compartimentos como la sangre, tejidos blandos y huesos (Figura 2-11). Una vez el plomo ingresa al organismo se distribuye a través de la sangre hacia los diferentes órganos como el hígado, medula ósea y el riñón donde permanecen hasta por 60 días. Una parte del plomo es eliminado del organismo mientras que otra, de almacena en el sistema óseo hasta por 30 años sin provocar efectos adversos. No obstante, la anemia, el uso de ciertos medicamentos, una edad avanzada o la gestación pueden liberar el plomo para su circulación por el organismo (Valdivia, 2005).

El 80% del plomo se elimina por el riñón por lo que es la vía de eliminación más importante. Otras vías de eliminación son la saliva, el sudor, las faneras, la bilis y las heces (Ramírez, 2005).

Figura 2-11

Distribución del plomo según el modelo de tres compartimentos



Nota: Adaptado de “Intoxicación por plomo”, por M. Valdivia, 2005, Revista Sociedad peruana de medicina interna, 18(1).

D. Toxicodinamia

El plomo tiene una alta afinidad por los radicales sulfhidrilos los mismos que se encuentran en aminoácidos azufrados y proteínas. Es importante mencionar que el plomo tiene una especial afinidad por las enzimas que tienen al zinc como cofactor (Valdivia, 2005; Zayas & Cabrera, 2007).

Apenas ingresa el plomo en el organismo su primer efecto tóxico es la de interferir con todos los sitios activos o de unión del calcio, pudiendo también interferir entre la unión del zinc con las proteínas. El plomo presenta esta propiedad debido a ser un catión divalente y presentar características similares a las del calcio, esto hace que el plomo se una a las proteínas en los sitios que le corresponde al calcio interfiriendo con las funciones de estas proteínas, llegando a inactivarlas o a producir un funcionamiento anormal.

La razón de la interferencia con la actividad de las proteínas se debe a que al unirse el plomo a ellas las obliga a adoptar una configuración espacial distinta lo que provoca esta inactividad o mal funcionamiento.

Como consecuencia de la interacción entre ambos cationes, en el organismo el plomo interfiere con el metabolismo de la vitamina D, aumenta la concentración de calcio en el medio intracelular por inhibición de la bomba de Na-K-ATPasa, activa a las enzimas dependientes de calcio, como la proteinquinasa C, compite con el calcio para unirse a la calmodulina y, finalmente, reemplaza al calcio comportándose como segundo mensajero dentro de la célula (Valdivia, 2005).

E. Manifestaciones clínicas

El plomo ejerce efectos adversos sobre todos los órganos y sistemas. A continuación, se precisan los más importantes.

- Efectos neurológicos: En el caso de la población infantil, la exposición aguda a dosis altas de plomo puede causar encefalopatía, ataxia, convulsiones, coma e incluso la muerte. Algunos expertos consideran que, por cada 10 µg/dL de aumento de plomo en sangre, el coeficiente intelectual disminuye 4 a 7 puntos. En el caso de los adultos, estos pueden manifestar los mismos efectos que en el caso de los niños, pero a concentraciones más elevadas de plomo en sangre. Adicionalmente, algunas investigaciones sugieren que el plomo influye negativamente sobre la conducta social juvenil (Poma, 2008).
- Efectos a nivel del sistema óseo: Los huesos funcionan como un reservorio para el plomo, debido que reemplaza al calcio en este tejido. Cuando el organismo se encuentre en una deficiencia de calcio, por razones fisiológicas o patológicas (gestación, anemia, lactancia, entre otros) se libera el plomo a la sangre y este se distribuye en el organismo a sus órganos diana (Sanín, González-Cossío, Romieu, & Hernández-Avila, 1998).
- Efectos a nivel del sistema sanguíneo: El plomo es transportado por la sangre, pero también puede producir efectos en este sistema, como la interferencia en la síntesis del grupo hem, lo que afecta la producción de hemoglobina generando cuadros de anemia.
- Efectos a nivel del sistema reproductor: El plomo puede producir un bajo conteo de espermatozoides, además de incrementar el número de espermatozoides con

anormalidades. Las concentraciones de plomo asociadas a este efecto agudo se encuentran alrededor de los 40 µg/dL. A nivel crónico también se observa la disminución del conteo total y las anormalidades de espermatozoides (Poma, 2008).

F. Fuentes de contaminación

Las actividades económicas asociadas a las liberaciones de plomo en el ambiente principalmente de las emisiones provenientes de la gasolina con aditivos de plomo, la industria de la fundición, soldadura y fabricación de baterías, además la industria de las pinturas, solventes y fabricación de tuberías (Rodríguez, Cuéllar, Maldonado, & Suardiaz, 2016).

G. Valores referenciales

El Ministerio del Ambiente establece los siguientes estándares de plomo para cada una de las matrices ambientales.

Tabla 2-9

Valores referenciales para plomo según el ECA Suelo

Suelo agrícola	Suelo residencial/ parques	Suelo comercial/ industrial/ extractivo
70 mg/Kg	140 mg/Kg	800 mg/Kg

Nota: Tomado de D.S. 011-2017-MINAM

2.6.4 Metodología de la evaluación de riesgos a la salud

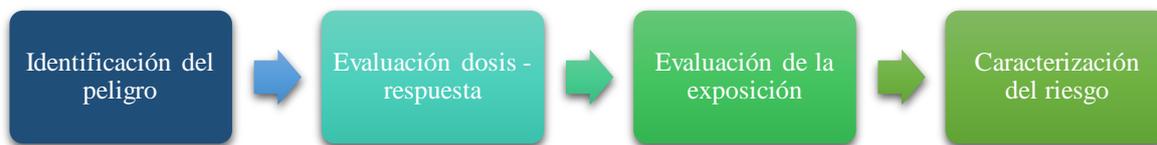
Paracelso, el padre de la Toxicología, reconoció la importancia de la relación entre la exposición y el efecto por lo que postuló: "Todas las sustancias son venenos; no hay ninguno que no sea veneno. La dosis correcta diferencia un veneno de un remedio" (Torres, 2015; Vallverdú, 2005).

En este sentido, la evaluación de riesgos es un proceso por el cual se recopila toda la información disponible de una sustancia química, acerca de sus efectos tóxicos, para luego evaluarla y determinar el nivel de riesgo asociado a su exposición (ATSDR, 2019b).

El proceso de evaluación de riesgos se puede dividir en:

Figura 2-12

Proceso de evaluación de riesgos



Nota: Adaptado de *Toxicological risk assessment for beginners*, por J. Torres, 2015, Springer

A. Identificación del peligro

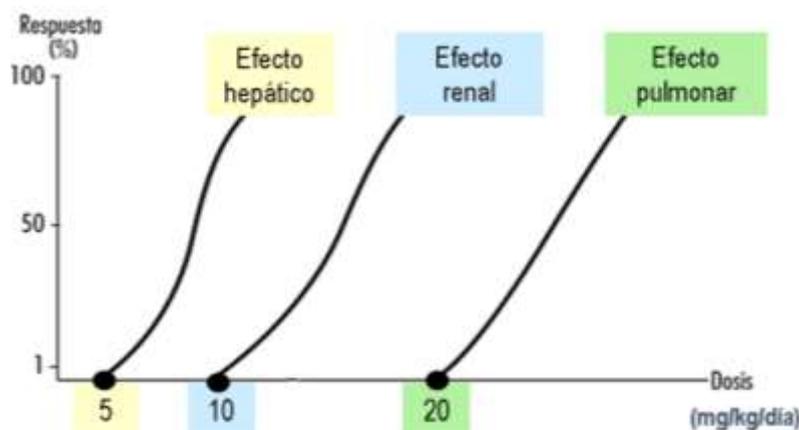
La identificación de peligros es el primer paso de una evaluación de riesgos a la salud cuyo objetivo es determinar si la exposición de la población humana a un determinado agente tóxico, causa un efecto adverso sobre la salud. Este proceso requiere de una revisión detallada de los datos y evidencias recaudados para corroborar la hipótesis de que un agente causa un efecto adverso sobre la salud de la población expuesta. Por ello, es necesario contar con una base de datos que considere los efectos adversos por exposición a determinado agente tóxico. Estas pueden ser TOXNET, IRIS, ATSDR, revistas científicas, libros publicados e informes de estudios patentados desarrollados por fabricantes de productos químicos, entre otras. Asimismo, se debe tomar en cuenta estudios epidemiológicos o ensayos toxicológicos sobre animales de experimentación (cuando los estudios en humanos sean limitados). Es importante mencionar que los estudios toxicológicos deben contar con metodologías y protocolos estandarizados aprobados por entidades como la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la Administración de Drogas y Alimentos (FDA) o la Agencia Europea de Sustancias Químicas (ECHA), entre otros (Torres, 2015).

B. Evaluación dosis – respuesta

La etapa de evaluación dosis-respuesta consiste en establecer una relación entre las diferentes dosis y el efecto por exposición a determinado tóxico. La exposición a un tóxico determinado, una baja dosis, puede no producir ningún efecto (sin riesgo); mientras que, según se incremente la dosis, puede manifestarse efectos adversos. Por lo expuesto, se concluye que el efecto dependerá de la dosis (Ize, s. f.).

Figura 2-13

Curva Dosis- respuesta



Nota: Adaptado *Risk assessment*, por ATSDR, 2019, ATSDR.

La finalidad de la evaluación dosis-respuesta es definir el impacto a la salud por la exposición a determinado tóxico y para proteger oportunamente a la población expuesta. Esta evaluación permite determinar que la exposición a un tóxico se limite a una “dosis segura” en la que el riesgo sea mínimo (Ize, s. f.). Cabe precisar que la evaluación dosis respuesta busca comprender cuantitativamente cómo cambia la relación entre exposición y efecto adverso debido a factores como la edad, peso corporal, magnitud y duración de la exposición, entre otros factores. Ello involucra la determinación de umbrales toxicológicos como dosis de referencia (Rfd), ingestas diarias aceptables (I), niveles de toxicidad sin efecto (NOAEL), factores de pendiente del cáncer (FPC), etcétera (Torres, 2015).

Tiempo de respuesta a los agentes tóxicos: El tiempo transcurrido entre la exposición y la manifestación de los efectos adversos es un punto importante a considerar en la evaluación dosis respuesta por lo que se debe diferenciar entre la toxicidad aguda y la toxicidad crónica.

La toxicidad aguda se manifiesta después de la exposición de un receptor a determinado tóxico. Las exposiciones agudas consisten básicamente en una o varias dosis durante un día. Por el contrario, la toxicidad crónica es la resulta de la exposición a varias dosis por un tiempo prolongado (Roldán, 2016). Los ensayos de toxicidad aguda son aplicados para determinar la letalidad de un tóxico. Uno de los ensayos más conocidos es el de la dosis letal media 50% (LD50) la cual provoca la muerte en la mitad de la población expuesta.

Los ensayos de toxicidad cuya vía de administración es la inhalatoria usa la concentración letal media (LC50). Otros ensayos de aplicación frecuente para exposiciones agudas es la dosis o concentración efectiva (DE50 o EC50) que causa una respuesta en la mitad de la población (Torres, 2015).

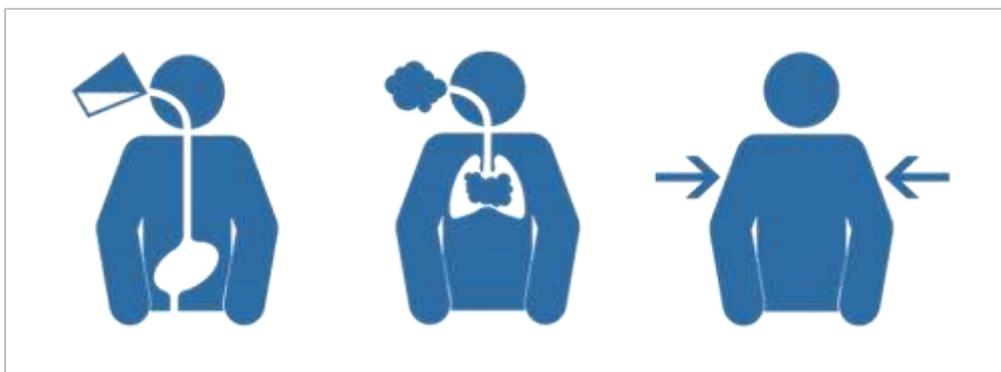
C. Evaluación de la exposición

En el proceso de evaluación de riesgos se debe tener en cuenta la capacidad tóxica del contaminante y el grado de exposición. La exposición se entiende como el contacto que hay entre una sustancia tóxica y un organismo receptor por lo que, si no hay exposición, no existe riesgo (OMS, 2007).

En esta etapa se identifican las rutas y vías de exposición ocurridas en el pasado, que ocurren en el presente o se espera que ocurran en un futuro. La ruta de exposición se entiende como el recorrido que el contaminante realiza hasta que logra alcanzar al receptor. Se considera una fuente de contaminación de donde se emite el contaminante. La matriz ambiental afectada puede ser aire, agua superficial o subterránea, suelo o sedimento. Asimismo, se toma en cuenta el mecanismo de transporte a través del cual el contaminante se desplaza en el ambiente. Adicionalmente, se considera el punto de exposición, es decir, el espacio físico donde las personas entran en contacto con los contaminantes (MINAM, 2015). Se identifica la vía de exposición -medio por el cual un tóxico ingresa al organismo- considerando las características físico-químicas del contaminante: Inhalación (aire, gases/vapores, material particulado), ingestión (agua, suelo, alimentos, polvo), contacto dérmico (agua, polvo, vapores, gases).

Figura 2-14

Vías de exposición



Nota: Tomado de *Routes of entry*, por The Hill Group, 2020, <https://www.hillgrp.com/2018/04/24/routes-of-entry/>

Finalmente, la evaluación de la exposición concluye con el cálculo de la dosis de exposición, la cual considera datos de la exposición tales como la ingestión del contaminante, frecuencia y duración de la exposición. Asimismo, se requiere de datos del receptor como peso corporal, tiempo de exposición y edad (Tello, 2015).

D. Caracterización del riesgo

La caracterización del riesgo corresponde a la última etapa de la evaluación de riesgos. En esta etapa se integra la información toxicológica, es decir, la información de la evaluación dosis-respuesta con la información de la exposición a la sustancia tóxica estudiada. De esta manera se obtiene una base de discusión sobre la naturaleza y el alcance del riesgo. Según sus efectos en la salud, los contaminantes se clasifican en dos grupos: los carcinogénicos y los no carcinogénicos, por lo que la evaluación de riesgos se realiza de forma diferente por cada uno de los grupos (ATSDR, 2002; ATSDR, 2019a).

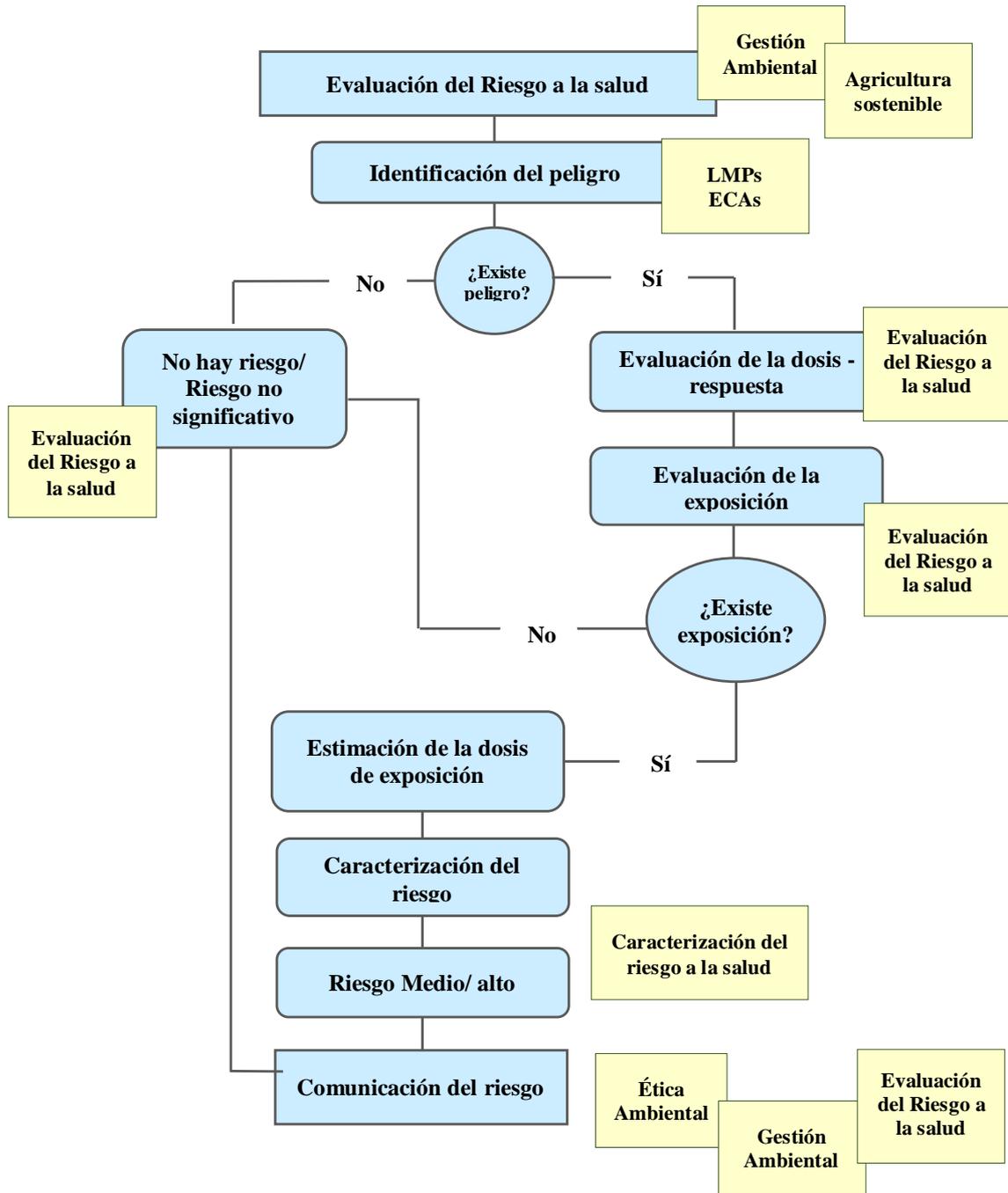
La caracterización de riesgos para los contaminantes con un efecto no cancerígeno se obtiene a través la determinación del índice de peligrosidad el cual relaciona la dosis de exposición (DE) y la dosis de referencia (DRf). La DRf representa la dosis que se puede administrar de manera segura diariamente, es decir, sin generar un efecto adverso a la salud (Universidad de Arizona, 2020). Por el contrario, para el caso de los contaminantes con un efecto cancerígeno, primero se determina el riesgo individual el cual podrá ser extrapolado para obtener el nivel de riesgo poblacional (ATSDR, 2002). El dato necesario para esta evolución es el Factor de Potencial Carcinogénico (FPC) (Yacomelo, 2014).

La Figura 2-15 muestra en el esquema que se sustenta sobre la base de la Teoría de la Evaluación de Riesgos a la salud de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)/ Organización Mundial de la Salud (OMS) (Díaz-Barriga, 1999). Esta es la metodología que aplicada en esta investigación la cual es recomendada para países de Latinoamérica debido a la poca información toxicológica.

A nivel nacional, esta metodología está definida en La Guía de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) la cual es una herramienta que se aplica como apoyo a la gestión ambiental del país para la gestión de sitios contaminados. Esta metodología se basa en los datos toxicológicos respecto de los receptores expuestos y en los datos ambientales como las concentraciones de los contaminantes presentes en el ambiente.

Figura 2-15

Evaluación de riesgos a la salud



Nota: Adaptado de “Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima – Perú”, por C.Ynocente y D. Olórtegui, 2018, UNMSM.

2.7 Hipótesis

a. Hipótesis general

Las concentraciones de metales pesados en suelo agrícola superan los estándares de calidad ambiental y tienen efectos sobre el nivel de riesgo no aceptable en Carapongo – Lurigancho.

b. Hipótesis específicas:

- La concentración del metal pesado tiene un efecto sobre el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno).
- La exposición a varios metales pesados tiene un efecto sobre el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno).

