



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

**NIVELES DE CADMIO EN SEDIMENTOS VIALES Y**  
**CALZADA EN LA AV. ABANCAY, LIMA, 2021**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE QUÍMICO**  
**FARMACÉUTICO**

**AUTORA:**

DURAN SUMARRIVA, MARÍA STEFANY  
<https://orcid.org/0000-0002-8896-5389>

**ASESOR:**

MSc. CÓRDOVA SERRANO, GERSON  
<https://orcid.org/0000-0002-5591-0322>

**LIMA – PERÚ**  
**2022**

**DEDICATORIA:**

A mi familia, que confió en mi persona durante mis estudios y que, gracias a su ayuda, disposición y paciencia, me alentaron a seguir adelante en todo momento, dándome fuerzas y ánimos para afrontar cualquier reto y lograr mis objetivos.

### **AGRADECIMIENTO:**

A mi asesor y catedrático MSc. Gerson Córdova Serrano, por su gran instrucción, cooperación, contribución y asesoría, que me permitieron llevar a cabo esta investigación

A la universidad María Auxiliadora, a mi familia, profesores, amistades y compañeros de la carrera que, gracias a su invaluable apoyo, me permitieron llevar a cabo todas mis metas.

## ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| DEDICATORIA.....  | i  |
| AGRADECIMIENTO.....   | ii |
| RESUMEN.....  | v  |
| ABSTRACT.....   | vi |
| INTRODUCCIÓN.....   | 7  |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                       | 13 |
| 2.1 Enfoque y diseño de la investigación.....                   | 13 |
| 2.2 Población, muestra y muestreo.....                          | 13 |
| 2.3 Variables del estudio:.....                                 | 14 |
| 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....        | 15 |
| 2.5 Plan de recolección de datos.....                           | 15 |
| 2.6 Determinación de metales pesados.....                       | 16 |
| 2.7 Cálculo de Estimación del Riesgo Tóxico por Exposición..... | 17 |
| 2.8 Métodos de análisis estadístico.....                        | 19 |
| 2.9 Aspectos éticos.....  | 19 |
| RESULTADOS.....   | 21 |
| DISCUSIONES.....  | 29 |
| 4.1 Discusión de resultados.....                                | 29 |
| 4.2 Conclusiones.....   | 32 |
| 4.3 Recomendaciones.....  | 33 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                 | 34 |
| ANEXOS.....   | 39 |

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura N° 1. Mapa de los lugares de muestreo en Av. Abancay – Lima Cercado. .... | 22 |
| Figura N° 2. Medidas de tendencia central y distribución de las muestras.....    | 24 |
| Figura N° 3. Concentración de cadmio vs estándares referenciales .....           | 25 |
| Figura N° 4. Efectos en la salud por concentraciones de Cadmio ambiental ...     | 26 |

### Lista de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla N° 1. Número de muestras por área para el Muestreo de identificación.....                    | 14 |
| Tabla N° 2. Lugares de muestreo: Av. Abancay – Lima Cercado.....                                   | 21 |
| Tabla N° 3. Concentraciones de Cd en las muestras recolectadas en Av. Abancay - Lima Cercado ..... | 23 |
| Tabla N° 4. Dosis de exposición estimada de cadmio en adultos y niños- Teórico ATSDR .....         | 27 |
| Tabla N° 5. Margen de exposición de cadmio en adultos y niños-Teórico ATSDR .....                  | 27 |
| Tabla N° 6. Índice de peligrosidad para plomo en adultos y niños- Teórico ATSDR .....              | 28 |

### Lista de Anexos

|  |    |
|--|----|
| <b>ANEXO A.</b> Operacionalización de la variable o variables .....  | 40 |
| <b>ANEXO B.</b> Instrumento de recolección de datos.....   | 41 |
| <b>ANEXO C.</b> Procedimiento de análisis de Cadmio por Espectrometría de Absorción Atómica – Método GFAAS – CICOTOX ..... | 43 |
| <b>ANEXO D.</b> Resultados de Análisis de Cadmio del Laboratorio CICOTOX - UNMSM .....                                     | 47 |
| <b>ANEXO E.</b> Registros Fotográficos.....  | 50 |

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar de los niveles de Cd en sedimentos viales y calzada en la Av. Abancay, Lima, en el periodo Febrero-2021. **Material y Método:** Enfoque cuantitativo, no experimental, descriptivo y transversal. La investigación bibliográfica inició en julio 2020 con el consecuente muestreo realizado en febrero 2021 basado en la Guía para Muestreo de Suelos-MINAM 2014 y el análisis fue por Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama en el Laboratorio CICOTOX-UNMSM. **Resultados:** El promedio de concentraciones fue 3.8195 mg/kg. Los resultados estuvieron dentro de los ECA peruanos (10 mg/kg). Se midió el riesgo toxicológico mediante la Dosis de Exposición en adultos (DECd= 0.00000267 mg/kg/día), y para niños (DECd= 0.0000468 mg/kg/día). Se obtuvo un Índice de Peligrosidad por debajo del 1 y un Margen de Exposición por encima del 1. **Conclusión:** Las concentraciones superaron el nivel ATSDR - 0.025 mg/Kg para suelos no contaminados, pero tuvieron niveles aceptables EPA y MINAM - Perú. Estos niveles se relacionarían con problemas cancerígenos, daño renal o estomacal. La DE mostró que los niños están 17,5 veces más expuestos al Cd que adultos. Debido a que se obtuvo un  $IP < 1$  y  $ME > 1$ , se comprobó que existe un riesgo mínimo de efectos adversos por exposición.

**Palabras claves:** *Metales pesados, cadmio, evaluación de riesgo, Avenida Abancay, Lima.*

## ABSTRACT

**Objective:** To determine the cadmium levels in road sediments and carriageway in Abancay Avenue, Lima, in the period of February-2021.

**Material and Method:** Quantitative, non-experimental, descriptive, and cross-sectional approach. The bibliographic research began in July 2020 with the consequent sampling carried out in February 2021 based on the Guide for Soil Sampling-MINAM 2014 and the analysis was by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry at the CICOTOX-UNMSM Laboratory.

**Results:** The average concentration was 3.8195 mg/kg. The results were within the Peruvian ECAs (10 mg/kg). The toxicological risk was measured by the Exposure Dose (DE) in adults (DECd= 0.00000267 mg/kg/day), and for children (DECd= 0.0000468 mg/kg/day). A Hazard Index (IP) below 1 and an Exposure Margin (ME) above 1 were obtained.

**Conclusion:** The concentrations exceeded the ATSDR level - 0.025 mg/Kg for uncontaminated soils, but they had acceptable levels EPA and MINAM - Peru. These levels would be related to carcinogenic problems, kidney or stomach damage. The DE showed that children are 17.5 times more exposed to Cd than adults. Since  $IP < 1$  and  $ME > 1$  were obtained, it was found that there is a minimal risk of adverse effects due to exposure.

**Keywords:** *Heavy metals, cadmium, risk assessment, Abancay Avenue, Lima.*

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por metales pesados es un problema ambiental crítico, por lo que se han efectuado múltiples investigaciones para identificar el alcance de este problema. En los últimos veinte años, ha aumentado muchísimo el interés sobre las particularidades de los suelos de la urbe, por lo que, se han analizado diversas muestras de contaminación en los suelos de las principales ciudades mundiales. Ejemplo de esto, son las ciudades de Madrid<sup>1</sup>, Torino, Newcastle, Glasgow<sup>2</sup>, etc., cuyos suelos de la metrópoli se encuentran influenciados por actividades antrópicas, donde diversas clases de contaminación se encontrarían presentes en niveles más altos que en las zonas rurales y los orígenes de contaminación serían las actividades cotidianas que se llevan a cabo en la zona, en particular, las fuentes de emanación industrial, la circulación vehicular, pinturas que contienen cadmio, etc.

El Cadmio es un metal dañino para el medio ambiente a nivel global, por ello existen políticas y normas internacionales como las de la Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) o la EPA-Environmental Protection Agency<sup>29, 38</sup>, con el propósito de controlar las emisiones a través de niveles internacionales para aminorar sus depósitos y preservar el entorno. Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) precisa que un suelo contaminado por Cadmio es cuando sobrepasa el límite máximo permisible (0.5 ppm o mg/kg), siendo este nivel potencialmente peligroso para la salud del ser humano.<sup>3</sup> En Perú, según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Ministerio del Ambiente (MINAM), el nivel permitido en suelo para cadmio es de 10 mg/kg en suelos residenciales.

Los metales de los suelos urbanos al depositarse en suelo, aunque sea en bajas concentraciones, además de contar con movilidad reducida, implican un gran riesgo para la salud pública y el medio ambiente porque se caracterizan por ser bioacumulables, muy persistentes y tóxicos. Una vez que se depositan, no tienen la posibilidad de ser degradados por método alguno y pasan a ser parte del suelo por largas temporadas e incluso varias décadas. Es por esto, que pueden resultar muy peligrosos para la salud cada vez que este metal se halla sobre

ciertas concentraciones, por ende, se acostumbra a definirlos como elementos que tienen un potencial tóxico <sup>5</sup>

Por otro lado, debido al considerable crecimiento que ha experimentado el Perú en los últimos años, hemos podido ser testigos privilegiados del inusitado avance nacional en el campo de la producción de bienes y servicios; y a la vez, como resultado, muchos sectores económicos han experimentado un impacto negativo en el aspecto sanitario y ambiental debido al acrecentamiento de exposición a diversos contaminantes en el ambiente que se originan de las diferentes actividades en el campo comercial. Conforme a lo investigado por la Municipalidad Metropolitana de Lima - MML, el comercio intenso en la metrópoli en el Histórico Centro limeño ha tenido como resultado un detrimento de la urbe causado por la desaforada e informal expansión del comercio en galerías mercantiles, aquellas que se caracterizan por un uso excesivo de estos puestos, originando situaciones de gran riesgo en posibles situaciones de emergencia.<sup>6</sup>

La Av. Abancay es parte esencial del Centro Histórico, siendo esta una de las más importantes calles en la capital peruana, es también, la segunda autopista con más congestión vial debido al tránsito de transporte público (43 rutas urbanas), además, se observa una gran cuantía de transporte privado. En la actualidad, cuenta con amenazas a su monumental patrimonio, pues acoge una alta concentración vehicular que ocasiona contaminación, solo el 40% de los automóviles presenta como destino al histórico centro limeño, el restante lo emplea solamente como vía de paso. Asimismo, existe un gran tránsito peatonal de población flotante de la metrópoli, ya que dos millones de personas aproximadamente ingresa a diario al centro de la ciudad mediante la Av. Abancay con el propósito de encontrar conexiones de líneas de transporte que completen su ruta o con el fin de formar parte de las actividades comerciales y servicios que se ofrecen en el lugar. Por consiguiente, esta avenida constituye uno de los puntos más sensibles en cuanto al tráfico e informalidad del sistema de tránsito.<sup>7</sup>

En nuestro país, las ciudades urbanas, sobre todo, la capital, crecen en forma rápida y desordenada, conllevando una serie de problemas medioambientales de alto impacto sobre los pobladores y el entorno circundante, por ello existe gran preocupación acerca del incremento de la polución, donde la calidad de vida

de miles de personas se ve afectada. Es por esto que, el presente estudio se enfocó en Lima Metropolitana, la cual tiene un muy acelerado crecimiento poblacional y un constante aumento vehicular, asimismo, las condiciones topográficas y meteorológicas traen como resultado la acumulación de los contaminantes derivados de la actividad industrial, doméstica y laboral; siendo estos, factores determinantes en la contaminación de nuestro ecosistema.<sup>8</sup>

En ese sentido, la propagación tóxica de metaloides y, además, de metales pesados en fuentes acuíferas, suelo y aire se contempla como uno de los problemas más significativos que tiene implicaciones en la seguridad alimenticia y en la salud colectiva a nivel local e internacional. A causa de la elevada toxicidad, el impacto causado a nivel sanitario por la exposición continua o por la acumulación biológica tiene como resultado unos efectos muy preocupantes y visibles. El cadmio puede ocasionar afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta un desarrollo cancerígeno. Por ende, determinar la concentración metálica de cadmio en muestras ambientales es crucial, ya que, de esta forma, se logra conocer el grado de exposición de la población al contaminante en un ecosistema y, por otra parte, se pueden realizar otros estudios, tales como la estimación de riesgos toxicológicos en la población que habita en la capital.

