

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**NIVELES DE PLOMO EN EL SUELO DE AREAS DE RECREACIÓN
INFANTIL AFECTADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR Y RIESGOS EN
LA SALUD DE LOS NIÑOS DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA – 2019**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: NILTON IBÁN PERALES VALDIVIA

Asesora:

Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO

Cajamarca - Perú

2020

COPYRIGHT © 2020 by
NILTON IBÁN PERALES VALDIVIA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

**NIVELES DE PLOMO EN EL SUELO DE AREAS DE RECREACIÓN
INFANTIL AFECTADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR Y RIESGOS EN
LA SALUD DE LOS NIÑOS DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA – 2019**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: NILTON IBÁN PERALES VALDIVIA

JURADO EVALUADOR

Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Asesora

Dr. Valentín Víctor Paredes Oliva
Jurado Evaluador

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dr. Edín Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

Cajamarca - Perú

2020



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 16:00 horas del día 14 de agosto de Dos mil veinte, reunidos a través de meet.google.com/nnr-uuue-ywd, creado por la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. VALENTIN VICTOR PAREDES OLIVA**, **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**; **Dr. EDÍN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, y en calidad de Asesora la **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **NIVELES DE PLOMO EN EL SUELO DE AREAS DE RECREACIÓN INFANTIL AFECTADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR Y RIESGOS EN LA SALUD DE LOS NIÑOS DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA-2019.**, presentada por el **Bach. en Ciencias Ambientales NILTON IBÁN PERALES VALDIVIA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de DIECISIETE (17) - EXCELENTE la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ciencias Ambientales NILTON IBÁN PERALES VALDIVIA**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 17:35 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Asesor

.....
Dr. Valentin Victor Paredes Oliva
Jurado Evaluador

.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis a mis padres Elvida y Aladino, que a ellos les debo cuanto soy; a mis hermanos: Lenin, Manuel, José, Mary, Eduar y Emilsen, con quienes seguimos compartiendo para triunfar en la vida.

De una manera muy especial a mi esposa Yulisa y a mi amado hijo Liam, quienes me dan la fortaleza de continuar en la búsqueda de nuestros sueños.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Posgrado por haberme acogido como maestrante en Gestión Ambiental, así mismo a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante.

Agradezco de una forma muy especial a mi asesora de tesis la Dra. Consuelo Plasencia Alvarado por haberme dedicado su tiempo y su conocimiento científico durante el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, también agradezco al MSc. Manuel Roncal Rabanal por haberme ayudado con el tema de investigación.

Epígrafe

La salud es la riqueza real
y no piezas de oro y plata.

Mahatma Gandhi

CONTENIDO

| Ítem | Pág. |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS..... | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| LISTA DE ABREVIACIONES | xv |
| RESUMEN | xvi |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| 2.1. Antecedentes teóricos de la investigación..... | 3 |
| Antecedentes internacionales | 3 |
| Antecedentes nacionales | 4 |
| 2.2. Bases teóricas | 8 |
| 2.2.1. Suelo..... | 8 |
| 2.2.2. Plomo | 14 |
| 2.2.3. Producción de plomo en el Perú..... | 33 |
| 2.2.4. Área de recreación infantil | 33 |
| 2.2.5. Parque automotor | 34 |
| 2.2.6. Producción de la gasolina..... | 37 |
| 2.2.7. Evaluación de riesgos toxicológicos | 40 |
| 2.3. Marco legal..... | 46 |
| Normativa nacional | 46 |

| | |
|---|----|
| Normativa internacional..... | 49 |
| 2.4. Definición de términos básicos | 50 |
| CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS..... | 52 |
| 3.1. Ubicación del área de estudio | 52 |
| 3.2. Materiales..... | 57 |
| 3.3. Metodología | 58 |
| 3.3.1. Determinación de niveles de plomo en suelo..... | 58 |
| 3.3.2. Determinación del volumen de tránsito horario..... | 59 |
| 3.3.3. Evaluación de riesgos en la salud..... | 60 |
| 3.4. Diseño de investigación | 64 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 65 |
| 4.1. Determinación de niveles de plomo en suelo..... | 65 |
| Concentraciones máximas de plomo en áreas infantiles y estándares referenciales | 67 |
| 4.2. Determinación del volumen de tránsito horario..... | 68 |
| 4.2.1. Volumen de tránsito horario – Periodo de lluvias, marzo del 2019..... | 68 |
| 4.2.2. Volumen de tránsito horario – Periodo de estiaje, julio del 2019..... | 69 |
| 4.2.3. Volumen de tránsito horario según área de recreación infantil..... | 70 |
| 4.3. Evaluación de riesgos en la salud..... | 74 |
| 4.3.1. Determinación de la dosis de exposición | 74 |
| 4.3.2. Cálculo del índice de peligrosidad | 76 |
| 4.3.3. Cálculo del margen de exposición | 77 |
| 4.3.4. Cálculo del riesgo carcinógeno | 78 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES | 82 |
| CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 83 |
| ANEXOS | 90 |
| Anexo 1. Informes de ensayo de laboratorio | 91 |
| Anexo 2. Estándares de Calidad Ambiental para suelo | 95 |
| APÉNDICES | 100 |
| Apéndice 1. Galería fotográfica | 101 |
| Apéndice 2. Fichas de observación del volumen de tránsito horario | 107 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | | Pág. |
|------------------|--|-------------|
| Tabla 1. | Propiedades del plomo (Pb)..... | 15 |
| Tabla 2. | Especificaciones de la gasolina con plomo según D.S. 045-2001-EM | 48 |
| Tabla 3. | Guías de calidad de suelo para plomo de Canadá..... | 49 |
| Tabla 4. | Ubicación georreferenciada del área de recreación Amauta | 54 |
| Tabla 5. | Ubicación georreferenciada del área de recreación Ramón Castilla | 55 |
| Tabla 6. | Ubicación georreferenciada del área de recreación Santa Rosa de Lima..... | 56 |
| Tabla 7. | Número de muestras por área de recreación infantil | 59 |
| Tabla 8. | Valores referenciales de la tasa de ingestión | 61 |
| Tabla 9. | Concentraciones de plomo en áreas de recreación infantil..... | 65 |
| Tabla 10. | Medidas de tendencia central de las concentraciones de plomo..... | 66 |
| Tabla 11. | Datos para el cálculo de la dosis de exposición de plomo en niños expuestos a suelos de tres áreas de recreación infantil..... | 75 |
| Tabla 12. | Dosis de exposición de plomo en niños expuestos a suelos de tres áreas de recreación infantil | 75 |
| Tabla 13. | Datos para el cálculo del índice de peligrosidad en niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil..... | 76 |
| Tabla 14. | Índice de peligrosidad en niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil | 76 |
| Tabla 15. | Datos para el cálculo del margen de exposición a suelos con plomo en niños de tres áreas de recreación infantil..... | 77 |
| Tabla 16. | Margen de exposición a suelos con plomo en niños de tres áreas de recreación infantil | 78 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Tabla 17. | Datos para el cálculo del riesgo individual y riesgo poblacional carcinógeno en niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil. | 79 |
| Tabla 18. | Riesgo individual y riesgo poblacional carcinógeno de niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil..... | 79 |
| Tabla 19. | Datos para elaborar el diagrama de dispersión | 80 |
| Tabla 20. | Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Amauta – Periodo de lluvias | 108 |
| Tabla 21. | Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Ramón Castilla – Periodo de lluvias | 108 |
| Tabla 22. | Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Santa Rosa de Lima – Periodo de lluvias..... | 109 |
| Tabla 23. | Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Amauta – Periodo de estiaje..... | 110 |
| Tabla 24. | Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Ramón Castilla – Periodo de estiaje..... | 110 |
| Tabla 25. | Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Santa Rosa de Lima – Periodo de estiaje | 111 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | | Pág. |
|-------------------|--|-------------|
| Figura 1. | Toxicocinética del plomo en el organismo humano..... | 23 |
| Figura 2. | Modelo multicompartimental de distribución del plomo..... | 26 |
| Figura 3. | Venta de vehículos en los países de la región del año 2018 – 2019. | 35 |
| Figura 4. | Diagrama de proceso de refinación del petróleo..... | 38 |
| Figura 5. | Etapas de la evaluación de riesgo para la salud humana..... | 41 |
| Figura 6. | Mapa de ubicación de las áreas de estudio..... | 53 |
| Figura 7. | Mapa de localización del área de recreación Amauta..... | 54 |
| Figura 8. | Mapa de localización del área de recreación Ramón Castilla..... | 55 |
| Figura 9. | Mapa de localización del área de recreación Santa Rosa de Lima..... | 56 |
| Figura 10. | Concentraciones máximas de plomo en áreas infantiles y estándares referenciales..... | 67 |
| Figura 11. | Volumen de tránsito horario según área de recreación infantil – Periodo de lluvias..... | 68 |
| Figura 12. | Volumen de tránsito horario según área de recreación infantil – Periodo de estiaje..... | 69 |
| Figura 13. | Volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Amauta..... | 70 |
| Figura 14. | Volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Ramón Castilla..... | 71 |
| Figura 15. | Volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Santa Rosa de Lima..... | 73 |
| Figura 16. | Diagrama de dispersión de las variables de estudio..... | 81 |
| Figura 17. | Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Amauta - marzo del 2019..... | 102 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Figura 18. | Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Ramón Castilla - marzo del 2019..... | 102 |
| Figura 19. | Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima - marzo del 2019 | 103 |
| Figura 20. | Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Amauta - julio del 2019 | 103 |
| Figura 21. | Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Ramón Castilla - julio del 2019 | 104 |
| Figura 22. | Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima - julio del 2019 | 104 |
| Figura 23. | Codificación de muestras de suelo de áreas de recreación infantil | 105 |
| Figura 24. | Conteo de unidades vehiculares en el área de recreación infantil Amauta | 105 |
| Figura 25. | Conteo de unidades vehiculares en el área de recreación infantil Ramón Castilla..... | 106 |
| Figura 26. | Conteo de unidades vehiculares en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima..... | 106 |

LISTA DE ABREVIACIONES

| | |
|-------|---|
| ASTM | Asociación Americana de Ensayo de Materiales |
| ATSDR | Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades |
| CEPIS | Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente |
| ECA | Estándares de Calidad Ambiental |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental |
| ERSA | Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente |
| FDA | Agencia de Administración de Alimentos y Medicamentos |
| FPC | Factor Potencial de Cáncer |
| IARC | Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer |
| LOAEL | Nivel de Mínimo Efecto Tóxico Observable |
| MEM | Ministerio de Energía y Minas |
| MINAM | Ministerio del Ambiente |
| MTC | Ministerio de Transportes y Comunicaciones |
| NOAEL | Nivel sin Efecto Adverso Observable |
| NTP | Norma Técnica Peruana |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| OPS | Organización Panamericana de la Salud |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| RI | Riesgo Individual |
| RP | Riesgo Poblacional |
| SNMPE | Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía |

RESUMEN

El objetivo general fue determinar los niveles de plomo en el suelo de áreas de recreación infantil afectados por el parque automotor y riesgos en la salud de los niños de la ciudad de Cajamarca en el año 2019. Se seleccionaron tres áreas de recreación infantil: Amauta, Ramón Castilla y Santa Rosa de Lima, se tomaron 06 muestras compuestas de suelo durante el periodo de lluvias y de estiaje, se utilizó la Guía para el Muestreo de Suelos del año 2014 del Ministerio del Ambiente. Las muestras fueron analizadas con el método EPA 3050-B-1996. En resultados se encontró que, la máxima concentración de plomo estuvo en el área de recreación infantil Amauta con 47,46 mg kg⁻¹, seguidos por el área Ramón Castilla con 39,49 mg kg⁻¹ y el área Santa Rosa de Lima con 20,92 mg kg⁻¹. Estos niveles fueron bajos, comparados con el Estándar de Calidad Ambiental para suelo de parques que es 140 mg kg⁻¹ conforme el D.S. N° 011-2017-MINAM. Los volúmenes de tránsito horario encontrados fueron: durante el periodo de lluvias en Amauta 693 vehículos/hora, en Ramón Castilla 582 vehículos/hora y en Santa Rosa de Lima 863 vehículos/hora y durante el periodo de estiaje en Amauta 667 vehículos/hora, en Ramón Castilla 686 vehículos/hora y en Santa Rosa de Lima 855 vehículos/hora. Según la metodología del CEPIS/OPS, los suelos de las áreas de recreación estudiadas, no presentarían riesgos en la salud de los niños, debido a que el Índice de Peligrosidad y el Margen de Exposición indicaron condiciones seguras de exposición al plomo.

Palabras clave: Plomo, suelo, área de recreación infantil, parque automotor, salud.

ABSTRACT

The general objective was to determine the levels of lead in the soil of children's recreation areas affected by the car park and risks to the health of children in the city of Cajamarca in 2019. Three children's recreation areas were selected: Amauta, Ramón Castilla and Santa Rosa de Lima, 06 composite soil samples were taken during the rainy and dry season, the 2014 Soil Sampling Guide from the Ministry of the Environment was used. The samples were analyzed with the EPA method 3050-B-1996. In results, it was found that the maximum concentration of lead was in the Amauta children's recreation area with 47.46 mg kg^{-1} , followed by the Ramón Castilla area with 39.49 mg kg^{-1} and the Santa Rosa de Lima area with 20.92 mg kg^{-1} . These levels were low, compared to the Environmental Quality Standard for park soil, which is 140 mg kg^{-1} according to the S.D. N ° 011-2017-MINAM. The hourly traffic volumes found were: during the rainy season in Amauta 693 vehicles / hour, in Ramón Castilla 582 vehicles / hour and in Santa Rosa de Lima 863 vehicles / hour and during the dry season in Amauta 667 vehicles / hour, in Ramón Castilla 686 vehicles / hour and in Santa Rosa de Lima 855 vehicles / hour. According to the CEPIS / PAHO methodology, the soils of the recreation areas studied would not present risks to the health of children, because the Hazard Index and the Margin of Exposure indicated safe conditions for exposure to lead.

Key words: Lead, soil, children's recreation area, automotive park, health.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental que sobre el suelo está ejerciendo el hombre, ha originado que la contaminación del mismo por metales pesados como el plomo sea uno de los problemas medioambientales que está recibiendo una creciente atención en los últimos años. Esto es debido a los riesgos directos que los suelos contaminados pueden ejercer sobre la salud humana (Orozco, et al., 2011).

Por otro lado, la existencia de espacios públicos como plazas y áreas de recreación infantil produce un beneficio social a la población, mejora la imagen pública y el ambiente. Los niños se benefician principalmente con los espacios públicos por tener derecho al descanso, al juego y a las actividades recreativas (Lugol, 2013).

La ciudad de Cajamarca cuenta con un parque automotor en crecimiento que genera un impacto negativo en el ambiente, específicamente sobre el suelo de las áreas de recreación infantil, éstas se ven afectadas por la deposición de contaminantes como el plomo, que, al mismo tiempo, generan riesgos en la salud de la población más vulnerable como son los niños.

La hipótesis de la investigación planteada menciona que, a mayores niveles de plomo en el suelo de áreas de recreación infantil afectados por el parque automotor, mayores riesgos en la salud de los niños de la ciudad de Cajamarca.

La presente investigación fue llevada a cabo en tres áreas de recreación infantil como son: Amauta, Ramón Castilla y Santa Rosa de Lima de la ciudad de Cajamarca durante el periodo de lluvias, mes de marzo y el periodo de estiaje, mes de julio del año 2019, siguiendo el protocolo establecido en la Guía para el Muestreo de Suelos del año 2014

del Ministerio del Ambiente para determinar niveles de plomo en suelo, la técnica de la observación directa mediante la aplicación de una ficha de observación para determinar volumen de tránsito horario y la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organización Panamericana de la Salud (CEPIS/OPS) para la evaluación de riesgos en la salud. El diseño planeado para la investigación fue no experimental de nivel correlacional de sección longitudinal con enfoque cuantitativo. Asimismo, la información recabada fue procesada y analizada mediante la aplicación del software Microsoft Excel 2016.