2.8 Variables

- Variable dependiente: Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo a la salud en la población a estudiar.
- Variable independiente: Concentraciones arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola en Carapongo, Lurigancho – Chosica.

Tabla 2-10

Esquema de variables e indicadores

Variable independiente	Variable dependiente
X: Concentraciones arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola en Carapongo, Lurigancho – Chosica.	Y: Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo a la salud en la población a estudiar.
Indicadores	
Concentración del metal pesado	Tipo de riesgo (cancerígeno y no cancerígeno)
Exposición a varios metales pesados	Nivel de riesgo (aceptable y no aceptable)

Tabla 2-11*Matriz de la definición operacional de variables*

Variables (tipo)	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente (X) Concentraciones arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola	La contaminación del suelo se da cuando sus características físicas, químicas o biológicas se ve alterada por la presencia de algún agente estresante. Esta alteración, de acuerdo a su naturaleza, extensión o permanencia en un determinado tiempo, genera una pérdida de sus propiedades funcionales y/o puede presumir un riesgo para la salud y el ambiente (Mijangos, 2014, p. 6) Dentro de los procesos de contaminación se encuentran elementos a los cuales se les atribuye entre estos, los de tipo metálico (metales pesados (MP) los cuales se encuentran en suelos ya sea como componentes naturales o resultados de la actividad humana (Pérez, Moura do Amaral, Balbín, Valdés, y Lima, 2012, p. 43).	Química Ambiental	Concentración
X1: concentración de los metales pesados	Los metales pesados son elementos con elevado peso atómico tales como el cromo, mercurio, arsénico, plomo y cadmio, los cuales pueden ser nocivos para los organismos aún en pequeñas concentraciones y tienden a acumularse en la cadena trófica (EPA, 2016).	Química Ambiental	Concentración
X2: Exposición a varios metales pesados	Nivel de contacto entre un agente estresante (físico, químico o biológico) y un organismo (receptor) a través de una ruta y vía de exposición (inhalatoria, dérmica e ingestión) (ATSDR, 2019).	Física Química Ambiental Toxicología	Fuentes Mecanismo de transporte Punto de exposición Vías de exposición Receptor
Variable independiente (Y) Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo	El riesgo se define como la probabilidad de que ocurra un efecto en la salud después de que una persona haya estado expuesta a una cantidad específica de algo peligroso (ATSDR, 2019).	Química Toxicología	Índice de peligrosidad (IP) Índice de riesgo (IR)

Variables (tipo)	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Y1: Tipo de riesgo (cancerígeno, no cancerígeno)	<p>Los riesgos pueden clasificarse en riesgo cancerígeno y no cancerígeno. El riesgo cancerígeno busca determinar el límite superior de la probabilidad de que una persona contraiga cáncer durante su vida entera, entre todas las personas expuestas de por vida a una concentración promedio del contaminante y por encima de la probabilidad basal normal de contraer cáncer. El riesgo no cancerígeno busca determinar si la exposición rebasa el umbral o valor en el que se espera que no se produzca un daño o efecto tóxico (MINAM, 2015, p. 48,51).</p>	Química Toxicología	Efectos tóxicos Efectos carcinógenos
Y2: Nivel de riesgo (aceptable, no aceptable)	<p>El nivel de riesgo se define según el tipo de riesgo. Así, para el riesgo cancerígeno se considera como no aceptable cuando un compuesto tóxico genera una probabilidad de más de un caso de cáncer por cada cien mil individuos. Para el caso del riesgo no cancerígeno, el riesgo es no aceptable cuando el cociente de la dosis de exposición (DE) y la dosis de referencia (DR_f) es mayor a uno (>1) (MINAM, 2015, p. 48, 51).</p>	Química Toxicología	Probabilidad de efectos tóxicos y cancerígenos

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Niveles, tipo, y diseño de la investigación

3.1.1 Niveles de investigación

La presente investigación corresponde a un estudio cuantitativo con alcance de tipo explicativo ya que, según Hernandez et al. (2014) una investigación explicativa permite conocer por qué un hecho de la realidad tiene determinadas características, propiedades, cualidades, etc. En este sentido, se busca explicar que las concentraciones de metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) presentes en el suelo de tipo agrícola pueden representar un riesgo no aceptable y no aceptable (no cancerígeno y cancerígeno) para las personas expuestas.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada ya que se analiza un evento real, como la exposición humana a suelo agrícola con presencia de metales pesados; con la metodología de evaluación de riesgos la cual tiene sustento teórico-científico.

La investigación aplicada es conocida también como “investigación práctica o empírica”, la cual se caracteriza por aplicar conocimientos adquiridos en las investigaciones de tipo básica (Murillo, 2008 como se citó en Vargas, 2009).

3.1.3 Diseño de investigación

La presente investigación corresponde a un estudio no experimental debido a que, tanto la variable dependiente: Concentraciones arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola en Carapongo, Lurigancho – Chosica y la variable independiente; y la variable independiente: valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo a la salud en la población a estudiar, no son manipuladas de modo que los resultados reflejan una condición real.

A su vez, las investigaciones descriptivas pueden ser de corte transversal y longitudinal siendo la primera la característica del presente estudio debido a que la recolección de los datos se realizó en un momento determinado de tiempo.

3.2 Población y muestra

La evaluación del riesgo a la salud por exposición a suelos con presencia de metales pesados fue realizada en Carapongo, localidad ubicada en Lurigancho – Chosica. Este sector fue seleccionado debido a la presencia de la actividad agrícola en la zona y por la coexistencia de fuentes de contaminantes como los metales pesados; en forma particular, al arsénico, cadmio y plomo sobre los cuales se ha desarrollado esta investigación.

La localidad de Carapongo cuenta con una superficie de 400 hectáreas las cuales son ocupadas por el crecimiento urbano, la actividad agrícola y la crianza de animales. Para fines de esta investigación, se consideró una superficie de 10 341 m² para las actividades de muestreo. Es importante mencionar que la determinación del número de puntos de muestreo se basó en lo recomendado por la guía de muestreo de suelos, la cual indica que para una superficie de 10 341 m² (área de estudio) le corresponde un total de 9 puntos de muestreo.

Figura 3-1

Área de estudio – Suelo agrícola de Lurigancho, Chosica.



Nota: Fotografía tomada durante las coordinaciones previas con los agricultores de Carapongo – Lurigancho.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación, se aplicó la técnica de muestreo superficial según la Guía de muestreo de suelo del Ministerio del Ambiente. Se utilizó un muestreo tipo aleatorio simple y en cada punto de muestreo se tomaron cinco submuestras a una profundidad máxima de 30 cm. Por otro lado, se desarrollaron entrevistas a profundidad dirigidas a una representante de la localidad de Carapongo y a expertos del Ministerio del Ambiente, Ministerio de Energía y Minas, del Instituto Nacional de Salud y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos a quienes se le formularon preguntadas orientadas a su formación y actividad profesional.

Los instrumentos utilizados fueron: Guía de muestreo de suelos, cuestionario dirigido a la representante de Carapongo y el cuestionario dirigido a expertos.

Figura 3-2

Técnicas de recolección de datos



A



B

Nota: Fotografías correspondientes a las técnicas de recolección de datos – Lurigancho Chosica (2021)

^A Fotografía de la entrevista a la representante de la Asociación de pequeños agricultores de Carapongo “Sembrando esperanza”

^B Fotografía del Google form “Entrevista a expertos

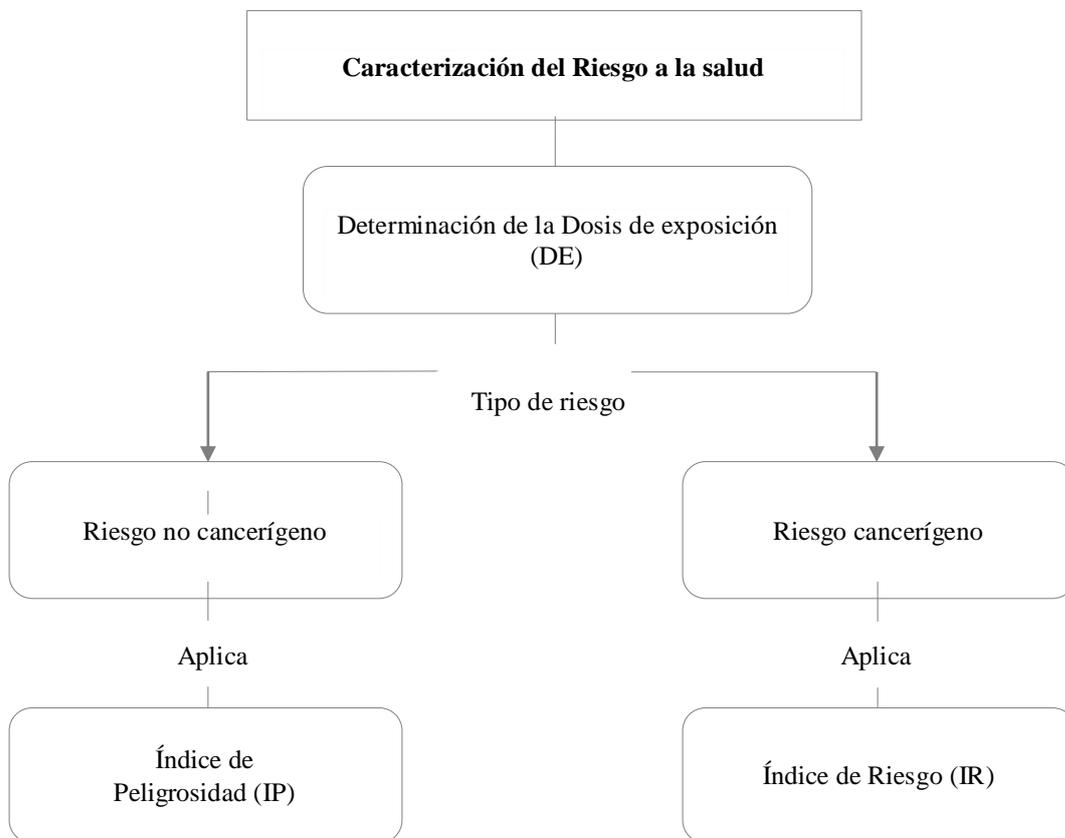
3.4 Descripción de procedimientos de análisis de datos

Los datos obtenidos a partir del muestreo de suelo fueron analizados utilizando el programa estadístico SPSS, herramienta que permite realizar un análisis estadístico descriptivo.

La evaluación del riesgo a la salud por exposición a suelos con presencia de metales pesados se realiza tomando en cuenta la metodología propuesta por la OPS/OMS. Esta metodología parte de la determinación de la dosis de exposición. Posterior a ello, se determina el Índice de Peligrosidad para el escenario del riesgo no cancerígeno. Para el caso del riesgo cancerígeno, se procede con el cálculo de Índice de Riesgo (IR).

Figura 3-3

Esquema de Caracterización del Riesgo a la salud



Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

Para ello, es necesario contar con los datos de concentración de los metales pesados en el suelo agrícola, identificación de las vías de exposición, evaluación de la exposición y la evaluación de los niveles de riesgo.

3.4.1 Determinación de los metales pesados estudiados en el suelo agrícola

A. Muestreo de suelo

- **Área de muestreo y número de muestras**

El área de muestreo se ubica en la localidad de Carapongo en el distrito de Lurigancho-Chosica y fue autorizada por la Asociación de Pequeños agricultores de Carapongo. El área de estudio cuenta con una superficie total de 10 341 m².

Figura 3-4

Área de muestreo



Nota: Tomado de Google Earth, 2020

El número de muestras de suelo a considerar fue determinado por la Guía de muestreos de suelos del MINAM. Es así que, para el área de estudio la Guía recomienda considerar un mínimo de 10 puntos de muestreo los cuales fueron distribuidos aleatoriamente.

Tabla 3-1*Número de puntos de muestreo según el área*

Área de Potencial Interés (ha)	Puntos de muestreo en el muestreo
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30

Nota: Tomado de la Guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente, 2014.

Tabla 3-2*Número de muestras tomadas en el suelo agrícola de Carapongo*

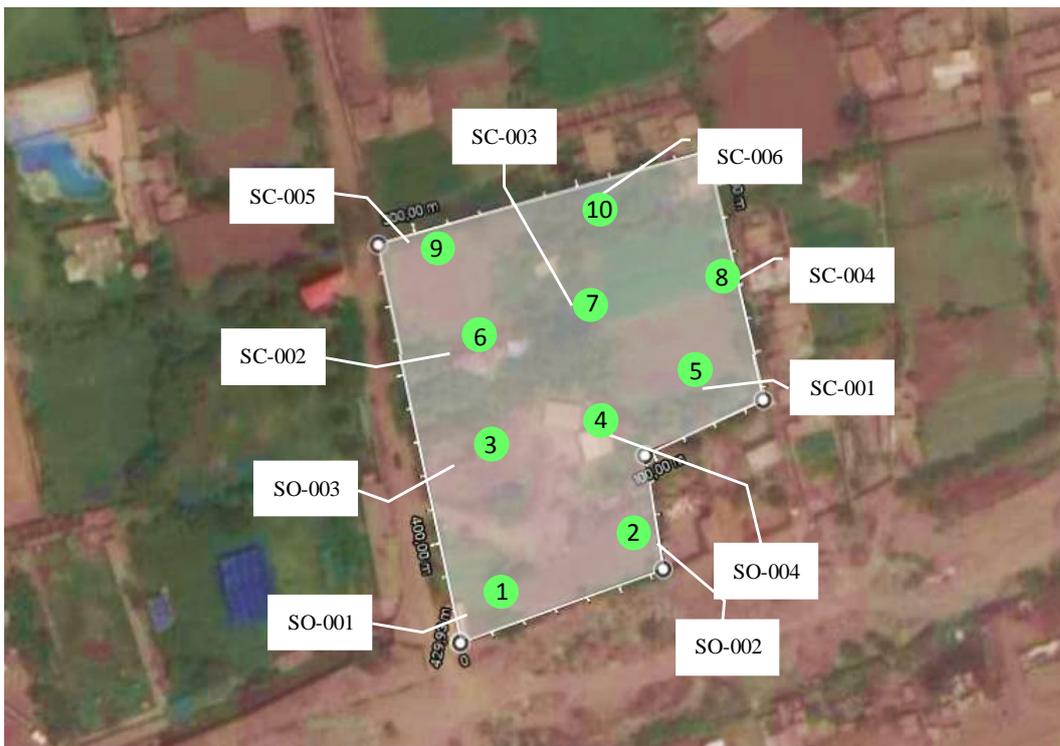
Extensión	n° muestras	Código	Latitud	Longitud
10341 m ²	10	SC-001	-12.003245	-76.850081
		SC-002	-12.003026	-76.849706
		SC-003	-12.002868	-76.850090
		SC-004	-12.002801	-76.849829
		SO-001	-12.002640	-76.849518
		SO-002	-12.002534	-76.850122
		SO-003	-12.002470	-76.849762
		SO-004	-12.002405	-76.849541
		SO-005	-12.002322	-76.850279
		SO-006	-12.002158	-76.849866

- **Distribución de los puntos de muestreo**

La distribución de los puntos de muestreo se realizó de manera aleatoria para que todas las muestras tengan la misma probabilidad en la determinación de arsénico, cadmio y plomo. La distribución y ubicación de los puntos se realizó con la herramienta Google Earth.

Figura 3-5

Distribución de los puntos de muestreo



- **Procedimiento para la toma de muestras**

Se tomó un total 10 muestras simples por ser el mínimo recomendado por la Guía de muestreo de suelos para el área de estudio. Asimismo, el muestreo se realizó a una profundidad máxima de 0,30 m (muestreo superficial) ya que este es el recomendado para estudios de evaluación de la exposición humana a suelos con presencia de metales pesados. Se tomó un peso de 350 gramos para cada una de las muestras.

Los materiales y herramientas usados en las labores de toma de muestra fueron: un pico, una pala pequeña de plástico y un contenedor de plástico para el almacenamiento de la muestra.

Figura 3-6

Labores de muestreo en suelo agrícola de Carapongo



Nota: fotografías correspondientes a las labores de muestreo.

- **Preservación de la muestra**

Las muestras tomadas fueron almacenadas en envases de plástico los cuales fueron proporcionados por el laboratorio. Cada uno de los contenedores fue debidamente rotulado y registrado dentro de la cadena de custodia. Posteriormente, las muestras fueron transportadas en un cooler para el análisis en el laboratorio de Berau veritas, laboratorio acreditado que además cuenta con una acreditación para la técnica analítica que se ha usado para la determinación de metales pesados en el suelo.

Figura 3-7

Preservación y conservación de las muestras



A



B



C



D

Nota: Fotografías correspondientes a la preservación y conservación de la muestra

^A Materiales entregados por el laboratorio para la toma de muestras

^B Rotulado de las muestras de suelo

^C Almacenamiento de las muestras de suelo

^D Entrega de las muestras al laboratorio para su respectivo análisis

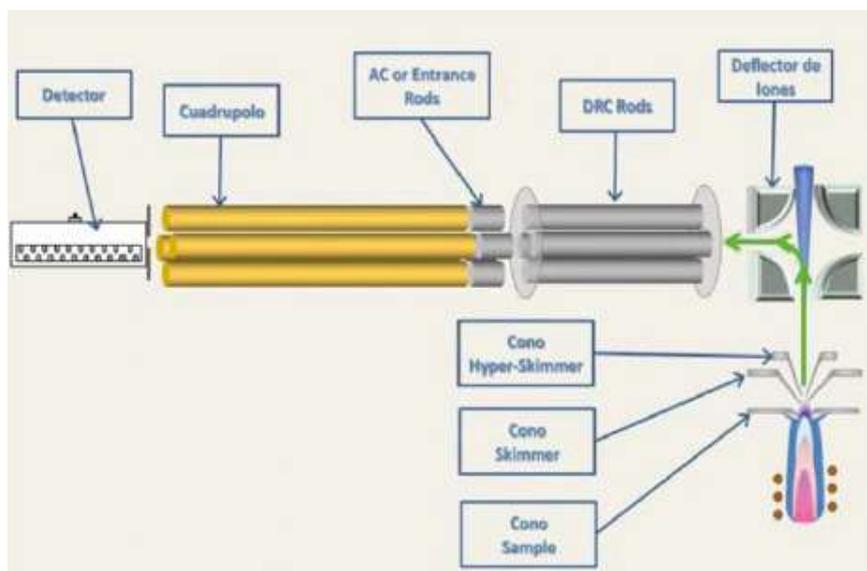
B. Determinación de arsénico, cadmio y plomo en suelos

La determinación de arsénico, cadmio y plomo se realizó a través de la técnica analítica de ICP-MS. La espectrometría masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) es una técnica que permite determinar concentraciones bajas (ppb=ug/L) y concentraciones muy bajas (ppt=ng/L) de elementos. Los elementos atómicos pasan a través de una fuente de plasma donde se ionizan. Luego estos iones se clasifican según su masa.

La muestra en solución es introducida en el dispositivo mediante una bomba peristáltica. Allí es nebulizada en una cámara de pulverización. El aerosol resultante se inyecta en un plasma de argón que tiene una temperatura de 6000-8000 K. Dentro del soplete de plasma, la solución se retira de la muestra donde se produce la atomización e ionización. Solo una pequeña parte de los iones producidos en el plasma penetran hasta la parte del espectrómetro de masas. La técnica ICP-MS es una técnica multielemental y que posee un alto rendimiento de muestra, algo similar a la técnica ICP-OES, pero con una mayor sensibilidad (Bulska & Wagner, 2016).

Figura 3-8

Esquema de la Espectrometría de masas con Plasma con acoplamiento inductivo, ICP-MS



Nota: Esta metodología es muy utilizada para la determinación de metales debido a su capacidad de discriminar isótopos y a sus bajos límites de detección. Tomado de *Ventajas y desventajas del análisis por ICP – MS de metales pesados en muestras biológicas*, por Instituto Nacional de Salud (INS), s.f., <https://boletin.ins.gob.pe/ventajas-y-desventajas-del-analisis-por-icp-ms-de-metales-pesados-en-muestras-biologicas/>

C. Determinación de la concentración en el punto de exposición

Para la aplicación de la metodología de evaluación de riesgos se requiere de una concentración que represente a todas las muestras encontradas en el suelo. Para muchos científicos esta concentración no debe ser necesariamente la media, ya que esta se ve influenciada por los datos extremos y no sería totalmente representativa o lo suficientemente conservadora. Es por ello que para las evaluaciones de riesgo se aplica el Límite de Confianza Unilateral de la media aritmética al 95% de confianza (UCL95) de los datos a emplear (MINAM, 2015).