El cadmio (Cd), es un metal pesado, 48 es su número atómico, es blando al tacto, exhibe un color blanco con una tonalidad azulada, y es normalmente muy poco abundante en el ecosistema. Habitualmente se localiza en menas del metal Zinc y se hace uso de este en el proceso de producción de baterías.<sup>10</sup> Se sabe que la toxicocinética y toxicodinamia de la exposición a este metal es dependiente de la cantidad y vía de exposición. Cerca del 30% del cadmio en el cuerpo humano se tiende a depositar en el túbulo renal, por lo que, el riñón se convertiría en uno de los órganos con mayor impacto.<sup>11</sup>

Adeyi A. y Col. (2017)<sup>12</sup> demostraron que, las muestras de suelos residenciales alrededor de los edificios en Lagos e Ibadan en Nigeria, África occidental, presentaban concentraciones de cadmio sustancialmente altas. Los resultados, utilizando espectrofotometría de absorción atómica, demostraron que hubo una gran acumulación de metales en el suelo que persiste en el medioambiente. Se concluyó que las altas concentraciones encontradas en los sedimentos del suelo

pueden plantear graves riesgos para la salud a largo plazo, sobre todo en grupos vulnerables, como los niños.

Por otra parte, Laidlaw M. y Col. (2018)<sup>13</sup> realizaron una recolección y análisis de muestras para analizar las diferencias en las concentraciones de metales del suelo en función de la ubicación dentro de la ciudad en la ciudad de Indianápolis, Estados Unidos. Los resultados mostraron valores significativamente altos de muchos metales pesados, sin embargo, los niveles inaceptablemente altos de cadmio impidieron su uso eficaz en el estudio. Se concluyó que las muestras de suelo que provenían de propiedades y ciudades en el centro urbano exhibían mayor riesgo de exposición tóxica humana y una gran probabilidad de afectación en niños.

Además, Taghavi S. y Col. (2019)<sup>14</sup>, determinaron en Teherán (Irán), 35 puntos definidos aleatoriamente utilizando el sistema de información geográfica. Los resultados mostraron que el orden del índice de geoacumulación de los metales pesados analizados fue: arsénico < plomo < cadmio < zinc < cobre. Las muestras de cadmio tenían un enriquecimiento moderadamente severo. Se concluyó que los niveles promedio de metales estudiados fueron superiores al nivel estándar esperado. Hay elementos variantes que provocan altos niveles de metales pesados en el polvo de las calles de Teherán, como el tráfico extenso seguido por la velocidad y el frenado de los vehículos.

Por otro lado, Reyes Y. y Col. (2016)<sup>15</sup> realizaron un estudio sobre la contaminación por metales pesados en el entorno, donde llevaron a cabo un análisis de 4 metales pesados en los suelos, aires y recursos hídricos, a partir de muestras tomadas en Bogotá, Colombia. Se obtuvieron los resultados a partir de muestras de leche de bovinos que pastorean e ingieren agua y pastos contaminados con varios metales pesados (Hg, As, Cd, Pb), lo que influyó en las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne. Concluyeron que la gran toxicidad que generan, los metales pesados, debe ser considerada como una problemática muy importante en el ecosistema, ya que tiene serias implicaciones en la salud, el ambiente y la seguridad alimentaria.

A su vez, Condo-Franco, J. y B. Pernía (2018)<sup>16</sup> realizaron un estudio enfocado

en la determinación de las concentraciones de Cd en granos de las seis variedades de mayor consumo en la costa y sierra ecuatoriana. Este estudio se realizó en un laboratorio de Guayaquil, Ecuador. Las muestras presentaron concentraciones de Cd por debajo del límite máximo permisible (0,1 mg/kg) establecido por la Unión Europea, el Codex Alimentarius y la norma INEN 187:2013. La medición se realizó través de la digestión ácida con microondas y Espectrofotometría de Absorción Atómica en Horno de Grafito. En el análisis comparativo, los niveles promedio de Cd son mayores en la Sierra (0,019 mg/kg) que en la Costa (0,006 mg/kg Cd). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre variedades ( $p > 0,05$ ). La mayor concentración de Cd la obtuvo el morocho ( $0,025 \pm 0,022$  mg/kg Cd) y la menor la variedad dulce ( $0,001 \pm 0,000$  mg/kg Cd). Se evidenció que las concentraciones de Cd están directamente relacionadas a los días de cosecha y a la altitud a la que se cultivan.

Sulaiman, F. & Hamzah, H. (2018)<sup>17</sup> llevaron a cabo un análisis de la acumulación de metales pesados en plantas suburbana al borde de la carretera de una zona tropical en Jengka, Malaysia. Encontraron que los metales pesados pueden acumularse y migrar en el entorno del suelo. Los contaminantes metálicos en el suelo pueden ser absorbidos por las plantas a través de sus raíces y sistema vascular. La acumulación de metales en el suelo podría afectar la seguridad del ecosistema y representar una amenaza para los animales, las plantas y los humanos. El Cd mostró una concentración baja ( $< 0,12$  mg kg<sup>-1</sup>) en todas las plantas. La concentración de metales pesados en las plantas al borde de la carretera fue mayor que el metal determinado en la misma especie de un sitio no contaminado. El análisis de componentes principales (PCA) sugiere fuentes antropogénicas y naturales de metales pesados.

En cuanto a la justificación del estudio, el Perú está inmerso, como muchas otras naciones, en la problemática de la contaminación de suelos como consecuencia del alto índice de urbanización y el aumento del tráfico vehicular. Es sabido que el 72% de la población reside en la capital, Lima, donde el mayor grado de urbanización reside en los centros urbanos, factor fundamental que nos ha convertido en una de las ciudades con mayor contaminación del aire externo.<sup>18</sup>

Los metales pesados pueden causar intoxicación cuando se encuentran en

cantidades que exceden los niveles máximos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras entidades internacionales. Se calcula que la contaminación origina varios millones de muertes prematuras al año<sup>19</sup>, teniendo su mayor impacto en las ciudades grandes como la capital peruana, que cuenta con más de 10 millones de ciudadanos, donde más del 80% de la contaminación proviene del parque automotor. De acuerdo a lo recopilado en la Encuesta de Recolección de Información Básica de Transporte Urbano que se ejecutó en el área metropolitana de Lima y Callao, en el 2012 por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)<sup>20</sup>, la cantidad de viajes que se realizan al día es de 22,3 millones, de esta cifra, 16,9 millones corresponden a vehículos con motor, y la proporción de emisiones de gases de vehículos sigue en aumento.

En la actualidad, hay gran diversidad de técnicas para determinar el nivel de concentración de Cadmio, estos resultados se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental o ECA (Ministerio del Ambiente-Perú) establecidos según la normativa actual, a pesar de esto, hace falta llevar a cabo una valoración histórica u otra manera de lograr una apreciación para valorar la calidad de suelos con la finalidad de poder conseguir un enfoque de proyección. Además, la intoxicación por metales tóxicos en el ser humano es un problema sanitario perteneciente al campo de la salud pública, donde dependiendo del estado químico, la vía de absorción y la cantidad del elemento químico en cuestión, se pueden producir varios efectos nocivos en el cuerpo humano. Debido a esto, el análisis de contaminación por metales es imprescindible, por lo que, se cuantificaron los niveles de Cadmio para conocer el impacto que produce por su acumulación en los suelos de la Av. Abancay, ofrecer información para la comparación de sus concentraciones en estudios futuros con el fin de poder controlar sus variaciones, y de este modo, fomentar la protección de la calidad ecológica y ambiental, con el fin de garantizar el derecho a gozar de un ambiente sano y apto para el desarrollo de la vida diaria.

El objetivo del presente estudio fue determinar de los niveles de Cd en sedimentos viales y calzada en la Av. Abancay, Lima en el período Febrero-2021.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Enfoque y diseño de la investigación

El presente estudio fue de enfoque cuantitativo, en cuanto al diseño metodológico, se trató de una investigación no experimental, descriptiva, y de corte transversal. Fue un estudio no experimental y descriptivo porque aborda las variables sin realizar intervención alguna y analiza dicha variable en su medio natural. Fue transversal porque la recolección de datos se da en un punto temporal del tiempo.<sup>21</sup>

### 2.2 Población, muestra y muestreo

#### ➤ Población

La población estudiada estuvo conformada por todos los metales pesados presentes en la Avenida Abancay del distrito de Cercado de Lima.

#### ➤ Muestra

La investigación bibliográfica inició en julio 2020 con el consecuente muestreo realizado en febrero 2021 basado en la técnica de muestreo fundamentada en las indicaciones propuestas por el Ministerio del Ambiente en su Guía para el Muestreo de Suelos, preparada en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM (primera versión ECA suelos). Según la guía, la cuantía de muestras que se debieron elegir como parte del universo óptimo a analizar estuvo determinada por la zona de interés a estudiar. Para este estudio, el área de potencial interés estuvo representada por la Av. Abancay, incluyendo vereda y exceptuando el área que ocupa cada vivienda.

Según la **Tabla 1**, se muestra que para las 2 hectáreas que mide la mencionada avenida, se tomaron en cuenta, como mínimo 15 puntos de muestreo. Siendo 26 un número óptimo para el área a analizar. Del análisis anterior, para cada una de las zonas en estudio, se obtuvieron 16 submuestras tomadas en cada punto para completar 250gr.

**Tabla 1. Número de muestras por área para el Muestreo de identificación**

| Área de Potencial Interés (Ha) | Puntos de Muestreo en Total |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 0,1                            | 4                           |
| 0.5                            | 6                           |
| 1                              | 9                           |
| 2                              | 15                          |
| 3                              | 19                          |
| 4                              | 21                          |
| 5                              | 23                          |
| 10                             | 30                          |
| 15                             | 33                          |
| 20                             | 36                          |
| 25                             | 38                          |
| 30                             | 40                          |
| 40                             | 42                          |
| 50                             | 44                          |
| 100                            | 50                          |

Fuente: Guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente, 2014

La muestra fue de tipo probabilístico, obtenida a partir de sedimentos viales y calzada en cada una de las intersecciones de la Avenida Abancay con Jirón Amazonas, Jirón Áncash, Jirón Junín, Jirón Huallaga, Jirón Ucayali, Jirón Santa Rosa (Jr. Miroquesada), Jirón Cuzco, Jirón Puno, Jr. Inambari, Avenida Nicolás de Piérola, Jirón Leticia, Jirón Montevideo, y Av. Grau en el distrito de Cercado de Lima. Para determinar si las concentraciones de Cadmio se encontraron en los valores permitidos, se tomaron en cuenta los Estándares de Calidad ambiental para suelos (ECAS 2017) para Perú, cuyo límite máximo de cadmio es de 10 mg/kg PS.<sup>4</sup>

### **2.3 Variables del estudio:**

El presente estudio presentó a “Niveles de cadmio en la Av. Abancay, Lima en el período Febrero-2021” como variable principal, según su naturaleza, la variable es cuantitativa y su escala de medición es de razón.