La tesis consta de seis capítulos: el CAPÍTULO I contiene la introducción, el CAPÍTULO II describe el marco teórico que presenta antecedentes de la investigación, bases teóricas, marco legal y definición de términos básicos, el CAPÍTULO III describe la ubicación de las áreas de estudio, los materiales, la metodología y el diseño de la investigación. El CAPÍTULO IV, muestra los resultados y discusión para cada objetivo específico planteado, en el CAPÍTULO V, se presenta las conclusiones a las que se llegó. Por último, en el CAPÍTULO VI, se indica las referencias bibliográficas de la investigación.

Finalmente los objetivos específicos planteados en la investigación fueron: determinar los niveles de plomo en el suelo de áreas de recreación infantil afectados por el parque automotor de la ciudad de Cajamarca en el año 2019; analizar la concentración de plomo obtenido de las muestras de suelo, comparándolas con los Estándares de Calidad Ambiental para suelo; determinar el volumen de tránsito horario que afecta las áreas de recreación infantil de la ciudad de Cajamarca y evaluar el riesgo que tiene en la salud de los niños la presencia de plomo en el suelo de áreas de recreación infantil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

Antecedentes internacionales

El plomo proveniente del parque automotor, se encuentra presente sobre aceras urbanas, así lo demuestran Satian (2019) en su tesis titulada “**Determinación de plomo y cadmio en el hollín impregnado en aceras y bordillos de las estaciones de la metrovía**”, desarrollada en la ciudad de Guayaquil de Ecuador, que tuvo como objetivo determinar la presencia de plomo y cadmio en el hollín impregnado en las aceras y bordillos de las estaciones de la metrovía emitido por los vehículos de transporte público; para ello se dividió al área de estudio en tres sectores denominados como Ciudad, Zona Norte y Zona Centro. Se obtuvieron 12 muestras, las cuales se analizaron con el método de referencia EPA 6020 B/MM-AG/S-39. Como resultados de la investigación se obtuvieron un promedio de 1,69 y 157,75 mg/kg de cadmio y plomo respectivamente, en la Ciudad. El promedio de cadmio y plomo para la Zona Norte fue de 2,20 y 178 mg/kg, y para la Zona Centro fue de 1,18 y 137,50 mg/kg, respectivamente. Se concluyó que existieron altos índices de contaminación por metales pesados en la Zona Norte, basándose en los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente de Ecuador que establece valores de 0,5 mg/kg para cadmio y 19 mg/kg para plomo.

Trujillo (2014) en su tesis titulada **“Evaluación de tres zonas de la ciudad de Villavicencio a partir de las concentraciones de metales pesados presentes en el polvo vial”**, cuya finalidad fue evaluar la contaminación por presencia de metales pesados como Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, Fe y Cd, en el polvo acumulado en las vías de tres sectores de la ciudad de Villavicencio como Sector Anillo Vial, Sector Buque y Sector Porvenir de Colombia, a través de la aplicación de los indicadores de contaminación, factor de contaminación, potencial de riesgo ecológico, índice de riesgo e indicador de geo acumulación. La concentración de los metales pesados fue analizada con el método de digestión EPA 3050-B-1996, en 15 muestras compuestas de los tres sectores seleccionados de la ciudad, donde para cada uno se tomaron cinco muestras. Los resultados encontrados de la concentración de plomo fueron: Sector Anillo Vial, media de 87,5 mg/kg y rango de 26,4 mg/kg – 326,2 mg/kg; Sector Buque, media de 26 mg/kg y rango de 17,5 mg/kg – 31,7 mg/kg y Sector Porvenir, media de 1289,4 mg/kg y rango de 259,2 mg/kg – 4079,8 mg/kg. Los resultados variaron ampliamente entre los sectores de estudio, siendo el Sector Porvenir el más contaminado al presentar mayores concentraciones de plomo relacionado a las altas tasas de volumen de tráfico.

Antecedentes nacionales

En el Perú como en otros países el plomo aún formaría parte de la gasolina, el parque automotor libera el metal pesado a la atmósfera, así lo afirma Ilizarbe (2017) en su tesis **“Composición de los aerosoles atmosféricos y su relación con las fuentes contaminantes en las Estaciones de Calidad del Aire de San Juan de Lurigancho y Puente Piedra”** de Lima, quien persiguió el objetivo de evaluar la composición de los aerosoles atmosféricos para identificar las

principales fuentes contaminantes puntuales, móviles y de área; frente a ello se manejó los equipos Partisol 2000i para el muestreo de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ de manera continua durante 24 horas en el periodo del 19 de abril al 11 de mayo del 2017. El análisis químico de las muestras se realizó con la técnica de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), obteniéndose 25 elementos metálicos analizados para cada muestra de PM_{10} y $PM_{2.5}$, para cada distrito. Como resultado, entre las principales fuentes que contribuyeron a la contaminación del aire de ambos distritos estuvo el tráfico vehicular, siendo el plomo uno de los elementos químicos predominantes; el distrito de San Juan de Lurigancho registró 31,9% de la contaminación por PM_{10} con $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y 43,2% de la contaminación por $PM_{2.5}$ con $0,023 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el distrito de Puente Piedra registró 74,9% de la contaminación por PM_{10} con $0,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y 77,1% de la contaminación por $PM_{2.5}$ con $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El plomo que llega a la atmósfera pasa a depositarse en las hojas de las plantas y en el suelo superficial aledaño, debido a la alta densidad que presenta el metal y al fenómeno meteorológico de la lluvia, Así lo confirman Olaya & Vargas (2018) en su tesis **“Presencia de contaminantes metálicos en sedimentos depositados en las hojas de los árboles y salud de los trabajadores ambulantes de la avenida Manco Cápac en el distrito de La Victoria - Lima”**, tuvo como objetivo determinar si la presencia de contaminantes metálicos en sedimentos depositados en las hojas de los árboles influye en la salud de los trabajadores ambulantes de la Av. Manco Cápac del distrito de La Victoria. Se tomaron 10 muestras de sedimento y la aplicación de una encuesta a 40 trabajadores ambulantes. La determinación de las concentraciones de elementos metálicos en las muestras de sedimento se realizó mediante la técnica de espectrofotometría de

absorción atómica. Los resultados señalaron una concentración promedio de 357,44 mg/kg para plomo, superando el valor establecido como límite de la Organización Mundial de la Salud que es de 25 mg/kg para Suelos. La encuesta aplicada para evaluar la sintomatología respecto a la toxicidad de los metales en estudio indicó que los principales síntomas en ellos fueron dolores fuertes de cabeza en 100%, dolores de espalda en 100%, dolores musculares en 100%, e insomnio en 90%, sintomatología perteneciente a la toxicidad generada por metales pesados como el plomo.

Bellido (2018) en su tesis **“Niveles de plomo en los suelos de la Urbanización Primavera, distrito de El Agustino”** de Lima, planteó determinar los niveles de plomo en los suelos de la Urbanización Primavera del distrito de El Agustino. La metodología utilizada para la determinación de contaminantes sólidos sedimentables fue el método pasivo de placas receptoras, para la toma de muestras de suelo utilizó la metodología establecida en la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente y para determinar las concentraciones de plomo en el suelo y en contaminantes sólidos sedimentables el método empleado fue el de espectrofotometría de absorción atómica en laboratorio. Se obtuvo que la concentración de plomo en los suelos de la Urbanización Primavera para la estación de Invierno fue un valor promedio de 104,2 mg/kg, superando en 14 puntos de muestreo el valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud de 25 mg/kg y en 5 puntos el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Suelos de 140 mg/kg, y para la estación de Primavera encontró un valor promedio de 84,07 mg/kg, superando en 13 puntos de muestreo el valor guía de la OMS y en un punto el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Suelos.

Se cree que los suelos de los parques recreacionales están impactados por plomo, en ese sentido Tello, Jave & Guerrero (2018) realizaron una investigación denominada **“Análisis de cuantificación de plomo en suelos de parques recreacionales de la ciudad de Lima – Perú”**, para cuantificar el contenido total de plomo en los suelos de los grandes parques de Lima Metropolitana. Los parques recreacionales estudiados fueron Campo de Marte, Bosque El Olivar, Pentagonito, Kennedy, Las Leyendas y Huachipa, donde se realizaron muestreos de identificación siguiendo las pautas establecidas en la Guía para Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente del año 2014. Emplearon el método de espectrofotometría de absorción atómica. Según los resultados promedio obtenidos, los parques recreacionales que superaron el nivel de plomo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental de Suelos que es 140 ppm fueron: Bosque El Olivar con 170 ppm, Campo de Marte con 226 ppm y Pentagonito con 159 ppm.

Las personas expuestas a la gasolina absorben el plomo, así lo confirma Alarcón (2018) en su tesis **“Contaminación con plomo en los expendedores de gasolina del distrito de Ayacucho, 2017”**, específicamente buscó determinar la contaminación con plomo de las manos de los expendedores de gasolina en las distintas estaciones de servicios. Para recolectar la muestra se realizó el hisopado de manos con solución de ácido nítrico al 5% para poder capturar el analito de plomo, y para determinar la concentración se utilizó la técnica de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito. También se realizaron pruebas de penetración dérmica en un grupo de 04 colaboradores como prueba inducida. Los resultados obtenidos en los expendedores de gasolina que laboran más de 6 horas al día reportó niveles de concentración de plomo en sus manos de 2,88 a 5,02 ppm. Mientras que, para las pruebas inducidas en el grupo de colaboradores

realizado en dos tiempos, utilizando la adición de 1 mL de gasolina de 84, 90, 95 y 97 octanos en ambas manos, se reportaron en el tiempo inicial niveles de plomo que fluctuaron entre 6,64 ppm a 10,81 ppm y después de una hora de aplicación los niveles descendieron entre 3,39 y 9,20 ppm, resultados que evidenció la existencia y penetración dérmica de plomo en los expendedores de gasolina.

Existe una relación entre los niveles de plomo en la sangre y la contaminación por el parque automotor, así lo sostiene Tejada (2014) en su investigación **“Dosaje de plomo en sangre en relación a la contaminación por el parque automotor en Arequipa”**, cuyo objetivo fue establecer la relación entre el dosaje de plomo en sangre y la contaminación por el parque automotor en la ciudad de Arequipa entre diciembre del 2013 y enero del 2014. Se estudiaron a 17 sujetos del distrito de Miraflores, específicamente de la calle Puno y del distrito de Characato de Arequipa. Se extrajeron muestras de sangre venosa para el análisis de plomo. Se llegó a concluir que los niveles de plomo en sangre de los ciudadanos de la calle Puno del distrito de Miraflores estuvieron en un promedio de 4,23 ug/dl mientras que en los ciudadanos del distrito de Characato estuvieron en un promedio de 3,97 ug/dl, y que la relación entre el dosaje de plomo en sangre y la contaminación por el parque automotor del área de estudio es mínima.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelo

El suelo es un ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre). El suelo

forma un sistema abierto a la atmósfera y la corteza, que almacena de forma temporal los recursos necesarios para los seres vivos (Jordán, 2015, p. 1).

Composición y estructura del suelo

El suelo, junto con el aire y el agua, son los soportes sobre los que se asientan todos los fenómenos vitales que se desarrollan en nuestro planeta. La formación del suelo es el resultado de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos sobre el medio rocoso original. Es la parte más superficial de la litósfera y está constituido por una mezcla de partículas minerales, materia orgánica, aire y una disolución acuosa que rodea las partículas edáficas. La composición media del suelo, en porcentaje, es la siguiente: 50% de materia sólida, 20-30% de disolución acuosa y 20-30% de aire edáfico. La **disolución acuosa** del suelo actúa de intermediaria entre la litosfera y los organismos vivos, por lo que tiene una gran importancia para el equilibrio químico y biológico, debido a que contiene los solutos necesarios para el desarrollo de la vegetación existente en el mismo. Las principales causas por las que en la disolución acuosa del suelo se encuentran iones son: la lluvia, la descomposición de la materia orgánica, la meteorización mineral, y los procesos de intercambio iónico entre la disolución del suelo y las partículas coloidales. El tipo de iones presentes y su concentración depende, fundamentalmente, del tipo de suelo y de la época del año. Se encuentran mayoritariamente iones de Cloruro (Cl^-), Tetraazufre (S_4^{2-}) y Calcio (Ca^{2+}), en menor cantidad iones de Magnesio

(Mg^{2+}), Silicato triácido $H_3SiO_4^-$, Potasio (K^+), Sodio (Na^+) y Manganeso II (Mn^{2+}), y como minoritarios pueden estar presentes iones de Aluminio (Al^{3+}), Hierro III (Fe^{3+}), Zinc (Zn^{2+}), Cobre II (Cu^{2+}), Fosfato diácido ($H_2PO_4^-$); etc. La **fase sólida** del suelo representa aproximadamente la mitad de la composición total del suelo y está constituida en un 45% por una fracción inorgánica y en un 5% por una fracción orgánica. En la fracción inorgánica se encuentran partículas minerales de distintos tamaños y que, de mayor a menor, se denominan: gravas (>2 mm), arenas (0,05-2 mm), limos (0,002-0,05 mm) y arcillas (<0,002 mm). El tamaño de las partículas que forman un suelo determina la textura del mismo y aporta información sobre su porosidad o espacios huecos por unidad de volumen por los que puede circular el aire y el medio acuoso edáfico. (Orozco, et al., 2011, p. 631)

La fracción inorgánica del suelo está compuesta por minerales primarios y secundarios. Los primarios son los que se han formado a elevadas temperaturas y derivados de rocas ígneas y metamórficas como cuarzo, feldespatos, micas, etc. Los minerales secundarios son los que se forman por reacciones a bajas temperaturas y proceden de rocas sedimentarias o por meteorización de minerales primarios, como, por ejemplo, carbonatos, algunos óxidos, compuestos de azufre, etc. La fracción orgánica del suelo, aunque solo representa un porcentaje en peso muy pequeño de la composición global del mismo, es de vital importancia para determinar su fertilidad, porque es una fuente de alimentos para microorganismos, participa en

diversos procesos químicos edáficos y afecta a sus propiedades físicas. La fracción orgánica presente en el suelo procede mayoritariamente de residuos vegetales en fase de descomposición, y en menor proporción, de organismos vivos y de la materia orgánica resistente a la degradación biológica y química. (Orozco, et al., 2011, p. 632)

Tipos de suelo

Según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM correspondiente al Estándar de Calidad Ambiental para Suelo, los suelos se clasifican en:

- **Suelo agrícola.** “Es aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa” (MINAM, 2017, p. 3).
- **Suelo residencial/parques.** “Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento” (MINAM, 2017, p. 3).
- **Suelo comercial.** “Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios” (MINAM, 2017, p. 3).

- **Suelo industrial/extractivo.** “Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes” (MINAM, 2017, p. 3).

Suelo contaminado

“Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana” (MINAM, 2015, p. 79). La contaminación puede aparecer como resultado de actividades industriales, agrícolas o de servicios.

La contaminación de los suelos se suele dividir en dos tipos:

- **Contaminación endógena:** si se producen desequilibrios en los constituyentes del suelo, provocando variaciones de alguna/s especie/s a concentraciones nocivas para los seres vivos:
 - Movilización de metales a causa de procesos de acidificación.
 - Disminución del ion Manganeseo II (Mn^{2+}) por presencia de especies metálicas que catalizan su oxidación.
 - Aumento del porcentaje de Sodio (Na) en el suelo, produciendo una salinización del mismo que influye en los cultivos (Orozco, et al., 2011, p. 641).
- **Contaminación exógena:** “si es provocada por distintos tipos de vertidos o productos agrícolas en exceso (metales, hidrocarburos, pesticidas, fertilizantes, etc.), con componentes

ajenos a la composición inicial del suelo” (Orozco, et al., 2011, p. 642).