Para la determinación del UCL95 existen diferentes metodologías que dependen principalmente del tipo de distribución de los datos, paramétricos o no paramétricos, de los sesgos, la desviación estándar, entre otros. Con la finalidad de utilizar el valor óptimo recomendado de UCL para las concentraciones de contaminantes obtenidos se utilizó el software ProUCL v.5.1, desarrollado por la EPA.

3.4.2 Identificación de las rutas de exposición de Carapongo

La identificación de las rutas de exposición de Carapongo se realizó a través la visita de campo donde se identificó la fuente de contaminación (primaria y secundaria), el mecanismo de transporte, la matriz afectada, la vía de exposición y el receptor humano. Esta información recopilada fue plasmada en el modelo conceptual del lugar de estudio.

A través del modelo conceptual, y tomando en cuenta la literatura, se identificó como posibles fuentes de contaminación el uso de agroquímicos y el agua de riego proveniente del Río Rímac. Los contaminantes presentes en el suelo pueden migrar hacia otras matrices a través de mecanismos de volatilización, dispersión atmosférica y transporte por lluvias. Asimismo, estos contaminantes pueden alcanzar al receptor humano a través de la vía de inhalación, ingestión y contacto dérmico. Por otro lado, si bien no es parte del alcance de la presente investigación, los contaminantes o metales pesados pueden llegar al receptor por medio de la ingesta de tejido vegetal las cuales son producidas en las parcelas evaluadas de Carapongo.

Tabla 3-3

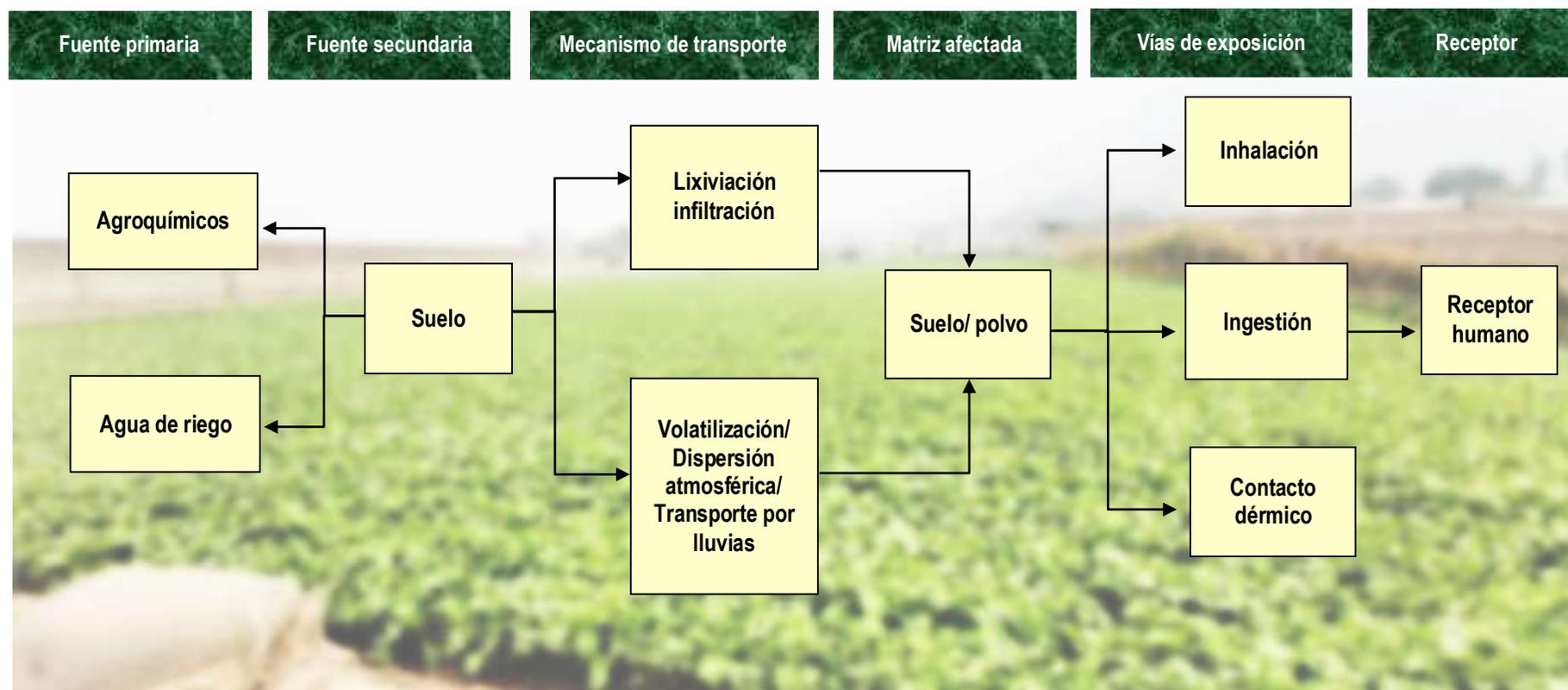
Vías de exposición por receptor humano

Matriz ambiental	Vía de exposición	Agricultor adulto	Agricultor niño
	Inhalación	X	X
Suelo agrícola	Contacto dérmico	X	X
	Ingesta de suelo	X	X

Nota: El alcance de la investigación corresponde al estudio de la exposición por la matriz ambiental de suelo de tipo agrícola de Carapongo Lurigancho, Chosica por lo que solo se consideran las vías de exposición correspondientes a dicha matriz.

Figura 3-9

Modelo conceptual de Carapongo



Nota: El alcance de la investigación corresponde al estudio de la exposición por la matriz ambiental de suelo de tipo agrícola de Carapongo Lurigancho, Chosica por lo que solo se consideran las rutas de exposición correspondientes a dicha matriz.

3.4.3 Caracterización del riesgo no cancerígeno

La evaluación de la exposición consiste en la determinación de la Dosis de exposición. Esta dosis de exposición se ha determinado por cada vía de exposición.

A. Dosis de exposición para la vía de ingestión

La dosis de exposición se entiende como la cantidad del contaminante disponible para interactuar con el organismo y es calculada a partir de la concentración de los metales encontrados en las matrices ambientales. Para la determinación de la dosis de exposición se utilizó la siguiente ecuación:

$$DE_{ing} = \frac{C_s * TI * FrE * DuE * 10^{-6}}{365 * PTE_m * PC}$$

Donde:

DE_{ING} : Dosis de Exposición por ingestión (mg/kg/día)

C_s : Concentración del Contaminante en el suelo (mg/kg)

TI : Tasa de Ingestión (mg/día)

FrE : Frecuencia de exposición (días/año)

DuE : Duración de la exposición (año)

PTE_m : Periodo de tiempo durante la exposición (años)

PC : Peso Corporal (kg)

Para los cálculos de la dosis de exposición por ingestión, se tomaron en cuenta los siguientes tomados de Guía ERSA:

Tabla 3-4*Datos para el cálculo de la dosis de exposición por ingestión*

Parámetros	Adultos	Niños
Tasa de Ingestión	200 mg/kg	400mg/kg
Frecuencia de exposición	312 días/año	156 días/año
Duración de la exposición	24 años	12 años
Tiempo durante la exposición	24 años	12 años
Peso Corporal	65kg	12kg

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

B. Dosis de exposición para vía inhalatoria

La Dosis de exposición se calcula de la siguiente manera:

$$CE = \frac{C_A * FEP * TE * DuE * FrE}{PTE}$$

Donde:

- CE : Concentración modificada de exposición ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- C_A : Concentración del Contaminante (mg/kg)
- FEP : Factor de emisión de partículas (Kg/m^3)
- TE : Tiempo de exposición (hora/día)
- PTE : Periodo de tiempo durante la exposición (h)
- FrE : Frecuencia de la exposición (día/año)
- DuE : Duración de la exposición (año)

Para los cálculos de la dosis de exposición por inhalación, se tomaron en cuenta los siguientes tomados de Guía ERSa:

Tabla 3-5*Datos para el cálculo de la dosis de exposición por inhalación*

Parámetros	Adultos	Niños
Tiempo de exposición	12horas/día	12horas/día
Fator de emisión de partículas	$6,9 * 10^{-12}$	$6,9 * 10^{-12}$
Periodo de tiempo durante la exposición es promediada	210240	105120
Frecuencia de la exposición	312 días/año	156 días/año
Duración de la exposición	24	12

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

C. Dosis de exposición para la vía dérmica

La Dosis de exposición se calcula de la siguiente manera:

$$DE_{DER} = \frac{DA_{evento} * FrE * DuE * Fr_{evento} * SPD_{der}}{PC * PTE_m}$$

$$DA_{evento} = Cs * 10^{-6} * FAP * FA_{der}$$

Donde:

DE_{DER} : Dosis de Exposición dérmica (mg/Kg/día)

DA_{evento} : Dosis absorbida por evento (mg/cm²/evento)

FrE : Frecuencia de la exposición (día/año)

DuE : Duración de la exposición (años)

Fr_{evento} : Frecuencia del evento (eventos/día)

SPD_{DER} : Superficie de la piel disponible para contacto (cm²/evento)

PTE_m : Periodo de tiempo de exposición (días)

C_s : Concentración del contaminante en suelos (mg/kg)

FAP : Factor de adherencia a la piel (mg/cm²/evento)

FA_{DER} : Fracción de absorción dérmica (específico por contaminante)

Para los cálculos de la dosis de exposición por contacto dérmico, se tomaron en cuenta los siguientes tomados de Guía ERSA:

Tabla 3-6

Datos para el cálculo de la dosis de exposición por contacto dérmico

Parámetros	Adultos	Niños
Frecuencia de exposición	312 días/año	156 días/año
Duración de la exposición	24	12
Frecuencia del evento	1 evento/ día	1 evento/ día
Superficie de piel disponible contacto	1815 (cm ² /evento)	2094 (cm ² /evento)
Peso Corporal	65kg	12kg
Periodo de tiempo de la exposición	8760 días	4380 días
Factor de adherencia a la piel	0,75 (mg/cm ² /evento)	0,75 (mg/cm ² /evento)

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

D. Evaluación del riesgo no cancerígeno

Para la evaluación del riesgo no cancerígeno se utilizó el Índice de Peligrosidad (IP) el cual se obtiene al dividir la dosis de exposición (DE) entre la Dosis de Referencia. La dosis de referencia se define como la dosis que no produce un riesgo sobre las poblaciones humanas. Esta es obtenida a partir de ensayos toxicológicos y es específica para cada contaminante.

$$IP = \frac{\text{Dosis de Exposición estimada}}{\text{DfR o IDA}}$$

Donde:

IP: Índice de peligrosidad

DfR: Dosis de referencia

El IP indica seguridad o peligrosidad con respecto a la DE a la cual se encuentra expuesta la población. Así, cuando la dosis de exposición calculada es igual o menor que la dosis de referencia, el IP adquiere un valor de uno o menor que uno ($IP < 1$). Para este caso se considera que la población se encuentra en condiciones seguras de exposición.

Por otro lado, cuando el IP toma valores que van creciendo por encima del uno ($IP > 1$), se considera que la DE a la que se encuentra la población, que también va en ascenso, incrementa los niveles de riesgo y la probabilidad de que aparezcan efectos adversos en la población estudiada.

Tabla 3-7

Niveles de riesgo a la salud para efecto no cancerígeno

Riesgo no cancerígeno	
Índice de peligrosidad $IP > 1$	No aceptable
Índice de peligrosidad $IP < 1$	Aceptable

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

3.4.4 Caracterización del riesgo cancerígeno

Los metales que forman parte del estudio fueron estudiados por la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) y clasificados de la siguiente manera:

Tabla 3-8

Clasificación IARC de los metales

Metal	Clasificación IARC
Arsénico	GRUPO 1 - cancerígeno para humanos
Cadmio	GRUPO 1- cancerígeno para humanos (por vía inhalatoria).
Plomo	GRUPO 2B - posiblemente carcinógeno para humanos.

Nota: Adaptado de *List of Classifications*, por Agencia Internacional de la Investigación del Cáncer, 2021, <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/>

A. Dosis de exposición cancerígena para la vía de ingestión

Para el cálculo de la dosis de exposición cancerígena por la vía de ingestión se usó la misma ecuación que se utilizó para el cálculo de la dosis de exposición no cancerígena por la vía de ingestión. La diferencia radica en el Periodo de Tiempo durante la exposición (años) ya que para la evaluación cancerígena se utiliza el valor de 74.5 años.

$$DE_{ing} = \frac{C_s * TI * FrE * DuE * 10^{-6}}{365 * PTEm * PC}$$

Para los cálculos de la dosis de exposición cancerígena por ingestión, se tomaron en cuenta los siguientes tomados de Guía ERSA:

Tabla 3-9

Datos para el cálculo de la dosis de exposición cancerígena por ingestión

Parámetros	Adultos	Niños
TI	200 mg/kg	400mg/kg
FrE	312 días/año	156 días/año
DuE	24 años	12 años
PTEm	74.5 años	74.5 años
PC	65kg	12kg

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

B. Dosis de exposición cancerígena para la vía inhalatoria

La Dosis de exposición cancerígena para la vía inhalatoria se calcula de la siguiente manera:

$$CE = \frac{C_a * FEP * TE * DuE * FrE}{PTE}$$

Para los cálculos de la dosis de exposición cancerígena por inhalación, se tomaron en cuenta los siguientes tomados de la Guía ERSA:

Tabla 3-10

Datos para el cálculo de la dosis de exposición cancerígena por inhalación

Parámetros	Adultos	Niños
TE	12horas/día	12horas/día
FEP	$6,9 * 10^{-12}$	$6,9 * 10^{-12}$
PTE	652620	652620
FrE	312 días/año	156 días/año
DuE	24	12

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

C. Dosis de exposición para la vía dérmica

La Dosis de exposición se calcula de la siguiente manera:

$$DE_{DER} = \frac{DA_{evento} * FrE * DuE * Fr_{evento} * SPD_{der}}{PC * PTE_m}$$

$$DA_{evento} = Cs * 10^{-6} * FAP * FA_{der}$$

Para los cálculos de la dosis de exposición cancerígena por contacto dérmico, se tomaron en cuenta los siguientes tomados de Guía ERSA:

Tabla 3-11

Datos para el cálculo de la dosis de exposición cancerígena por contacto dérmico

Parámetros	Adultos	Niños
Frecuencia de exposición	312 días/año	156 días/año
Duración de la exposición	24	12
Frecuencia del evento	1 evento/ día	1 evento/ día
Superficie de piel disponible contacto	1815 (cm ² /evento)	2094 (cm ² /evento)
Peso Corporal	65kg	12kg
Periodo de tiempo de la exposición	27192.5 días	27192.5 días
Factor de adherencia a la piel	0,75 (mg/cm ² /evento)	0,75 (mg/cm ² /evento)

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

D. Evaluación del riesgo cancerígeno

Se procedió con la estimación del riesgo cancerígeno para cada uno de los contaminantes ya que las personas expuestas de manera crónica a estos metales podrían padecer de enfermedades cancerígenas. En el caso del cadmio, este solo representa un riesgo cancerígeno por la vía inhalatoria debido a que no se ha demostrado su carcinogenicidad por otras vías de exposición.

En la presente investigación se consideró la vía de ingestión, inhalación y por contacto dérmico con la matriz suelo. Para el Cálculo del Índice de Riesgo (IR) se usó el Factor Potencial de Cáncer (FPC), para las vías de ingestión y contacto dérmico, y Unidad de riesgo (UR), para la vía de inhalación, de las sustancias estudiadas. Esta información se encuentra en las bases de datos científicas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

El valor del IR es habitualmente una cifra muy pequeña y refleja las posibilidades de una persona a sufrir de cáncer del orden de diez milésimas o cien milésimas.

Para el cálculo del Índice Riesgo se aplicó la siguiente ecuación:

$$IR = FPC \times DE_C$$

$$IR = UR \times CE_C$$

Donde:

FPC: Factor Potencial de Cáncer

DE_C: Dosis de exposición cancerígena

UR: Unidad de riesgo

CE_C: Concentración de exposición

Finalmente, de acuerdo a los últimos valores calculados, se caracteriza el riesgo cancerígeno que representan el plomo, cadmio y arsénico sobre la población expuesta. El riesgo se caracterizó como aceptable y no aceptable.

Tabla 3-12

Niveles de riesgo a la salud para efecto cancerígeno

Riesgo cancerígeno	
Índice de Riesgo $IR > 10^{-5}$	No aceptable
Índice de Riesgo $IR < 10^{-5}$	Aceptable

Nota: Adaptado de *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*, MINAM, 2015

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de la Evaluación de riesgos a la salud

4.1.1 Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo

Tabla 4-1

Determinación As, Cd y Pb en Carapongo Lurigancho - Chosica

ECA AGRÍCOLA	50	1,4	70
Cód. muestra	[As] mg/Kg	[Cd] mg/Kg	[Pb] mg/Kg
SO-001	133.31	2.19	142.86
SO-002	87.57	1.60	106.16
SO-003	85.46	1.60	106.23
SO-004	197.46	2.90	197.76
SC-001	165.87	2.19	165.47
SC-002	128.14	1.79	135.31
SC-003	174.65	2.40	156.69
SC-004	288.14	3.99	309.70
SC-005	328.60	4.20	302.40
SC-006	236.25	2.50	158.36

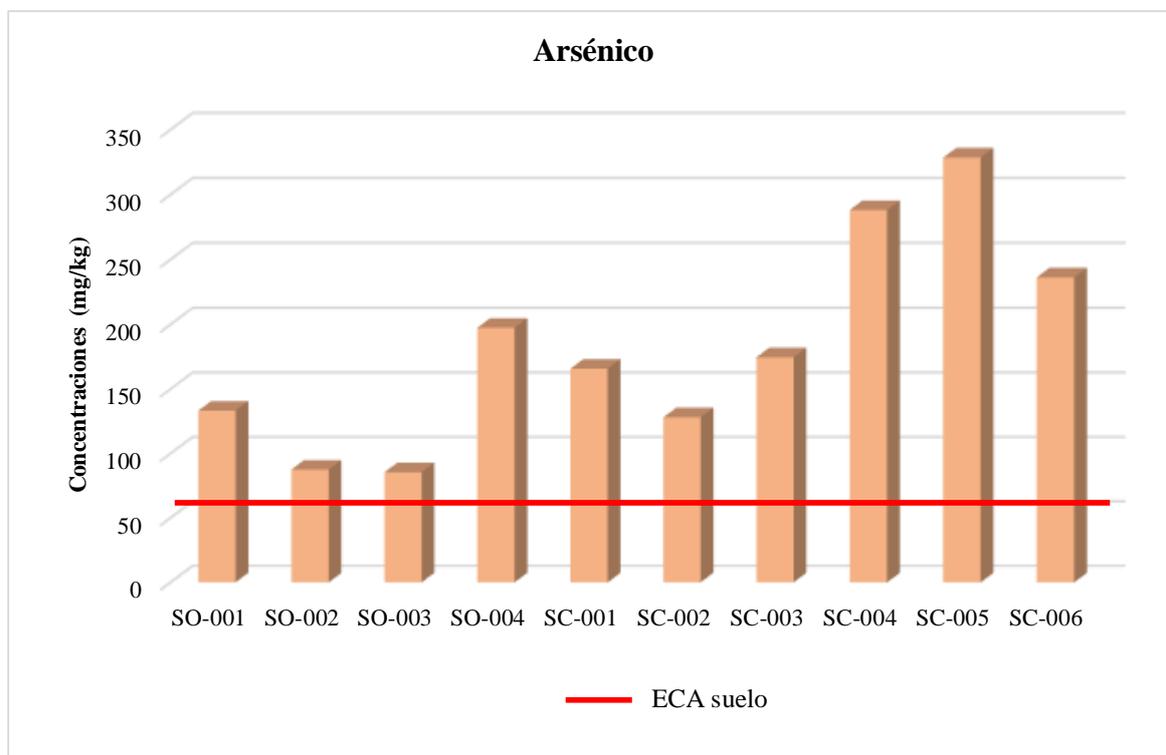
Tabla 4-2

Estadística descriptiva de las concentraciones de metales pesados

Estadígrafos	[As] mg/Kg	[Cd] mg/Kg	[Pb] mg/Kg
[] máxima	328.60	4.20	309.70
[] mínima	85.46	1.60	106.16
Des. estándar	81.49	0.92	72.71
Media	182.55	2.54	178.09