**Definición conceptual:** Fue el nivel de metal pesado que se acumula en los suelos como consecuencia del alto índice de urbanización y el aumento del tráfico vehicular, llegando a convertirse en un factor de deterioro ambiental y causante de distintos efectos nocivos en la salud humana.<sup>22</sup>

**Definición operacional:** Fue una serie de procesos analíticos enfocados en determinar el nivel de contaminación por metales en suelos. El método analítico elegido para el análisis de cadmio en suelo es la Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama en el Laboratorio Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – (CICOTOX) -UNMSM.<sup>23</sup>

## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

La técnica elegida durante la recogida de datos fue de tipo analítico y fueron frecuentemente empleadas en la investigación analítica inorgánica. Estos procedimientos forman parte de los instructivos del Ministerio del Ambiente de Perú en la Guía de muestreo de suelos del año 2014 y se utilizaron en la presente investigación.<sup>24</sup> Según la metodología, para determinar los puntos de muestreo, se debió tomar en cuenta el área de potencial interés dentro del predio de estudio, además de aquellas áreas que pudieron presentar una distribución similar en cuanto a la contaminación, posteriormente, estos datos fueron plasmados en una ficha. Por tal motivo, se emplearon instrumentos de recolección de datos, diseñados para examinar las variables relacionadas a un estudio analítico enfocado en cuantificar metales mediante la metodología analítica de la Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito para el análisis de cadmio en suelo. (ANEXO B)

## **2.5 Plan de recolección de datos.**

### **2.5.1. Preparación de la muestra**

La técnica de muestreo elegida en esta investigación siguió los lineamientos del MINAM-Ministerio del Ambiente en su Guía para el

Muestreo de Suelos, dispuesta en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM. Por lo que, el muestreo fue realizado el 14 de febrero del 2021, tomando 2 muestras en cada uno de los 13 puntos de muestreo en la Avenida Abancay, siendo 26 muestras en total. Estas áreas fueron seleccionadas por su gran contaminación vehicular, representando una situación de riesgo para los transeúntes de la zona.

Finalmente, las muestras fueron tomadas haciendo uso de una pequeña pala, fueron transportadas en bolsas plásticas Ziploc, se sellaron y se rotularon para su envío al CICOTOX con el fin de cuantificar las concentraciones de cadmio.

## **2.6 Determinación de metales pesados**

Para el análisis de cadmio, el método analítico elegido fue el de la “Espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito (GFAAS)”, que se realizó en el Laboratorio: Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – CICOTOX. Este procedimiento se llevó a cabo según la metodología para Metales GFAAS – CICOTOX. (ANEXO C)

La espectrofotometría de absorción atómica se basa en la absorción de una luz monocromática por los átomos del elemento a analizar. La longitud de onda a la cual la luz se absorbe, se utilizó específicamente para el elemento a estudiar. Se midió la atenuación de la intensidad de la luz como resultado de la absorción, siendo la porción de luz absorbida proporcional a la medida de átomos del elemento que se encontraron en la muestra, en este caso, el Cadmio (absorbancia proporcional a la concentración del metal). El método involucró primordialmente 2 técnicas: la atomización de la muestra que se realizó en el horno de grafito y la absorción de radiación proveniente de una fuente por los átomos libres.<sup>25</sup> En el laboratorio CICOTOX, se llevan a cabo la absorción atómica en horno de grafito (GFAAS), que se basa en los mismos principios que la espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS). La principal disparidad se centra en la muestra y su atomización. En lugar de la llama,

el horno de grafito hace uso de un atomizador electrotérmico, el cual es un tubo chico hecho de grafito. Por otro lado, el horno de grafito es un proceso más sensible para la determinación metálica. La espectrometría de absorción atómica de llama puede analizar muestras en el rango de PPM, mientras que, el horno de grafito puede analizar concentraciones en el rango de PPB.<sup>26</sup>

## **2.7 Cálculo de Estimación del Riesgo Tóxico por Exposición**

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la evaluación de riesgos para la salud humana se define como el proceso para estimar la naturaleza y la probabilidad de efectos adversos para la salud en humanos expuestos a sustancias químicas en medios ambientales contaminados, ahora o en el futuro. La evaluación del riesgo de metales pesados se estima utilizando parámetros como Dosis de Exposición (DE), el Margen de Exposición (ME) y el Índice de Peligro (EP). Estos parámetros para la evaluación de riesgos fueron introducidos por la EPA en los Estados Unidos para la estimación del riesgo potencial para la salud causado por cualquier contaminante químico durante una exposición prolongada [USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) 1989]. Estos parámetros dependen no solo de la cantidad ingerida de contaminante, sino también de la frecuencia y duración de la exposición, el peso corporal medio y la dosis de referencia oral (RfD).<sup>27</sup>

### **2.7.1 Cálculo de Dosis de Exposición Estimada (DE)**

Este cálculo se define como una estimación de la cantidad de una sustancia que puede ingresar al cuerpo humano cuando este se ponga en contacto con dicho xenobiótico.<sup>29, 38</sup>

La DE utilizar las unidades de mg/kg/día y en su cálculo se utilizan los índices o valores tóxico necesarios (NOAEL y LOAEL) con lo que se puede concluir si la exposición, a la que se expuso la población a estudiar, involucra un riesgo sanitario. Para determinar la dosis de exposición se

utiliza la ecuación siguiente:

$$DE = \frac{C \times TI \times FE \times 10^{-6}}{PC}$$

**Dónde:**

DE: Dosis de Exposición (mg/kg/día)

C: Concentración del Contaminante (mg/kg)

TI: Tasa de Ingesta (mg/día) - Consumo diario de suelo a través de la comida, objetos sucios o, en el caso de los niños, por la ingesta de material no comestible (pica) el cual ingresa al organismo por la vía digestiva (TI en Adultos es 50 mg/d y en Niños es 200 mg/d).

FE: Factor de Exposición (no posee unidades) - Se utiliza para promediar la dosis en los intervalos en los que dura la exposición (0.98).

PC: Peso Corporal (kg) - El Peso Corporal (PC) se define como 70 kg en adultos y 16 kg para niños.

### 2.7.2 Cálculo del Margen de exposición (ME)

El margen de exposición (ME) se presenta como una herramienta muy utilizada por los que evalúan el riesgo con el objetivo de examinar potenciales problemas de seguridad ocasionados por la presencia tóxica en los alimentos o piensos de sustancias genotóxicas (pueden producir un daño en el ADN) y ser carcinogénicas.

Para el cálculo del margen de la exposición se utiliza el NOAEL (Nivel de Efecto No Observable). Para el Cd se usa el valor de 0.01 mg/kg/día, nivel suficiente para producir efectos renales, que es el NOAEL recomendado para la ingestión de alimentos. <sup>29, 38</sup>

$$ME = \frac{NOAEL \text{ crítico}}{DE}$$

**Dónde:**

NOAEL: 0.01 mg/kg/d en Adultos y Niños

DE: Dosis de Exposición (mg/kg/día)

### 2.7.3 Cálculo del Índice de peligrosidad (IP)

El Índice de Peligrosidad intenta explicar el grado de peligro ante la exposición de un contaminante exógeno. Es un cálculo de la dosis ingerida de una sustancia química que probablemente no producirá efectos no cancerígenos en la salud. Para esto, se utiliza la Dosis de Referencia (RfD) y Dosis de Exposición.<sup>29, 38</sup>

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

**Dónde:**

DE: Dosis de Exposición (mg/kg/día)

RfD: 0.001 mg/kg/d en Adultos y Niños

### 2.8 Métodos de análisis estadístico.

Para la realización del análisis estadístico de la variable principal involucrada en esta investigación, se consignaron todos los valores de las concentraciones obtenidas en el programa Microsoft Office Excel 2019. Para llevar a cabo el análisis estadístico, se hizo uso del programa STATA 14. Se aplicaron las pruebas estadísticas descriptivas como varianza, coeficiente de distribución y desviación estándar con el fin de comparar las diferentes concentraciones de metales pesados con un valor de P o significancia de 0.05. Se calcularon y compararon las concentraciones de cadmio con las normativas nacionales del Ministerio del Ambiente e internacionales de la EPA y ATSDR<sup>29, 38</sup>, con el fin de diseñar cuadros y gráficas para el análisis descriptivo.

### 2.9 Aspectos éticos.

Esta investigación se desarrolló de acuerdo a los siguientes criterios bioéticos de autonomía, beneficencia, no maleficencia, y justicia:

**Principio de autonomía:** Referido a la libertad de decisión, esta debe ser respetada y promovida como objeto de investigación porque minimiza los riesgos y maximiza los beneficios porque no se aspira a modificar o crear una situación, sino por el contrario, a observar y describir una ya existente.<sup>30</sup>

**Principio de beneficencia:** Este principio se refiere a no causar daño a otros, la beneficencia está sujeta a prevenir el daño, eliminar el daño o hacer el bien a otros.<sup>31</sup>

**Principio de no maleficencia:** Este principio se refiere a no dañar y tener la obligación de disminuir el riesgo de causar un daño.<sup>32</sup>

**Principio de justicia:** Este principio se refiere a su expresión operativa en la ética de la investigación es la no discriminación en la investigación.<sup>33</sup>