Contaminantes metálicos del suelo

Se refiere en especial al grupo de los metales pesados, que se encuentran en concentraciones entre 0,1 y 0,001 mg/litro en la disolución del suelo y se comportan como micronutrientes. Las principales fuentes de estos contaminantes son: vertidos industriales, actividades mineras, residuos, pesticidas, tráfico, etc. Los metales vertidos en mayor cantidad son: Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Vanadio (V), Molibdeno (Mo), mientras que entre los minoritarios hay que destacar: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Antimonio (Sb), que son altamente tóxicos. La concentración de los metales en los suelos se verá influenciada por los procesos de adsorción, intercambio iónico, pH y por las distintas reacciones en las que puedan intervenir. Las tres vías principales de retención de metales pesados son:

- Procesos de adsorción en la superficie de partículas minerales u orgánicas.
- Formación de complejos con las sustancias húmicas del suelo.
- Reacción de precipitación en forma de sales insolubles. (Orozco, et al., 2011, p. 642)

Cuando los contaminantes llegan al suelo, son adsorbidos por las partículas coloidales que existen en el mismo, o son arrastrados hacia las capas más profundas por efecto de la lluvia. Los

contaminantes solubles se infiltrarán en la capa superficial del suelo, donde tendrá lugar la adsorción. Los compuestos insolubles se acumularán en la superficie de moléculas orgánicas hidrófobas, enlazándose a través de la materia orgánica presente en el suelo. En algunas ocasiones, puede producirse un fenómeno denominado “biometalación”, que consiste en la movilización de metales pesados, al formarse un enlace entre un catión metálico (Mercurio, Plomo, Arsénico y Cromo) y el grupo metilo (como el metilmercurio, CH_3Hg^+), dando lugar a compuestos liposolubles y su incorporación a la cadena trófica. Se puede producir también contaminación por metales en los acuíferos por el fenómeno de percolación. (Orozco, et al., 2011, p. 642)

Calidad de suelos

Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénicas. (MINAM, 2014, p. 3)

2.2.2. Plomo

A. Generalidades

El plomo es un elemento de carácter metálico perteneciente al Grupo IVA de la Tabla Periódica. El plomo junto con el estaño y cobre son los primeros metales que el hombre utilizó. Actualmente

siguen teniendo importancia y son muchas sus aplicaciones industriales, a pesar de su marcada toxicidad (Caselles, et al., 2015, p. 454).

Según la OMS (2018) el plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso extendido a través de la industria por muchas partes del mundo ha generado una significativa contaminación ambiental, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública. Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje y, en algunos países, el uso persistente de pinturas y gasolinas con plomo.

Propiedades

Las principales propiedades del plomo se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del plomo (Pb)

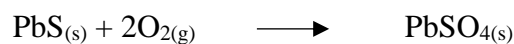
| | |
|---|---------------------------------|
| Configuración de los electrones de valencia | 6s ² 6p ² |
| Densidad (g/cm ³) | 11,4 |
| Punto de fusión (°C) | 327,5 |
| Punto de ebullición (°C) | 1740 |
| Radio atómico (pm) | 1,75 |
| Radio iónico (pm) | 1,20 |
| Primera y segunda energía de ionización (kJ/mol) | 716; 1451 |
| Electronegatividad | 1,9 |
| Potencia estándar de reducción (V) | - 0.13 |

Fuente: Chang, 1995.

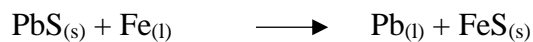
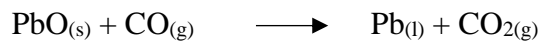
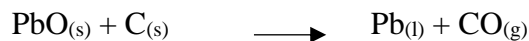
Metalurgia del plomo

Caselles et al. (2015) describen el proceso metalúrgico del plomo a través de las siguientes etapas:

- a. Concentración y enriquecimiento de la mena.** Se realiza a boca de mina mediante un proceso de flotación.
- b. Tostación de la galena.** La operación se realiza en un alto horno. Se produce principalmente la oxidación parcial del PbS al óxido y a SO₂. También simultáneamente y en menor proporción, se produce la oxidación del sulfuro a sulfato de plomo:



- c. Reducción a metal.** El material procedente del horno de tostación, se mezcla con carbón de coque, chatarra de hierro y fundentes y se somete a reducción en fase líquida, alta temperatura. Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



El sulfuro de hierro, junto con otras impurezas, se recogen en forma de escoria de la parte superior del plomo fundido, donde flota. Los metales nobles disueltos en el plomo (plata y oro), se recuperan por extracción con cinc fundido.

- d. Refinado.** El plomo bruto obtenido por el proceso anterior se purifica por electrolisis. (p. 455)

Química del plomo

Se presenta mediante las siguientes formas:

- **Plomo iónico 2⁺**

“Constituye su forma estable del metal, forma el sulfuro de plomo (PbS), $Pb^{2+}S^{2-}$, denominado mineral de plomo (“galena”), muy insoluble, del cual se extrae casi todo el metal” (Baird & Cann, 2014, p. 407).

- **Plomo iónico 4⁺**

En ambientes muy oxidantes, el plomo puede formar el ion 4+. Así pues, el dióxido de plomo (PbO₂), que escrito en forma iónica es $Pb^{4+}(O^{2-})_2$, existe igual que los óxidos mixtos Pb₂O₃ y Pb₃O₄, que no son más que combinaciones de PbO y PbO₂. El plomo elemental y el óxido de plomo PbO₂ empleados como electrodos en los acumuladores de casi todos los vehículos, constituyen la principal aplicación de este elemento. (Baird & Cann, 2014, p. 413)

- **Plomo orgánico tetravalente**

Mientras los compuestos del ion 2⁺ son iónicos, la mayoría de los compuestos de plomo tetravalente son moléculas covalentes. A este respecto, el plomo tetravalente es similar a la forma correspondiente a los otros elementos de su grupo de la

tabla periódica (Carbono, Silicio, Germanio, Estaño). Comercial y ambientalmente, los compuestos más importantes de plomo son los formados con el grupo metilo, CH_3 , y etilo, CH_2CH_3 , que son el tetrametilplomo, $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$, y tetraetilplomo, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$. Ambos compuestos tuvieron un amplio uso como aditivos en la gasolina. Cuando se utilizan estos aditivos en la gasolina, es necesario eliminar los átomos de plomo que se liberan por la combustión de los compuestos tetralquilo, a fin de que no formen depósitos metálicos y dañen el motor del vehículo. Para convertir los productos de combustión en formas volátiles que puedan evacuarse junto con los gases de escape, se añaden a la gasolina pequeñas cantidades de dibromuro y dicloruro de etileno. Como consecuencia de ello, el plomo se elimina del motor y entra en la atmósfera despedido por el tubo de escape como gas, en forma del dihaluro de plomo (PbBrCl), como dibromuro de plomo (PbBr_2) y dicloruro de plomo (PbCl_2). Después, bajo la influencia de la luz solar, estos compuestos forman monóxido de plomo (PbO). El monóxido de plomo existe en la atmósfera como partículas, formando aerosol y permaneciendo en ella durante horas o días, con lo que, por consiguiente, no todo el óxido se deposita en los alrededores inmediatos de la carretera; puede, por tanto, entrar en la cadena alimenticia en lugares más distantes del lugar de la emisión, si se deposita sobre vegetales o en campos utilizados como pasto para los animales. Además, una pequeña fracción de los

dihaluros de etileno se convierte en dioxinas y furanos y entran al medio ambiente bajo estas formas químicas. (Baird & Cann, 2014, p. 414)

Cinética ambiental del plomo

La mayor parte del plomo en el aire, se encuentra bajo la forma de partículas finas. Las formas químicas frecuentes emitidas por las diversas fuentes contaminantes son haluros, óxidos, sulfuros, sulfatos y carbonatos de plomo; no obstante, son los sulfatos, los compuestos predominantes en el aire. Estos compuestos son liberados a la atmósfera en forma de gases, vapores o partículas sólidas capaces de mantenerse en suspensión, llamados material particulado (PM_{2,5} y PM₁₀), en concentraciones superiores a las normales, las más perjudiciales son las de menor diámetro y por ende mayor capacidad tendrá por penetrar al árbol respiratorio, razón por la que se le atribuye su efecto más grave sobre la salud. En las capas superiores del suelo se encuentran estos compuestos, a excepción de los casos de su forma natural que están ubicados en las capas profundas de la corteza terrestre. Su baja movilidad en el suelo no permite el filtrado al subsuelo o capas subterráneas. La interacción del plomo con el suelo se hace mayor, si hay presencia de materia orgánica y coloides inorgánicos. Al aumentar el pH de los suelos disminuye la interacción con este y se hace más móvil. (Rodríguez, et al., 2016)

B. Tipos de exposición al plomo

Según Rodríguez et al. (2016) los tipos de exposición al plomo es variada y puede ser categorizada como exposición ocupacional, ambiental y doméstica.

- *Exposición ocupacional*

El plomo es considerado como un contaminante ocupacional y distribuido en todo el mundo. Se hace referencia a aquella que tiene lugar en los sitios de trabajo en los que se desarrollan procesos de producción o manejo con plomo como la metalurgia, fundición y refinado, la minería extractiva, la plomería, actividades de soldadura, construcción civil, industria cerámica y fabricación de pinturas, manufactura de caucho y vidrio, reparación de buques, procesos de cortado del metal, manufactura de plásticos, fabricación y reciclados de baterías y como antidetonante para aumentar el octanaje de la gasolina. De aquí que la exposición ocupacional sea un gran problema, donde deban existir regulaciones concretas que garanticen ambientes laborales, libres de exposición a este metal tóxico; de ahí que se han hallado niveles de plomo en sangre, superiores a los admisibles en trabajadores, lo que indica que las medidas de control son insuficientes.

- *Exposición ambiental*

En el suelo es posible encontrar plomo de manera natural, por lo general, áreas cultivables y regiones cercanas a fuente de contaminación industrial tienen niveles del metal más elevados que terrenos baldíos. Los terrenos que se utilizan para pastoreo y

cultivos deben tener especial cuidado con las concentraciones de plomo presentes, ya que éste podría ingresar en el organismo de plantas y animales de uso alimentario, lo cual dicho metal conduce a su acumulación y distribución en diferentes ecosistemas.

Se puede encontrar plomo en el agua de ríos, lagos y océanos. En el agua de mar, por ejemplo, se han encontrado concentraciones de plomo entre 0,003 y 0,20 mg/L, por lo que los peces y otros organismos que habitan en ellas incorporan el metal disponible y lo introducen en la cadena trófica. Algunos estudios al respecto han encontrado una relación cercana entre las concentraciones de plomo en agua de río y las concentraciones de plomo en tejidos blandos de moluscos y peces.

En la atmósfera el plomo está relacionado con las fuentes de emisión, bien sea natural o facilitada por actividades antropogénicas en áreas urbanas con: el transporte por carretera, la producción de energía, la combustión de residuos, la producción de revestimientos de cables, pinturas, barnices, esmaltes, vidrio y cristales, las fundiciones de hierro y acero, así como la producción tecnológica de cemento y fertilizantes. Por esta razón las áreas rurales tienden a presentar menores concentraciones del metal en el ambiente, que en aquellas consideradas zonas industriales. Por lo general, las sales inorgánicas de plomo son poco solubles en agua, dependiendo su solubilidad del tamaño de las partículas, del pH y de la presencia de otros componentes químicos.

- ***Exposición doméstica***

Se atribuyen como fuentes de contaminación doméstica la pintura de paredes con compuestos de plomo, la pintura de juguetes, el uso de vasijas y utensilios de cocina de cerámica vidriada, hasta el agua para consumo humano, los alimentos e inclusive la leche materna.

C. Toxicocinética del plomo

Vías de absorción

El plomo puede absorberse al organismo por tres vías:

- Respiratoria
- Digestiva
- Dérmica o cutánea (Fig. 1) (Valdivia, 2015).

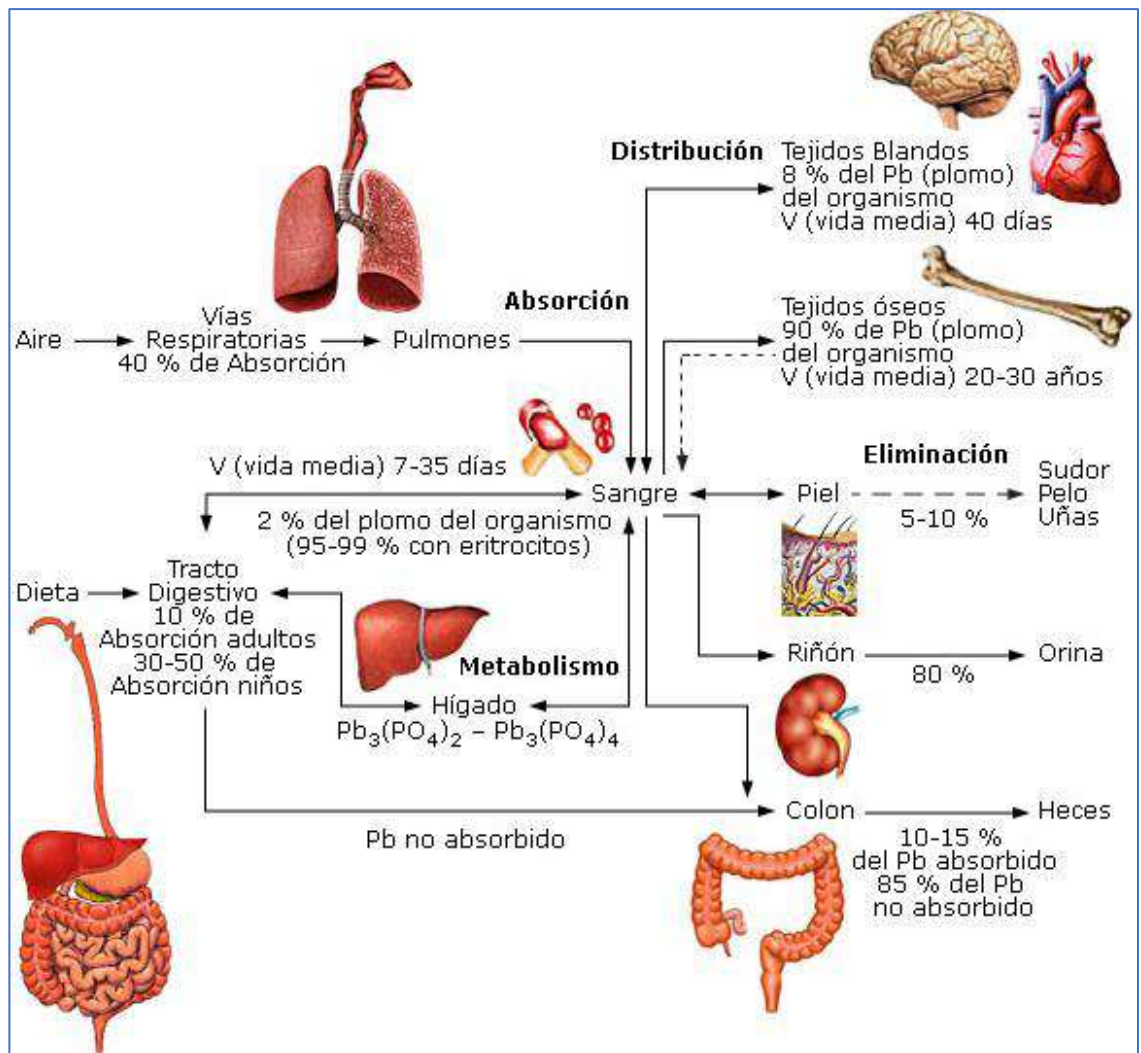


Figura 1. Toxicocinética del plomo en el organismo humano

Fuente: Valdivia, 2015.

Según Ramírez (2005) el plomo inorgánico solo puede acceder por las dos primeras y no puede ser metabolizado por el organismo, mientras que el plomo orgánico puede penetrar por cualquiera. Por la piel la entrada del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico por medio de los folículos pilosos, glándulas sebáceas y sudoríparas pasa directo al torrente sanguíneo. El plomo que se absorbe por vía respiratoria es cercano al 40% depositado en los pulmones, se encuentra en sangre circulándose alrededor de 50 h, pasándose un porcentaje a tejidos, o es eliminado (Fig. 1), aunque

cierta cantidad de absorción puede llevarse a cabo en las vías aéreas superiores, la porción más relevante tiene lugar en las vías respiratorias inferiores, a nivel de alvéolo, a través de la circulación pulmonar. El nivel de permeabilidad de esta vía depende de la concentración ambiental, del tiempo de exposición, de la forma física de la porción de polvo o tamaño de la partícula respirable, es por lo general inferior a 5 μm , y de factores personales como la edad, la frecuencia y volumen respiratorio.