Figura 4-1

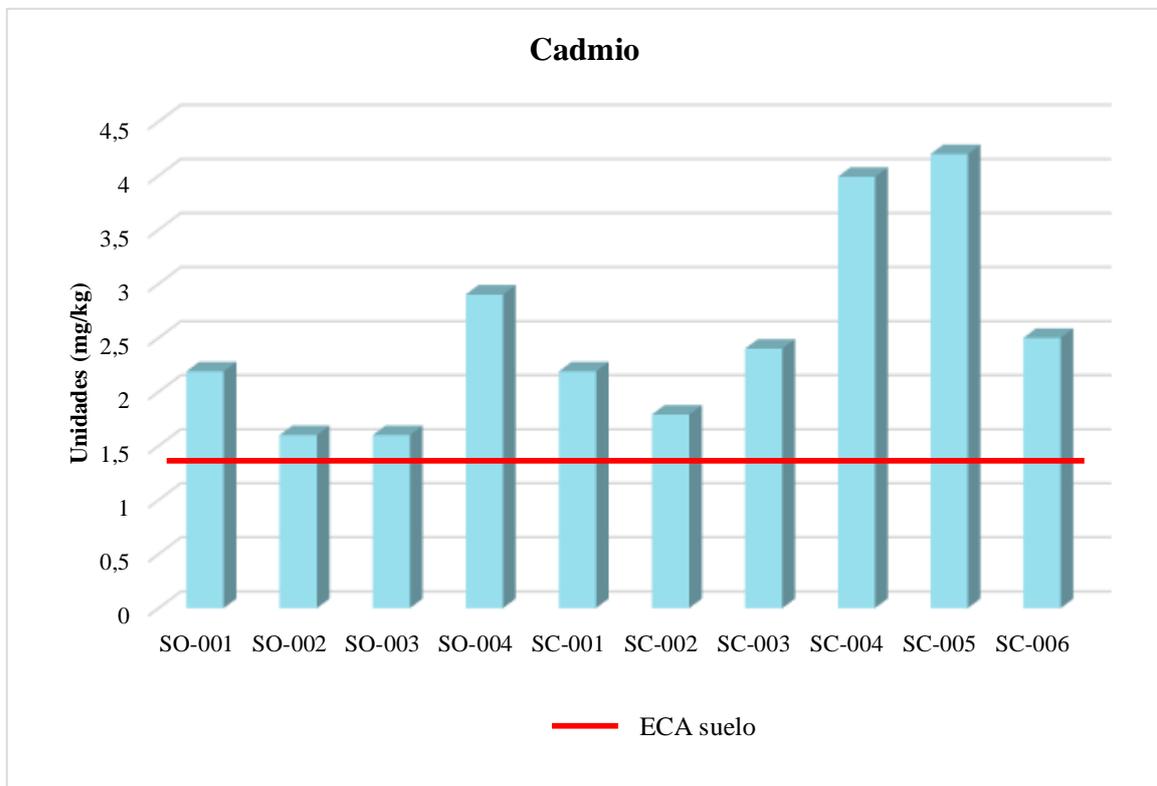
Concentraciones de Arsénico en suelo agrícola de Carapongo



De la Tabla 4-1 y la Figura 4-1 se puede observar que la presencia de arsénico en suelo agrícola de Carapongo registró una concentración mínima de 85,46mg/kg y una concentración máxima de 328,60mg/kg presentando excedencias en la totalidad de las muestras respecto del ECA agrícola para Arsénico, 50mg/kg. Ello coincide con lo reportado por Juárez (2012) quien determinó la presencia de arsénico en concentraciones elevadas respecto del estándar usado en dicha investigación. Asimismo, respecto de un análisis de las aguas del río Rímac, concluyó que, aunque el arsénico fue hallado mayormente por debajo del estándar recomendado para el agua de riego de hortalizas, se registró algunos picos de excedencia en las muestras tomadas cerca al Centro minero Fortuna durante los periodos de 2000 al 2008.

Figura 4-2

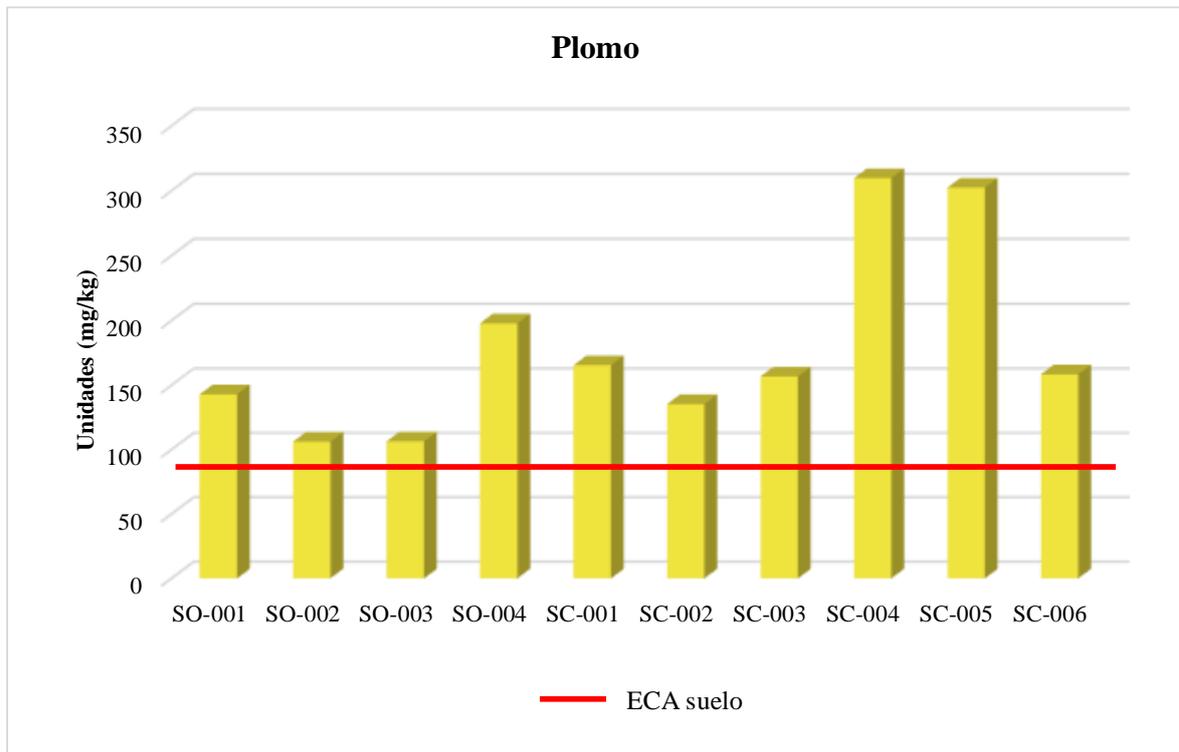
Concentraciones de Cadmio en suelo agrícola de Carapongo



De la Tabla 4-1 y la Figura 4-2 se observa que la concentración mínima fue 1,6mg/kg y la concentración máxima de 4,2mg/kg presentando excedencias en la totalidad de las muestras respecto del ECA agrícola para Cadmio, 1,4mg/kg. Al igual que con el arsénico, Juárez (2012) determinó la presencia de cadmio en el suelo en contracciones elevadas respecto del estándar planteado usado en la investigación. Por otro lado, respecto a la calidad del agua del río Rímac analizado en dicho estudio, determinó que el cadmio presente en el río Rímac se encontraba dentro de los valores permitidos para agua de regadío durante el periodo en el que realizó su investigación.

Figura 4-3

Concentraciones de Plomo en suelo agrícola de Carapongo



Respecto de las concentraciones de plomo en suelo agrícola, se registró una concentración mínima de 106,16mg/kg y una concentración máxima de 309,70mg/kg presentando excedencias en la totalidad de las muestras respecto del ECA agrícola para plomo, 70mg/kg. Estas concentraciones guardan relación con los resultados encontrados por Juárez (2012) quien determinó concentraciones elevadas de plomo respecto del estándar usado en la investigación. Por último, se determinó que, a diferencia del cadmio y arsénico, el plomo registró concentraciones elevadas durante el todo el periodo analizado (2000 – 2008) y que ello había impactado negativamente sobre las cuencas alta, media y baja del río Rímac.

El suelo agrícola de la zona evaluada presenta altas concentraciones de metales pesados (arsénico, cadmio y plomo), tal y como se observa en las Figuras 4-1, 4-2 y 4-3. Estas concentraciones se deben a que el suelo estaría recibiendo y acumulando metales pesados de diferentes fuentes. Una fuente importante podría ser, el agua de riego, de acuerdo con la investigación realizada por Vargas (2017) quien determinó que existen diferencias significativas en la presencia de metales pesados en suelos sin riego y en suelos con riego, siendo este último donde se hallaron las concentraciones más altas de metales pesados.

Otra fuente importante podría ser el uso de agroquímicos lo cual es compatible con lo indicado por De la Cruz (2018) quien determinó que el uso de agroquímicos incrementaba las concentraciones de plomo en el suelo agrícola de Carapongo. Finalmente, este mismo estudio indicó que en el suelo de Carapongo prevalece un pH predominantemente alcalino lo que contribuiría a la acumulación de metales pesados en la matriz ambiental suelo.

4.1.2 Concentración en el punto de exposición

La determinación de la concentración en el punto de exposición se obtiene a través del cálculo del UCL95. Para tal fin se utilizó el software proUCL95 de la EPA.

Tabla 4-3

Determinación UCL

Área	Contaminante	UCL95	Método
Carapongo Lurigancho - Chosica	Arsénico	229,80 mg/kg	95 % Student-t UCL
	Cadmio	3,07 mg/kg	95 % Student-t UCL
	Plomo	235,60 mg/kg	95% Adjusted Gamma UCL

La Tabla 4-3 sobre el cálculo del UCL95 para arsénico, muestra que el ProUCL recomendó la metodología de “Student-t” debido a que las concentraciones de este parámetro presentaron una distribución normal. El valor recomendado por el software fue de 229,8 mg/kg, superando el ECA para suelo agrícola.

Respecto del cadmio, el programa recomendó la metodología de “Student-t” debido a que las concentraciones de este parámetro presentaron una distribución normal. El valor recomendado por el software fue de 3,068 mg/kg, superando el ECA para suelo agrícola.

Finalmente, respecto a la determinación del UCL95, el ProUCL recomendó la metodología de “Adjusted Gamma” debido a que las concentraciones de este parámetro presentaron una distribución no paramétrica.

4.1.3 Niveles de riesgo no cancerígeno

Tabla 4-4

Niveles de riesgo no cancerígeno para adulto

Área	Vía de exposición	Matriz superficial	Metal pesado	Dosis de exposición	Dosis de referencia (DdR)*	Cociente de peligrosidad (CdP)	Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP _j)	Índice de Peligrosidad Total (IP _T)
Carapongo Lurigancho - Chosica	Ingestión	Suelo superficial	Arsénico	6.04E-04	3.00E-04	2.01E+00	2.19E+00	2.58E+00
		Suelo superficial	Cadmio	8.07E-06	1.00E-03	8.07E-03		
		Suelo superficial	Plomo	6.20E-04	3.60E-03	1.72E-01		
	Inhalación	Suelo superficial	Arsénico	6.78E-07	ND	NC	NC	
		Suelo superficial	Cadmio	9.05E-09	ND	NC		
		Suelo superficial	Plomo	6.95E-07	ND	NC		
		Suelo superficial	Arsénico	1.15E-04	3.00E-04	3.84E-01		
		Suelo superficial	Plomo	2.36E-07	5.40E-04	4.37E-04		
Dérmica	Suelo superficial	Cadmio	5.38E-07	1.00E-03	5.38E-04	3.85E-01		
	Suelo superficial	Plomo	2.36E-07	5.40E-04	4.37E-04			

*Para el caso de cadmio se utiliza el concepto de concentración de referencia. Este dato no ha sido determinado en la base de datos.

ND: No disponible

NC: No calculado

Tabla 4-5*Niveles de riesgo no cancerígeno para niño*

Área	Vía	Matriz superficial	Metal pesado	Dosis de exposición	Dosis de referencia (DdR)*	Cociente de peligrosidad (CdP)	Índice de P Integral por Vía (IP _j)	Índice de Peligrosidad Total (IP _T)
Carapongo Lurigancho - Chosica	Ingestión	Suelo superficial	Arsénico	3.27E-03	3.00E-04	1.09E+01	1.19E+01	1.53E+01
		Suelo superficial	Cadmio	4.37E-05	1.00E-03	4.37E-02		
		Suelo superficial	Plomo	3.36E-03	3.60E-03	9.32E-01		
	Inhalación	Suelo superficial	Arsénico	3.39E-07	ND	NC	NC	
		Suelo superficial	Cadmio	4.52E-09	ND	NC		
		Suelo superficial	Plomo	3.47E-07	ND	NC		
	Dérmica	Suelo superficial	Arsénico	1.03E-03	3.00E-04	3.43E+00	3.44E+00	
		Suelo superficial	Cadmio	4.81E-06	1.00E-03	4.81E-03		
		Suelo superficial	Plomo	2.11E-06	5.40E-04	3.90E-03		

*Para el caso de cadmio se utiliza el concepto de concentración de referencia. Este dato no ha sido determinado en la base de datos.

ND: No disponible

NC: No calculado

La evaluación del riesgo no cancerígeno por exposición a suelo agrícola con presencia de arsénico cadmio y plomo se realizó considerando como vías de exposición a la ingestión, inhalación y contacto dérmico ya que son todas las vías por la que los receptores, tanto adulto como niño, pueden verse expuestos a estos contaminantes, debido a las características fisicoquímicas de los mismos y a la naturaleza de la matriz ambiental evaluada.

Los parámetros de exposición utilizados en la presente investigación, como el peso corporal, la duración de la exposición, superficie disponible de piel (SDP), Periodo de tiempo de exposición (PTE) y tasa de ingestión, corresponden a los planteados por la Guía de Evaluación de riesgos a la salud y al ambiente – ERSA.

Para el valor del Factor de adherencia de la piel (FAP) se utilizó la recomendación de la USEPA realizada en Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part E. Para el valor de la frecuencia de exposición, se utilizó el valor indicado por la presidenta de la Asociación de pequeños agricultores de Carapongo. Asimismo, los datos de las Dosis de Referencia fueron tomados de la base de datos del Integrated Risk Information System (IRIS) de la USEPA.

En la Tabla 4-4 – “Niveles de riesgo no cancerígeno para adulto” se observa que el índice de Peligrosidad (IP_j) por la vía dérmica es menor que la IP_j por la vía de ingestión lo que significa que esta última representa un mayor riesgo a la salud por exposición a suelo agrícola con arsénico, cadmio y plomo; esto se debería a que la vía por ingestión tiene una mayor absorción de contaminantes que la vía por contacto dérmico.

Para el caso del IP_j por la vía inhalatoria, este no ha sido calculado debido a la ausencia de información respecto de la Dosis de referencia por inhalación. Por otro lado, al analizar el IP por cada metal considerando todas las vías de exposición, se obtiene que el IP para arsénico correspondió a 2.40E+00, para cadmio fue de 8.61E-03 y para plomo fue 1.77E-01; lo que significa que el arsénico representa un mayor riesgo a la salud que el cadmio y plomo presentes en el suelo agrícola. De lo anterior, podemos concluir que el riesgo no cancerígeno por arsénico es un riesgo no aceptable; mientras que el riesgo por cadmio y plomo representan un riesgo no cancerígeno aceptable para la salud. Finalmente, al sumar todos los IP, se obtuvo el Índice de Peligrosidad Total (IP_T) el cuál corresponde a 2.58E+00 lo que significa que el riesgo a la salud humana de tipo no cancerígeno es no aceptable debido a que supera el umbral de aceptabilidad, fijado en la unidad (1,0E+0).

De igual manera, en la Tabla 4-5 – “Niveles de riesgo no cancerígeno para niño” se determinó que el índice de Peligrosidad (IP_j) por la vía de ingestión es mayor al IP_j por la vía dérmica, lo que permite concluir que el IP_j por la vía de ingestión representa un mayor riesgo a la salud por exposición a suelo agrícola con arsénico, cadmio y plomo. Para el caso del IP_j por la vía inhalatoria, este no ha sido calculado debido a que la Dosis de referencia por inhalación es un dato no disponible para todos los parámetros evaluados. Por otro lado, si se analiza el IP de manera independiente, se obtiene que el IP para arsénico corresponde a $1.43E+01$, para cadmio es $4.85E-02$ y para plomo corresponde a $9.36E-01$; lo que significa que el arsénico representa un riesgo no aceptable ya que es mayor al umbral de aceptabilidad, definido en la unidad; caso opuesto al de cadmio y plomo quienes representan un riesgo no cancerígeno que se encuentra dentro de los niveles aceptables.

Finalmente, respecto del Índice de Peligrosidad Total (IP_T) se obtuvo un nivel de $1.53E+01$ lo que significa que el riesgo a la salud humana de tipo no cancerígeno es no aceptable debido a que supera el umbral de aceptabilidad, fijado en la unidad ($1,0E+0$). Además, se observó que el IP_T para el receptor niño es mayor que el IP_T para receptor adulto lo que quiere decir que el receptor niño es más vulnerable a las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo y que estas representan un mayor riesgo no cancerígeno para su salud.

Tabla 4-6

Resumen del riesgo no cancerígeno por exposición a suelo agrícola

Receptor	Vía de exposición	Aceptable	Preocupante	No aceptable
Adulto	Inhalación		NC	
	Contacto dérmico	X		
Niño	Ingesta de suelo		X	
	Inhalación		NC	
	Contacto dérmico		X	
	Ingesta de suelo			X

Nota: NC: No calculado debido a la ausencia de datos

4.1.4 Niveles de riesgo cancerígeno

Tabla 4-7

Niveles de riesgo cancerígeno para adulto

Área	Vía	Matriz superficial	Metal pesado	Dosis de exposición	Factor de pendiente de Cáncer (FPC) ¹	Índice de riesgo (IR)	Índice de riesgo integral (IR _j)	Índice de riesgo total (IR _T)
Carapongo Lurigancho - Chosica	Ingestión	Suelo superficial	Arsénico	1.95E-04	1.50E+00	2.92E-04		
		Suelo superficial	Cadmio	2.60E-06	ND	NC	2.94E-04	
		Suelo superficial	Plomo	2.00E-04	8.50E-03	1.70E-06		
	Inhalación	Suelo superficial	Arsénico	2.18E-07	4.30E-03	9.39E-10		
		Suelo superficial	Cadmio	2.91E-09	1.80E-03	5.25E-12	9.47E-10	3.49E-04
		Suelo superficial	Plomo	2.24E-07	1.20E-05	2.69E-12		
		Suelo superficial	Arsénico	3.71E-05	1.50E+00	5.57E-05		
	Dérmica	Suelo superficial	Cadmio	1.73E-07	ND	NC	5.57E-05	
		Suelo superficial	Plomo	7.61E-08	8.50E-03	6.47E-10		

ND: No disponible

NC: No calculado

¹ Para la vía de exposición de inhalación, los valores presentados corresponden a la Unidad de Riesgo (UR)

Tabla 4-8*Niveles de riesgo cancerígeno para niño*

Área	Vía	Matriz superficial	Metal pesado	Dosis de exposición	Factor de pendiente de Cáncer (FPC) ²	Índice de riesgo (IR)	Índice de riesgo integral (IR _i)	Índice de riesgo total (IR _T)
Carapongo Lurigancho - Chosica	Ingestión	Suelo superficial	Arsénico	5.27E-04	1.50E+00	7.91E-04		
		Suelo superficial	Cadmio	7.04E-06	ND	NC	7.96E-04	
		Suelo superficial	Plomo	5.41E-04	8.50E-03	4.60E-06		
	Inhalación	Suelo superficial	Arsénico	5.46E-08	4.30E-03	2.35E-10		
		Suelo superficial	Cadmio	7.29E-10	1.80E-03	1.31E-12	2.37E-10	1.04E-03
		Suelo superficial	Plomo	5.60E-08	1.20E-05	6.71E-13		
	Dérmica	Suelo superficial	Arsénico	1.66E-04	1.50E+00	2.48E-04		
		Suelo superficial	Cadmio	7.74E-07	ND	NC	2.48E-04	
		Suelo superficial	Plomo	3.40E-07	8.50E-03	2.89E-09		

ND: No disponible

NC: No calculado

² Para la vía de exposición de inhalación, los valores presentados corresponden a la Unidad de Riesgo (UR)

La evaluación del riesgo cancerígeno por exposición a suelo agrícola con presencia de arsénico cadmio y plomo dado que son clasificados por la IARC como agentes químicos de tipo cancerígenos, siendo el arsénico ubicado en el Grupo I (cancerígeno para humanos), Cadmio ubicado en el Grupo I- cancerígeno para humanos por vía inhalatoria y el plomo, Grupo 2B (posiblemente carcinógeno para humanos). Esta evaluación se realizó considerando las vías de exposición de ingestión y contacto dérmico para arsénico y plomo; mientras que, para cadmio, se consideró la vía inhalatoria. Las mencionadas corresponden a todas las vías a través de las cuales los receptores, tanto adulto como niño, pueden verse expuestos a estos contaminantes, debido a las características fisicoquímicas de los mismos y a la naturaleza de la matriz ambiental evaluada.