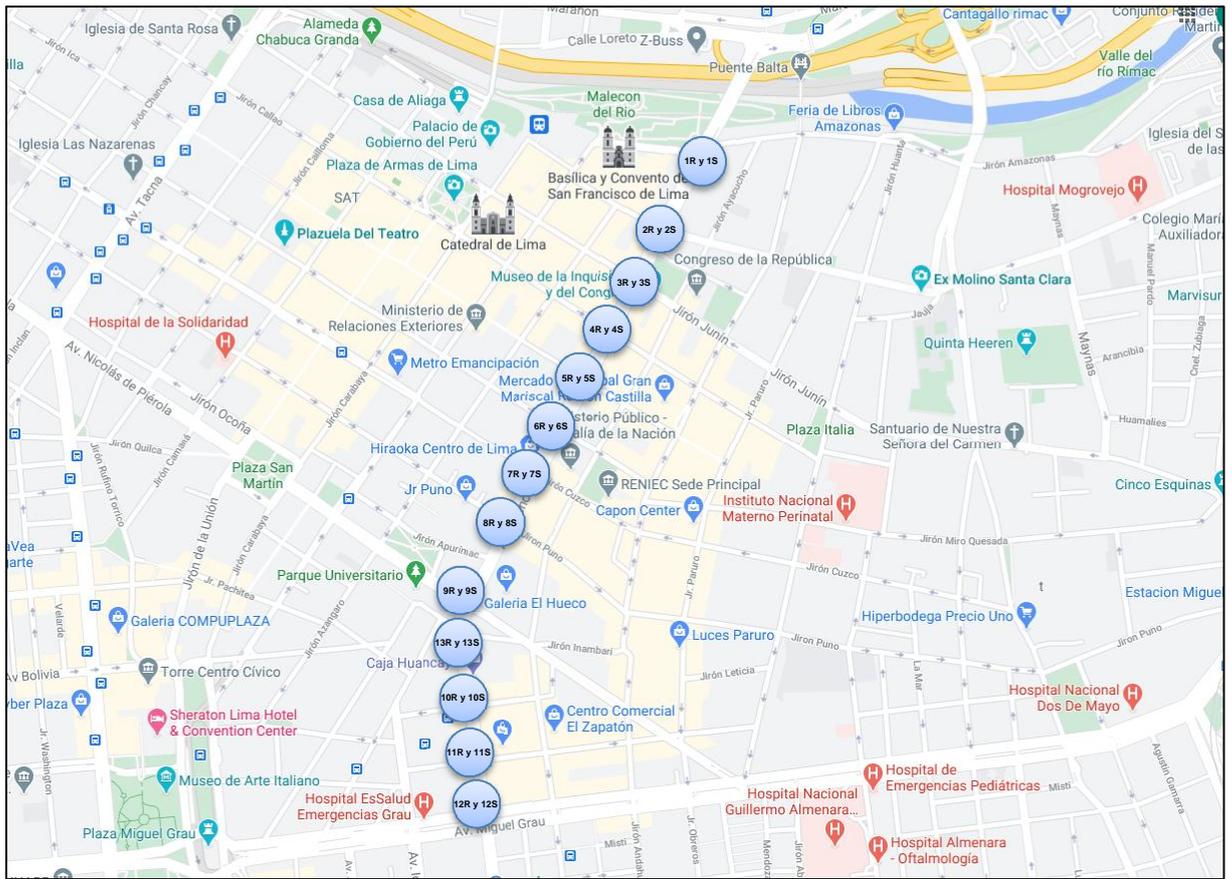
### III. RESULTADOS

#### 3.1 Muestreo

**Tabla 2. Lugares de muestreo: Av. Abancay – Lima Cercado.**

| <b>PTO. DE MUESTREO</b> | <b>CODIGO</b> | <b>DESCRIPCIÓN DE ORIGEN/UBICACIÓN</b>                 |
|-------------------------|---------------|--|
| 1                       | 1R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas           |
| 2                       | 1S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas                 |
| 3                       | 2R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Ancash             |
| 4                       | 2S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Ancash                   |
| 5                       | 3R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Junín              |
| 6                       | 3S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Junín                    |
| 7                       | 4R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga           |
| 8                       | 4S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga                 |
| 9                       | 5R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Ucayali            |
| 10                      | 5S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Ucayali                  |
| 11                      | 6R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Sta. Rosa          |
| 12                      | 6S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Sta. Rosa                |
| 13                      | 7R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Cuzco              |
| 14                      | 7S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Cuzco                    |
| 15                      | 8R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Puno               |
| 16                      | 8S            | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Puno                     |
| 17                      | 9R            | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Av. Nicolás de Piérola |
| 18                      | 9S            | Calzada de Av. Abancay c/ Av. Nicolás de Piérola       |
| 19                      | 13R           | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Inambari           |
| 20                      | 13S           | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Inambari                 |
| 21                      | 10R           | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Leticia            |
| 22                      | 10S           | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Leticia                  |
| 23                      | 11R           | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Montevideo         |
| 24                      | 11S           | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Montevideo               |
| 25                      | 12R           | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Av. Grau               |
| 26                      | 12S           | Calzada de Av. Abancay c/ Av. Grau                     |

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1. Mapa de los lugares de muestreo en Av. Abancay – Lima Cercado.**

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

(1R y 1S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas, (2R y 2S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Ancash, (3R y 3S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Junín, (4R y 4S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga, (5R y 5S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Ucayali, (6R y 6S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Sta. Rosa, (7R y 7S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Cuzco, (8R y 8S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Puno, (9R y 9S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Av. Nicolás de Piérola, (10R y 10S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Leticia, (11R y 11S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Montevideo, (12R y 12S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Av. Grau, (13R y 13S) Alrededores de cruce de Av. Abancay c/ Jr. Inambari.

En la Figura 1, se muestra que los puntos elegidos se ajustan a la realidad de la Avenida Abancay en Lima Cercado, debido a que la muestra elegida fue representativa. Se tomaron 26 muestras para cada una de las zonas las cuales se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 3. Concentraciones de Cd en las muestras recolectadas en Av. Abancay - Lima Cercado**

| <b>Determinación de Cd en Av. Abancay – Lima Cercado</b> |  |                   |
|--|--|-------------------|
| <b>Código</b>  | <b>Descripción De Origen/Ubicación</b>                 | <b>[Cd] mg/Kg</b> |
| 1R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas           | <b>5.125</b>      |
| 1S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas                 | 3.819             |
| 2R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Ancash             | 4.677             |
| 2S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Ancash                   | 4.174             |
| 3R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Junín              | 4.673             |
| 3S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Junín                    | <b>5.449</b>      |
| 4R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga           | 4.060             |
| 4S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga                 | 2.699             |
| 5R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Ucayali            | 3.899             |
| 5S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Ucayali                  | 4.037             |
| 6R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Sta. Rosa          | 3.860             |
| 6S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Sta. Rosa                | <b>5.317</b>      |
| 7R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Cuzco              | 3.625             |
| 7S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Cuzco                    | 3.502             |
| 8R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Puno               | 3.457             |
| 8S   | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Puno                     | 4.779             |
| 9R   | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Av. Nicolás de Piérola | 4.104             |
| 9S   | Calzada de Av. Abancay c/ Av. Nicolás de Piérola       | 3.448             |
| 13R  | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Inambari           | 2.795             |
| 13S  | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Inambari                 | 4.916             |
| 10R  | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Leticia            | 3.882             |
| 10S  | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Leticia                  | <b>2.037</b>      |
| 11R  | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Montevideo         | 3.107             |
| 11S  | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Montevideo               | <b>1.266</b>      |
| 12R  | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Av. Grau               | 4.464             |
| 12S  | Calzada de Av. Abancay c/ Av. Grau                     | <b>2.136</b>      |

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3 presenta los resultados de las concentraciones de las 26 muestras tomadas en Av. Abancay. Las concentraciones más bajas (**resaltadas en celeste**) corresponden a las calzadas de Av. Abancay c/ Jr. Leticia (3.882 mg/Kg), Jr. Montevideo (1.266 mg/Kg) y Av. Grau (2.136 mg/Kg). En cuanto a las concentraciones más altas (**resaltadas en rojo**), estas se ubicaron en la calzada de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas (5.125 mg/Kg), en el sedimento en Av. Abancay c/ Jr. Sta. Rosa (5.317 mg/Kg) y la concentración de Cadmio más alta se ubicó en la Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Junín (5.449 mg/Kg).

| Mean estimation |        | Number of obs = 26 |                      |          |
|-----------------|--------|--------------------|----------------------|----------|
|                 | Mean   | Std. Err.          | [95% Conf. Interval] |          |
| Cadmio          | 3.8195 | .2026004           | 3.402237             | 4.236763 |

| variable | variance | sd       | cv       | se (mean) | range |
|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|
| Cadmio   | 1.06722  | 1.033063 | .2704709 | .2026004  | 4.183 |

**Figura 2. Medidas de tendencia central y distribución de las muestras**

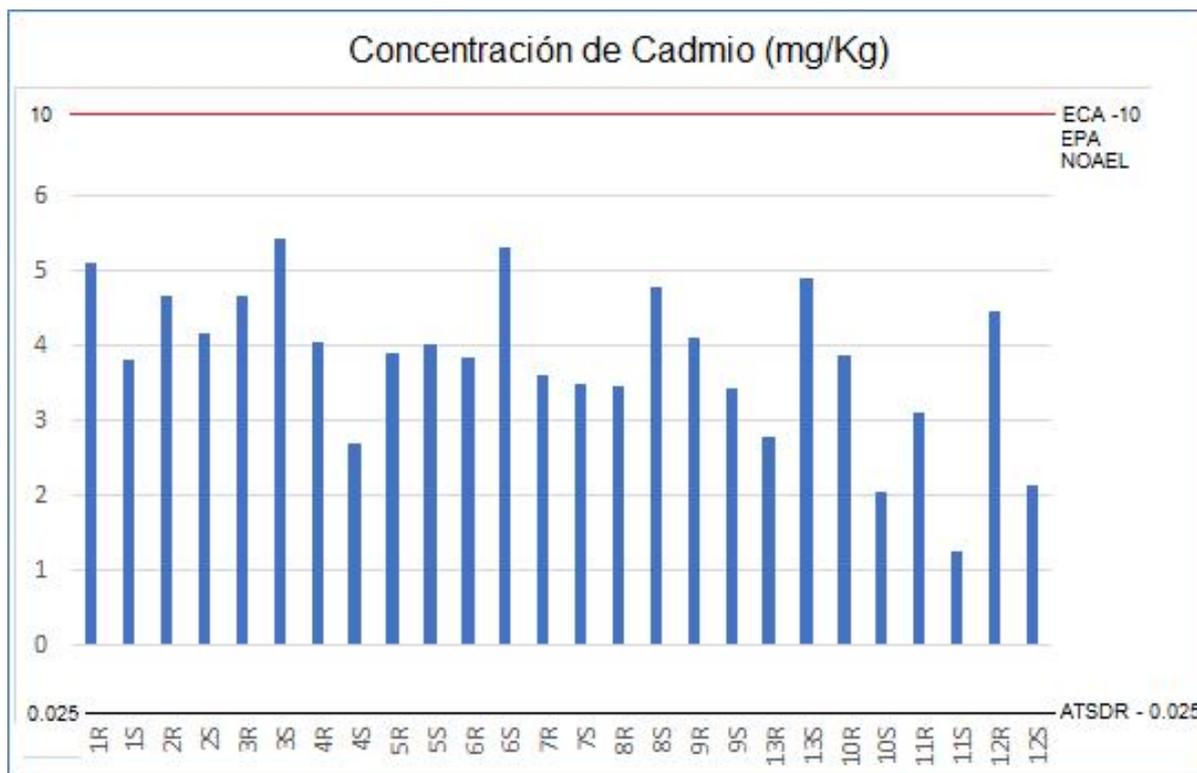
Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

**Mean:** Promedio cuyo resultado fue 3.8195 mg/Kg; **variance:** Varianza; **sd:** Desviación

Estándar; **cv;** Coeficiente de variación; **se(mean):** Error estándar de la media y **range:** Rango

A partir de los resultados obtenidos del análisis instrumental y el posterior análisis estadístico se determinó que la concentración media de cadmio en la Avenida Abancay es de 3.8195 mg/kg. El C.V. fue 0.27, lo que indica que se tuvo variaciones moderadas en los resultados. Esto sugiere que las muestras tendrían la posibilidad de ser influenciadas por factores extrínsecos debido a las actividades humanas.<sup>38</sup>