En cuanto a la vía digestiva se refiere, cuando las partículas de polvo de plomo son ingeridas directamente a través de las manos, alimentos y bebidas que proviene de la contaminación ambiental, el plomo se fija en la saliva y se traga, seguido por el tracto digestivo y se debe al ingreso por la comida, bebidas o la tierra; es estimado que los niños de 2 a 3 años ingieren alrededor de 100 mg de tierra por día (Fig. 1). Esta vía depende del estado físico y químico del metal, el tránsito gastrointestinal, la edad, estado fisiológico, estado nutricional, deficiencias de los niveles de calcio, hierro, fósforo o zinc, si existe niveles altos de grasa en la dieta, la absorción puede ser mayor, ingesta inadecuada de calorías, presencia de estómago vacío o ayuno prolongado y factores genéticos del individuo (PNUMA, 2015).

Distribución y almacenamiento del plomo en el organismo

Según el PNUMA (2015) estudios científicos realizados sugieren que un modelo de tres compartimientos permite explicar la

distribución del plomo en el organismo, Fig. 2. Tras la inhalación o ingestión del metal absorbido pasa al torrente sanguíneo, es transportado por los glóbulos rojos unidos a las proteínas del plasma en un 95 %, luego es distribuido por la sangre hacia los huesos y tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central; la vida media del metal pesado en la sangre es de 35 días, en los tejidos blandos de 40 días y en los huesos llega a 27 años, es por ello que está presente en mayor porcentaje en los huesos. Esta ruta de distribución del plomo parece ser similar en niños y adultos; aunque en los adultos el mayor almacenamiento es en los huesos.

El plomo interfiere con el metabolismo del calcio y de la vitamina D, además compite con el calcio y el hierro, originando hipocalcemia y anemia, son los niños los más vulnerables; los niños absorben hasta un 50 % del plomo que penetra en su cuerpo, en comparación con el nivel de absorción de plomo en los adultos, que oscila entre el 10 % y el 15 %, es decir los niños absorben dosis tres veces superiores a la de los adultos. Cuando el plomo entra en el organismo, las enzimas que metabolizan los aminoácidos azufrados lo transforman en sulfuro de plomo. En exposición crónica, el plomo se deposita en forma de fosfato de plomo insoluble en los huesos de rápido crecimiento (huesos largos), lo cual puede ser observado en las radiografías, conocido como las líneas de plomo (PNUMA, 2015).

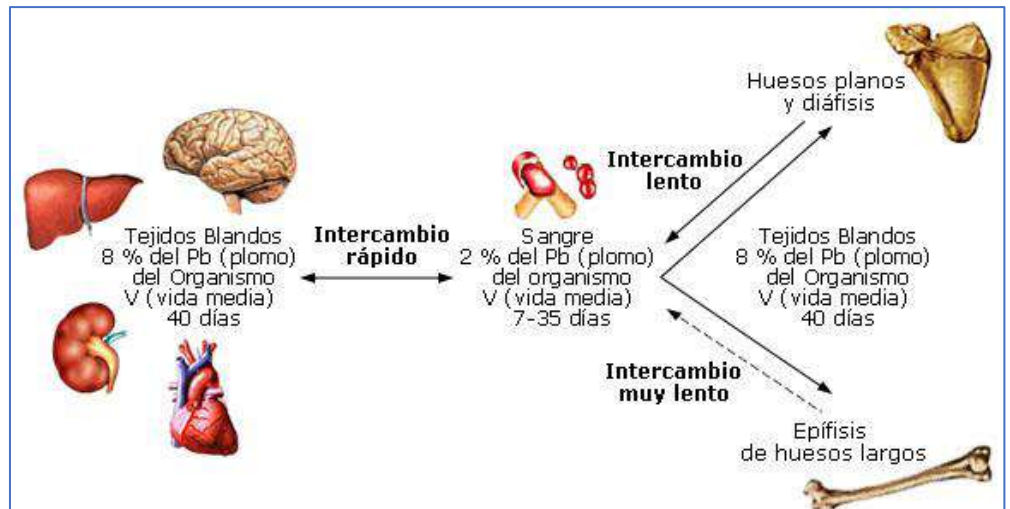


Figura 2. Modelo multicompartimental de distribución del plomo
Fuente: Valdivia, 2015.

El plomo se acumula en los huesos a lo largo de la vida, pero al mismo tiempo, es movilizado hacia la sangre. Esta movilización se observa en las madres gestantes y es preocupante, debido a que el plomo puede atravesar muy fácil la barrera placentaria y acumularse en los huesos del feto, es su concentración en el cordón umbilical de 85-90 % de la concentración en sangre materna, ocasionándose un riesgo para el feto, causándose partos prematuros, bajo peso en recién nacidos e incluso abortos (PNUMA, 2015).

Eliminación. Metabolismo o biotransformación

El plomo puede ser excretado por diferentes vías, son las principales y las de mayor importancia toxicológica, la fecal y la renal. Por vía fecal se elimina cerca del 85 % del plomo no absorbido y por vía renal se desecha un aproximado del 80 % del plomo absorbido. Otras vías de excreción son el cabello, el sudor, la leche materna, la descamación de la piel y los dientes (Fig. 1). El

plomo tiene muy baja biotransformación. El plomo inorgánico no se metaboliza, sino que se absorbe, se distribuye, se acumula y excreta de forma directa, sin embargo, el plomo orgánico sufre un proceso de transformación escasa donde pasa a fosfato plumboso y luego a fosfato plúmbico (Fig. 1), el cual es menos soluble y por tanto se excreta en menor proporción, lo que aumenta la concentración y acumulación en el organismo. (Ramirez, 2005)

D. Mecanismos de acción y efectos sobre la salud

La mayoría de los mecanismos de toxicidad del plomo han sido estudiados en diferentes procesos bioquímicos; los aspectos más importantes de estos mecanismos son detallados a partir de la perturbación enzimática en procesos celulares. La frecuencia y severidad de los síntomas médicos se incrementa con la concentración de plomo en la sangre. Los síntomas comunes de envenenamiento agudo son: pérdida de apetito, náuseas, vómito, calambres en el estómago, estreñimiento, dificultad para dormir, fatiga, mal humor, dolor de cabeza, dolores articulares o musculares, anemia y disminución del deseo sexual. A largo plazo (crónicos), el daño en el ser humano, se centra en varios sistemas, son los más importantes el nervioso, hematopoyético, renal y reproductor. Todos los mecanismos de daño y efectos adversos en la salud están fundamentados de que este metal no tiene ninguna función biológica en los organismos vivos. (Rodríguez, et al., 2016)

Toxicidad del plomo para la salud

La concentración del plomo en sangre es usada para determinar el grado de toxicidad o de exposición a este metal y los posibles daños que puede ocasionar. Dentro de los efectos generales en la salud producidos por la exposición al plomo, se tienen:

- ***Efecto hematológico:*** la influencia del plomo en la aparición de anemia, se debe al inhibir la enzima delta-deshidratasa del ácido d-amino levulínico y la actividad de la ferroquelatasa, esta última encargada de catalizar la inserción del hierro en la protoporfirina IX, y es muy sensible al plomo. Una disminución en la actividad de esta enzima provoca un aumento del sustrato protoporfirina eritrocitaria (EP) en los hematíes. El aumento del ácido d-amino levulínico y de las protoporfirinas eritrocitarias libres, son eventos asociados a la exposición al plomo. El proceso ocurre por la afinidad de la unión del metal a los grupos sulfhídricos de las metaloenzimas dependientes de zinc, de tal manera que puede alterar su estructura y su función, o bien competir con otros metales esenciales en los sitios activos de éstas, es el resultado final el aumento de las protoporfirinas, resultando al final la anemia e incremento de punteado basófilo a reducir la producción de hemoglobina, y disminuye la vida media de los eritrocitos ocurre tanto en niños como en adultos. (Rodríguez, et al., 2016)

- ***Efecto neurológico:*** la exposición a plomo trae consigo afecciones del sistema nervioso central periférico, acumulándose

en el espacio endoneural de los nervios periféricos causando edema, aumento de la presión y finalmente daño axonal. La exposición crónica del plomo ocasiona fatiga, disturbios al dormir, dolor de cabeza, irritabilidad, tartamudeo y convulsiones. También puede producir debilidad muscular, ataxia, mareos y parálisis, asimismo, la habilidad visual, el tacto fino y la noción del tiempo se pueden ver alterados, presentándose cuadros de ansiedad, alterándose el humor y la habilidad cognitiva. La neurotoxicidad del plomo se observa tanto en adultos como en niños. En niños la neurotoxicidad está en relación con la dosis de envenenamiento, otros estudios demuestran que la neurotoxicidad tiene asociación con el comportamiento, el grado de ansiedad y los niveles intelectuales. El mecanismo de acción es complejo; en primer lugar, el plomo interfiere con el metabolismo del calcio por ser químicamente similares, sobre todo cuando está en bajas concentraciones puede remplazar al calcio, comportándose como un segundo mensajero intracelular, alterándose la distribución del calcio en los compartimientos dentro de la célula. En un segundo lugar, activa la proteína C quinasa, una enzima que depende del calcio vinculada con el crecimiento y la diferenciación celular, la conservación de la barrera hematoencefálica; y se piensa que la potenciación a largo plazo está relacionada con la memoria y que interviene en múltiples procesos intracelulares. Por último, se une a la calmodulina (proteína reguladora) más ávido que el calcio. Esta alteración a nivel del calcio atraería consecuencias en la

neurotransmisión y en el tono vascular, lo que explicaría en parte la hipertensión y la neurotoxicidad. (Valdivia, 2015)

- ***Efecto renal:*** en el riñón interfiere con la conversión de la vitamina D a su forma activa. La nefropatía se caracteriza por la citomegalia en las células del epitelio del túbulo proximal y se manifiesta como aminoaciduria, hipofosfatemia y glucosuria. Cambios morfológicos como la formación de cuerpos de inclusión nuclear, cambios mitocondriales y disfunción de los túbulos proximales. Así mismo, nefritis intersticial ha sido reportada en concentraciones de plomo mayores a 40 µg/dL. (Rodríguez, et al., 2016)
- ***Efecto cardiovascular:*** existen estudios epidemiológicos que manifiestan una débil asociación entre el plomo y la presión sanguínea; es la elevación sanguínea mayor en adultos que en jóvenes. También se ha reportado que una exposición ocupacional crónica de plomo (> 30 ug/dL), causa una elevación de la presión sistólica. El incremento en el riesgo de enfermedades cardiovasculares asociadas a la exposición ocupacional al plomo depende de la genotoxicidad de sus compuestos y de la sensibilidad de cada individuo, relacionada al polimorfismo genético, lo cual puede causar deficiencias en la síntesis de ADN y reparación del mismo, los iones de plomo pueden sustituir los iones zinc en ciertas proteínas que participan en la regulación de la transcripción. (OMS, 2015)

- ***Efecto hepático:*** el daño hepático se manifiesta debido a que el plomo altera la función de la enzima hepática citocromo P450 y estimula la síntesis de lípidos en varios órganos en el hígado. Varios estudios reportan que la peroxidación de la membrana celular lipídica, es un mecanismo clave en los efectos tóxicos del plomo en el metabolismo de lípidos en modelos *in vitro* e *in vivo*. Sin embargo, el plomo no induce la peroxidación de forma directa, los iones aceleran el proceso promoviendo la producción de lípidos superóxidos y la generación de especies de oxígeno libre. (Rodríguez, et al., 2016)

- ***Efecto reproductivo:*** la exposición crónica del plomo causa efectos adversos en el sistema reproductivo femenino y masculino. La exposición ocupacional del plomo en mujeres antes o durante el embarazo está asociada con abortos espontáneos, muerte fetal, nacimientos prematuros, y recién nacidos de bajo peso. El impacto de la exposición crónica al plomo en el varón incluye reducción de la libido, alteración en la espermatogénesis, daño cromosómico, función prostática anormal y cambios en los niveles de testosterona. (Yucra, et al., 2008)

- ***Efectos en el ADN:*** este metal pesado puede alterar la integridad del material genético originándose efectos tóxicos, denominados genotóxicos, además como consecuencia de efectos celulares interviene en la inhibición de la bomba de Na-K-ATPasa, aumenta el calcio intracelular e incrementándose la

permeabilidad celular, la síntesis de ADN, ARN y de proteínas. Aunque las aberraciones cromosómicas y el intercambio de cromátidas hermanas no son muy claras, existen estudios donde manifiestan la presencia del daño. La IARC ha estudiado la relación del daño en el ADN con la exposición al plomo y analizó el mecanismo del plomo como potencial cancerígeno. Comprobó que existe poca evidencia que el plomo actúe de forma directa con el ADN; el efecto en el ADN del plomo está mediado por la modulación de las especies reactivas del oxígeno (ROS) y por la interacción con proteínas, incluye las proteínas de reparación del ADN, lo cual puede resultar en mutación, proliferación celular, cambios en la expresión del gen, todo lo cual contribuye a indicar que la exposición crónica es cancerígena. Existen estudios donde se demuestra el incremento de la mortalidad estándar causada por el cáncer en individuos que trabajan en fábricas de plomo. (Rodríguez, et al., 2016)

Toxicidad del plomo para la salud de los niños

El plomo tiene graves consecuencias en la salud de los niños. Si el grado de exposición es elevado, ataca al cerebro y al sistema nervioso central, pudiendo provocar coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños que sobreviven a una intoxicación grave pueden padecer diversas secuelas, como retraso mental o trastornos del comportamiento. Se ha comprobado además que, en niveles de exposición más débiles sin síntomas evidentes, antes considerados exentos de riesgo, el plomo puede provocar alteraciones muy

diversas en varios sistemas del organismo humano. Incluso las concentraciones en sangre que no superan los 5 µg/dL (nivel hasta hace poco considerado seguro) pueden asociarse a una disminución de la inteligencia del niño, así como a problemas de comportamiento y dificultades de aprendizaje. (OMS, 2018)

2.2.3. Producción de plomo en el Perú

En las últimas dos décadas, la producción peruana de plomo creció hasta alcanzar su máximo nivel en el año 2008, con 345 mil TM. Luego se redujo y en los últimos años ha rondado las 300 mil TM. Al año 2018 la producción de plomo alcanzó las 289 mil TM. Las principales regiones productoras de plomo han sido Pasco, Lima y Junín con 65% de la producción nacional, teniendo a Pasco con un 32%. Las principales empresas productoras del metal pesado son Volcan (con el 17% del total producido), Buenaventura (9%), El Brocal (8%), Raura (7%) y Nexa El Porvenir (6%) (SNMPE, 2019).

2.2.4. Área de recreación infantil

El área de recreación infantil o parque infantil, es una instalación de titularidad pública o privada consistente en un área delimitada con una serie de elementos de juego, destinada a niños y menores. Los parques infantiles están sometidos a una serie de medidas de seguridad tanto en las instalaciones como en los equipos o elementos de juego (Gallego, 2019).

2.2.5. Parque automotor

El parque automotor corresponde a todos los vehículos por tipo como mototaxi, moto lineal, station wagon, camioneta pick up, combi, ómnibus, camión volquete, tráiler y maquinaria pesada; registrados en una jurisdicción determinada. El parque automotor juega un papel muy importante en la acumulación del plomo en el medio ambiente, se debe principalmente al uso de este metal como aditivo antidetonante en las gasolinas. En gran cantidad de países del mundo, el uso de la gasolina con plomo continúa utilizándose sin sufrir ninguna disminución, en estas zonas el aire es la mayor fuente de exposición al plomo para los seres humanos, el óxido de plomo atmosférico se deposita en el suelo, agua, frutas o en vegetales frondosos, pudiendo ingresar a la cadena trófica, ya que el plomo soluble es absorbido por las plantas (Baird & Cann, 2014).

Venta de vehículos nuevos en los países de la región

Según la Asociación Automotriz del Perú (2019) la venta de vehículos nuevos en los países de la región durante el año 2019 lo lideró Brasil con 2 787 851 unidades, seguido de México con 1 356 338 unidades. En el Perú se vendieron 168 647 unidades y el país con menor venta de vehículos fue Honduras con 13 728 unidades. En la siguiente figura se muestra la venta de vehículos nuevos en los países de la región de los años 2018 y 2019.



Figura 3. Venta de vehículos en los países de la región del año 2018 – 2019.

Fuente: Asociación Automotriz del Perú, 2020.