Los parámetros de exposición utilizados en la presente investigación, como el peso corporal, la duración de la exposición, superficie disponible de piel (SDP), Periodo de tiempo de exposición (PTE) y tasa de ingestión, corresponden a los planteados por la Guía de Evaluación de riesgos a la salud y al ambiente – ERSa. Para el valor del Factor de adherencia de la piel (FAP) se utilizó la recomendación de la USEPA realizada en Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part E. Para el valor de la frecuencia de exposición, se utilizó el valor indicado por la presidenta de la Asociación de pequeños agricultores de Carapongo. Asimismo, los datos del Factor Potencial Cancerígeno (FPC) del arsénico y de la Unidad de riesgo del cadmio fueron tomados de la base de datos del Integrated Risk Information System (IRIS); mientras que el dato del FPC para plomo fue tomado de la CalEPA (EPA de California).

En la Tabla 4-6 – “Niveles de riesgo cancerígeno para Adulto”, se observa que si se analiza el Índice de Riesgo (IR_j) de manera independiente para cada metal se obtiene que el IR para arsénico corresponde a 3.48E-04, para cadmio es 5.25E-12 y para plomo corresponde a 1.70E-06; lo que significa que solo el arsénico representa un riesgo cancerígeno no aceptable, mientras que, tanto el cadmio como el plomo se encuentran dentro de lo planteado por el umbral máximo de aceptabilidad fijado en 1.00E-5. Por otro lado, al analizar el riesgo cancerígeno por vía de exposición, se obtiene que el Índice de Riesgo (IR_j) para la vía inhalatoria es menor que el IR_j correspondientes a la vía de ingestión y contacto dérmico; lo que significa que la vía inhalatoria representa un menor riesgo cancerígeno por exposición a suelo agrícola con arsénico, cadmio y plomo.

Cabe mencionar que, en el caso del nivel de riesgo cancerígeno por cadmio, solo se ha considerado la vía inhalatoria ya que dicho metal no cuenta con información referente al Factor Potencial de Cáncer (FPC) para la vía de exposición de ingestión y contacto dérmico. Respecto del Índice de Riesgo Total (IR_T) se obtuvo una probabilidad de $3.49E-04$ lo que significa que el riesgo a la salud humana de tipo cancerígeno es no aceptable debido a que supera el umbral máximo de aceptabilidad fijado en $1.00E-5$.

En la Tabla 4-7 – “Niveles de riesgo cancerígeno para niño”, se observa que si se analiza el Índice de Riesgo (IR_j) de manera independiente para cada metal se obtiene que el IR para arsénico corresponde a $1.04E-03$, para cadmio es $1.31E-12$ y para plomo corresponde a $4.61E-06$; lo que significa que solo el arsénico representa un riesgo cancerígeno no aceptable, mientras que, tanto el cadmio como el plomo se encuentran dentro de lo planteado por el umbral máximo de aceptabilidad. Por otro lado, al analizar el riesgo cancerígeno por vía de exposición se obtiene que el (IR_j) por la vía inhalatoria es menor que los IR_j correspondientes a la vía de ingestión y a la vía dérmica; lo que significa que la vía inhalatoria representa un menor riesgo cancerígeno por exposición a suelo agrícola con arsénico, cadmio y plomo. Respecto del Índice de Riesgo Total (IR_T) se obtuvo un nivel de $1.04E-03$ lo que significa que el riesgo a la salud humana de tipo cancerígeno es no aceptable debido a que supera el umbral máximo de aceptabilidad.

Adicionalmente, se obtuvo que el IR_T para el receptor niño es mayor que el IR_T para receptor adulto lo que quiere decir que el receptor niño es más vulnerable al riesgo no cancerígeno por exposición a arsénico, cadmio y plomo.

Tabla 4-9

Resumen de riesgo cancerígeno por exposición a suelo agrícola

Receptor	Vía de exposición	Aceptable	No aceptable
Adulto	Inhalación	X	
	Contacto dérmico	X	
	Ingesta de suelo		X
Niño	Inhalación	X	
	Contacto dérmico		X
	Ingesta de suelo		X

Nota: NC: No calculado debido a la ausencia de datos

4.2 Resultados de entrevistados

Entrevista 01

Nombre: Moisés García Ortiz

Cargo: Docente de Escuela Profesional de Toxicología

Institución: Universidad Nacional Mayor de San Marcos

1. **¿Conoce, usted, o tiene alguna referencia de la agricultura en Carapongo, Lurigancho – Chosica? Comente al respecto.**

Si. La zona se ubica en la vertiente del río Rímac. La población en su mayoría es agricultora y la producción es básicamente productos de pan llevar por ejemplo hortalizas.

2. **¿Cuál sería las recomendaciones que diera a los pequeños agricultores al inicio de cada época de sembrío?**

A la experiencia que tiene los agricultores en el manejo del sembrío las recomendaciones iniciales serian tener el cuidado personal en relación del manejo de plaguicidas, seguridad de abastecimiento del agua para el regadío.

3. **¿Qué medidas preventivas y mitigadoras se deben tomar para no contaminar el suelo y al ambiente en el desarrollo de la actividad agrícola?**

Considerar que el agua para el regadío debe ser de buena calidad, exento por ejemplo de desechos municipales, industriales, mineros también la buena selección de fertilizantes y plaguicidas a usar.

4. **Dentro de la actividad agrícola, ¿cuáles son las acciones que usted considera podrían favorecer a la disponibilidad de los metales pesados en el suelo?**

Actualmente se conoce el movimiento de los metales pesados en todos los ecosistemas terrestres, teniendo un origen natural y antropogénico. Los ciclos biogeoquímicos explican detalladamente la presencia en el agua, suelo y la atmosfera. El tratamiento de metales en la industria por ejemplo el plomo en las baterías, la extracción minera y el incorrecto proceso de almacenamiento de los relaves.

- 5. ¿Considera usted que los metales pesados son actualmente un problema para la salud y el ambiente en el país? Si su respuesta es afirmativa, ¿Cuál sería el riesgo y consecuencias para plantas, animales y humanos?**

Si. Los estudios relacionados a los metales pesados determinan que todos son extremadamente tóxicos para la salud humana. Las plantas en su mayoría son acumulativas algunos como el cadmio en el cacao, arroz, en animales y humanos pueden producir efectos tóxicos neurológicos (plomo, mercurio) reproductivos (cadmio) cancerígenos (arsénico, cadmio) hematológicos (plomo) etc.

- 6. En su experiencia, ¿cuál es el impacto de los metales pesados sobre la productividad de un suelo agrícola?**

Los metales pesados pueden limitar la producción dado que se asocian a la pérdida de biomasa, es decir, una planta que podría crecer hasta los 40 cm, solo crece hasta los 10cm, o se reduce el tamaño o número de frutos. Cuando existen altas concentraciones, las plantas sufren de toxicidad aguda lo que limita su crecimiento o germinación pudiendo morir y darse pérdidas de cultivos.

- 7. ¿Considera usted que la Evaluación de riesgos a la salud (toxicológicos) es importante y tiene aplicabilidad en nuestro país? Fundamente**

Si. Es necesario la aplicabilidad de la evaluación de riesgo para la salud. Se considera parámetros máximos permisibles por entidades reguladoras para cada alimento. Inicialmente se debe realizar procedimientos analíticos de todos los productos que se consumen, como se realiza en muchos países (España) para luego aplicar la evaluación del riesgo toxicológico.

- 8. ¿Cuáles son las medidas que se deben tomar para evitar los casos de enfermedades por metales pesados en las personas expuestas?**

En personas que laboralmente están expuestas aplicar sistemas de seguridad e higiene ocupacional.

- 9. ¿Cuál es su percepción respecto del marco normativo que regula la contaminación de los suelos por metales pesados en el país?**

Que no se realiza adecuadamente el cumplimiento de las normas. Se observa en la minería.

10. ¿Considera usted que se debe brindar apoyo técnico y financiero a los agricultores de Carapongo y a nivel nacional como parte de las políticas públicas en el país? Desarrolle

Si. Esta situación es importante para la calidad de la producción e incrementar su productividad

Entrevista 02

Nombre: Mg. Alex Mayorca Quintana

Cargo: Especialista en suelos

Institución: Ministerio de Energía y Minas

1. ¿Conoce, usted, o tiene alguna referencia de la agricultura en Carapongo, Lurigancho – Chosica? Comente al respecto.

Sí

2. ¿Cuál sería las recomendaciones que diera a los pequeños agricultores al inicio de cada época de sembrío?

Antes de cada sembrío importante conocer el estado nutricional que tiene el suelo y en función de ello hacer su formulación de dosis de fertilización en base al cultivo que va a sembrar.

3. ¿Qué medidas preventivas y mitigadoras se deben tomar para no contaminar el suelo y al ambiente en el desarrollo de la actividad agrícola?

Conocer que todo fertilizante aplicable al suelo debe de ser amigablemente ambiental es decir que sean ecológicos, como por ejemplo utilizar el Biol.

4. Dentro de la actividad agrícola, ¿cuáles son las acciones que usted considera podrían favorecer a la disponibilidad de los metales pesados en el suelo?

Se ha encontrado en casos particulares el uso de agua para el riego con presencia de metales, importante donde ahí antes del riego debe de hacer previos estudios al agua de riego.

5. ¿Considera usted que los metales pesados son actualmente un problema para la salud y el ambiente en el país? Si su respuesta es afirmativa, ¿Cuál sería el riesgo y consecuencias para plantas, animales y humanos?

Si, acumulación de metales en las plantas y posterior riesgo al ser humano y animales por el consumo prolongado de esas plantas.

6. En su experiencia, ¿cuál es el impacto de los metales pesados sobre la productividad de un suelo agrícola?

Baja productividad, debido que concentraciones mayores de metales pesados va haber inhibición de crecimiento y productividad.

7. ¿Considera usted que la Evaluación de riesgos a la salud (toxicológicos) es importante y tiene aplicabilidad en nuestro país? Fundamente

Es importante debido que podemos abarcar puntos importantes para minimizar los riesgos a la salud y medio ambiente.

8. ¿Cuáles son las medidas que se deben tomar para evitar los casos de enfermedades por metales pesados en las personas expuestas?

Eliminar la exposición.

9. ¿Cuál es su percepción respecto del marco normativo que regula la contaminación de los suelos por metales pesados en el país?

Se encuentra incompleto la normativa vigente debido que falta parámetros incluir, como por ejemplo el vanadio, entre otros.

10. ¿Considera usted que se debe brindar apoyo técnico y financiero a los agricultores de Carapongo y a nivel nacional como parte de las políticas públicas en el país?

Si

Entrevista 03

Nombre: Mg. Guillermo Fernando Villa Gonzales

Cargo: Analista Químico - Investigador

Institución: Instituto Nacional de Salud – Ministerio de Salud

- 1. ¿Conoce, usted, o tiene alguna referencia de la agricultura en Carapongo, Lurigancho – Chosica? Comente al respecto.**

La localidad de Carapongo se ubica al margen derecho del valle del río Rímac, dentro del área del distrito de Lurigancho-Chosica, a 200 metros sobre el nivel del mar, a 13 km de distancia de los mercados mayoristas más importantes de Lima.

- 2. ¿Cuál sería las recomendaciones que diera a los pequeños agricultores al inicio de cada época de sembrío?**

Primero acerca de las precauciones que se deben tomar en cuenta en el uso de plaguicidas, de las sustancias químicas presentes en el agua que utilizan para regar sus cultivos, el uso de EPP adecuados para las labores agrícolas.

- 3. ¿Qué medidas preventivas y mitigadoras se deben tomar para no contaminar el suelo y al ambiente en el desarrollo de la actividad agrícola?**

Dentro de las medidas preventivas sería: un plan adecuado de gestión de residuos agrícolas para eliminarlos de manera adecuada eso incluiría vertido de residuos con previo tratamiento, buena eliminación de depósitos que hayan tenido agroquímicos, adecuado almacenamiento de fertilizantes, de materias primas, manipulación de materias auxiliares, se propone uso de tecnologías como las biocamas o biobeds, se debe vigilar la calidad del agua utilizada para el riego de estos contaminantes.

- 4. Dentro de la actividad agrícola, ¿cuáles son las acciones que usted considera podrían favorecer a la disponibilidad de los metales pesados en el suelo?**

Las acciones serían: 1. En la acción de siembra y cosecha hace que haya contacto piel con polvo con metales pesados y una posible exposición en las personas que realizan actividad agrícola, también se agregaría la inhalación de este polvo y el

ingreso respectivo de metales. 2. Realizar actividades de cultivo en suelo contaminados con metales pesados puede producir una transferencia de los metales a cierto tipo de tubérculos o raíces los cuales luego ingresarían al organismo a través de la ingestión de los mismos.

5. ¿Considera usted que los metales pesados son actualmente un problema para la salud y el ambiente en el país? Si su respuesta es afirmativa, ¿Cuál sería el riesgo y consecuencias para plantas, animales y humanos?

El Perú si posee problemas por exposición a metales pesados, ambas se dan por actividades antropogénicas como la minería formal e informal, y la otra por fuentes naturales. Las consecuencias a continuación se detallan: 1. Plantas: alimentos que se cultiven en suelos contaminados con metales pueden estos también acumular metales, bien conocido es la contaminación de cacao con cadmio. 2. Animales: cuando estos animales consumen agua y alimentos contaminados con metales estos pueden acumular metales pesados en sus tejidos y a su vez ser ingeridos por animales, otro ejemplo es la acumulación de mercurio en peces y estos a su vez ser ingeridos en seres humanos. 3. Humanos: la exposición por metales pesados a partir del agua de consumo, inhalación de polvo, consumo de alimentos de origen animal o vegetal representan un riesgo grave en la salud humana.

6. En su experiencia, ¿cuál es el impacto de los metales pesados sobre la productividad de un suelo agrícola?

A mi modo de ver no habría un impacto directo en la productividad del suelo agrícola porque las especies vegetales van a tomar nutrientes del suelo que sean equivalentes por ejemplo en vez del fósforo pueden tomar arsénico, en forma indirecta si afecta para aquellos cultivos que serán exportado como por ejemplo cultivar cacao en suelo contaminado con cadmio u otros metales, donde se toma el riesgo que toda una producción de cacao sea devuelta y eso significaría grandes pérdidas para el agricultor.

7. ¿Considera usted que la Evaluación de riesgos a la salud (toxicológicos) es importante y tiene aplicabilidad en nuestro país? Fundamente

Es muy importante realizar la evaluación de riesgos para ello se debe ver bajo dos aspectos desde el punto de vista ambiental y ocupacional. En ambos casos se debe evaluar la exposición a agentes peligrosos como agentes físicos, químicos y biológicos; y para el caso de la encuesta tenemos a los metales pesados como agentes químicos. Siguiendo la idea para evaluar el riesgo tenemos que considerar que esta va a estar en función del peligro, el grado de exposición y la vulnerabilidad. Esto es preocupante porque si observamos el tema ocupacional, el grado de exposición es continuo y a esto se agrega que las personas ignoran los peligros a lo que están expuestos y viendo el tema ambiental tenemos a grupos vulnerables como niños, ancianos y gestantes.

8. ¿Cuáles son las medidas que se deben tomar para evitar los casos de enfermedades por metales pesados en las personas expuestas?

A mi parecer el tema fundamental es la prevención y eso implica la evaluación de riesgos a la que pueden estar expuestos las personas desde un contexto ambiental u ocupacional. Medir los riesgos es la determinación de las posibles formas de ingreso en el organismo y eso implica medir el tóxico de interés en alimentos, agua, aire, polvo, suelo, alimentos.

9. ¿Cuál es su percepción respecto del marco normativo que regula la contaminación de los suelos por metales pesados en el país?

Las normas existen, pero muchas investigaciones nos indican que no se cumplen las mismas, en ese sentido es importante que los entes regulatorios inmersos en esto hagan cumplir o realicen acciones para su cumplimiento. Falta más compromiso por parte del estado para combatir este problema.

10. ¿Considera usted que se debe brindar apoyo técnico y financiero a los agricultores de Carapongo y a nivel nacional como parte de las políticas públicas en el país? Desarrolle

Considero que sí, el apoyo técnico para que implemente un sistema de salud y seguridad en el trabajo y financiero para que realice cambios en el tratamiento de suelos, compren equipos de protección personal etc.

Entrevista 04

Nombre: Franco Fernández San María
Cargo: Especialista de calidad ambiental
Institución: Ministerio del Ambiente

1. ¿Conoce, usted, o tiene alguna referencia de la agricultura en Carapongo, Lurigancho – Chosica? Comente al respecto

Si conozco.

2. ¿Cuál sería las recomendaciones que diera a los pequeños agricultores al inicio de cada época de sembrío?

Es importante una buena labranza, la cual permitirá una adecuada aireación del suelo, de modo que facilite los procesos de oxidación y de humedecimiento del mismo. Además, facilita el drenaje natural en las épocas de riego, con el consiguiente arrastre de sustancias no deseadas en el campo que pueden ser captadas por los cultivos (plantas). Además, antes, en pleno cultivo y después deben realizarse las buenas prácticas agrícolas de la siembra y el adecuado manejo del suelo agrícola, lo cual contribuye en una adecuada salubridad del mismo.

3. ¿Qué medidas preventivas y mitigadoras se deben tomar para no contaminar el suelo y al ambiente en el desarrollo de la actividad agrícola?

Además de los cuidados al suelo, el uso de semillas certificadas es importante, la aplicación adecuada y de manera técnica de insumos como los productos fitosanitarios y fertilizantes, lo cual puede ser la fuente de la presencia de sustancias químicas tóxicas que pueden ingresar a la cadena trófica con las consecuencias ya conocidas. Utilizar la menos cantidad de productos químicos, hoy en día se usan hasta acelerantes de la maduración, aplicación de fitosanitarios al suelo y por vía aérea, aplicación de fertilización al suelo y vía aérea, etcétera.

4. Dentro de la actividad agrícola, ¿cuáles son las acciones que usted considera podrían favorecer a la disponibilidad de los metales pesados en el suelo?

La comprensión de los principios y fenómenos fundamentales que controlan la transferencia de sustancias químicas en la cadena suelo-planta-humano puede contribuir a la protección del medio ambiente y la salud humana. Es por ello que se requiere capacitación permanente a los agricultores de la zona y para ello se puede realizar mediante sus organizaciones de agricultores existente. No hacerlo puede favorecer la presencia de metales pesados en el suelo, en los frutos de los cultivos y en la población. Aunque los mecanismos de selección biológica de sustancias químicas permiten a las plantas controlar, hasta cierto punto, su composición química, esta barrera es algo limitada con respecto a los metales y otros. Por lo tanto, las concentraciones de las sustancias químicas en las plantas a menudo se correlacionan positivamente con la abundancia de estos elementos en los medios de crecimiento. Esto crea varios problemas para plantas, animales y humanos asociados con deficiencia o con exceso de los mismos.