**Figura 3. Concentración de cadmio vs estándares referenciales.**

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

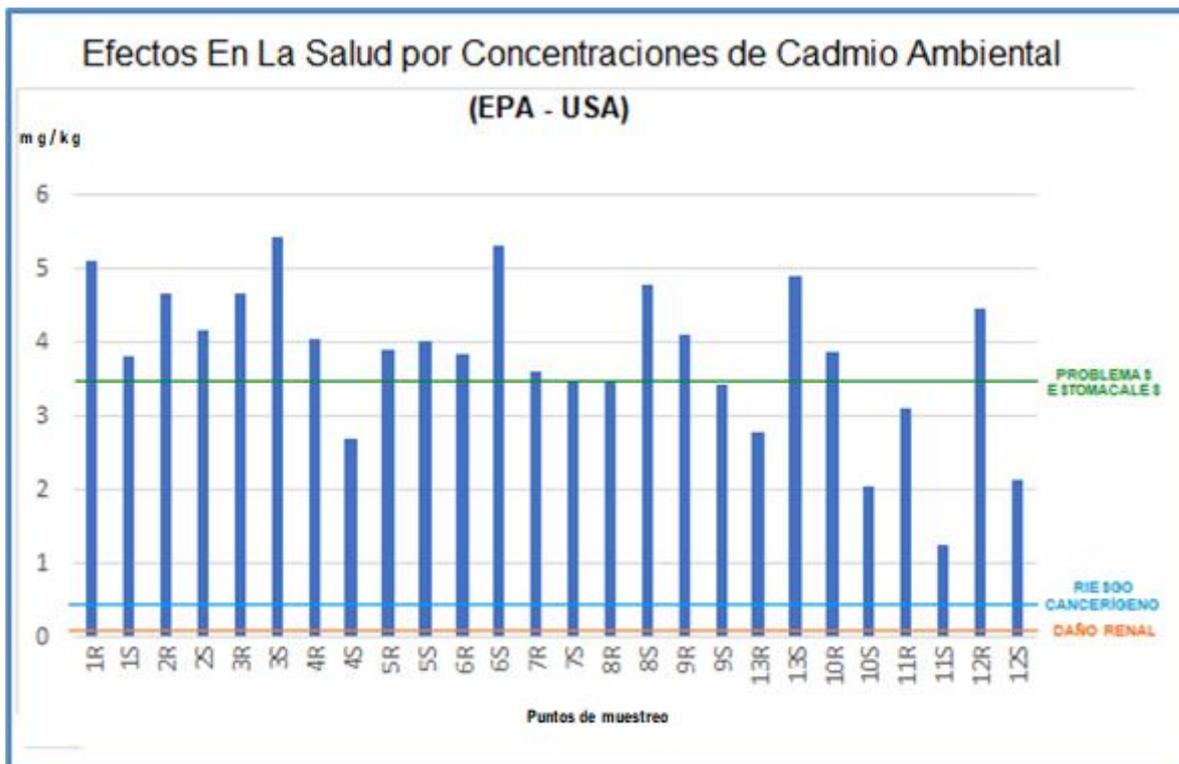
**ATSDR:** Agency for Toxic Substances and Disease Registry o Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, en español.

**EPA:** Environmental Protection Agency o Agencia de Protección Ambiental, en español.

**ECA:** Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el MINAM-Perú.

**NOAEL:** Máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos.

La Figura 3 muestra que las concentraciones de Cadmio no están dentro de los estándares internacionales de calidad ambiental para suelo propuesto por la ATSDR, que sugiere una cifra inferior a 0.025 mg/Kg para un suelo no contaminado, por lo que el suelo de la Avenida Abancay presenta niveles preocupantes de toxicidad. Asimismo, de acuerdo al Ministerio del Ambiente en Perú, el límite máximo permisible de este metal en el ambiente corresponde al valor permitido por la EPA (10 mg.kg<sup>-1</sup>), debido a que esta cifra es la concentración de NOAEL que produciría hepatotoxicidad comprobada en ratas macho. <sup>34</sup>



**Figura 4. Efectos en la salud por concentraciones de Cadmio ambiental**

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 muestra que todas las muestras de cadmio obtenidas en la Avenida Abancay, superan la cantidad de ingesta oral humana aceptable (0.005 mg/kg/día o 0.35 mg/día en adultos) que, a largo plazo de podría tener un riesgo de producir daño renal o a otros tejidos, lo que conllevaría un riesgo cancerígeno. También, los niveles encontrados sugieren que, al exceder la cantidad aproximada de 0.004 mg/kg/día en todos los casos, se podría producir daño renal en aquellos adultos que asisten a la mencionada avenida al verse expuestos al contaminante Cadmio diariamente.

Por otro lado, las concentraciones halladas superaron a los que la EPA sugiere como posible causante de problemas estomacales (0.05 mg/Kg o 3.5 mg/Kg en adultos) en las muestras excepto en la Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga, Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Puno, Calzada de Av. Abancay c/ Av. Nicolás de Piérola, Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Inambari, Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Leticia, Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Montevideo, Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Montevideo y Calzada de Av. Abancay c/ Av. Grau. Viéndose que este valor se superó en un 69, 23% de las muestras obtenidas.<sup>34</sup>

**Tabla 4. Dosis de exposición estimada de cadmio en adultos y niños-  
Teórico ATSDR**

AV. ABANCAY, LIMA CERCADO, LIMA-PERÚ

| Parámetro        | Adultos    | Niños     |
|------------------|------------|-----------|
| DECd (mg/Kg/día) | 0.00000267 | 0.0000468 |

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

**DECd**=Dosis de Exposición

En la Tabla 4, se puede observar que la DECd en niños es superior a la DECd en adultos, lo que permite inferir que los niños se encuentran expuestos a una mayor dosis de cadmio que los adultos en la Av. Abancay. Viéndose que la DECd en niños es 17,5 veces mayor que en adultos.

**Tabla 5. Margen de exposición de cadmio en adultos y niños-Teórico  
ATSDR**

AV. ABANCAY, LIMA CERCADO, LIMA-PERÚ

| Cadmio | Adultos | Niños   |
|--------|---------|---------|
| ME     | 3745.32 | 213.675 |

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

**ME**= Margen de exposición

En la Tabla 5, se observa que, en los resultados obtenidos, se presentan valores seguros de exposición al Cadmio pues, mientras mayor sea el valor por encima del 1 ( $ME > 1$ ), más amplia será la ventana de seguridad y menos probable de observarse un efecto adverso en la población de la Av. Abancay.

**Tabla 6. Índice de peligrosidad para plomo en adultos y niños- Teórico ATSDR**

| <b>Cadmio</b> | <b>Adultos</b>  | <b>Niños</b>   |
|---------------|-----------------|----------------|
| <b>IP</b>     | 0.00267 mg/kg/d | 0.0468 mg/kg/d |

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

IP= Índice de Peligrosidad

En la Tabla 6, se observa que existe un riesgo bajo de potenciales efectos adversos debido a la exposición al Cadmio en adultos y niños debido a que ninguno de los cálculos obtenidos supera el valor de 1. Esto se concluye debido a que, mientras menor sea el Índice de Peligrosidad ( $IP < 1$ ), más segura será la exposición de la población de la Av. Abancay.

## IV. DISCUSIÓN

### 4.1 Discusión de resultados

El presente trabajo de investigación inició en el período de julio 2020 con el consiguiente muestreo realizado en febrero 2021 con el fin de otorgar información sobre los niveles de Cd en sedimentos viales y calzada. Estos datos permiten describir su relación dosis-respuesta en la salud humana por la exposición al mencionado metal pesado. La dieta es la principal fuente de exposición al cadmio en la población en general. Los fumadores y los trabajadores de las industrias del cadmio tienen una exposición adicional. También se han demostrado experimentalmente los posibles efectos adversos en poblaciones con alta exposición industrial o ambiental en zonas muy transitadas como la Avenida Abancay en el distrito de Cercado de Lima. Es importante resaltar que la estimación de riesgos realizada permite predecir o estimar el impacto de un xenobiótico sobre la salud humana o ambiental para posteriormente establecer criterios de seguridad a futuro.

La técnica elegida para realizar la investigación se basó inicialmente en los pasos sugeridos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) en su Guía para el Muestreo de Suelos, elaborada en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM (primera versión del ECA suelos). Según lo indicado, las muestras fueron recogidas el 14 de febrero del 2021 haciendo uso de una pequeña pala. Se obtuvieron 26 muestras (250gr en cada punto) a lo largo de toda la Avenida Abancay, siendo este un número óptimo para el área de análisis. Luego, se transportaron las muestras en bolsas plásticas Ziploc selladas y rotuladas al laboratorio CICOTOX-UNMSM con el fin de cuantificar las concentraciones de cadmio mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito. Estos resultados, permitieron realizar el cálculo del riesgo tóxico en suelos con Cadmio según el método recomendado por la OPS/OMS, para los países latinoamericanos, que es una adaptación de la metodología de la ATSDR.<sup>11</sup>

La Figura N° 3 muestra que las concentraciones de Cadmio obtenidos son muy altos o inaceptables porque no están dentro de los estándares internacionales de calidad ambiental para suelo propuesto según la ATSDR, que sugiere una

cifra inferior a 0.025 mg/Kg para un suelo no contaminado. Asimismo, las concentraciones estuvieron dentro de los límites a nivel nacional porque se encontraron dentro de los estándares establecidos por la EPA y MINAM-Perú (10 mg.kg-1). Sin embargo, las concentraciones de cadmio recogidas en la Avenida Abancay en Lima – Perú fueron mayores a las encontradas por Ynocente M. & Olortegui D. (2018) en los alrededores del Parque Industrial Infantas en Los Olivos, Lima - Perú.<sup>34</sup> También, las concentraciones fueron superiores a las encontradas por De los Ángeles M. (2015) en los alrededores del Parque Industrial de Cuenca en Ecuador<sup>35</sup>, por lo que, los resultados obtenidos muestran valores preocupantes de contaminación ambiental respecto a otras zonas de muestreo a nivel nacional e internacional.

En la Figura N° 4 se observa que todas las muestras de cadmio obtenidas en la Avenida Abancay, superan la cantidad de ingesta oral humana aceptable por la EPA (0.35 mg/día en adultos). En el área analizada se encontró un nivel de Cadmio de 3.8195 mg/Kg en promedio, que a largo plazo podría tener un riesgo de producir daño renal o a otros tejidos, lo que conllevaría un riesgo cancerígeno debido a que los niveles urinarios altos de Cd están asociados a una mayor mortalidad general y mayor riesgo de cáncer. Estos resultados dan un indicio preocupante porque los niveles encontrados podrían tener efectos deletéreos en el ser humano. Por ejemplo, en el estudio de Satarug et al., (2003)<sup>36, 37</sup> se observó que la ingesta estimada de 25-30 µg/día puede producir efectos renales adversos en aproximadamente el 1% de la población adulta cuando se considera la variabilidad en la absorción y la sensibilidad a los efectos adversos entre los miembros de la población en el análisis. Esto confirma que la persistencia de cadmio en el medio ambiente requiere un enfoque a largo plazo para minimizar la exposición humana a través de la gestión ambiental y el mantenimiento de menores niveles de cadmio siempre que sea posible.