Parque automotor en el Perú

Tarazona (2019) en el 12° Foro & Exhibiciones de Estaciones de Servicio 2019, organizado por Perú Events, detalló que el Perú tuvo un parque automotor de 2 981 000 unidades entre vehículos livianos y pesados, el índice de motorización fue de 10.7 habitantes por cada vehículo en circulación y la edad promedio fue de 13.6 años. Sin embargo, Argentina, México y Chile estuvieron entre 3 y 3.3 en promedio de habitantes por vehículo.

Según cifras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú, el departamento de Lima y la provincia constitucional del Callao contaron con el mayor parque automotor departamental del país, alcanzando la cifra de 1 908 672 unidades vehiculares durante

el año 2018 entre automóviles, station wagon, camionetas, omnibus, camiones, remolcadores y semi remolcadores (MTC, 2019).

Parque automotor en Cajamarca

El departamento de Cajamarca contó con un parque automotor de 27 674 unidades vehiculares durante el año 2018 entre automóviles, station wagon, camionetas, omnibus, camiones, remolcadores y semi remolcadores (MTC, 2019).

Volumen de tránsito

Se define volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal, de un carril o de una calzada, durante un tiempo determinado. Se expresa como:

$$Q = N/T$$

Dónde:

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/tiempo)

N = número de vehículos que pasan (vehículos)

T = tiempo determinado (tiempo) Sangay (como se citó en Salazar, 2017).

Volumen de tránsito absoluto o total

Según Sangay (como se citó en Salazar, 2017) es el número total de vehículos que pasan durante el paso de tiempo determinado.

Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado, se tiene los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales:

- ***Tránsito anual (TA)***

Es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso, $T = 1$ año.

- ***Tránsito mensual (TM)***

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso, $T = 1$ mes.

- ***Tránsito semanal (TS)***

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso, $T = 1$ semana.

- ***Tránsito diario (TD)***

Es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso, $T = 1$ día.

- ***Tránsito horario (TH)***

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora. En este caso, $T = 1$ hora.

2.2.6. Producción de la gasolina

“La gasolina es un hidrocarburo derivado del petróleo en el rango de los 26 a 204 °C, para usar en motores de combustión interna de encendido por chispa” (Tamayo, et al., 2015).

La gasolina formada principalmente por alcanos no ramificados y ciclo alcanos, tiene características que no favorecen la combustión cuando se quema en motores de combustión interna. Una mezcla de aire y gasolina vaporizada de este tipo tiende a prender espontáneamente en el cilindro del motor antes de que este sea

comprimido del todo y salte la chispa, de manera que el motor detona, con la resultante pérdida de potencia. En consecuencia, la gasolina se formula incorporando sustancias que eviten la detonación. (Baird & Cann, 2014)

En las refinerías, las gasolinas se obtienen durante el proceso de destilación primaria de petróleo crudo y de procesos complejos de refinación, como el craqueo catalítico (figura 4). La gasolina está diseñada para el uso en motores de ignición por chispa y de combustión interna. Son mezclas primarias de hidrocarburos alifáticos, ramificados e insaturados y de hidrocarburos aromáticos, que se combinan con componentes que permiten otorgarles las especificaciones técnicas exigidas en el país para su comercialización (ejemplo: octanaje). (Klaassen & Walkins III, 1999)

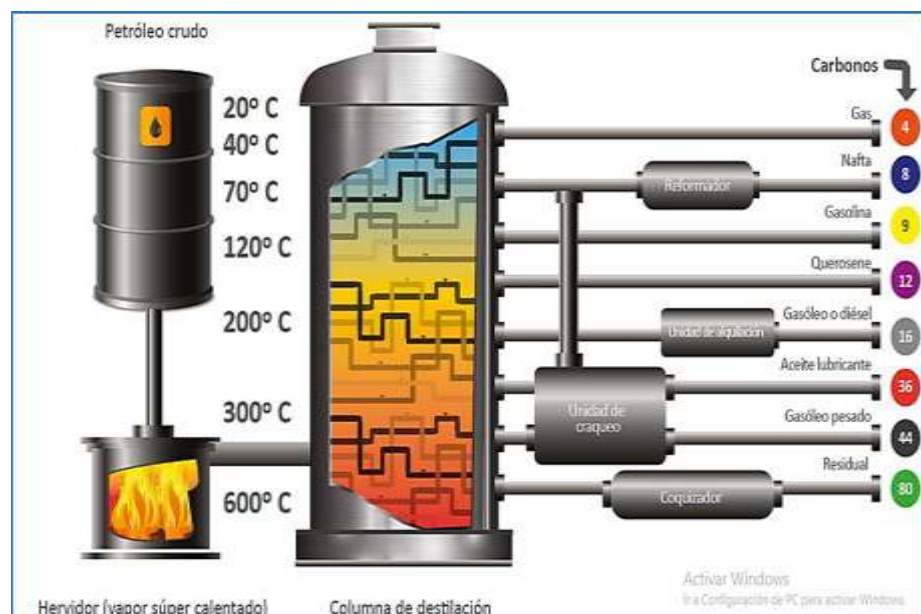


Figura 4. Diagrama de proceso de refinación del petróleo
Fuente: Tamayo et al., 2015.

Octanaje o número de octano

Está altamente relacionada con el rendimiento del motor del vehículo. El octanaje se refiere a la medida de la resistencia de la gasolina a ser comprimida en el motor. Esta se mide como el golpeteo o detonación que produce la gasolina comparada con los patrones de referencia conocidos de iso-octano y n-heptano, cuyos números de octano son 100 y cero respectivamente. Con respecto a la combustión, ésta, en condiciones normales se realiza de manera rápida y silenciosa, pero cuando el octanaje es inadecuado para el funcionamiento del motor, la combustión se produce de manera violenta causando una explosión o detonación que por su intensidad puede causar daños serios al motor del vehículo. Existen dos formas de medir el octanaje: el RON (Research Octane Number), y el MON (Motor Octane Number) los cuales difieren entre sí por las condiciones en las que se realizan las mediciones. Para medir el octanaje se usa como patrón una mezcla de iso-octano y plomo tetraetilo, el octanaje será 100 más la cantidad de plomo tetraetilo añadido. (Aguilar & Amanqui, 2011)

El octanaje es la medida de resistencia a la ignición de la gasolina sin la ayuda de una bujía. El uso de una gasolina de menor octanaje provoca el conocido “cascabeleo”, ya que el combustible se inflama antes de que se encienda la chispa. Un mayor octanaje implica menor resistencia. Uno de los componentes que se agrega a la gasolina es el plomo en forma de tetraetilo de plomo con la finalidad de subir el octanaje. (Tamayo, et al., 2015)

2.2.7. Evaluación de riesgos toxicológicos

Estados Unidos es el país pionero en el desarrollo de metodologías de evaluación de riesgos y quien mejor las ha diseñado, esto por medio de sus dos agencias: la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (Yacomelo, 2014).

La metodología de la EPA se basa en datos ambientales para estimar un impacto en la salud; la ATSDR, encargada de los riesgos toxicológicos en humanos, cuenta con una metodología considerada como una Evaluación de Salud, es decir evalúa las emisiones de sustancias químicas peligrosas en el ambiente, con la finalidad de estimar el impacto actual o futuro en la salud de una población (Ynocente & Olórtegui, 2018).

La aplicación de las metodologías propuestas por la EPA y la ATSDR presenta complicaciones para la región de América Latina, esto debido al bajo nivel de información que tienen estos países con respecto al estudio de sitios contaminados. Debido a ello, existe una metodología que combina los puntos clave de los métodos norteamericanos para ser aplicables a la realidad de los países de América Latina; esta metodología es desarrollada y propuesta por dos organizaciones en conjunto, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). (Yacomelo, 2014)

En el Perú, el Ministerio del Ambiente (MINAM) elaboró, en el año 2015, en el marco del D.S. 002-2013-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, la Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en Sitios Contaminados (MINAM, 2015).

Metodología de evaluación de riesgos para la salud según la EPA

La metodología de la evaluación toxicológica de riesgos según la EPA está estructurada en cuatro etapas: identificación de peligros, relación dosis-respuesta, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo. La estructura de la evaluación de riesgo se representa en forma esquemática en la Figura 5. (Moreno, 2013)

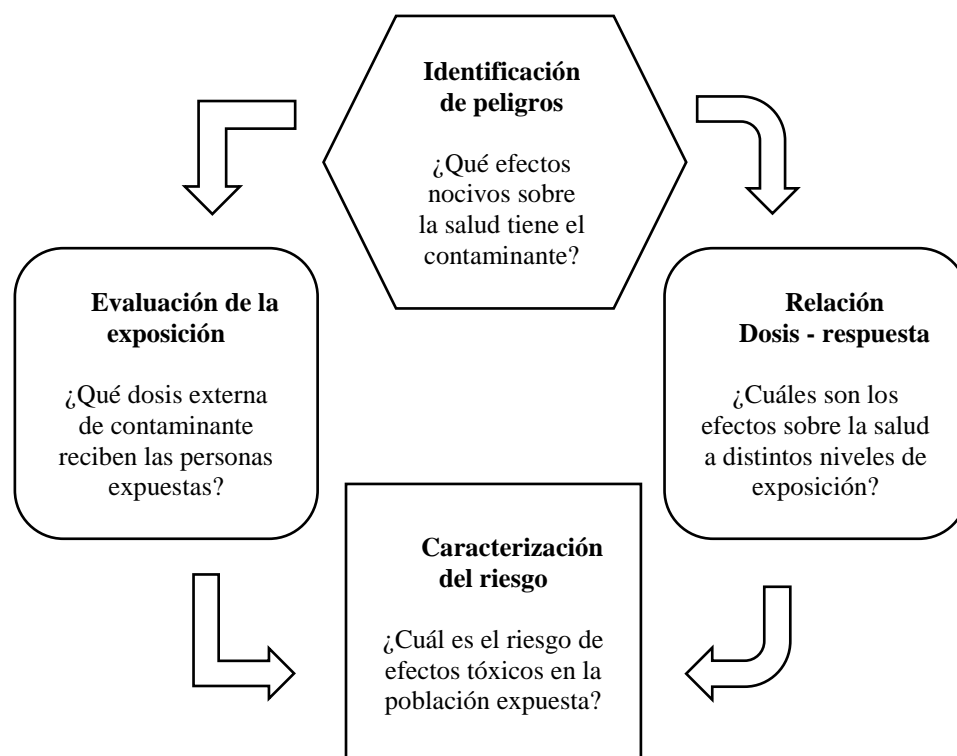


Figura 5. Etapas de la evaluación de riesgo para la salud humana
Fuente: EPA, 2017.

Identificación de peligros

La identificación de peligros, o identificación del riesgo, consiste en determinar los efectos indeseables que una sustancia es intrínsecamente capaz de provocar. La identificación de los peligros se realiza mediante la recopilación y análisis de información disponible sobre los efectos del contaminante, es decir, los estudios realizados sobre sus efectos tóxicos, sus propiedades físico-químicas y su comportamiento en el medio ambiente. La identificación de los peligros puede incluir un análisis del comportamiento de la sustancia en el organismo y su interacción con determinados órganos, células u orgánulos intracelulares. Esta información es útil para valorar la relevancia para la salud humana de los efectos adversos identificados en una determinada especie, y cómo debe llevarse a cabo la extrapolación. (Moreno, 2013, p. 122)

Relación dosis-respuesta

La segunda etapa de la evaluación de riesgo consiste en establecer la relación cuantitativa dosis-respuesta, es decir, el vínculo entre la dosis y la incidencia y gravedad del efecto. La relación dosis-respuesta se establece mediante el análisis de los datos toxicológicos sobre el contaminante, obtenidos en estudios epidemiológicos, ensayos en animales, ensayos in vitro, determinaciones físico-químicas y relaciones estructura-actividad. La exposición medio ambiental a contaminantes suele caracterizarse por unas concentraciones bajas, pero sostenidas durante periodos prolongados de tiempo. Esta combinación de bajas concentraciones

y largos periodos de exposición a los contaminantes define las condiciones habituales de realización del proceso de evaluación toxicológica de riesgo para la salud humana. Los parámetros de medida de la relación dosis-respuesta adecuados a la exposición medio ambiental a contaminantes deben ajustarse a las condiciones características de exposición a bajas concentraciones de forma crónica o subcrónica. Estos parámetros son diferentes para los efectos tóxicos con nivel umbral y para los que carecen de dicho nivel. La medida de la relación dosis-respuesta en los efectos tóxicos con nivel umbral consiste en el cálculo de niveles seguros de exposición, basados en el umbral de toxicidad observado en los estudios toxicológicos, éste enfoque se utiliza para los efectos no cancerígenos de los contaminantes ambientales. Para efectos tóxicos sin nivel umbral, se calculan parámetros que permiten predecir el nivel de riesgo asociado a la exposición medioambiental a este tipo de agentes tóxicos. De esta forma se describen los efectos de los agentes cancerígenos. (Moreno, 2013, p. 122)

Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición es el proceso de cálculo de la dosis externa del contaminante recibida por la población. La evaluación de la exposición se lleva a cabo mediante el análisis cualitativo y cuantitativo de la serie de mecanismos y procesos a través de los cuales el agente químico, a partir de su punto de introducción en el medio ambiente, se transforma y desplaza para finalmente alcanzar a la población receptora. Para que ocurra

exposición es necesaria la existencia de una ruta medioambiental completa, que consta de cuatro elementos: fuente de contaminación, compartimentos medio ambientales, vía de exposición y punto de contacto. (Moreno, 2013, p. 123)

Caracterización del riesgo

Es la última etapa de la evaluación de riesgo, en la caracterización, se integra la información obtenida en la identificación de los peligros, la relación dosis-respuesta y la evaluación de la exposición, con objeto de predecir el riesgo de padecer efectos adversos por los individuos o poblaciones expuestas. La caracterización del riesgo es el proceso de estimación de la incidencia de un efecto adverso sobre la salud en las distintas situaciones de exposición humana establecidas en la evaluación de la exposición, combinando la información sobre efectos y exposición para obtener medidas cuantitativas del riesgo. La medida del riesgo para la salud humana se expresa como la probabilidad de que el efecto sobre la salud ocurra, para los efectos tóxicos sin nivel umbral (cancerígenos), o como índices de riesgo o márgenes de seguridad para los efectos tóxicos con nivel umbral (no cancerígenos). (Moreno, 2013, p. 124)

Metodología de evaluación de riesgos para la salud según el CEPIS/OPS

“En el método CEPIS/OPS se habla de tres etapas: 1) Generación de un listado de sitios peligrosos, 2) Inspección de sitios peligrosos y 3) Evaluación de la exposición en sitios peligrosos” (Díaz, 1999).

Generación de un listado de sitios peligrosos

El listado contendrá información de sitios potencialmente peligrosos y sólo se establecería el grado real de peligrosidad de cada uno de los sitios listados, luego de haberse obtenido los datos analíticos. Se define como sitios potencialmente peligrosos a toda zona que se encuentre potencialmente contaminada con sustancias peligrosas. Las sustancias pueden ser sólidas, gaseosas o líquidas y su origen puede ser antropogénicas o natural. (Díaz, 1999)

Inspección de sitios peligrosos

La inspección es la fase que sigue a la obtención de un listado de sitios peligrosos. En vista de que por lo general los listados incluyen un gran número de sitios, es necesario que la inspección sea una fase simple y económica. Pero además, la inspección debe contar con la calidad suficiente para concluir con certeza si un sitio está o no contaminado con sustancias peligrosas. (Díaz, 1999)

Evaluación de la exposición en sitios peligrosos

“Esta parte de la metodología tiene como objetivo reunir la información necesaria para definir el nivel de exposición a los contaminantes en la población de un sitio peligroso” (Díaz, 1999).

2.3. Marco legal

Normativa nacional

Constitución Política del Perú

El Congreso de la República en el año 1993 aprobó la última Constitución Política del Perú, la cual establece en el título I, artículo 2º, inciso 22 que toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la nación, siendo el estado el que debe promover el uso sostenible de éstos.

Ley General del Ambiente – Ley N° 28611

El Congreso de la República en el año 2005 aprobó la Ley General del Ambiente, dicha ley es una norma ordenadora del marco normativo para la gestión ambiental en el Perú, establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y proteger el ambiente.

Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental – Ley N° 28245 y su respectivo reglamento aprobado mediante D.S. 008-2005-PCM

El Congreso de la República en el año 2004 aprobó la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y su Reglamento, la cual señala que el objetivo de la Política Nacional Ambiental es el mejoramiento continuo

de la calidad de vida de las personas, mediante la protección y recuperación del ambiente y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, garantizando la existencia de ecosistemas viables y funcionales en el largo plazo.

Ley del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental – Ley N° 27446 y sus respectivas modificatorias mediante D.L. N° 1078

Aprobado por el Congreso de la República en el año 2001, este dispositivo legal crea el Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, en ésta norma se categoriza los estudios de impacto ambiental, de acuerdo a la magnitud, envergadura y ámbito de influencia del proyecto; y en sus modificatorias se modifican diversos artículos de la ley, que señalan nuevas directrices en cuanto a obligatoriedad de certificación ambiental, categorización de proyectos de acuerdo al riesgo, criterios de protección ambiental, etc.

Estándares de Calidad Ambiental para Suelo – D.S. N° 011-2017-MINAM

El presente Decreto Supremo establece niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios. La mencionada norma establece un valor de 140 mg de plomo/kg de suelo de uso residencial y parques.

Especificaciones de la gasolina con plomo según D.S. 045-2001-EM

Artículo 51. - Calidad de los Combustibles

Según la presente norma, la clasificación, características o especificaciones y estándares de calidad de los combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos, de origen nacional o importado deberán cumplir con la última versión de las normas NTP respectivas (Tabla 2), y para aquello no previsto en las normas citadas, deberán cumplir con la Norma ASTM respectiva. En el caso de normas NTP aprobadas con posterioridad a la vigencia del presente Reglamento, el Ministerio de Energía y Minas establecerá la fecha en que serán aplicadas (Ministerio de Energía y Minas, 2001).

Tabla 2. Especificaciones de la gasolina con plomo según D.S. 045-2001-EM

| | | LÍMITES DE TOLERANCIA | | |
|-----------------------------------|---------------|---|----------------------------|------|
| GASOLINA 84, 90, 95 | | D.S. 045-2001-EM (Art.51°) | | |
| | | Normas Vigentes NTP: 321.004 (1981) y 321.090 (1984) | | |
| ANÁLISIS | MÉTODO | VALOR NOMINAL | Rango de tolerancia | |
| Destilación a presión atmosférica | ASTM D86 | 10%; máx. 70 °C | 73,1 | máx. |
| | | 50%; máx. 140 °C | 143,1 | máx. |
| | | 90%; máx. 200 °C | 203,1 | máx. |
| | | PFE; máx. 221 °C | 224,5 | máx. |
| Octanaje | ASTM D2699 | 84; 90; 95; 97 | 83,3; 89,3; 94,3 | mín. |
| Contenido de plomo | ASTM D3237 | 0,013 g/L | 0,015 | máx. |
| Contenido de plomo | ASTM D3341 | | 0,0135 | máx. |
| Presión de Vapor Reid | ASTM D323 | 12 psi | 12,75 | máx. |
| Contenido de Azufre | ASTM D4294 | 0,2 % en masa | 0,23 | máx. |

Fuente: Especificaciones de la gasolina con plomo - MEM, 2001.

Normativa internacional

Organización Mundial de la Salud

La Organización Mundial de la Salud, establece un valor guía de 25 mg de plomo/kg de suelo (Korc, 2001).

Estados Unidos

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, recomienda que los niveles de plomo en el suelo inferiores a 400 mg/kg son generalmente seguros para uso residencial (EPA, 2017).

Canadá

Según las directrices de calidad de suelo de Canadá se establecen concentraciones máximas de plomo tanto para la protección de la salud humana como para la protección de la salud ambiental (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999). Los niveles máximos de plomo en suelo según la norma canadiense se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Guías de calidad de suelo para plomo de Canadá

| Guía | Suelo Residencial/Parques mg/kg |
|-----------------|--|
| Salud Humana | 140 |
| Salud Ambiental | 300 |

Fuente: Canadian Soil Quality Guidelines for protection of Environmental and Human Health, 1999.

2.4. Definición de términos básicos

Absorción. “Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias y luego es transportado hacia otros órganos” (MINAM, 2015, p. 71).

Área de influencia. “Perímetro inmediato del emplazamiento donde se sospecha o existe alguna evidencia de contaminación potencial del suelo” (MINAM, 2015, p. 71).

Área de potencial interés. “Extensión de terreno sobre el que se realizarán efectivamente las labores de muestreo” (MINAM, 2015, p. 71).

Caracterización de riesgo. “Es la integración de la evidencia, razonamientos y conclusiones recolectados durante la identificación de peligro, evaluación de dosis – respuesta y la evaluación de exposición” (MINAM, 2015, p. 73).

Cancerígeno (a). “Cualquier sustancia que pueda causar cáncer” (MINAM, 2015, p. 73).

Contaminante. “Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente” (MINAM, 2015, p. 74).

Dosis de exposición (DE). “Cantidad de sustancia a la que se expone el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto” (MINAM, 2015, p. 74).

Dosis de referencia (RfD). “Es el nivel de exposición diaria que no produce un riesgo apreciable de daño en poblaciones humanas, incluyendo las subpoblaciones sensibles” (MINAM, 2015, p. 74).

Evaluación de exposición. “Medición o estimación de la dosis o concentración de exposición incluyendo la calificación de las incertidumbres” (MINAM, 2015, p. 75).

Nivel de referencia. “Concentración o dosis de un químico que está en el umbral de toxicidad o de contaminación significativa” (MINAM, 2015, p. 77).

Población receptora. “Poblaciones (humanas o biota) que están expuestas a los contaminantes, la población receptora es entonces la población expuesta” (MINAM, 2015, p. 78).

Ruta de exposición. “Es el camino que sigue un agente químico en el ambiente desde el lugar donde se emite hasta que llega a establecer contacto con la población o individuo expuesto” (MINAM, 2015, p. 79).

Toxicidad. “La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas” (MINAM, 2015, p. 80).

Vía de exposición. “Proceso por el cual el contaminante entra en contacto directo con el cuerpo, tejidos o barreras de intercambio del organismo receptor, por ejemplo, ingestión, inhalación y absorción dérmica” (MINAM, 2015, p. 80).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se ejecutó en la ciudad de Cajamarca, que se encuentra ubicada dentro del distrito, provincia y región del mismo nombre, situada a 2750 msnm en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, en la sierra norte del país. La ciudad de Cajamarca presentó una población de 201 329 habitantes según el INEI del año 2017, de clima seco, templado y soleado durante el día, y frío en la noche, con temperaturas media anual: máxima 21°C y mínima 6°C, vientos del SE a 10 km/h, humedad del 79%, mientras que las precipitaciones anuales promedian los 700 mm. Los suelos se han desarrollado a partir de depósitos fluvio glaciares y lacustres, constituidos por material detrítico fino, presentan texturas pesadas, buen drenaje, reacción neutra a moderadamente alcalina, situados en terrazas medias y en zonas de relieve plano a moderadamente inclinado; son generalmente profundos, sin piedras y de erosión nula (Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2019).

Se estudiaron tres áreas de recreación infantil seleccionadas por conveniencia de las catorce con las que cuenta la ciudad de Cajamarca, como son: Amauta, Ramón Castilla y Santa Rosa de Lima, así se indica en la figura 6.

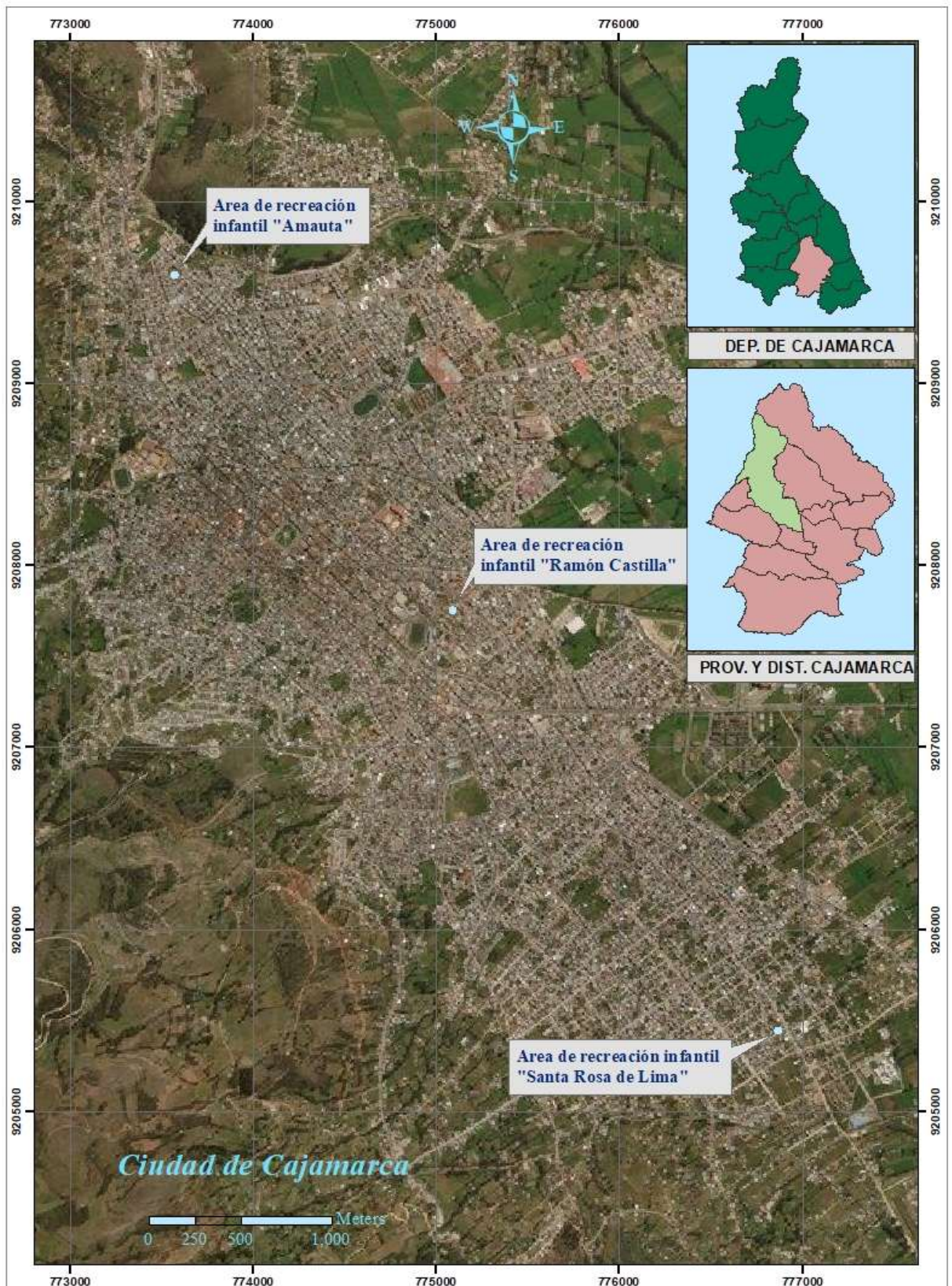


Figura 6. Mapa de ubicación de las áreas de estudio
 Fuente: Google Earth Pro

Descripción de las áreas de estudio

a. Área de recreación infantil Amauta

Ubicada en la zona noroeste de la ciudad de Cajamarca, perteneciente a la Urbanización Amauta. Delimitada por el Jr. Las Orquídeas, Jr. Alejandro Ortiz y el Jr. Los Álamos, con un área de 314,74 m² y un área de potencial interés de 40 m².



Figura 7. Mapa de localización del área de recreación Amauta
Fuente: Google Earth Pro

Tabla 4. Ubicación georreferenciada del área de recreación Amauta

| COORDENADAS - UTM WGS 84 zona 17 Sur | | |
|---|-----------|------------|
| VÉRTICE | ESTE | NORTE |
| A | 773548,70 | 9205954,20 |
| B | 773557,21 | 9205925,31 |
| C | 773578,99 | 9205925,32 |

Fuente: Google Earth Pro

b. Área de recreación infantil Ramón Castilla

Ubicada en la zona central de la ciudad de Cajamarca, perteneciente a la Urbanización Cajamarca. Delimitada por el Jr. Baños del Inca, Pje. Celendín y Pje. San Ignacio. Cuenta con un área de 684,90 m² y un área de potencial interés de 60 m².



Figura 8. Mapa de localización del área de recreación Ramón Castilla
Fuente: Google Earth Pro

Tabla 5. Ubicación georreferenciada del área de recreación Ramón Castilla

| COORDENADAS - UTM WGS 84 zona 17 Sur | | |
|---|-----------|------------|
| VÉRTICE | ESTE | NORTE |
| A | 775052,93 | 9207749,34 |
| B | 775097,00 | 9207768,00 |
| C | 775101,80 | 9207763,71 |
| D | 775070,32 | 9207732,15 |

Fuente: Google Earth Pro

c. Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima

Ubicada en la zona sureste de la ciudad de Cajamarca, perteneciente a la Urbanización Mollepampa. Delimitada por la Av. San Martín de Porres, Jr. San Bernardo y Jr. San Andrés. Cuenta con un área de 414,34 m² y un área de potencial interés de 60 m².



Figura 9. Mapa de localización del área de recreación Santa Rosa de Lima

Fuente: Google Earth Pro

Tabla 6. Ubicación georreferenciada del área de recreación Santa Rosa de Lima

| COORDENADAS - UTM WGS 84 zona 17 Sur | | |
|---|-----------|------------|
| VÉRTICE | ESTE | NORTE |
| A | 776864,48 | 9205429,04 |
| B | 776851,80 | 9205446,79 |
| C | 776867,27 | 9205457,84 |
| D | 776879,92 | 9205440,13 |

Fuente: Google Earth Pro

3.2. Materiales

Se usó los indicados en el protocolo de la Guía para el Muestreo de Suelos del año 2014 del Ministerio del Ambiente, siendo los siguientes:

Materiales de campo

- Libreta
- Fichas de observación
- Bolsas de polietileno
- Guantes de vinil
- Agua destilada
- Picota de acero inoxidable
- Cuchara de acero inoxidable
- Espátula de acero inoxidable
- Wincha de 5 m
- Etiquetas de rotulación
- Plumón indeleble

Equipos de campo

- Balanza de resorte
- Cámara fotográfica – Sony Cybershot 7.2 Megapíxeles
- GPS – Garmin GPSmap 62sc

Materiales de gabinete

- Informes de ensayos de laboratorio
- Fichas de observación
- Útiles de escritorio

Equipos de gabinete

- Computador Core i7

- Impresora Multifuncional Epson L220

Software

- Arcgis 10.5
- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016
- Google Earth pro (MINAM, 2014).

3.3. Metodología

3.3.1. Determinación de niveles de plomo en suelo

Técnica de muestreo

La técnica de muestreo utilizada en esta investigación corresponde a la establecida por la Guía para el Muestreo de Suelos del año 2014 del Ministerio del Ambiente, elaborada en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM. Según los objetivos de estudio se desarrolló un muestreo de identificación de la capa de suelo superficial de contacto oral mediante muestras compuestas segmentadas hasta la segunda partición.

Número de muestras

El número de muestras se determinó en función del área de potencial interés de cada área de recreación infantil. El número total de muestras compuestas fueron 06, tres durante el periodo de lluvias, marzo del 2019 y tres durante el periodo de estiaje, julio del 2019, sumando dos por área de recreación infantil según la Tabla 7.

Tabla 7. Número de muestras por área de recreación infantil

| Área de recreación infantil | Área de Potencial Interés - m² | Periodo de lluvias marzo del 2019 | Periodo de estiaje julio del 2019 |
|------------------------------------|--|--|--|
| Amauta | 40 | 01 | 01 |
| Ramón Castilla | 60 | 01 | 01 |
| Santa Rosa de Lima | 60 | 01 | 01 |
| Total (06) | | 03 | 03 |

Toma de muestras

Las muestras fueron tomadas in situ siguiendo el procedimiento establecido por la Guía para el Muestreo de Suelos del año 2014 del Ministerio del Ambiente. Se extrajo un peso equivalente a 500 g de cada muestra compuesta de suelo, en bolsas de polietileno, se sellaron y rotularon para luego ser enviadas al laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C. con registro N° LE-047/INACAL, ubicado en la ciudad de Lima.