5. ¿Considera usted que los metales pesados son actualmente un problema para la salud y el ambiente en el país? Si su respuesta es afirmativa, ¿Cuál sería el riesgo y consecuencias para plantas, animales y humanos?

Actualmente, la presencia de metales pesados en el ambiente son un problema, toda vez que existen regiones del país en donde los receptores humanos y biota muestran concentraciones que generan efectos negativos en la salud de los mismos. Ello, genera protestas socioambientales como Espinar - Cusco, Hualgayoc - Cajamarca, Simón Bolívar - Pasco, Mórrope - Lambayeque y otros.

6. En su experiencia, ¿cuál es el impacto de los metales pesados sobre la productividad de un suelo agrícola?

La influencia de los metales pesados se manifiesta de diversas maneras: varía la calidad del suelo, las cosechas reducidas, los frutos son de tamaño diferente, etcétera y la consecuente contaminación de los productos agrícolas. Esto se encuentra demostrado en los informes anuales del SENASA, en los cuales se indican la presencia de sustancias tóxicas en la composición de los frutos.

7. ¿Considera usted que la Evaluación de riesgos a la salud (toxicológicos) es importante y tiene aplicabilidad en nuestro país? Fundamente

La evaluación de riesgos es un enfoque importante y su implementación es necesaria, sobre todo en zonas críticas con problemas de salud en las personas y otros receptores. Su aplicabilidad depende de las autoridades competentes y la competencia profesional de los especialistas encargados de ello.

8. ¿Cuáles son las medidas que se deben tomar para evitar los casos de enfermedades por metales pesados en las personas expuestas?

Para el caso de los agricultores de la zona en referencia, la prevención, las buenas prácticas agrícolas, el uso de insumos en las cantidades y cuidados adecuados serían algunas de las medidas a tener en cuenta. Ello permitirá el consumo alimentario con adecuada calidad. El uso de agua de riego es importante, la cual debe presentar la calidad necesaria para no contribuir en la contaminación del suelo, las cosechas y de los receptores humanos.

9. ¿Cuál es su percepción respecto del marco normativo que regula la contaminación de los suelos por metales pesados en el país?

Tiene un buen nivel en cantidad y calidad; sin embargo, deben estar en permanente revisión y actualización de acuerdo a las condiciones del mundo real.

10. ¿Considera usted que se debe brindar apoyo técnico y financiero a los agricultores de Carapongo y a nivel nacional como parte de las políticas públicas en el país? Desarrolle

Totalmente de acuerdo y crear cadenas comerciales que faciliten la venta de las cosechas con el menor número de intermediarios.

Entrevista 05

Nombre: Aída Gamarra

Cargo: Presidenta de la Asociación de Pequeños agricultores de Carapongo “Sembrando Esperanza”

Preguntas generales

1. ¿Cuál es su nombre?

Mi nombre es Aída Gamarra Sánchez y soy la presidente de la Asociación Sembrando Esperanza del Valle de Carapongo desde este año.

2. En la actualidad, cuántas hectáreas de Carapongo están destinadas a la agricultura.

No tengo ese dato, pero la mayoría de las hectáreas de Carapongo están siendo urbanizadas... ya no es como antes.

3. ¿Cuántos agricultores forman parte de la asociación? ¿Cuántos agricultores no forman parte de la asociación aproximadamente?

Ahorita contamos con 182 miembros de la Asociación.

Preguntas sobre la actividad agrícola en Carapongo

4. ¿En qué mercado distribuyen sus productos?

Nosotros hemos optado por esperar a los compradores de Lima, ya que si nosotros llevamos los productos corremos el riesgo de no poder vender a tiempo y que nuestros productos se arruinen. Los productos se distribuyen a mercados de Lima.

5. ¿Cuántos Kilos o toneladas se produce por cada cultivo en cada periodo de sembrío?

Es incalculable, por ejemplo, se puede obtener hasta 3500 paquetes de rabanito, no se contabiliza por kilo sino por paquete o atado. La producción es variable y depende de las plagas “ranya” que malogra el producto lo cual hace que el agricultor pierda.

6. ¿Qué variedades de cultivos producen en la zona?

Acá, más que todo se producen las verduras, hortalizas, las hierbas aromáticas. Eso es lo que se produce acá.

7. ¿Cuál de los cultivos tiene mayor rendimiento agrícola?

Ahora casi todo es igual, a todos se le tiene que invertir el mismo tiempo y cuidado, Hay que echarle el herbicida, abono porque si no se pierde la cosecha.

8. ¿Cuántas hectáreas de cultivos se hacían antes de la pandemia y cuántas hectáreas de cultivos se hace hoy en plena pandemia?

La reincorporación es de a pocos y solo algunas. Casi la mitad de lo que se trabajaba antes. Actualmente, solo se ha logrado reanudar actividades agrícolas en la mitad de toda el área agrícola de la zona.

9. ¿Cuál es la fuente de agua que usan para el riego?

Se usa agua del rio Rímac. El río nos provee de agua todo el año.

10. ¿Los niños apoyan en la actividad agrícola a sus padres?

“Sí, acá los chicos y grandes trabajan como apoyo a sus padres, y a la vez, como usted mirará, la necesidad a veces es grande del agricultor, son personas que vivimos a puertas de palacio, pero acá se vive sin servicios básicos, los niños no tienen opción. Nosotros tenemos un taller los días sábados, enseñamos en los talleres, muchos no tienen laptops, televisores, y son damnificados del niño costero 2017, entonces hay muchas personas que no tenemos ni siquiera un televisor por eso no estamos muy informados de las noticias porque la gran mayoría no tiene un televisor...”

Preguntas sobre las condiciones de la agricultura

1. ¿Se han realizado investigaciones sobre contaminación ambiental anteriormente?

No

2. ¿Cuentan con asesoramiento técnico -agrícola para realizar agricultura en la asociación?

En el 2018, Caritas estuvo capacitando en agricultura y crianza de animales menores, pero a raíz de la pandemia ya no vienen. El Ministerio de Agricultura hizo talleres el año pasado, pero fue muy difícil desplazarse y asistir.

3. ¿Se hace análisis de suelos para determinar el tipo de cultivo a realizar?

No

4. ¿Usan agroquímicos? ¿Qué tipo de agroquímicos usan?

Sí, necesariamente porque de lo contrario no hay producción. Aquí se tiene de usar de todo sino no produce. Cada agricultor consigue para su sembrío.

5. ¿Cuántas horas al día pasan entre los cultivos?

12 horas al día de lunes a sábado. Los domingos a veces desde la madrugada para terminar temprano. Así durante todo el año ya que acá se produce durante todo el año.

6. ¿Cuántos días a la semana y cuantas semanas al año?

6 días x 52 semanas

7. ¿Cuenta con apoyo técnico, financiero o algún incentivo por parte del estado?

No

8. ¿Cuál es el apoyo que les brinda el Ministerio de agricultura?

Ninguno. Nos gustaría recibir todo lo que es orientación, capacitación, apoyo para mejorar la tierra para que el suelo produzca mejor.

9. ¿Cuál es su percepción en cuanto al Servicio Nacional de Certificación Ambiental SENACE en la agricultura?

Sí he escuchado, pero acá nunca lo he visto.

10. ¿Usted percibe que hay contaminación en la zona de Carapongo? ¿Cuál serían las fuentes?

“Sí, es un problema ambiental porque acá hay criaderos de cerdos irresponsablemente, a veces mueren los cerdos y los dejan botados, no los recogen, ósea, no reciben... ósea, lo crían como pueden, no tienen... no cumplen con los protocolos. Acá al frente tenemos uno, y cuando mueren, llegan las moscas, contamina. A parte de eso, las personas de afuera mandar a botar desmonte con basura y no hay control. Acá todos pagamos los arbitrios, pero no llegan los de limpieza pública...”

11. ¿Usted percibe que hay contaminación al suelo en la zona de Carapongo? ¿Cuál serían las fuentes?

“Sí, porque a raíz del huayco la chacra no produce igual. Además, hay criaderos de cerdos de manera irresponsable, cuando se mueren los dejan botados, no lo recogen, lo serían como pueden y no cumplen con los protocolos. Abundan las moscas. Aparte de eso, las personas de afuera vienen a dejar su desmonte con basura, no hay control, aunque pagamos nuestros arbitrios no hay una adecuada limpieza pública. Además, arriba hay un lavadero de tripas y todo lo vierten al río. Los envases son reciclados.

12. Desde su percepción, ¿Cuáles son las principales necesidades para el desarrollo de la agricultura en Carapongo?

Es una pena y una tristeza de que nosotros no tengamos agua potable. Nosotros consumimos agua de pozo, no hay agua. Por ejemplo, para lavar los servicios usamos el agua del río, pero con un poco de lejía. El agua que compramos de la cisterna lo usamos netamente para la cocina. Desagüe y luz.

CONCLUSIONES

- La concentración media de los metales pesados (Arsénico, cadmio y plomo) en el suelo agrícola de Carapongo, Lurigancho - Chosica son los siguientes: de Arsénico 182,55 mg/kg; cadmio 2,54 mg/kg, y plomo 178,09 mg/kg. Estas concentraciones superan el Estándar de Calidad Ambiental DS 011-2017-MINAM para el suelo de tipo agrícola.
- Para la evaluación del riesgo no cancerígeno se determinó que existe un nivel de riesgo no aceptable por exposición a arsénico en suelos tanto en adultos como en niños; mientras que, la exposición a cadmio y plomo representan un riesgo aceptable para ambos receptores. Esto quiere decir que, únicamente el arsénico se encuentra relacionado con un nivel de riesgo no aceptable para un tipo de efecto no cancerígeno.
- Para la evaluación del riesgo cancerígeno se determinó que existe un nivel de riesgo no aceptable por exposición a arsénico en suelos tanto en adultos como en niños; mientras que, la exposición a cadmio y plomo representan un riesgo aceptable para ambos receptores. Esto quiere decir que, al igual de la evaluación de riesgo no cancerígeno, únicamente el arsénico se encuentra relacionado con un nivel de riesgo no aceptable para un tipo de efecto cancerígeno.
- Para la evaluación del riesgo no cancerígeno y cancerígeno por exposición a varios metales se determinó que existe un nivel de riesgo no aceptable, tanto para adultos como para niños. Esto quiere decir que la exposición a varios metales, en las concentraciones encontradas en el lugar de estudio, está asociado con un nivel de riesgo no aceptable para efecto cancerígeno y no cancerígeno.

RECOMENDACIONES

- Debido a que el riesgo por exposición a suelo agrícola de Carapongo con presencia de metales pesados representa un riesgo no cancerígeno y cancerígeno no aceptable tanto para niños como para adultos, se recomienda realizar estudios complementarios sobre el suelo, agua y productos cultivados con la finalidad de tomar acciones para reducir los niveles de riesgo no cancerígeno y cancerígeno.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones para evaluar el riesgo en otros predios de Carapongo para determinar la extensión total de suelo que representaría niveles de riesgo no aceptable para exposición humana.
- Se recomienda realizar un monitoreo o estudios de marcadores biológicos sobre la población expuesta para evaluar el grado de absorción de los metales pesados en el organismo y los posibles efectos que se podrían estar manifestado por exposición al suelo agrícola de la zona estudiada en Carapongo.
- Respecto de los productos agrícolas, se recomienda determinar la concentración de los metales pesados, comparar dichas concentraciones con lo propuesto por el Códex Alimentarius y, finalmente, evaluar el riesgo no cancerígeno y cancerígeno por ingestión de hortalizas y tubérculos producidos en suelo agrícola con presencia de metales pesados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abernathy, C., & Morgan, A. (2001). *Exposure and health effects*. Organización Mundial de la Salud. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenicun3.pdf
- Agencia de Protección Ambiental. (2015). *Investigación de la EPA sobre plomo en las instalaciones históricas*. Brooklyn. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-04/documents/columbia_noticia_a_la_comunidad_4.pdf
- Agencia Internacional de la Investigación del Cáncer. (22 de julio de 2021). *List of Classifications*. Obtenido de <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/>
- Alarcón, T., Leal, L., Benavides, A., & Dominguez, M. (2013). *Arsénico en Agua*. Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>
- Albert, L. (2004). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos. *Toxicología ambiental*, 61-74.
- Alvariño, L., & Iannacone, J. (2012). Impacto ambiental de Huaycoloro en el río Rímac. *The biologist*, 10.
- Andrade, K., Castillo, I., & Quispe, R. (2020). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía Interior de Puno. *Investigación y Desarrollo*, 20, 147-153. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/riyd/v20n1/v20n1_a11.pdf
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M., Zúñiga-Cernades, L., Arévalo-Hernández, C., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2). Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v15n2/a03v15n2.pdf>
- Astete, J., Cáceres, W., Gsatañaga, M., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., & Rodríguez, F. (2009). Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(1), 15-19.
- ATSDR. (2002). *Introduction to Risk Assessment*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/3/module-

3.pdf

- ATSDR. (2007). *Reseña toxicológica del arsénico*. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts2.pdf>
- ATSDR. (11 de abril de 2019a). *Risk assessment*. Obtenido de <https://n9.cl/mx1n>
- ATSDR. (11 de abril de 2019b). *Curso de Toxicología para comunidades*. Obtenido de <https://n9.cl/mpse>
- Bradl, H. (2004). Adsorption of heavy metal ion on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 1-18.
- Bradl, H. (2005). *Heavy Metals in the Environment (1.a ed., vol. 6)*. Elsevier.
- Bulska, E., & Wagner, B. (2016). Quantitative aspects of inductively coupled plasma mass spectrometry. *The royal society*. doi:<https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0369>
- Cala, V., & Kunimine, Y. (2003). Distribución del plomo en suelos contaminados en el entorno de una planta de reciclaje de baterías ácidas. *Revista internacional de Contaminación Ambiental*, 19(3), 109-115.
- Calace, N., Deriu, D., Petronio, B., & Pietroletti, M. (2009). Adsorption isotherms and breakthrough curves to study how humic acids influence heavy metal-soil interactions. *Water air soil pollut*, 204, :373–383. doi:10.1007/s11270-009-0051-7
- Castiblanco, C. (2008). La economía ecológica: bases conceptuales y herramientas metodológicas. En *Memorias del Terer Congreso Internacional por el Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente - El Pensamiento y las Acciones Estatales, Universitarias, Empresariales e Investigativas al Servicio de la Sostenibilidad. ISBN Ponencias Magistrales* (págs. 41-66). Universidad de Manizales.
- Chang, R. (2002). *Química*. McGraw Hill.
- Chávez, E., He, Z., Stoffella, P., Mylavarapu, R., Li, C., & Baligar, V. (2016). Chemicalspeciation of cadmiun:an approach to evaluate plant- availablecadmiun in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere*, 150, 57-62.
- Cheng, Z., Chen, L.-J., Li, H.-H., Lin, J.-Q., Yang, Z.-B., Yang, Y.-X., . . . Zhu, X.-M. (2018). Characteristics and health risk assessment of heavy metals exposure via. *Science of the total Environment*, 619-620. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.144>
- Chung, B. (2008). Control de los contaminantes químicos en el Perú. *Revista peruana de medicina experimental*, 25(4), 413-418. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n4/a12v25n4.pdf>
- De la Cruz, J. (2018). Acumulación de plomo en el cultivo de huacatay Tagetes minuta

- debido al manejo de fertilizantes en Carapongo – Chosica. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20518/DE%20LA%20CRUZ%20_AJJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz, M. d. (1990). *Compostaje de lodos residuales : aplicación agronómica y criterios de madurez*. Universidad Autónoma de Madrid, España. Obtenido de <https://repositorio.uam.es/handle/10486/664790>
- Díaz-Barriga, F. (1996). Los residuos peligrosos en México: Evaluación del riesgo para la salud. *Salud Pública de México*, 38(4), 280-291. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/106/10638409.pdf>
- Díaz-Barriga, F. (1999). *Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS/CEPIS/PUB/99.34. OMS. Obtenido de <https://toxicologia.org.ar/wp-content/uploads/2019/03/Manual-Sitios-Contaminados.pdf>
- Dirección General del Medio Ambiente de España. (2016). *Guía técnica de prevención de la contaminación del suelo en instalaciones insdustriales*. Obtenido de <https://n9.cl/wr2s>
- Doabi, S., Karami, M., Afyun, M., & Yeganeh, M. (2018). Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 153-164. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.057>
- Elizalde, A. (mayo de 2000). Desarrollo humano sustentable: sus exigencias éticas, económicas y políticas . *Conferencia en el Tercer Congreso de Bioética de Latinoamérica y el Caribe*. ([ponencia], Entrevistador) Ciudad de Panamá, Panamá.
- EPA. (2000). *Risk characterization handbook*. EE.UU. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/osp_risk_characterization_handbook_2000.pdf
- EPA. (2004). *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I-Human Health Evaluation Manual*. U.S. Environmental Protection Agency. (D. E. Washington, Editor) Obtenido de www.epa.gov/superfund/index.htm
- EPA. (2016). *Términos*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-m>
- ESAN. (27 de abril de 2016). *¿Qué son los estándares de calidad ambiental y los límites máximos permisibles?* Obtenido de <https://n9.cl/sigrx>

- Flores, W. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por actividades socioeconómicas en la ribera del lago Titicaca del centro poblado de Uros-Chulluni, Puno. [*tesis de segunda especialidad, Universidad Nacional del Altiplano-Puno*]. Repositorio, Lima. Obtenido de <https://n9.cl/0zn9>
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de los suelos por metales pesados. *Macla. Revista de la sociedad española de mineralogía*, 10, 48-60.
- García, G. J. (2013). Consideraciones básicas sobre la agricultura sostenible. *Acta Académica*, 52, 83-104. Obtenido de <http://revista.uaca.ac.cr/index.php/actas/article/view/189/179>
- García, I., & Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por metales pesados*. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Obtenido de <http://edafologia.ugr.es>
- Giannuzzi, L. (2018). *Toxicología general y aplicada*. Editorial de la Universidad de La Plata.
- Gómez, L., Vargas, E., & Posada, L. (2007). *La economía ecológica. Bases fundamentales*. Unimedios.
- Halliwell, D., Turoczy, N., & Stagnitti, F. (2000). Lead Concentrations in Eucalyptus sp. in a Small. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 65, 583–590. doi:<https://doi.org/10.1007/s0012800163>
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación científica*. McGraw Hill.
- IGP. (s.f.). *Preparémonos para la ocurrencia de los desastres en Carapongo*. Centro Internacional de la papa, Lima.
- Ilizaliturri, C., González-Mille, D., Pelallo, N., Domínguez, G., Mejía-Saavedra, J., Torres, A., . . . Espinosa-Reyes, G. (2009). Revisión de las metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. *Interciencia*, 34(10), 710-717. doi:DOI: 10.1007/s001280000163
- Infante, L., & Sosa, S. (1994). Cuantificación espectrofotométrica de arsénico en aguas de consumo en la vertiente del Río Rímac. (*Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos*). Repositorio, Lima.
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2015). *Exposición laboral a arsénico*.
- Instituto Nacional de Salud. (s.f.). *Ventajas y desventajas del análisis por ICP – MS de metales pesados en muestras biológicas*. Obtenido de <https://boletin.ins.gob.pe/ventajas-y-desventajas-del-analisis-por-icp-ms-de-metales-pesados-en-muestras-biologicas/>

- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. (2017). *Los Factores de Formación del Suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/los-factores-de-formacion-del-suelo>
- Ize, I. (s. f.). La evaluación de riesgo por sustancias tóxicas. *Gaceta ecológica*, 69, 45-56.
- Jiang, Y., Chao, S., Liu, J., Yang, Y., Chen, Y., Zhang, A., & Cao, H. (2016). Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil for a township in Jiangsu Province, China. *Chemosphere*, 168, 1-11.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.088>
- Jordán, A. (2005). *Manual de Edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Juárez, H. (2012). Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima metropolitana. (*Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina*).
- Kabata-Pendias, A., & Adriano, D. C. (1995). Trace metals. En J. E. Rechcigl, *In Soil Amendments and Environmental Quality* (págs. 139-166). CRC Press.
- Klaassen, C., & Watkins, J. (2012). *Fundamentos en Toxicología* (Vol. 328). AMGH.
- Landero, B., Obando, S., Salmerón, F., Valverde, L., & Vivas, E. (2016). Agricultura sostenible para enfrentar los efectos del cambio climático. *Fundación Friedrich Ebert*.
- Llop, S., Porta, M., Martínez, M., Aguinagalde, X., Fernández, M., Fernández-Somoano, A., . . . Ballester, F. (2013). Estudio de la evolución de la exposición a plomo en la población infantil española en los últimos 20 años. ¿Un ejemplo no reconocido de "salud en todas las políticas"? *Gaceta sanitaria*, 27(2), 149-155.
doi:[10.1016/j.gaceta.2012.01.019](https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2012.01.019)
- Lombardo, G. (2019). *Manual de Toxicología laboral*. Eduntref.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental* (1ª ed.). Reverté ediciones.
- Marín, J. (2011). *Perspectiva ética del Desarrollo Sostenible*. Universidad Bolivariana de Chile. Equipo de Doctorado en Desarrollo Sostenible.
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista peruana de medicina experimental de salud pública*, 35(1), 93-102. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v35n1/a15v35n1.pdf>
- Mijangos, J. (2014). Estudio de la rehabilitación del parque fundidora área de suelo contaminado con metales totales y lixiviables. (*Tesis de especialización*,

Universidad Nacional Autónoma de México).