A su vez, las concentraciones de Cd halladas fueron superiores a los que la EPA sugiere por ingestión oral (3.5 mg/Kg) en un 69, 23% de las muestras obtenidas, lo que produciría a largo plazo, serios problemas estomacales.<sup>38</sup> Esto también se detalla en el estudio realizado por Nordberg G., (2000)<sup>39</sup> que indica que la alta

ingesta oral de cadmio en una sola dosis por parte de los seres humanos provoca vómitos, dolor abdominal y diarrea. Las concentraciones de cadmio en las bebidas que dan lugar a estos síntomas han sido al consumir 16 mg/litro como mínimo, esto corresponde a una dosis de 3mg como mínimo en forma sólida. Las ingestas a largo con concentraciones de alrededor de 1 mg/kg correspondientes a ingestas diarias de 600 µg han dado lugar a algunos síntomas menos pronunciados, incluidos signos de malabsorción.

En la Tabla N°4, a partir de la concentración de cadmio se procedió a estimar las Dosis de Exposición, la cual se calculó para niños y adultos por separado. En la Av. Abancay se encontró para adultos una DECd=0.0000267 mg/kg/día, y para niños, DECd=0.0000468 mg/kg/día. Obteniéndose que la DECd en niños es 17,5 veces mayor que en adultos. De lo anterior, se puede interpretar que los niños se encuentran expuestos a una mayor dosis de cadmio. Cabe mencionar que, esta dosis representa únicamente la exposición por suelo, pudiendo ser mayor si se toman en cuenta otros medios como aire, agua e ingesta de alimentos.<sup>29</sup> También, se calculó el Margen de Exposición relacionando el NOAEL con la DE. Para la Av. Abancay se encontraron Márgenes de Exposición de cadmio, para adultos y niños, un valor igual a 3745.32 y 213.675 respectivamente. En ambos casos, se presentan valores seguros de exposición pues mientras mayor sea el Margen por encima del 1, más seguro será. Se observa que los márgenes de seguridad son mucho más altos en adultos que en niños, confirmando que los niños son la población más susceptible. Otro indicador utilizado fue el Índice de Peligrosidad, donde, se determinaron valores de 0.00267 mg/kg/d en adultos y 0.0468 mg/kg/d en niños. Se sabe que mientras menor sea el Índice de Peligrosidad o IP (por debajo del 1), más segura será la exposición. Es así como se determinaron niveles seguros de exposición en el caso de adultos; pero, en niños, el IP no se encuentra muy por debajo del uno pudiendo representar un riesgo significativo si se evalúan otros parámetros de disponibilidad en suelo o, si se asocia el estudio con otros medios de exposición.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación han permitido recabar información sobre las diferentes concentraciones de cadmio en 26 puntos muestreados en la Av. Abancay, una de las calles más transitadas que

presenta una contaminación muy grande, principalmente porque, a pesar que el parque automotor en nuestra ciudad se ha renovado en un gran porcentaje, aún hay una gran cantidad de autos antiguos circulando que contribuyen al ahogo de nuestra atmósfera. Esto, sumado a las actividades comerciales e industriales en la zona del Centro Histórico. El minucioso trabajo se comenzó a redactar en el mes de julio 2020 y se finalizó en mayo 2021 con la presentación final de resultados.

## 4.2 Conclusiones

Se determinaron los niveles de Cd en sedimentos viales y calzada en la Av. Abancay, Lima en el período Febrero-2021:

- Se encontró que las concentraciones de Cadmio obtenidas son muy altas o inaceptables porque no están dentro de los estándares internacionales de calidad ambiental para suelo propuesto según la ATSDR, que sugiere una cifra inferior a 0.025 mg/Kg para un suelo no contaminado. Asimismo, se señala que las concentraciones estuvieron dentro de los límites a nivel nacional porque se encontraron dentro de los estándares establecidos por la EPA y MINAM - Perú (10 mg.kg<sup>-1</sup>), debido a que esta cifra es la concentración de NOAEL que produciría hepatotoxicidad a largo plazo por la exposición a este contaminante.
- Se definió que las concentraciones de cadmio obtenidas en la Avenida Abancay, superan la cantidad de ingesta oral humana aceptable (0.005 mg/kg/día o 0.35 mg/día en adultos), que a largo plazo conllevaría un riesgo cancerígeno a nivel renal debido a su gran acumulación en el túbulo renal que incluiría mecanismos necróticos o apoptóticos en el órgano mencionado.
- Se estableció que los niveles encontrados exceden la cantidad de 0.004 mg/kg/día en todas las muestras, esto indica que se podría producir un serio daño renal en aquellos adultos que asisten a la mencionada avenida al verse expuestos al contaminante Cadmio diariamente debido que, según la EPA, este contaminante se acumula principalmente en las células epiteliales del túbulo renal proximal, lo que puede resultar en una disfunción generalizada del órgano, produciendo una variedad de efectos tóxicos.

- Se apreció que las concentraciones halladas en la mayoría de los puntos fueron superiores a los que la EPA sugiere como un posible causante de problemas estomacales (3.5 mg/Kg), puesto que este valor se superó en un 69, 23% de las muestras obtenidas. Los resultados hallados indicarían que podrían observarse efectos adversos muy variados que van desde signos de malabsorción hasta vómitos, dolor abdominal y diarrea.
- Al realizar los cálculos referidos a la estimación del riesgo de toxicidad, se obtuvo que, respecto a la Dosis de Exposición, los niños se encuentran 17,5 veces más expuestos al Cadmio que en el caso de adultos.
- Finalmente, se comprobó que existe un riesgo mínimo de producir efectos adversos por exposición a suelos contaminados por cadmio en la Avenida Abancay. Esto puede concluirse debido a que el Índice de peligrosidad resultó menor que 1 ( $IP < 1$ ); y el margen de exposición, mayor que 1 ( $ME > 1$ ).

#### **4.3 Recomendaciones**

- Considerando los resultados obtenidos, se hace necesario continuar llevando a cabo investigaciones que abarquen otras zonas específicas que tengan gran posibilidad de contaminación industrial, con el fin de propagar esta información, dando a conocer en qué medida esta población puede verse afectada por una exposición por los diferentes medios de emisión de Cadmio en el suelo, aire o agua.
- Se requiere una mayor cantidad de investigaciones que apliquen métodos toxicológicos para identificar la dosis real de metales pesados que puedan afectar a la población y poder estudiar los efectos adversos que pueden conllevar, también, es importante investigar sobre las interacciones de los diversos contaminantes que puedan encontrarse en cada zona de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. De Miguel E., Iribarren I., Chacon E. et al. (2007). Risk-based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain). *Chemosphere* 66, 505-513
2. Farmer J.G., Broadway A., Cave M.R. et al. (2011). A lead isotopic study of the human bioaccessibility of lead in urban soils from Glasgow, Scotland. *Science of the Total Environment* 409, 4958–4965
3. Corey G, Galvao L. *CADMIO, Serie de vigilancia* 4. México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS/OMS; 1987.
4. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2017. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM. El Peruano; Lima, sábado 02 de diciembre del 2017; Año XXXIV -N° 14307:
5. Abrahams P. W. (2002). Soil: their implication to human health. *Science of the Total Environment* 291, 1-32
6. Municipalidad de Lima Metropolitana. (2016). Regulación de Comercio Ambulatorio. Ordenanza 1933. Ordenanza Municipal, Lima - Perú.
7. Carrión, F. (2001). Medio siglo en camino al tercer milenio: los centros históricos en América Latina. En *Centros Históricos de América Latina y el Caribe*. FLACSO. Recuperado de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/11257-opac>.
8. Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., Velásquez, H. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. [Versión electrónica]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(4).
9. Gisbert C. *Medicina Legal Y Toxicológica* (2018) 7ª edición Polonia Consultado el 10 de mayo de 2013. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992008000400003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992008000400003)

10. Castillo Y. 2010. Evaluación toxicológica de plomo en suelos de Lima Metropolitana. UNMSM. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Departamento Académico de Farmacología, Bromatología y Toxicología. Tesis para optar el título profesional de Químico Farmacéutico. 78h. (<https://elcomercio.pe/lima/zoologico-huachipa-11-mejores-america-latina-235757>). Perú (Del parrafo conector)
11. Díaz F. Metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados. OPS/CEPIS/PUB/99.34. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Mundial de la Salud., 96P; 1999.
12. Adeyi A and Babafemi A. (2017) Lead and Cadmium Levels in Residential Soils of Lagos and Ibadan, Nigeria. *Journal of Health and Pollution*: March 2017, Vol. 7, No. 13, pp. 42-55.
13. Laidlaw, M., et al. (2017) Case studies and evidence-based approaches to addressing urban soil lead contamination, *Applied Geochemistry*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.02.01>
14. Taghavi et al. (2019). Assessment of Heavy Metals in Street Dusts of Tehran Using Enrichment Factor and Geo-Accumulation, Index: A. *Health Scope*. In Press. [10.5812/jhealthscope.57879](https://doi.org/10.5812/jhealthscope.57879).
15. Reyes Y. & Torres O. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 N° 2(1), 12. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
16. Condo-Franco, J. y B. Pernía (2018). Determinación de niveles de cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) de la costa y sierra ecuatoriana. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*. 12(2): 66-74.

17. Sulaiman, F.; Hamzah, H. (2018) Heavy metals accumulation in suburban roadside plants of a tropical area (Jengka, Malaysia). *Ecol. Process.* 7, 1–11. [Google Scholar] [CrossRef]
18. World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution in cities database 2014 [Internet]. Ginebra: WHO; 2014 [citado el 20 de julio de 2020]. Disponible en: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/cities-2014/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities-2014/en/).
19. World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. 1a ed. Ginebra: WHO; 2016.
20. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Encuesta de recolección de información básica del transporte urbano en el área metropolitana de Lima y Callao. Informe Final. Lima: Nippon Koei Co; 2013.
21. Hernández Sampieri, R; et al. Metodología de la Investigación. 2ª. ed. McGraw-Hill. México, D.F., 2001. Pág. 52 - 134.
22. D. S. Malik and P. K. Maurya, "Heavy metal concentration in water, sediment, and tissues of fish species (*Heteropneustis fossilis* and *Puntius ticto*) from Kali River, India," *Toxicological & Environmental Chemistry*, vol. 96, no. 8, pp. 1195–1206, 2014.
23. Fahad N.A., (2015). Assessment of the levels of some heavy metals in water in Alahsa Oasis farms, Saudi Arabia, with analysis by atomic absorption spectrophotometry; *Arabian Journal of Chemistry*, 8, 240–245
24. Ministerio del Ambiente. Guía para el muestreo de suelos. Perú: Ministerio del Ambiente; 2014.
25. Martínez G, Palacio C. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de llama. [Trabajo de grado para optar el título de: Química]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. 2010.