Análisis de plomo

La metodología analítica empleada para el análisis de plomo en suelo fue la espectrometría de emisión atómica.

3.3.2. Determinación del volumen de tránsito horario

Para la determinación del volumen de tránsito horario, se utilizó la técnica de la observación directa, el instrumento fue la ficha de observación, que permitió registrar información como: fecha y horas de aforo, sentido, cantidad de vehículos por tipo. Se determinó un volumen de tránsito horario a través de un conteo de vehículos durante un tiempo de 12 horas, involucrando horas punta de 7:00 am a 7:00 pm. Los puntos de

aforo se ubicaron en la vía de tránsito principal por el lado más cercano al área de recreación infantil. Se realizaron 02 aforos, durante los meses de marzo y julio del año 2019.

El volumen de tránsito horario se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$Q = N/T$$

Dónde:

Q = Vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/hora)

N = Número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = Tiempo determinado (horas) Sangay (como se citó en Salazar, 2017).

3.3.3. Evaluación de riesgos en la salud

La metodología empleada para la evaluación de riesgos en la salud de los niños menores de 5 años correspondió a la propuesta por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organización Panamericana de la Salud (CEPIS/OPS), con la cual se valoró el riesgo a partir del Índice de Peligrosidad y del Margen de Exposición. Estos dos parámetros se determinaron con la dosis de exposición de plomo estimada en cada área de recreación infantil.

Estimación de la dosis de exposición

La Dosis de Exposición (DE) se calculó a partir de la concentración del contaminante, la tasa de ingestión, el factor de exposición y la masa corporal de la población infantil receptora.

La dosis de exposición se calculó mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

DE: Dosis de Exposición, en $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$

C: Concentración del Contaminante, en mg kg^{-1}

TI: Tasa de Ingestión, en mg día^{-1}

FE: Factor de Exposición, no tiene unidades

MC: Masa Corporal, en kg (Modificado CEPIS/OPS, 2005).

La Concentración del Contaminante es el valor obtenido del análisis de la muestra de suelo.

La Tasa de Ingestión consiste en el 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 vía digestiva.

La ATSDR, define los siguientes valores como tasa de ingestión:

Tabla 8. Valores referenciales de la tasa de ingestión

| Tipo de población | Tasa de Ingestión mg día^{-1} |
|--------------------------|--|
| Niños con pica | 5 – 10 |
| Niños sin pica | 50 – 200 |
| Adultos | 50 |

Fuente: ATSDR, 2007.

El Factor de Exposición se utiliza para promediar la dosis en los intervalos en los que dura la exposición.

El Factor de Exposición se obtuvo de la siguiente manera:

$$FE = \frac{\text{Frecuencia} \times \text{Duración}}{\text{Tiempo}}$$

La Masa Corporal es la medida antropométrica, obtenida en promedio de la población infantil concurrente.

Evaluación del riesgo toxicológico

Para la evaluación del riesgo se utilizó la metodología del CEPIS/OPS, mediante el cálculo del Índice de Peligrosidad (IP) y el Margen de Exposición (ME).

El Índice de Peligrosidad se obtuvo al dividir la Dosis de Exposición estimada entre la Dosis de Referencia (RfD) propuesto por la EPA, o la Dosis de Riesgo Mínimo propuesto por la ATSDR. El Índice de Peligrosidad con respecto a la exposición indica seguridad si adquiere un valor de uno o menor que uno ($IP \leq 1$), o peligrosidad si adquiere un valor por encima de uno ($IP > 1$).

El Margen de Exposición es un indicador que se consiguió comparando los NOAEL (valores de donde se derivan los RfD) y la Dosis de Exposición estimada. Este indicador es inverso al Índice de Peligrosidad, es decir, mientras más grande sea el valor del Margen de Exposición ($ME > 1$) mayor será la seguridad y menor la probabilidad de que aparezca un efecto adverso en la población expuesta.

Índice de Peligrosidad

$$IP = \frac{\text{Dosis de Exposición Estimada}}{RfD}$$

Margen de Exposición

$$ME = \frac{\text{NOAEL crítico}}{\text{Dosis de Exposición estimada}}$$

Evaluación del riesgo carcinógeno

El riesgo carcinógeno se determinó como Riesgo Individual (RI) y Riesgo Poblacional (RP). El Riesgo Individual es el producto del Factor Potencial de Cáncer y la Dosis de Exposición, el resultado es habitualmente una cifra muy pequeña y refleja las posibilidades de una persona de sufrir cáncer en el orden de diez milésimas o cien milésimas. El Riesgo Poblacional es el producto del Riesgo Individual y la Población Expuesta.

El Riesgo Individual se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$RI = FPC \times DE$$

Dónde:

FPC: Factor Potencial de Cáncer

DE: Dosis de Exposición

El Riesgo Poblacional se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$RP = RI \times Pexp$$

Dónde:

RI: Riesgo Individual

Pexp: Población Expuesta

3.4. Diseño de investigación

El diseño planteado para la investigación fue no experimental de nivel correlacional de sección longitudinal con enfoque cuantitativo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de niveles de plomo en suelo

La Tabla 9 presenta los resultados del análisis de las muestras de suelo tomadas en las áreas de recreación infantil Amauta, Ramón Castilla y Santa Rosa de Lima, durante el periodo de lluvias, mes de marzo y el periodo de estiaje, mes de julio del año 2019.

Tabla 9. Concentraciones de plomo en áreas de recreación infantil

| Área de recreación infantil | Periodo de lluvias mg kg ⁻¹ | Periodo de estiaje mg kg ⁻¹ |
|-----------------------------|---|---|
| Amauta | 47,46 | 26,51 |
| Ramón Castilla | 26,31 | 39,49 |
| Santa Rosa de Lima | 20,92 | 19,13 |

Según la Tabla 9, vemos que las áreas de recreación infantil Amauta y Santa Rosa de Lima presentaron mayores concentraciones de plomo durante el periodo de lluvias, de 47,46 mg kg⁻¹ y 20,92 mg kg⁻¹ respectivamente, mientras que el área de recreación infantil Ramón Castilla presentó una mayor concentración de plomo durante el periodo de estiaje, de 39,49 mg kg⁻¹.

Por otro lado, con los datos presentados en la Tabla 9, se determinó las medidas de tendencia central como media, valor máximo y valor mínimo, cuyos valores se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Medidas de tendencia central de las concentraciones de plomo

| Área de recreación infantil | Media mg kg⁻¹ | Valor máximo mg kg⁻¹ | Valor mínimo mg kg⁻¹ |
|------------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Amauta | 36,99 | 47,46 | 26,51 |
| Ramón Castilla | 32,90 | 39,49 | 26,31 |
| Santa Rosa de Lima | 20,03 | 20,92 | 19,13 |

Según la Tabla 10, se observa que el valor máximo de la concentración de plomo se encontró en el área de recreación infantil Amauta con 47,46 mg kg⁻¹, seguidos por el área de recreación infantil Ramón Castilla con 39,49 mg kg⁻¹ y el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima con 20,92 mg kg⁻¹. Sin embargo, el valor mínimo se halló en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima con 19,13 mg kg⁻¹, seguidos por el área de recreación infantil Ramón Castilla con 26,31 mg kg⁻¹ y el área de recreación infantil Amauta con 26,51 mg kg⁻¹.

Los niveles máximos de plomo encontrados en la presente investigación fueron inferiores a los obtenidos por Tello, Jave & Guerrero (2018) en la investigación “Análisis de cuantificación de plomo en suelos de parques recreacionales de la ciudad de Lima – Perú”, quienes obtuvieron los siguientes resultados: Bosque El Olivar con 170 ppm, Campo de Marte con 226 ppm y Pentagonito con 159 ppm; así como también a los encontrados por Olaya & Vargas (2018) en la investigación “Presencia de contaminantes metálicos en sedimentos depositados en las hojas de los árboles y salud de los trabajadores ambulantes de la avenida Manco Cápac en el distrito de La Victoria – Lima, Perú”, donde los resultados señalaron una concentración promedio de 357,44 mg/kg para plomo.

Concentraciones máximas de plomo en áreas infantiles y estándares referenciales

La Figura 10, muestra las concentraciones máximas de plomo obtenidas en las áreas infantiles y los valores referenciales del Estándar de Calidad Ambiental para suelo residencial/parques del Ministerio del Ambiente de Perú y la Agencia de Protección Ambiental para suelo residencial de Estados Unidos.

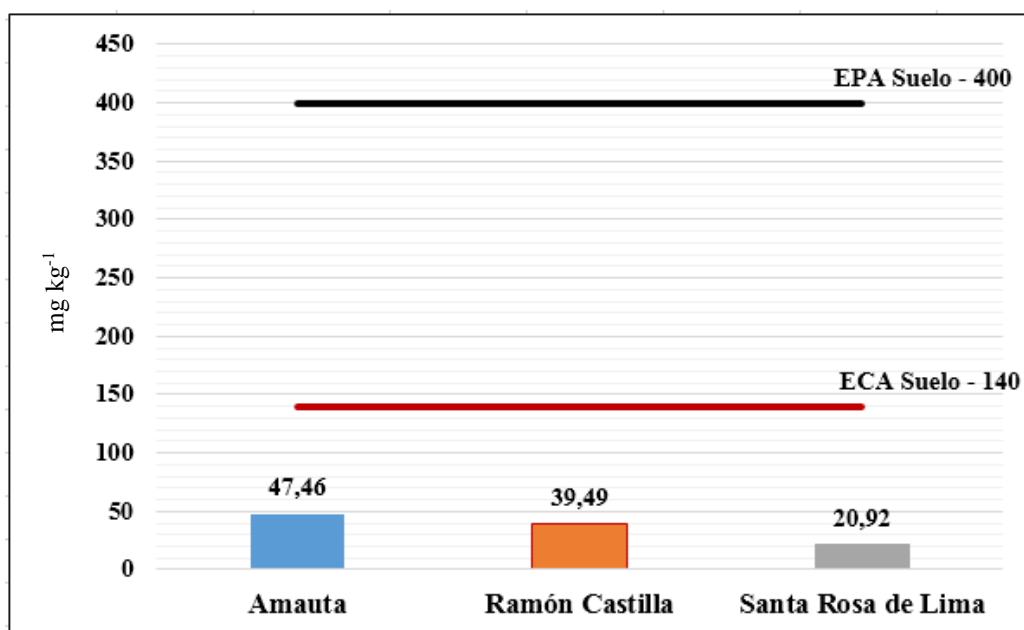


Figura 10. Concentraciones máximas de plomo en áreas infantiles y estándares referenciales

Según la Figura 10, se puede ver que las concentraciones máximas de plomo de las tres áreas de recreación infantil como son: Amauta con 47,46 mg kg⁻¹, Ramón Castilla con 39,49 mg kg⁻¹ y Santa Rosa de Lima con 20,92 mg kg⁻¹; se encontraron por debajo del Estándar de Calidad Ambiental para suelo de parques que es 140 mg kg⁻¹ del Ministerio del Ambiente de Perú y también del Estándar asignado por la Agencia de Protección Ambiental para suelo de uso residencial que es 400 mg kg⁻¹ de Estados Unidos.

4.2. Determinación del volumen de tránsito horario

4.2.1. Volumen de tránsito horario – Periodo de lluvias, marzo del 2019

La Figura 11, presenta el volumen de tránsito horario por tipo de vehículo según el área de recreación infantil correspondiente al periodo de lluvias, marzo del 2019.

Fechas de Medición:

- Área de recreación infantil Amauta: 20-03-2019
- Área de recreación infantil Ramón Castilla: 21-03-2019
- Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima: 22-03-2019

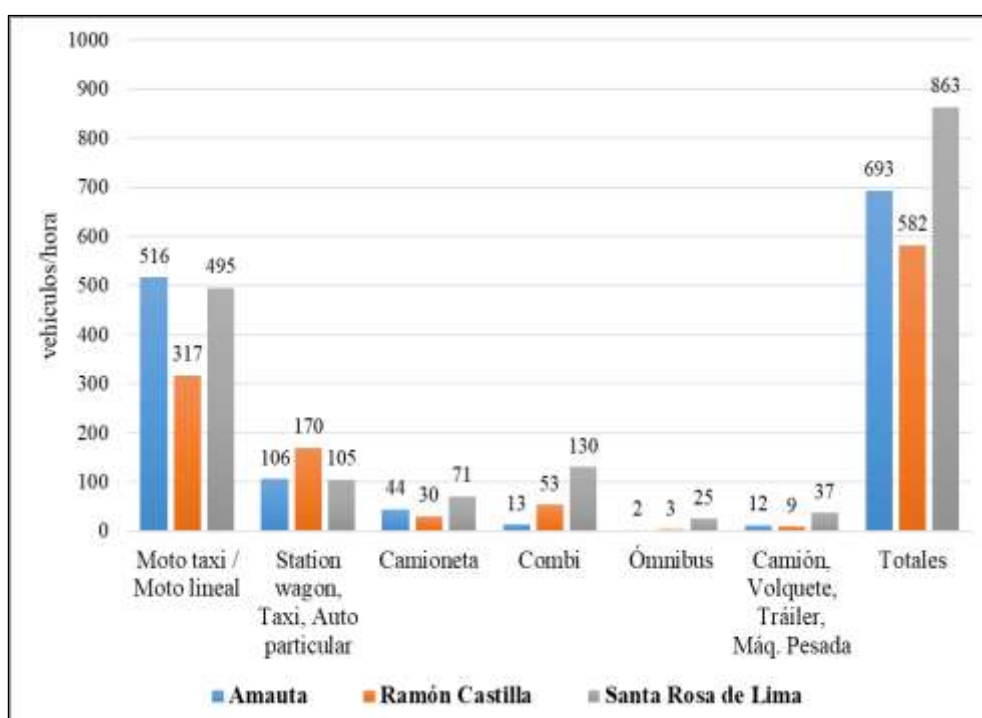


Figura 11. Volumen de tránsito horario según área de recreación infantil – Periodo de lluvias.

Según la Figura 11, se puede ver que durante el periodo de lluvias, marzo del 2019 el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima presentó mayor volumen de tránsito horario con 863 vehículos/hora, seguidos por el área de recreación infantil Amauta con 693 vehículos/hora y el área de recreación infantil Ramón Castilla con 582 vehículos/hora. Así pues, el

tipo de unidades vehiculares que más sobresalió en las tres áreas de recreación infantil fueron moto taxi y moto lineal, encontrándose mayor volumen en el área de recreación infantil Amauta con 516 vehículos/hora, seguidos por el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima con 495 vehículos/hora y el área de recreación infantil Ramón Castilla con 317 vehículos/hora.

4.2.2. Volumen de tránsito horario – Periodo de estiaje, julio del 2019

La Figura 12, muestra el volumen de tránsito horario por tipo de vehículo según el área de recreación infantil correspondiente al periodo de estiaje, julio del 2019.