- MINAM. (2005). *Ley General del Ambiente N°28611*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- MINAM. (2014). *Guía de muestro de suelos*. Obtenido de <https://n9.cl/qoob>
- MINAM. (2015). *Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en Sitios Contaminados*. Obtenido de <https://n9.cl/1dhu>
- MINAM. (2017). Resolución Ministerial N° 307-2017-MINAM. Obtenido de <https://n9.cl/93oj>
- MINEM. (2007). *Instituto Nacional de Concesiones y Catastro Minero*. Obtenido de <https://n9.cl/g8p3>
- Ministerio del Ambiente. (normas legales de 2 de diciembre de 2017). Decreto supremo - 011 - 2017/MINAM.
- Mohammadi, A., Zarei, A., Majidi, S., Ghaderpoury, A., Hashempour, Y., Saghi, M., . . . Ghaderpoori, M. (2019). Carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment of heavy metals in drinking water of Khorramabad, Iran. *Methodo X*, 6, 1642-1651. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.017>
- Mokgolele, M., & Likuku, A. (2016). Preliminary investigation of transfer of metals from soil to vegetables: Case study of Spinacia oleracea L. *African Journal of Environmental Science and technology*, 10(9), 307-313. Obtenido de <https://www.ajol.info/index.php/ajest/article/view/144690>
- Nannoni, F., & Protano, G. (2016). Chemical and biological methods to evaluate the availability of heavy. *Science of the Total Environment*, 568, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.208>
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico, talio). *Arch Neurociencia*, 16(3), 140-147. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>
- Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C., & Chambers, B. J. (2003). An inventory of heavy metal inputs to agricultural soils in England and Wals. *The science of total environmental*, 311, 205-219. doi:10.1016/S0048-9697(03)00139-6
- Odum, H. (2000). *Heavy metal in the environment using wetlands for their removal*. Lewis publishers.
- Ojeda, F., & Martínez, A. (1998). *La educación global y la ética ecológica como*

- herramientas para la sustentabilidad*. Obtenido de Ecoportal:
http://www.ecoport.net/Temas_Especiales/Educacion_Ambiental/
- OMS. (2007). *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*.
 Obtenido de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107872>
- OMS. (6 de marzo de 2017). *Las consecuencias de la contaminación ambiental: 1,7 millones de defunciones infantiles anuales, según la OMS*. Obtenido de OMS:
<https://n9.cl/eorm>
- Oriundo, F., & Martínez, A. (2009). Determinación de plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al asentamiento humano Cultura y Progreso del distrito de Ñaña - Chaclacayo. [*Tesis de pregrado, Universidad Nacional mayor de San Marcos*]. Obtenido de
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/1636>
- Ornelas, M., Sanín, L., Díaz-Barriga, F., Reza, S. A., & Romieu, I. (2007). Evaluación de riesgo de intoxicación por plomo en la zona urbana aledaña a una fundidora en Chihuahua, México. *Tecnociencia*, 1(1), 26-35. Obtenido de
http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n1/data/evaluacion_de_riesgo_de_intoxicacion_por_plomo.pdf
- Osorio, S., Hernández, L., Sarmiento, R., González, A. P., & Barbosa, M. (2014). Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá. *Revista de Salud Pública*, 16(4), 621-628. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v16n4.38675>
- Pérez, P., & Azcona, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista especializada en medicina quirúrgica*, 17(3), 199-2005. Obtenido de
<https://www.redalyc.org/pdf/473/47324564010.pdf>
- Pérez, Y., Moura do Amaral, N., Balbín, M., R, V., & Lima, M. (2012). Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del municipio San José de las Lajas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1), 43-46. Obtenido de
<https://www.redalyc.org/pdf/932/93222722008.pdf>
- Polo, A., Hernández, D., & Fritis, H. (2002). Ciencia y Medio Ambiente. En C. d. medioambientales.
- Poma, P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la facultad de medicina*, 69(2), 120-126. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n2/a11v69n2.pdf>
- Porta, J. (2008). *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo*. Mundi-prensa. Obtenido de <https://elibro.net/es/lc/bibliourp/titulos/35840>
- Pounds, G., Long, G., & Rosen, J. (1991). Cellular and molecular toxicity of lead in bone.

- Environmental Health Perspectives*, 91, 17-32. doi:10.1289/ehp.919117
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, C. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1,2). Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>
- Qingbiao, L., Songtao, W., Gang, L., Xinkai, L., Xu, D., Daohua, S., . . . Yili, H. (2004). Simultaneous biosorption of cadmium (II) and lead (II) ions by pretreated biomass of *Phanerochaete chrysosporium*. *Separation and Purification Technology*, 34, 135-142.
- Quispe, A. (2018). Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la localidad de Carapongo. (*Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal*). repositorio. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/1930>
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. *Anales de la Facultad de Medicina*, 63(1), 51-64. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/anales/article/view/1477/1260>
- Ramírez, A. (2005). El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *Anales de la Facultad de Medicina*, 66(1), 57-70. Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v66_n1/pdf/a09.pdf
- Ramírez, A. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. *Anales de la facultad de Medicina*, 74(3), 237-247. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v74n3/a14v74n3.pdf>
- Riveros, F. (2014). Nivel de contaminación con metales pesados en los suelos agrícolas y sus efectos en hostalizas en el valle de Higuera, Huánuco. *Investigación Valdizana*, 8(2). Obtenido de <http://revistas.unheval.edu.pe/index.php/riv/article/view/274/261>
- Rodríguez, A., Cuéllar, L., Maldonado, G., & Suardiaz, M. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista cubana de investigaciones biomédicas*, 35(3). Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinbio/cib-2016/cib163f.pdf>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Food and agriculture organization. Obtenido de <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Roldán, E. (2016). *Introducción a la Toxicología*. Universidad Nacional Autónoma de

- México. Obtenido de <https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/publicaciones/libros/cbiologicas/libros/Toxico-ago18.pdf>
- Rubio, C., Gutiérrez, A., Martín-Izquierdo, R., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21, 72-80. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/919/91921303.pdf>
- Sabroso, M., & Pastor, A. (2004). *Guía sobre contaminación de suelos*. Gobierno de Aragón. Obtenido de <https://n9.cl/6k93p>
- Saha, J., Dikshit, A., & Bandyopadhyay, M. (1999). A Review of Arsenic Poisoning. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(3), 281-313. doi:10.1080/10643389991259227
- Sánchez, R. (2019). Niveles de metales pesados (Pb, Al, Sr) en época de avenida y estiaje en el río Osmore, Región Moquegua. *Tesis de maestría*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8804/UPMsavarr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanín, L., González-Cossío, T., Romieu, I., & Hernández-Avila, M. (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud pública mexicana*, 40, 359-368. Obtenido de <https://www.scielosp.org/pdf/spm/1998.v40n4/359-368/es>
- Sanzano, A. (2019). Los factores de formación del suelo.
- Sarkar, B. (2002). *Heavy metals in the environment*. Dekker, Marcel inc.
- Secretaría Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2006). *Epidemiología del hidroarsenismo crónico regional endémico en la República de Argentina*. Ministerio de Salud - Argentina.
- Soto-Benavente, M., Rodríguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., & Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n1/2077-9917-agro-11-01-00049.pdf>
- Suárez, M., González-Delgado, F., González, D., & Rubio, C. y. (2004). Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. *Cuadernos de Medicina Forense*(35). Obtenido de <http://scielo.isciii.es/pdf/cmfn35/Art01.pdf>
- Tello, M. (2015). Evaluación del riesgo toxicológico de plomo y cadmio en suelos del entorno del parque industrial de la ciudad de Cuenca. (*Tesis de maestría, Universidad Estatal de Cuenca*). Repositorio institucional. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22973/1/TESIS%20TOXICOL>

OG%C3%83%2012.pdf

- Tepanosyan, G., Maghakyan, N., Sahakyan, L., & Saghatelyan, A. (2017). Niveles de contaminación por metales pesados y evaluación de riesgos para la salud infantil de los suelos de los jardines de infancia de Ereván. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142, 257-265. doi:10.1016/j.ecoenv.2017.04.013
- The Hill Group. (30 de diciembre de 2020). *Routes of entry*. Obtenido de The Hill Group: <https://www.hillgrp.com/2018/04/24/routes-of-entry/>
- Tiller, K. (1989). Heavy metals in soils and their environmental significance. En *Advances in soil science* (págs. 113-142). Springer-Verlag New York Inc.
- Tineo, B., & Periche, R. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en la margen izquierda del valle del río Tumbes y su absorción por el cultivo de arroz durante el periodo Marzo –Julio 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://1library.co/document/qod3g15z-evaluacion-contenido-metales-pesados-izquierda-tumbes-absorcion-cultivo.html>
- Torres, J. (2015). *Toxicological risk assessment for beginners*. Springer.
- Universidad de Arizona. (21 de diciembre de 2020). *Binational.pharmacy*. Obtenido de <https://www.arizona.edu/>
- Valdivia, M. (2005). Intoxicación por plomo. *Revista Sociedad peruana de medicina interna*, 18(1), 22-27. Obtenido de <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/spmi/v18n1/pdf/a05v18n1.pdf>
- Vallverdú, J. (2005). La evolución de la Toxicología: de los venenos a la evaluación de riesgos. *Revista de Toxicología*, 22, 153-161. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/919/91922301.pdf>
- Vargas, D. (2017). Metales pesados en suelos cultivados con riego y sin riego en Ñaupapampa del distrito de Asillo - Puno. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6874>
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades ccon evidencias científicas. *Revista Educación*, 33(1), 155-165. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Webber, J. (1981). Effects of heavy metal pollutions on plants. En A. s. LTD, *Trace metals in agriculture. Volum 2. Metal in the environmental* (págs. 159-184). Englewood.
- Yacomelo, M. (2014). Riesgo toxicológico en personas expuestas, a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, en el sur del Atlántico, Colombia.

[*Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia*]. Repositorio institucional.

Obtenido de <https://n9.cl/xsst>

Ynocente, C., & Olórtegui, D. (2018). Evaluación del riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos con plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Lima - Perú. [*Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos*]. Repositorio institucional. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10050>

Zayas, R., & Cabrera, U. (2007). Los tóxicos ambientales y su impacto en la salud de los niños. *Revista Cubana de Pediatría*, 79(2). Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/ped/v79n2/ped06207.pdf>

ANEXOS

Anexo n°1 Declaratoria de Autenticidad



Escuela de Posgrado

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO

DECLARACIÓN DEL GRADUADO

Por el presente, el graduado: (Apellidos y nombres)

Olórtegui Cristóbal, Denisse Sofía

En condición de egresado del programa de posgrado

Maestría en Ecología y Gestión Ambiental

Deja constancia que ha elaborado la tesis intitulada

Evaluación de riesgos a la salud por exposición a suelo agrícola con metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) en Carapongo, Lurigancho – Chosica.

Declara que el presente trabajo de tesis ha sido elaborado por el mismo y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica, de investigación, profesional o similar.

Deja constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no han asumido como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de la internet.

Asimismo, radica que es plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asume la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y es consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplir de esta declaración, el graduando se somete a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y los dispositivos legales vigentes.


Firma del graduado

09-09-2021

Fecha

Anexo n°2 Matriz de consistencia

1.-PROBLEMA	2.-OBJETIVOS	3.-HIPÓTESIS	4.-VARIABLE	5.-DIMENSIONES/ INDICADORES	6.-METODOLOGÍA
<p><u>PROBLEMA GENERAL</u> P.- ¿Qué relación existe entre las concentraciones de los metales pesados en suelo agrícola y los valores de riesgo a la salud en la población expuesta de Carapongo, Lurigancho?</p>	<p><u>OBJETIVO GENERAL</u> O.- Evaluar la relación que existe entre las concentraciones de metales pesados en suelo agrícola y los valores de riesgo a la salud en la población expuesta de Carapongo, Lurigancho.</p>	<p><u>HIPÓTESIS GENERAL</u> Las concentraciones de metales pesados en suelo agrícola superan los estándares de calidad ambiental y tienen efecto sobre el nivel de riesgo a la salud no aceptable en Carapongo – Lurigancho.</p>	<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</u> Concentraciones de metales pesados en suelo agrícola en Carapongo, Lurigancho.</p>	<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</u> Dimensiones: Estándares de Calidad Ambiental del aire (ECA). Indicadores: Concentración de arsénico, cadmio y plomo.</p>	<p>1.-Método de investigación: Inductivo 2.-Tipo de investigación: Cuasi experimental, de corte transversal 3.-Nivel de investigación: Correlacional transversal. 4.-Población de investigación: Carapongo, Lurigancho 5.-Muestra de investigación: Muestras de suelo 6.-Técnicas de Investigación: - Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA). - Metodología de Evaluación de riesgos a la salud OMS/OPS. 8.-Herramientas de investigación: Mediciones y toma de datos de campo y laboratorio. ProÚCL software estadístico para la determinación de UCL. 9.-Instrumentos de investigación: Instrumentos técnicos y normativos. • Métodos espectrofotométricos • ECA SUELO Metodología de Evaluación de riesgos a la salud OMS/OPS.</p>
<p><u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u> P1.- ¿Qué relación existe entre la concentración del metal pesado y el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno)? P2.- ¿Qué relación existe entre la exposición a varios metales pesados sobre el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno)?</p>	<p><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u> O1.- Analizar la relación que existe entre la concentración del metal pesado y el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno). O2.- Determinar la relación que existe entre la exposición a varios metales y el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno).</p>	<p><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u> H1.- La concentración del metal pesado tiene un efecto sobre el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno). H2.- La exposición a varios metales pesados tiene un efecto sobre el nivel de riesgo a la salud (aceptable, no aceptable) y el tipo de riesgo a la salud (cancerígeno, no cancerígeno).</p>	<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</u> Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo a la salud en la población expuesta.</p>	<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</u> Dimensiones: Caracterización del riesgo Indicadores: Índice de Peligrosidad (IP) • IP>10 riesgo no aceptable • IP<1 riesgo aceptable</p>	

Anexo n°3 Matriz de operacionalización de variables

Variables (tipo)	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente (X) Concentraciones arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola	La contaminación del suelo se da cuando sus características físicas, químicas o biológicas se ve alterada por la presencia de algún agente estresante. Esta alteración, de acuerdo a su naturaleza, extensión o permanencia en un determinado tiempo, genera una pérdida de sus propiedades funcionales y/o puede presumir un riesgo para la salud y el ambiente (Mijangos, 2014, p. 6) Dentro de los procesos de contaminación se encuentran elementos a los cuales se les atribuye entre estos, los de tipo metálico (metales pesados (MP)) los cuales se encuentran en suelos ya sea como componentes naturales o resultados de la actividad humana (Pérez, Moura do Amaral, Balbín, Valdés, y Lima, 2012, p. 43).	Química Ambiental	Concentración
X1: concentración de los metales pesados	Los metales pesados son elementos con elevado peso atómico tales como el cromo, mercurio, arsénico, plomo y cadmio, los cuales pueden ser nocivos para los organismos aún en pequeñas concentraciones y tienden a acumularse en la cadena trófica (EPA, 2016).	Química Ambiental	Concentración
X2: Exposición a varios metales pesados	Nivel de contacto entre un agente estresante (físico, químico o biológico) y un organismo (receptor) a través de una ruta y vía de exposición (inhalatoria, dérmica e ingestión) (ATSDR, 2019).	Física Química Ambiental Toxicología	Fuentes Mecanismo de transporte Punto de exposición Vías de exposición Receptor
Variable independiente (Y) Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo	El riesgo se define como la probabilidad de que ocurra un efecto en la salud después de que una persona haya estado expuesta a una cantidad específica de algo peligroso (ATSDR, 2019).	Química Toxicología	Índice de peligrosidad (IP) Índice de riesgo (IR)
Y1: Tipo de riesgo (cancerígeno, no cancerígeno)	Los riesgos pueden clasificarse en riesgo cancerígeno y no cancerígeno. El riesgo cancerígeno busca determinar el límite superior de la probabilidad de que una persona contraiga cáncer durante su vida entera, entre todas las personas expuestas de por vida a una concentración promedio del contaminante y por encima de la probabilidad basal normal de contraer cáncer E riesgo no cancerígeno busca determinar si la exposición rebasa el umbral o valor en el que se espera que no se produzca un daño o efecto tóxico (MINAM, 2015, p. 48,51).	Química Toxicología	Efectos tóxicos Efectos carcinógenos
Y2: Nivel de riesgo (aceptable, no aceptable)	El nivel de riesgo se define según el tipo de riesgo. Así, para el riesgo cancerígeno se considera como no aceptable cuando un compuesto tóxico genera una probabilidad de más de un caso de cáncer por cada cien mil individuos. Para el caso del riesgo no cancerígeno, el riesgo es no aceptable cuando el cociente de la dosis de exposición (DE) y la dosis de referencia (DRf) es mayor a uno (>1) (MINAM, 2015, p. 48, 51).	Química Toxicología	Probabilidad de efectos tóxicos y cancerígenos

Anexo n°4 Matriz de variables e indicadores

Evaluación del riesgo a la salud por exposición a suelo agrícola con metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) en Carapongo, Lurigancho – Chosica

Variable independiente	Variable dependiente
X: Concentraciones arsénico, cadmio y plomo en suelo agrícola en Carapongo, Lurigancho – Chosica.	Y: Valores de riesgo obtenidos de la caracterización del riesgo a la salud en la población a estudiar.
Indicadores	
Concentración del metal pesado	Tipo de riesgo a la salud (cancerígeno y no cancerígeno)
Exposición a varios metales pesados	Nivel de riesgo a la salud (aceptable y no aceptable)

Anexo n°5 Acta de consentimiento informado



Escuela de Posgrado

AUTORIZACIÓN DE CONSENTIMIENTO PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DEL RESPONSABLE DEL ÁREA O DEPENDENCIA DONDE SE REALIZARÁ LA INVESTIGACIÓN

Deja constancia que el área o dependencia que dirige, ha tomado conocimiento del proyecto de tesis titulado:

Evaluación de riesgos a la salud por exposición a Suelo agrícola con Metales pesados (Arsénico, Cadmio y Plomo) en Carapongo, Lurigancho - Chosica

El mismo que es realizado por el Sr/ Srta. Estudiante (Apellidos y nombres):

Olortegui Cristobal, Denisse Sofia

En Condición de egresada – tesista de la maestría de:

Ecología y Gestión Ambiental

Así mismo, señalamos que según nuestra normativa interna procederemos con el apoyo al desarrollo del proyecto de investigación, dando las facilidades del caso para aplicación de los instrumentos de recolección de datos.

En razón de lo expresado doy mi consentimiento para el uso de la información y/o la aplicación de los instrumentos de recolección de datos.