26. Gupta S, Pandotra P, Gupta AP, Dar JK, Sharma G, Ram G, Bedi Y S. Volatile (As and Hg) and non-volatile (Pb and Cd) toxic heavy metals analysis in rhizome of *Zingiber officinale* collected from different locations of North Western Himalayas by atomic absorption spectroscopy. *Food Chem Toxicol* 2010; 48(10):2966-2971.
27. EFSA (European Food Safety Authority) Scientific Committee. 2018c. Draft guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals. Published for public consultation 26 June–15 September 2018. [http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/consultation/consultation/18\\_0626-1-ax1.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/consultation/consultation/18_0626-1-ax1.pdf) [Google Scholar]
28. ATSDR. *Reseña Toxicológica del Plomo (versión actualizada)* (en inglés). Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Atlanta, EEUU: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU; 2007.
29. ATSDR. *Reseña Toxicológica del Cadmio* (en inglés). Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Atlanta, EEUU: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU; 2012.
30. Velasco J. La Bioética y el Principio de Autonomía. *Revista Facultad de Odontología* [revista en Internet] 2013 [acceso 20 de agosto de 2020]; 1(2): 72- 78. Disponible en: [revistas.unne.edu.ar/index.php/rfo/article/download/1651/1411](http://revistas.unne.edu.ar/index.php/rfo/article/download/1651/1411)
31. Aparisi J. Los principios de la bioética y el surgimiento de una bioética intercultural. *Veritas* [revista en Internet] 2010 [acceso 20 de agosto de 2020]; 22: 121-157. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-92732010000100006](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-92732010000100006)
32. Arias S, Peñaranda F. La investigación éticamente reflexionada. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* [revista en Internet] 2015 [acceso 20 de agosto de 2020]; 33(3): 444-451. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-386X2015000300015](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2015000300015)

33. Mendoza A. La relación médico paciente: consideraciones bioéticas. Rev Peru Ginecol Obstet [revista en Internet] 2017 [acceso 20 de agosto de 2020]; 63(4): 555- 564. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rgo/v63n4/a07v63n4.pdf>
34. 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 Pregrado). Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
35. Tello Atiencia, M. de los Á. (2015). Evaluación del riesgo toxicológico de Plomo y Cadmio en suelos del entorno del parque industrial de la ciudad de Cuenca (Tesis para obtener el grado de maestría en toxicología industrial y ambiental). Universidad Estatal de Cuenca, Cuenca.
36. Satarug S, Haswell-Elkins MR, Moore MR. Safe levels of cadmium intake to prevent renal toxicity in human subjects. Br J Nutr 2000; 84(6):791–802.
37. Satarug S, Baker JR, Urbenjapol S, Haswell-Elkins M, Reilly PE, Williams DJ, Moore MR. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. Toxicol Lett 2003; 137(1-2):65–83.
38. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1989. Toxicological profile for cadmium. ATSDR/U.S. Public Health Service, ATSDR/TP-88/08.
39. Nordberg, G. Excursions of intake above ADI: case study on cadmium. Regul. Toxicol. Pharmacol. 30, S57–S62 (1999).

## **ANEXOS**

## ANEXO A. Operacionalización de la variable o variables

| OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE  |  |   |              |                    |         |  |                                |
|--|--|---|--------------|--------------------|---------|--|--------------------------------|
| VARIABLE   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DEFINICIÓN OPERACIONAL  | NATURALEZA   | ESCALA DE MEDICIÓN | MEDIDA  | VALOR FINAL  | CRITERIOS PARA ASIGNAR VALORES |
| Niveles de metal pesado Cadmio en la Av. Abancay, Lima en el período Febrero-2021. | Son los niveles de metal pesado que se acumulan en los suelos como consecuencia del alto índice de urbanización y el aumento del tráfico vehicular, llegando a convertirse en un factor de deterioro de la ambiental y causante de distintos efectos nocivos en la salud humana. | Es una serie de procesos analíticos enfocados en determinar el nivel de contaminación por metales en suelos. El método analítico elegido para el análisis de cadmio en suelo fue la Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito en el Laboratorio Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental – (CICOTOX) -UNMSM. | Cuantitativa | Razón              | Directa | Concentración de metal mayor o menor que la especificada por el Ministerio del Ambiente en su Guía para el Muestreo de Suelos, elaborada en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM basada en normas internacionales EPA y ATSDR, cuyo límite máximo nacional de cadmio es de 10 mg/kg PS para suelos residenciales. | - mg/Kg.                       |

## ANEXO B. Instrumento de recolección de datos.



### REGISTRO DE CAMPO

**Autora:**

- Duran Sumarriva, María Stefany

**Fecha:** 14-02-21

**Distrito:** Cercado de Lima, Provincia de Lima, Perú.

| PTO. DE MUESTREO | CODIGO | DESCRIPCIÓN DE ORIGEN/UBICACIÓN              | COORDENADAS  |              | HORA      |           |
|------------------|--------|--|--------------|--------------|-----------|-----------|
|                  |        |  | ESTE/OESTE   | NORTE/SUR    | INICIO    | FINAL     |
| 1                | 1R     | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas | 77°01'30.6"W | 12°02'41.5"S | 8:54 Hrs. | 8:56 Hrs. |
| 2                | 1S     | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Amazonas       | 77°01'30.1"W | 12°02'41.6"S | 8:57 Hrs. | 9:00 Hrs. |
| 3                | 2R     | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Ancash   | 77°01'33.9"W | 12°02'47.8"S | 9:01 Hrs. | 9:03 Hrs. |
| 4                | 2S     | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Ancash         | 77°01'33.7"W | 12°02'48.0"S | 9:04 Hrs. | 9:06 Hrs. |
| 5                | 3R     | Sed. en cruce de Av. Abancay c/ Jr. Junín    | 77°01'35.9"W | 12°02'51.9"S | 9:05 Hrs. | 9:07 Hrs. |
| 6                | 3S     | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Junín          | 77°01'35.7"W | 12°02'52.0"S | 9:08 Hrs. | 9:09 Hrs. |
| 7                | 4R     | Sed. de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga          | 77°01'37.8"W | 12°02'55.6"S | 9:10 Hrs. | 9:11 Hrs. |
| 8                | 4S     | Calzada de Av. Abancay c/ Jr. Huallaga       | 77°01'37.7"W | 12°02'55.9"S | 9:12 Hrs. | 9:13 Hrs. |

|           |     |  |              |              |                       |                       |
|-----------|-----|--|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>9</b>  | 5R  | Sed. de Av. Abancay c/<br>Jr. Ucayali                  | 77°01'39.8"W | 12°02'59.3"S | <b>9:18 Hrs.</b>      | <b>9:20 Hrs.</b>      |
| <b>10</b> | 5S  | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Jr. Ucayali               | 77°01'39.6"W | 12°02'59.5"S | <b>9:22 Hrs.</b>      | <b>9:24 Hrs.</b>      |
| <b>11</b> | 6R  | Sed. de Av. Abancay c/<br>Jr. Sta. Rosa                | 77°01'41.9"W | 12°03'02.9"S | <b>9:28 Hrs.</b>      | <b>9:29 Hrs.</b>      |
| <b>12</b> | 6S  | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Jr. Sta.<br>Rosa          | 77°01'41.7"W | 12°03'03.1"S | <b>9:30 Hrs.</b>      | <b>9:32 Hrs.</b>      |
| <b>13</b> | 7R  | Sed. de Av. Abancay c/<br>Jr. Cuzco                    | 77°01'43.7"W | 12°03'06.3"S | <b>9:33 Hrs.</b>      | <b>9:34 Hrs.</b>      |
| <b>14</b> | 7S  | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Jr. Cuzco                 | 77°01'43.5"W | 12°03'06.5"S | <b>9:35 Hrs.</b>      | <b>9:37 Hrs.</b>      |
| <b>15</b> | 8R  | Sed. de Av. Abancay c/<br>Jr. Puno                     | 77°01'45.8"W | 12°03'10.3"S | <b>9:40 Hrs.</b>      | <b>9:42 Hrs.</b>      |
| <b>16</b> | 8S  | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Jr. Puno                  | 77°01'45.5"W | 12°03'10.6"S | <b>9:43 Hrs.</b>      | <b>9:45 Hrs.</b>      |
| <b>17</b> | 9R  | Sed. de Av. Abancay c/<br>Av. Nicolás de Piérola       | 77°01'49.0"W | 12°03'16.4"S | <b>9:48 Hrs.</b>      | <b>9:50 Hrs.</b>      |
| <b>18</b> | 9S  | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Av. Nicolás<br>de Piérola | 77°01'48.7"W | 12°03'16.7"S | <b>9:52 Hrs.</b>      | <b>9:54 Hrs.</b>      |
| <b>19</b> | 13R | Sed. de Av. Abancay c/<br>Jr. Inambari                 | 77°01'49.5"W | 12°03'18.6"S | <b>10:30<br/>Hrs.</b> | <b>10:33<br/>Hrs.</b> |
| <b>20</b> | 13S | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Jr.<br>Inambari           | 77°01'50.1"W | 12°03'18.1"S | <b>10:35<br/>Hrs.</b> | <b>10:37<br/>Hrs.</b> |
| <b>21</b> | 10R | Sed. de Av. Abancay c/<br>Jr. Leticia                  | 77°01'48.6"W | 12°03'24.0"S | <b>10:00<br/>Hrs.</b> | <b>10:03<br/>Hrs.</b> |
| <b>22</b> | 10S | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Jr. Leticia               | 77°01'48.4"W | 12°03'24.1"S | <b>10:05<br/>Hrs.</b> | <b>10:08<br/>Hrs.</b> |
| <b>23</b> | 11R | Sed. de Av. Abancay c/<br>Jr. Montevideo               | 77°01'48.0"W | 12°03'28.1"S | <b>10:12<br/>Hrs.</b> | <b>10:13<br/>Hrs.</b> |
| <b>24</b> | 11S | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Jr.<br>Montevideo         | 77°01'47.8"W | 12°03'28.2"S | <b>10:14<br/>Hrs.</b> | <b>10:16<br/>Hrs.</b> |
| <b>25</b> | 12R | Sed. de Av. Abancay c/<br>Av. Grau                     | 77°01'47.6"W | 12°03'32.0"S | <b>10:19<br/>Hrs.</b> | <b>10:20<br/>Hrs.</b> |
| <b>26</b> | 12S | Calzada de Av.<br>Abancay c/ Av. Grau                  | 77°01'48.0"W | 12°03'31.9"S | <b>10:21<br/>Hrs.</b> | <b>10:24<br/>Hrs.</b> |

**ANEXO C. Procedimiento de análisis de Cadmio por Espectrometría de**

➤ **Fundamento**

Se basó en la medición mediante Espectrofotómetro de Absorción Atómica de la absorción lumínica a una longitud de 228,8 nm que es proporcional a la concentración de átomos de cadmio presentes en la muestra que fue sometida previamente a digestión total por ácidos oxidantes.

➤ **Procedimiento**

Reactivos y Estándares

- Todos los reactivos utilizados especificaron "Para análisis" y el agua debió ser ultrapura.
- Solución patrón de cadmio de 1000 mg/L.
- Ácido nítrico concentrado (purificado).
- Peróxido de hidrógeno 30% p.a.
- Gas Argón UHP.

➤ **Equipos y Materiales**

- Equipo Absorción atómica Thermo Scientific Marca y modelo THERMO SCIENTIFIC ICE 3500 equipado con Horno de Grafito.
- Plancha de calentamiento.
- Balanza analítica.
- Centrifugadora 3000 RPM.
- Fiolas de 10, 100, 200 mL.
- Beakers.
- Lunas de reloj.
- Mortero
- Pilon

➤ **Preparación de Soluciones**

- Solución de ácido nítrico (1:1) v/v  
Se agregó 100 mL de ácido nítrico concentrado en una fiola de 200 mL, completar con agua ultrapura y homogenizar. Repetir este paso hasta

obtener una cantidad de 400 mL en total.