Nombre del lugar de estudio	Autorización para el uso del nombre de la asociación en el Informe final	
Carapongo - Asoc. Sembrando Esperanza		SI
Apellidos y Nombres del Jefe/ Responsable del área	Cargo del Jefe/ Responsable del área	
Gamarra Sanchez, Aida	Presidente de La Asoc.	
Teléfono	Correo electrónico	
940190221	aida.gamarra@hotmail.com	


 ASOC SEMBRANDO ESPERANZA
 DEL VALLE CARAPONGO.
PRESIDENTE
 AIDA GAMARRA SANCHEZ

30-04-21

Firma y DNI
 40467682

Fecha

Anexo n°6 Ensayos de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Pág. 1/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 7882L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : OLORTEGUI CRISTOBAL DENISSE SOFIA
DIRECCIÓN : CALLE LOS EBANOS L22 LA ENSENADA PUENTE PIEDRA
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 4
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-07-07
LUGAR DE MUESTREO : Lurigancho Chosica - Lima - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE : Tesis Carapongo
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-07-10
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-07-10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-07-17
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-07067

Callao, 19 de Julio de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ANEXA GEORGETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 02/08/2021 09:55:17 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 78882L/21-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	SOR-001	SOR-002	SOR-003	SOR-004			
Fecha de Muestreo	2021-07-07	2021-07-07	2021-07-07	2021-07-07			
Hora de Muestreo	09:06	09:15	09:21	09:28			
Código de Laboratorio	07727	07727	07727	07727			
Matriz	00001	00002	00003	00004			
Matriz	SU	SU	SU	SU			
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.				
Metales en suelos							
Li	mg/kg	0.09	0.05	17.31	17.19	16.77	22.57
B	mg/kg	0.12	0.07	7.75	11.60	11.98	11.29
Be	mg/kg	0.05	0.03	0.40	0.40	0.40	0.40
Al	mg/kg	2.00	1.09	9 287.31	9 033.19	8 809.90	11 999.77
P	mg/kg	1.80	1.06	1 392.56	1 859.66	1 843.65	1 112.58
Ti	mg/kg	0.30	0.16	293.92	295.68	287.54	356.08
V	mg/kg	0.50	0.33	27.46	27.19	26.76	36.26
Cr	mg/kg	0.08	0.04	6.77	5.00	4.99	7.10
Mn	mg/kg	0.70	0.40	611.22	573.37	555.51	854.08
Co	mg/kg	0.03	0.02	8.36	8.20	7.79	11.89
Ni	mg/kg	0.07	0.04	5.17	4.60	4.59	6.90
Cu	mg/kg	0.23	0.13	90.93	83.97	81.27	117.86
Zn	mg/kg	0.50	0.33	833.11	493.20	485.62	691.07
As	mg/kg	0.50	0.27	133.31	87.57	85.46	197.46
Se	mg/kg	0.09	0.06	<0.09	<0.09	0.20	<0.09
Sr	mg/kg	0.30	0.15	84.96	84.97	83.47	95.29
Mo	mg/kg	0.05	0.03	1.19	1.80	1.80	1.70
Ag	mg/kg	0.06	0.03	8.96	5.80	5.59	12.39
Cd	mg/kg	0.05	0.03	2.19	1.60	1.60	2.90
Sn	mg/kg	0.08	0.04	1.79	1.60	1.60	1.90
Sb	mg/kg	0.07	0.04	2.99	2.20	2.00	3.20
Ba	mg/kg	0.05	0.03	191.41	130.35	127.60	201.96
Ce	mg/kg	0.06	0.03	15.52	14.19	13.76	17.18
Hg	mg/kg	0.03	0.02	0.20	0.20	0.20	0.20
Tl	mg/kg	0.04	0.02	<0.04	0.20	0.60	<0.04
Pb	mg/kg	0.50	0.30	142.86	106.16	106.23	197.76
Bi	mg/kg	0.04	0.02	0.60	0.60	0.80	1.00
Th	mg/kg	0.13	0.07	2.59	3.00	3.00	2.70
U	mg/kg	0.03	0.02	1.00	1.20	1.40	1.40
Na	mg/kg	6.00	3.46	418.82	991.40	981.23	461.25
Mg	mg/kg	2.00	1.19	6 370.87	6 686.73	6 574.48	8 131.27
K	mg/kg	2.00	1.10	1 268.31	3 503.60	3 469.45	1 305.45
Ca	mg/kg	4.50	2.75	11 796.26	13 182.73	12 988.82	13 083.11
Fe	mg/kg	2.00	1.17	16 064.07	15 110.56	14 676.92	20 892.41





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3/3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 78882L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionados por el cliente.

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 78883L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO	: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	: N° LE - 031
CLIENTE	: OLORTEGUI CRISTOBAL DENISSE SOFIA
DIRECCIÓN	: CALLE LOS EBANOS L22 LA ENSENADA PUENTE PIEDRA
PRODUCTO	: Suelos
MATRIZ	: Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS	: 6
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO	: 2021-07-07
LUGAR DE MUESTREO	: Lurigancho Chosica - Lima - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE	: Tesis Carapongo
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2021-07-10
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2021-07-10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2021-07-17
ORDEN DE SERVICIO	: OS/L-21-07067

Callao, 19 de Julio de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ANXELA EDROGETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 02/08/2021 09:55:12 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.



Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro WLE - 001

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 78883L/21-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo		SC-001	SC-002	SC-003	SC-004	SC-005	SC-006		
Fecha de Muestreo		2021-07-07	2021-07-07	2021-07-07	2021-07-07	2021-07-07	2021-07-07		
Hora de Muestreo		09:50	09:59	10:05	10:15	10:27	10:36		
Código de Laboratorio		07728	07728	07728	07728	07728	07728		
Matriz		SU	SU	SU	SU	SU	SU		
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.						
Metales en suelos									
Li	mg/kg	0.09	0.05	17.34	15.94	17.57	20.17	19.40	15.96
B	mg/kg	0.12	0.07	7.78	7.77	9.38	10.38	15.00	7.68
Be	mg/kg	0.05	0.03	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.20
Al	mg/kg	2.00	1.09	8 711.52	8 398.37	9 162.87	9 020.17	7 862.60	6 821.14
P	mg/kg	1.85	1.06	1 066.79	1 034.88	1 159.08	1 304.11	1 405.80	825.24
Ti	mg/kg	0.30	0.16	275.32	268.43	284.63	276.16	282.80	231.44
V	mg/kg	0.00	0.33	27.71	26.70	28.74	28.75	24.80	23.13
Cr	mg/kg	0.08	0.04	6.35	5.98	6.39	7.95	6.80	5.09
Mn	mg/kg	0.70	0.40	604.47	536.27	610.78	809.90	739.20	523.89
Co	mg/kg	0.03	0.02	8.37	7.57	8.38	9.35	8.20	6.89
Ni	mg/kg	0.07	0.04	5.18	4.78	4.99	7.19	6.40	4.79
Cu	mg/kg	0.23	0.13	87.62	81.91	92.02	128.79	116.60	81.97
Zn	mg/kg	0.50	0.33	588.92	501.79	584.03	1 030.95	1 054.00	631.88
As	mg/kg	0.50	0.27	165.87	128.14	174.65	288.14	328.60	236.25
Se	mg/kg	0.09	0.06	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09	0.40	<0.09
Sr	mg/kg	0.30	0.15	78.35	72.14	89.42	50.45	99.40	64.81
Mo	mg/kg	0.05	0.03	1.20	1.20	1.20	1.40	1.60	1.50
Ag	mg/kg	0.06	0.03	10.77	10.36	10.78	19.77	16.80	11.07
Cd	mg/kg	0.05	0.03	2.19	1.79	2.40	3.99	4.20	2.50
Sn	mg/kg	0.08	0.04	1.79	1.59	2.20	2.20	2.20	1.60
Sb	mg/kg	0.07	0.04	2.79	2.39	2.79	4.79	5.80	3.29
Ba	mg/kg	0.05	0.03	170.85	140.10	156.09	257.59	196.40	110.89
Ce	mg/kg	0.06	0.03	14.95	14.95	15.57	17.57	16.00	13.96
Hg	mg/kg	0.03	0.02	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Tl	mg/kg	0.04	0.02	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.20	<0.04
Pb	mg/kg	0.50	0.30	155.47	135.31	156.69	309.70	302.40	158.36
Bi	mg/kg	0.04	0.02	0.80	0.60	0.80	1.40	1.40	0.80
Th	mg/kg	0.13	0.07	3.99	2.59	3.99	2.40	2.00	5.09
U	mg/kg	0.03	0.02	1.40	1.00	1.60	1.80	1.00	1.50
Na	mg/kg	6.00	3.46	411.88	378.24	567.47	350.64	1 074.60	404.85
Mg	mg/kg	2.00	1.19	9 978.07	5 727.78	6 376.45	6 336.26	6 060.60	4 950.87
K	mg/kg	2.00	1.15	769.14	617.18	1 040.32	751.80	2 209.00	614.40
Ca	mg/kg	4.50	2.75	9 837.52	9 074.33	12 229.94	10 903.55	14 205.60	9 716.71
Fe	mg/kg	2.00	1.17	16 047.45	15 211.04	16 864.47	18 793.13	15 871.20	14 366.98





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 7883L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

L.C. significa Límite de cuantificación.

L.D. significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos de muestreo fueron proporcionados por el cliente.

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.



Anexo n°7 Análisis estadístico ProUCL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	UCL Statistics for Uncensored Full Data Sets											
2												
3	User Selected Options											
4	Date/Time of Computation	ProUCL 5.123/07/2021 22:39:32										
5	From File	WorkSheet.xls										
6	Full Precision	OFF										
7	Confidence Coefficient	95%										
8	Number of Bootstrap Operations	2000										
9												
10												
11	Arsénico											
12												
13	General Statistics											
14	Total Number of Observations	10					Number of Distinct Observations	10				
15							Number of Missing Observations	0				
16	Minimum	85.46					Mean	182.5				
17	Maximum	328.6					Median	170.3				
18	SD	81.49					Std. Error of Mean	25.77				
19	Coefficient of Variation	0.446					Skewness	0.615				
20												
21	Normal GOF Test											
22	Shapiro Wilk Test Statistic	0.939					Shapiro Wilk GOF Test					
23	5% Shapiro Wilk Critical Value	0.842					Data appear Normal at 5% Significance Level					
24	Lilliefors Test Statistic	0.139					Lilliefors GOF Test					
25	5% Lilliefors Critical Value	0.262					Data appear Normal at 5% Significance Level					
26	Data appear Normal at 5% Significance Level											
27												
28	Assuming Normal Distribution											
29	95% Normal UCL						95% UCLs (Adjusted for Skewness)					
30	95% Student's-t UCL	229.8					95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	230.3				
31							95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	230.6				
32												
33	Gamma GOF Test											
34	A-D Test Statistic	0.2					Anderson-Darling Gamma GOF Test					
35	5% A-D Critical Value	0.729					Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level					
36	K-S Test Statistic	0.119					Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test					
37	5% K-S Critical Value	0.267					Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level					
38	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level											
39												
40	Gamma Statistics											
41	k hat (MLE)	5.59					k star (bias corrected MLE)	3.98				
42	Theta hat (MLE)	32.65					Theta star (bias corrected MLE)	45.87				
43	nu hat (MLE)	111.8					nu star (bias corrected)	79.6				
44	MLE Mean (bias corrected)	182.5					MLE Sd (bias corrected)	91.5				
45							Approximate Chi Square Value (0.05)	60.04				
46	Adjusted Level of Significance	0.0267					Adjusted Chi Square Value	57.1				
47												
48	Assuming Gamma Distribution											
49	95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50))	242					95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	254.5				
50												
51	Lognormal GOF Test											
52	Shapiro Wilk Test Statistic	0.957					Shapiro Wilk Lognormal GOF Test					
53	5% Shapiro Wilk Critical Value	0.842					Data appear Lognormal at 5% Significance Level					
54	Lilliefors Test Statistic	0.119					Lilliefors Lognormal GOF Test					
55	5% Lilliefors Critical Value	0.262					Data appear Lognormal at 5% Significance Level					

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
56	Data appear Lognormal at 5% Significance Level											
57												
58	Lognormal Statistics											
59	Minimum of Logged Data				4.448		Mean of logged Data				5.115	
60	Maximum of Logged Data				5.795		SD of logged Data				0.459	
61												
62	Assuming Lognormal Distribution											
63	95% H-UCL				257.4		90% Chebyshev (MVUE) UCL				263.6	
64	95% Chebyshev (MVUE) UCL				300.2		97.5% Chebyshev (MVUE) UCL				351	
65	99% Chebyshev (MVUE) UCL				450.8							
66												
67	Nonparametric Distribution Free UCL Statistics											
68	Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level											
69												
70	Nonparametric Distribution Free UCLs											
71	95% CLT UCL				224.9		95% Jackknife UCL				229.8	
72	95% Standard Bootstrap UCL				222.7		95% Bootstrap-t UCL				241.6	
73	95% Half's Bootstrap UCL				242.9		95% Percentile Bootstrap UCL				224.4	
74	95% BCA Bootstrap UCL				227.3							
75	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				259.8		95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				294.9	
76	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				343.5		99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				438.9	
77												
78	Suggested UCL to Use											
79	95% Student's-t UCL				229.8							
80												
81	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.											
82	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.											
83	These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).											
84	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.											
85												
86												
87	Cadmio											
88												
89	General Statistics											
90	Total Number of Observations				10		Number of Distinct Observations				8	
91							Number of Missing Observations				0	
92	Minimum				1.6		Mean				2.538	
93	Maximum				4.2		Median				2.295	
94	SD				0.918		Std. Error of Mean				0.29	
95	Coefficient of Variation				0.362		Skewness				1.004	
96												
97	Normal GOF Test											
98	Shapiro Wilk Test Statistic				0.866		Shapiro Wilk GOF Test					
99	5% Shapiro Wilk Critical Value				0.842		Data appear Normal at 5% Significance Level					
100	Lilliefors Test Statistic				0.216		Lilliefors GOF Test					
101	5% Lilliefors Critical Value				0.252		Data appear Normal at 5% Significance Level					
102	Data appear Normal at 5% Significance Level											
103												
104	Assuming Normal Distribution											
105	95% Normal UCL						95% UCLs (Adjusted for Skewness)					
106	95% Student's-t UCL				3.068		95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)				3.112	
107							95% Modified-t UCL (Johnson-1978)				3.083	
108												
109	Gamma GOF Test											
110	A-D Test Statistic				0.419		Anderson-Darling Gamma GOF Test					

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
111				5% A-D Critical Value		0.726	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level					
112				K-S Test Statistic		0.174	Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test					
113				5% K-S Critical Value		0.267	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level					
114	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level											
115												
116	Gamma Statistics											
117				k hat (MLE)		9.414					k star (bias corrected MLE)	6.657
118				Theta hat (MLE)		0.269					Theta star (bias corrected MLE)	0.381
119				nu hat (MLE)		188.3					nu star (bias corrected)	133.1
120				MLE Mean (bias corrected)		2.536					MLE Sd (bias corrected)	0.983
121											Approximate Chi Square Value (0.05)	107.5
122				Adjusted Level of Significance		0.0267					Adjusted Chi Square Value	103.5
123												
124	Assuming Gamma Distribution											
125				95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50))		3.141					95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	3.263
126												
127	Lognormal GOF Test											
128				Shapiro Wilk Test Statistic		0.919					Shapiro Wilk Lognormal GOF Test	
129				5% Shapiro Wilk Critical Value		0.842					Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
130				Lilliefors Test Statistic		0.153					Lilliefors Lognormal GOF Test	
131				5% Lilliefors Critical Value		0.262					Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
132	Data appear Lognormal at 5% Significance Level											
133												
134	Lognormal Statistics											
135				Minimum of Logged Data		0.47					Mean of logged Data	0.877
136				Maximum of Logged Data		1.435					SD of logged Data	0.34
137												
138	Assuming Lognormal Distribution											
139				95% H-UCL		3.2					90% Chebyshev (MVUE) UCL	3.354
140				95% Chebyshev (MVUE) UCL		3.727					97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	4.244
141				99% Chebyshev (MVUE) UCL		5.261						
142												
143	Nonparametric Distribution Free UCL Statistics											
144	Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level											
145												
146	Nonparametric Distribution Free UCLs											
147				95% CLT UCL		3.013					95% Jackknife UCL	3.068
148				95% Standard Bootstrap UCL		2.987					95% Bootstrap-t UCL	3.356
149				95% Half's Bootstrap UCL		3.765					95% Percentile Bootstrap UCL	3.005
150				95% BCA Bootstrap UCL		3.086						
151				90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		3.407					95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	3.801
152				97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		4.349					99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	5.424
153												
154	Suggested UCL to Use											
155				95% Student's-t UCL		3.068						
156												
157	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.											
158	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.											
159	These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Malchle, and Lee (2006).											
160	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.											
161												
162												
163	Plomo											
164												
165	General Statistics											

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
166	Total Number of Observations					10	Number of Distinct Observations					10
167							Number of Missing Observations					0
168	Minimum					108.2	Mean					178.1
169	Maximum					309.7	Median					157.5
170	SD					72.71	Std. Error of Mean					22.99
171	Coefficient of Variation					0.408	Skewness					1.201
172												
173	Normal GOF Test											
174	Shapiro Wilk Test Statistic					0.82	Shapiro Wilk GOF Test					
175	5% Shapiro Wilk Critical Value					0.842	Data Not Normal at 5% Significance Level					
176	Lilliefors Test Statistic					0.269	Lilliefors GOF Test					
177	5% Lilliefors Critical Value					0.262	Data Not Normal at 5% Significance Level					
178	Data Not Normal at 5% Significance Level											
179												
180	Assuming Normal Distribution											
181	95% Normal UCL						95% UCLs (Adjusted for Skewness)					
182	95% Student's-t UCL					220.2	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)					225.2
183							95% Modified-t UCL (Johnson-1978)					221.7
184												
185	Gamma GOF Test											
186	A-D Test Statistic					0.575	Anderson-Darling Gamma GOF Test					
187	5% A-D Critical Value					0.727	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level					
188	K-S Test Statistic					0.232	Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test					
189	5% K-S Critical Value					0.267	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level					
190	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level											
191												
192	Gamma Statistics											
193	k hat (MLE)					7.73	k star (bias corrected MLE)					5.477
194	Theta hat (MLE)					23.04	Theta star (bias corrected MLE)					32.51
195	nu hat (MLE)					154.6	nu star (bias corrected)					109.5
196	MLE Mean (bias corrected)					178.1	MLE Sd (bias corrected)					76.1
197							Approximate Chi Square Value (0.05)					86.39
198	Adjusted Level of Significance					0.0267	Adjusted Chi Square Value					82.82
199												
200	Assuming Gamma Distribution											
201	95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)					225.8	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)					235.6
202												
203	Lognormal GOF Test											
204	Shapiro Wilk Test Statistic					0.898	Shapiro Wilk Lognormal GOF Test					
205	5% Shapiro Wilk Critical Value					0.842	Data appear Lognormal at 5% Significance Level					
206	Lilliefors Test Statistic					0.208	Lilliefors Lognormal GOF Test					
207	5% Lilliefors Critical Value					0.262	Data appear Lognormal at 5% Significance Level					
208	Data appear Lognormal at 5% Significance Level											
209												
210	Lognormal Statistics											
211	Minimum of Logged Data					4.655	Mean of logged Data					5.116
212	Maximum of Logged Data					5.736	SD of logged Data					0.372
213												
214	Assuming Lognormal Distribution											
215	95% H-UCL					230.6	90% Chebyshev (MVUE) UCL					240.7
216	95% Chebyshev (MVUE) UCL					269.4	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL					309.2
217	99% Chebyshev (MVUE) UCL					387.4						
218												
219	Nonparametric Distribution Free UCL Statistics											
220	Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level											

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
221												
222	Nonparametric Distribution Free UCLs											
223	95% CLT UCL				215.9		95% Jackknife UCL				220.2	
224	95% Standard Bootstrap UCL				213.9		95% Bootstrap-t UCL				259.8	
225	95% Hall's Bootstrap UCL				474.9		95% Percentile Bootstrap UCL				213.9	
226	95% BCA Bootstrap UCL				223.5							
227	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				247.1		95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				278.3	
228	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				321.7		99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				406.9	
229												
230	Suggested UCL to Use											
231	95% Adjusted Gamma UCL				235.6							
232												
233	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.											
234	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.											
235	These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).											
236	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.											
237												