## ➤ Procedimiento Operatorio

### □ **Preparación de Curva de Calibración**

Los estándares para la curva de calibración se prepararon como sigue a continuación:

Se transfiere 1 mL de la solución stock de 1000 ppm a una fiola de 100 mL y se lleva a volumen con agua ultrapura. De la solución anterior se transfiere 1 mL a una fiola de 100 mL y se lleva a volumen con agua ultrapura. Luego, de la última solución se toman alícuotas de 0.2 mL, 0.5 mL, 1 mL y 2 mL y se transfiere a fiolas de 10 mL. Adicionar 5 mL de ácido nítrico concentrado en cada fiola y enrasar con agua ultrapura.

### □ **Preparación de Solución Blanco**

Transferir 5 mL de ácido nítrico concentrado en una fiola de 10 mL y enrasar con agua ultrapura.

### □ **Preparación de la Muestra**

Pre tratamiento de la muestra

Colocar las muestras de tierra en un mortero, triturar con un pilón hasta obtener homogeneidad.

### □ **Digestión de la muestra**

Pesar 1g de muestra en la balanza analítica y transferir a un beaker.

- Agregar 10 mL de ácido nítrico: agua ultrapura (1:1), mezclar y cubrir con una luna de reloj. Calentar en plancha de calentamiento a 95°C durante 15 minutos sin ebullición. Luego enfriar a temperatura ambiente.

- Agregar 5 mL de ácido nítrico concentrado. Calentar luego sobre la plancha de calentamiento 95°C sin ebullición (Se repite este paso 2 veces más, hasta la desaparición de humos marrones). Luego, evaporar hasta obtener 5 mL aproximadamente y enfriar a temperatura ambiente.

- Adicionar 2 mL de agua ultrapura y 3 mL de peróxido de hidrógeno 30%. Cubrir con luna y calentar suavemente hasta que la reacción de peróxido

de hidrógeno haya cesado (Efervescencia disminuya). Luego enfriar a temperatura ambiente.

- Continuar adicionando peróxido de hidrógeno 30% en alícuotas de 1 mL (hasta 3 mL como máximo) a fin de completar la reacción. Cubrir la muestra con una luna de reloj y calentar (95° C) para evaporar la mezcla ácido-peróxido hasta obtener 5 mL aproximadamente. Luego enfriar a temperatura ambiente.
- Transferir a una fiola de 100 mL cuidando de no perder la muestra; posteriormente enrasar a volumen con agua ultrapura.
- Transferir a tubo y centrifugar a 3000 RPM por 10 minutos y trabajar con el sobrenadante.

#### □ **Lectura**

Se toma una alícuota de 1 mL de los estándares, solución blanco y sobrenadante de las muestras previamente digestadas en viales de lectura por horno. Se colocan los viales en el automuestreador del horno de grafito. Se leyó bajo las condiciones espectrofotométricas que se detallan a continuación:

#### **Condiciones espectrofotométricas**

- Longitud de onda: 228,8nm
- Ranura: 0,5nm
- Corrección de fondo: Lámpara de deuterio (D2)
- Corriente de lámpara: 8mA
- Tubo de grafito: Normal
- Fuente de luz: Lámpara de cátodo hueco de Cadmio
- Medida de señal: Área del pico

#### □ Rampa de calentamiento del horno de grafito

| Fase | Temperatura (°C) | Tiempo (sg) | Rampa (°C/sg) | Gas flujo |
|------|------------------|-------------|---------------|-----------|
| 1    | 125              | 30.0        | 10            | 0.2L/min  |

|   |      |      |     |          |
|---|------|------|-----|----------|
| 2 | 500  | 30.0 | 150 | 0.2L/min |
| 3 | 1900 | 3.0  | 0   | Apagado  |
| 4 | 2500 | 3.0  | 0   | 0.2L/min |

UNMSM



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
 Universidad del Perú. Decana de América  
**Facultad de Farmacia y Bioquímica**



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
**CICOTOX**

|    |       |   |       |
|----|-------|---|-------|
| Nº | 92998 | - | 93006 |
|----|-------|---|-------|

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

**SOLICITANTE:** MARIA STEFANY DURAN SUMARRIVA  
**TESIS:** NIVELES DE CADMIO EN SEDIMENTOS VIALES Y CALZADA EN LA AV ABANCAY, LIMA, 2021  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 18 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 08:00 a.m.  
**FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:** 26 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 08:30 a.m.  
**FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS:** 12 DE MARZO DE 2021 HORA: 06:00 p.m.

**MÉTODO:** Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.  
**OBSERVACIONES:** La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

| Nº ANÁLISIS | MUESTRA | ANÁLISIS CUANTITATIVO    | RESULTADO   |
|-------------|---------|--------------------------|-------------|
| 92998       | 1R      | Cuantificación de Cadmio | 5.125 mg/Kg |
| 92999       | 2R      | Cuantificación de Cadmio | 4.677 mg/Kg |
| 93000       | 3R      | Cuantificación de Cadmio | 4.673 mg/Kg |
| 93001       | 4R      | Cuantificación de Cadmio | 4.060 mg/Kg |
| 93002       | 5R      | Cuantificación de Cadmio | 3.899 mg/Kg |
| 93003       | 6R      | Cuantificación de Cadmio | 3.860 mg/Kg |
| 93004       | 7R      | Cuantificación de Cadmio | 3.625 mg/Kg |
| 93005       | 8R      | Cuantificación de Cadmio | 3.457 mg/Kg |
| 93006       | 9R      | Cuantificación de Cadmio | 4.104 mg/Kg |

Director de CICOTOX  
**Dr. José A. Apestequia Infantes**  
 Esp. Toxicología & Química Legal  
 C.Q.F.P Nº 06538  
 RNE 240  
 D.N.I Nº 09359857



Lima, 17 de marzo de 2021

**DR. AMERICO A. FIGUEROA VARGAS**  
 C.Q.F.P. 14579

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno Nº 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú  
 Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 - Lima 1  
 E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>



Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad del Perú. Decana de América  
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
CICOTOX

N° 93007 - 93015

PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: MARIA STEFANY DURAN SUMARRIVA  
TESIS: NIVELES DE CADMIO EN SEDIMENTOS VIALES Y CALZADA EN LA AV. ABANCAY, LIMA, 2021  
FECHA DE RECEPCIÓN: 18 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 08:00 a.m.  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 26 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 08:30 a.m.  
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 12 DE MARZO DE 2021 HORA: 06:00 p.m.

MÉTODO: Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito

OBSERVACIONES: La La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

| N° ANÁLISIS | MUESTRA | ANÁLISIS CUANTITATIVO    | RESULTADO   |
|-------------|---------|--------------------------|-------------|
| 93007       | 10R     | Cuantificación de Cadmio | 3.882 mg/Kg |
| 93008       | 11R     | Cuantificación de Cadmio | 3.107 mg/Kg |
| 93009       | 12R     | Cuantificación de Cadmio | 4.464 mg/Kg |
| 93010       | 13R     | Cuantificación de Cadmio | 2.795 mg/Kg |
| 93011       | 1S      | Cuantificación de Cadmio | 3.819 mg/Kg |
| 93012       | 2S      | Cuantificación de Cadmio | 4.174 mg/Kg |
| 93013       | 3S      | Cuantificación de Cadmio | 5.449 mg/Kg |
| 93014       | 4S      | Cuantificación de Cadmio | 2.699 mg/Kg |
| 93015       | 5S      | Cuantificación de Cadmio | 4.037 mg/Kg |

  
Director de CICOTOX  
Dr. José A. Apesteeguía Infantes  
Esp. Toxicología & Química Legal  
C.Q.F.P. N° 06538  
RNE 240  
D.N.I. N° 09359857



Lima, 17 de marzo de 2021

  
Q.F. AMÉRICO A. FIGUEROA VARGAS  
C.Q.F.P. 19579

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú  
Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 - Lima 1  
E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
 Universidad del Perú. Decana de América  
**Facultad de Farmacia y Bioquímica**



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
**CICOTOX**

|    |       |   |       |
|----|-------|---|-------|
| N° | 93016 | - | 93023 |
|----|-------|---|-------|

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

**SOLICITANTE:** MARIA STEFANY DURAN SUMARRIVA  
**TESIS:** NIVELES DE CADMIO EN SEDIMENTOS VIALES Y CALZADA EN LA AV. ABANCA Y, LIMA, 2021  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 18 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 08:00 a.m.  
**FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:** 26 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 08:30 a.m.  
**FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS:** 12 DE MARZO DE 2021 HORA: 06:00 p.m.

**MÉTODO:** Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.  
**OBSERVACIONES:** La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

| N° ANÁLISIS | MUESTRA | ANÁLISIS CUANTITATIVO    | RESULTADO   |
|-------------|---------|--------------------------|-------------|
| 93016       | 6S      | Cuantificación de Cadmio | 5.317 mg/Kg |
| 93017       | 7S      | Cuantificación de Cadmio | 3.502 mg/Kg |
| 93018       | 8S      | Cuantificación de Cadmio | 4.779 mg/Kg |
| 93019       | 9S      | Cuantificación de Cadmio | 3.448 mg/Kg |
| 93020       | 10S     | Cuantificación de Cadmio | 2.037 mg/Kg |
| 93021       | 11S     | Cuantificación de Cadmio | 1.266 mg/Kg |
| 93022       | 12S     | Cuantificación de Cadmio | 2.136 mg/Kg |
| 93023       | 13S     | Cuantificación de Cadmio | 4.916 mg/Kg |

Director de CICOTOX  
**Dr. José A. Apesteguiá Infantes**  
 Esp. Toxicología & Química Legal  
 C.Q.F.P N° 06538  
 RNE 240  
 D.N.I N° 09359857



G.E. AMÉRICA FIGUEROA VARGAS  
 C.Q.F.P. 18579

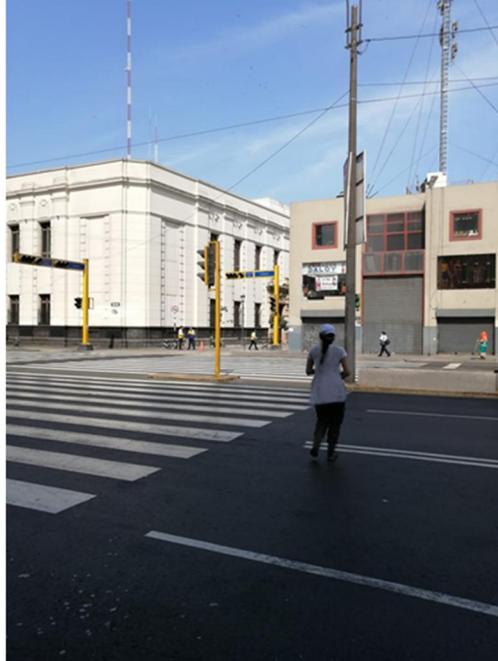
Lima, 17 de marzo de 2021

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico – Lima I – Perú  
 Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 – Lima I  
 E-mail: cicotox.farmacina@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>

## **ANEXO E. Registros Fotográficos**

### **Toma de muestra (Av. Abancay con Jr. Santa Rosa)**



**Investigadora llevando a cabo el proceso de rotular y ordenar las muestras en bolsas Ziploc para su envío al Laboratorio CICOTOX-**

**UNMSM**