Fechas de Medición:

- Área de recreación infantil Amauta: 10-07-2019
- Área de recreación infantil Ramón Castilla: 11-07-2019
- Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima: 12-07-2019

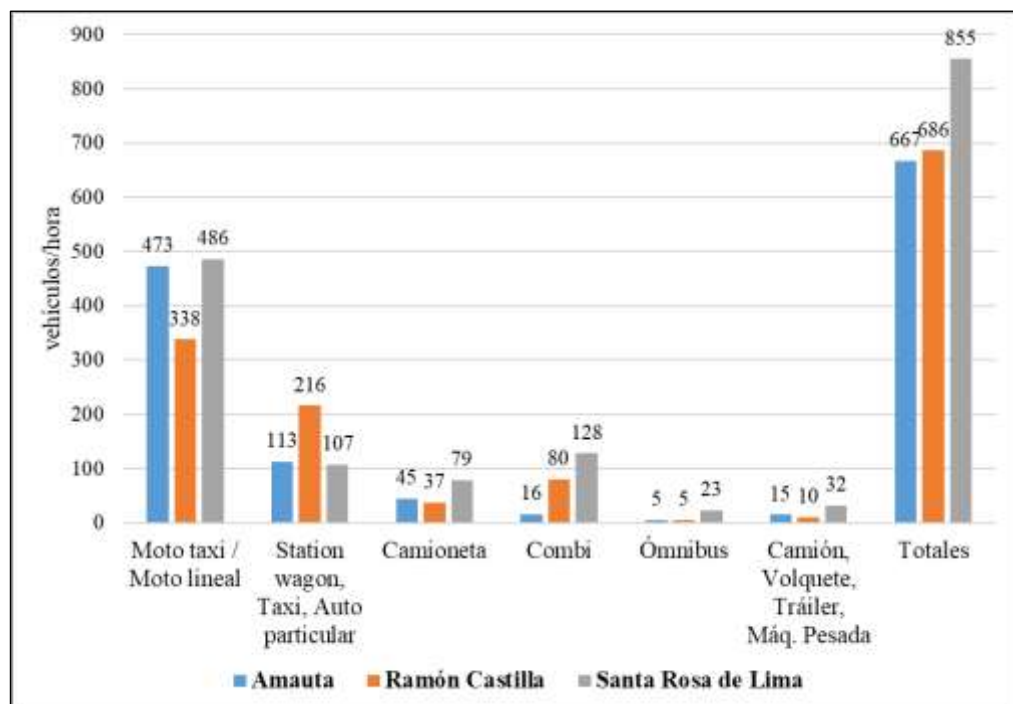


Figura 12. Volumen de tránsito horario según área de recreación infantil – Periodo de estiaje.

Según la Figura 12, se puede observar que durante el periodo de estiaje, julio del 2019 el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima presentó mayor volumen de tránsito horario con 855 vehículos/hora, seguidos por el área de recreación infantil Ramón Castilla con 686 vehículos/hora y el área de recreación infantil Amauta con 667 vehículos/hora. Igualmente, el tipo de unidades vehiculares que más sobresalió en las tres áreas de recreación infantil fueron moto taxi y moto lineal, encontrándose mayor volumen en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima con 486 vehículos /hora, seguidos por el área de recreación infantil Amauta con 473 vehículos/hora y el área de recreación infantil Ramón Castilla con 338 vehículos/ hora.

4.2.3. Volumen de tránsito horario según área de recreación infantil

a. Área de recreación infantil Amauta

La Figura 13, presenta el volumen de tránsito horario por tipo de vehículo del periodo de lluvias, marzo del 2019 y el periodo de estiaje, julio del 2019 del área de recreación infantil Amauta.

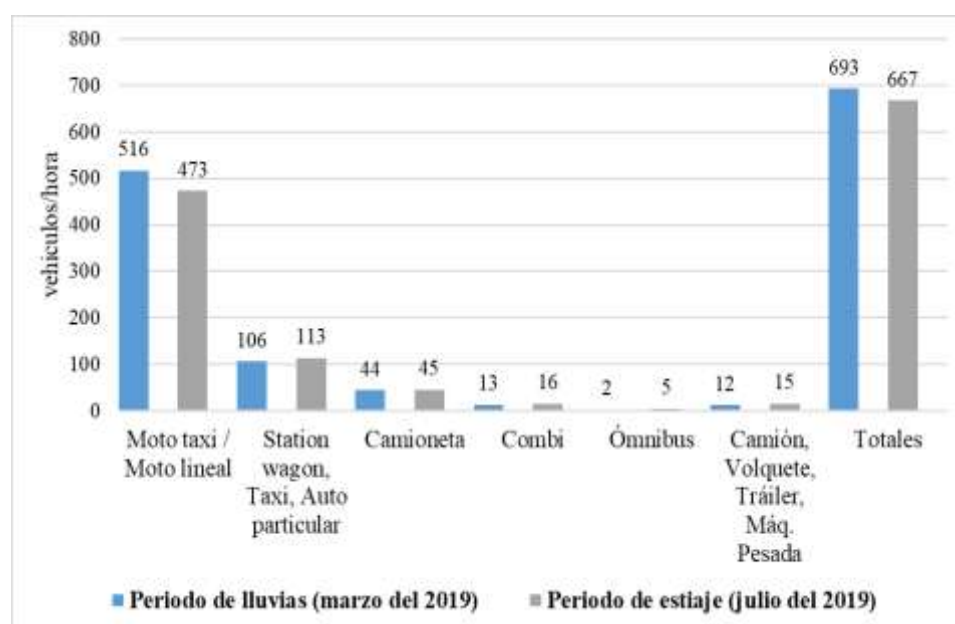


Figura 13. Volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Amauta

Según la Figura 13, se puede observar que en el área de recreación infantil Amauta durante el periodo de lluvias existió mayor volumen de tránsito horario, siendo 693 vehículos/hora, en comparación con el resultado obtenido durante el periodo de estiaje que fue de 667 vehículos/hora.

Asimismo, los resultados obtenidos como volumen de tránsito horario guardaron una relación directa con las concentraciones de plomo alcanzadas, debido a que durante el periodo de lluvias se registraron mayores valores, obteniéndose 693 vehículos/hora y 47,46 mg kg⁻¹ de plomo, que durante el periodo de estiaje donde fueron 667 vehículos/hora y 26,51 mg kg⁻¹ de plomo.

b. Área de recreación infantil Ramón Castilla

La Figura 14, presenta el volumen de tránsito horario por tipo de vehículo del periodo de lluvias, marzo del 2019 y el periodo de estiaje, julio del 2019 del área de recreación infantil Ramón Castilla.

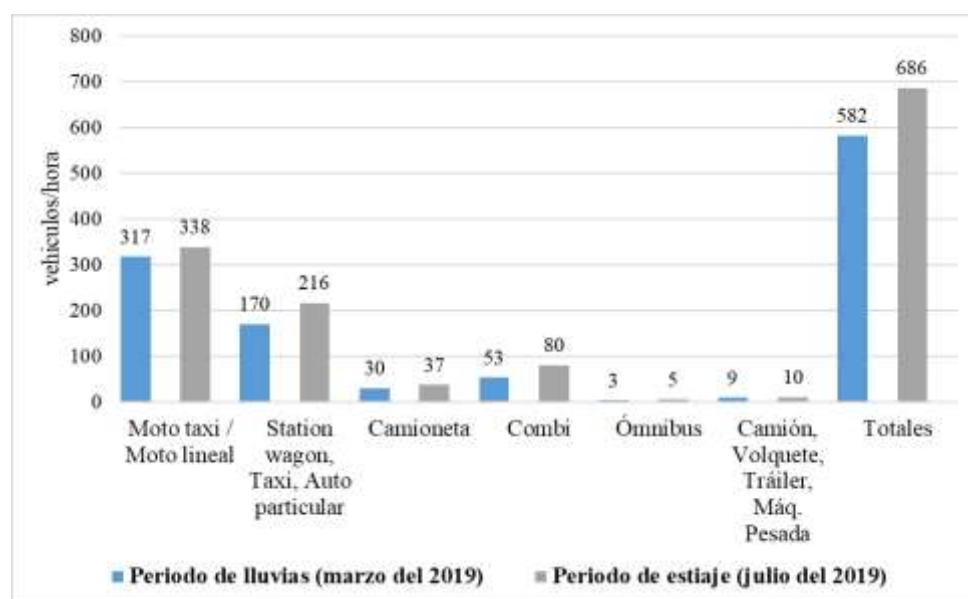


Figura 14. Volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Ramón Castilla

Según la Figura 14, se puede observar que en el área de recreación infantil Ramón Castilla durante el periodo de lluvias existió menor volumen de tránsito horario, siendo 582 vehículos/hora, en comparación con el resultado obtenido durante el periodo de estiaje que fue de 686 vehículos/hora.

Del mismo modo, los resultados obtenidos como volumen de tránsito horario guardaron una relación directa con las concentraciones de plomo alcanzadas, debido a que durante el periodo de lluvias se registraron menores valores, obteniéndose 582 vehículos/hora y 26,31 mg kg⁻¹ de plomo, que durante el periodo de estiaje donde fueron 686 vehículos/hora y 39,49 mg kg⁻¹ de plomo.

c. Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima

La Figura 15, presenta el volumen de tránsito horario por tipo de vehículo del periodo de lluvias, marzo del 2019 y del periodo de estiaje, julio del 2019 del área de recreación infantil Santa Rosa de Lima.

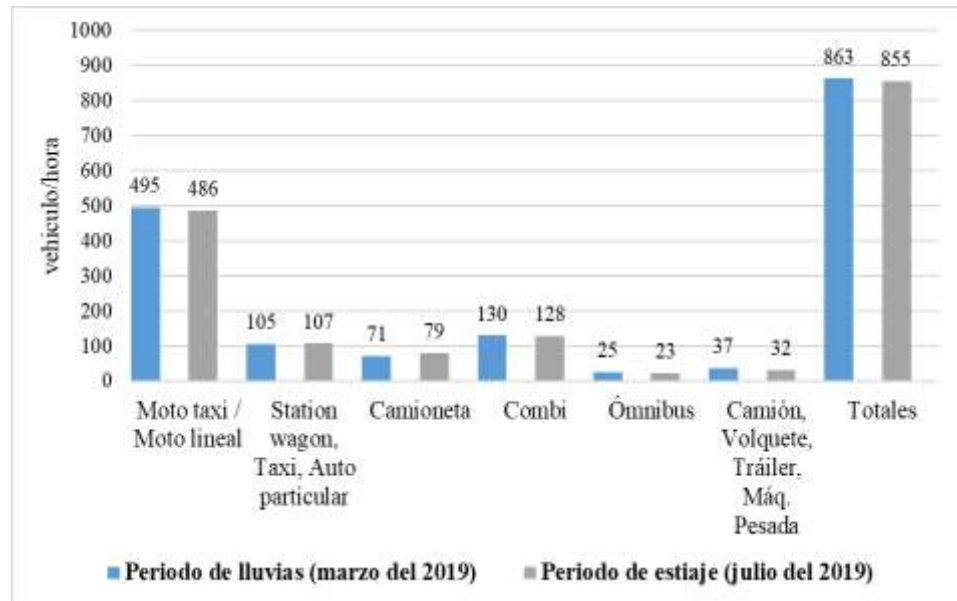


Figura 15. Volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Santa Rosa de Lima

Según la Figura 15, se puede observar que en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima durante el periodo de lluvias existió mayor volumen de tránsito horario, siendo 863 vehículos/hora, en comparación con el resultado obtenido durante el periodo de estiaje que fue de 855 vehículos/hora.

Igualmente, los resultados obtenidos como volumen de tránsito horario guardaron una relación directa con las concentraciones de plomo alcanzadas, debido a que durante el periodo de lluvias se registraron mayores valores, obteniéndose 863 vehículos/hora y 20,92 mg kg⁻¹ de plomo, que durante el periodo de estiaje donde fueron 855 vehículos/hora y 19,13 mg kg⁻¹ de plomo.

De acuerdo a las cifras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, al año 2018 el parque automotor del departamento de Cajamarca fue de 27 674 unidades y representó el 1,45% con

respecto al parque automotor del departamento de Lima y la provincia constitucional del Callao que fue de 1 908 672 unidades. Este bajo porcentaje que representó el parque automotor del departamento de Cajamarca se relacionó directamente con los bajos niveles de plomo encontrados en las tres áreas de recreación infantil estudiadas: Amauta con 47,46 mg kg⁻¹, Ramón Castilla con 39,49 mg kg⁻¹ y Santa Rosa de Lima con 20,92 mg kg⁻¹; ya que por el contrario, los parques recreacionales: Bosque El Olivar con 170 ppm, Campo de Marte con 226 ppm y Pentagonito con 159 ppm ubicados en el departamento de Lima alcanzaron niveles que sobrepasaron el Estándar de Calidad Ambiental para suelo de parques que es 140 mg kg⁻¹ del Ministerio del Ambiente según Tello, Jave & Guerrero (2018).

4.3. Evaluación de riesgos en la salud

La población infantil es la más vulnerable a la exposición de plomo, le puede causar anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad reproductiva. Se cree que los efectos neurológicos y conductuales relacionados al plomo son irreversibles y que no existe un nivel de concentración que pueda considerarse exento de riesgo. Además, se ha confirmado que cuanto mayor es la dosis de exposición a este metal, más aumentan la diversidad y la gravedad de los síntomas y efectos a él asociados (OMS, 2018).

4.3.1. Determinación de la dosis de exposición

La Tabla 11, presenta los datos que se utilizó para la determinación de la Dosis de Exposición de plomo en niños expuestos a suelos de las tres áreas de recreación infantil como son: Amauta, Ramón Castilla y Santa Rosa de Lima.

Tabla 11. Datos para el cálculo de la dosis de exposición de plomo en niños expuestos a suelos de tres áreas de recreación infantil

| Variable | Área de recreación infantil Amauta | Área de recreación infantil Ramón Castilla | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima |
|------------------------------|------------------------------------|--|--|
| Plomo mg kg ⁻¹ | 47,46 | 39,49 | 20,92 |
| TI mg d ⁻¹ | 200 | 200 | 200 |
| MC, kg | 16 | 16 | 16 |
| FE | | 0,05 | |

Fuente: ATSDR, 2007

TI: Tasa de Ingestión

MC: Masa Corporal

FE: Factor de Exposición

La Tabla 12, presenta la dosis de exposición estimada de las tres áreas de recreación infantil como son: Amauta, Ramón Castilla y Santa Rosa de Lima.

Tabla 12. Dosis de exposición de plomo en niños expuestos a suelos de tres áreas de recreación infantil

| Parámetro | Área de recreación infantil Amauta | Área de recreación infantil Ramón Castilla | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima |
|--|------------------------------------|--|--|
| Dosis de exposición mg kg ⁻¹ día ⁻¹ | 2,97 x 10 ⁻⁵ | 2,47 x 10 ⁻⁵ | 1,31 x 10 ⁻⁵ |

Según los resultados obtenidos en la Tabla 12, y de acuerdo a la metodología aplicada, los niños del área de recreación infantil Amauta se encontraron expuestos a una mayor dosis de plomo con 2,97 x 10⁻⁵ mg kg⁻¹ día⁻¹, seguidos por el área de recreación infantil Ramón Castilla con 2,47 x 10⁻⁵ mg kg⁻¹ día⁻¹ y el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima con 1,31 x 10⁻⁵ mg kg⁻¹ día⁻¹.

4.3.2. Cálculo del índice de peligrosidad

El índice de peligrosidad se calculó utilizando la Dosis de Referencia. Para el caso del plomo se utilizó el valor recomendado por la Agencia de Administración de Alimentos y Medicamentos para ingesta que es 6×10^{-3} $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

La Tabla 13, presenta los datos que se utilizó para la determinación del índice de peligrosidad.

Tabla 13. Datos para el cálculo del índice de peligrosidad en niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil

| Parámetro | Área de recreación infantil Amauta $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ | Área de recreación infantil Ramón Castilla $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ |
|---------------------|--|--|--|
| Dosis de exposición | $2,97 \times 10^{-5}$ | $2,47 \times 10^{-5}$ | $1,31 \times 10^{-5}$ |
| RfD | 6×10^{-3} | 6×10^{-3} | 6×10^{-3} |

RfD: Dosis de Referencia

Los resultados del cálculo del índice de peligrosidad en niños expuestos a suelos con plomo se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Índice de peligrosidad en niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil

| Parámetro | Área de recreación infantil Amauta | Área de recreación infantil Ramón Castilla | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima |
|------------------------|------------------------------------|--|--|
| Índice de peligrosidad | $4,94 \times 10^{-3}$ | $4,11 \times 10^{-3}$ | $2,18 \times 10^{-3}$ |

Según los resultados obtenidos en la Tabla 14, los valores del índice de peligrosidad de cada área de recreación infantil como son: Amauta con $4,94 \times 10^{-3}$, Ramón Castilla con $4,11 \times 10^{-3}$ y Santa Rosa de Lima con $2,18 \times 10^{-3}$ se encontraron por debajo de uno. Por lo tanto, según la metodología empleada del CEPIS/OPS la población infantil se encontró en condiciones seguras de exposición a suelos con plomo.

4.3.3. Cálculo del margen de exposición

Para calcular el margen de exposición se utilizó el Nivel sin Efecto Adverso Observable. El plomo no cuenta con un Nivel sin Efecto Adverso Observable, sin embargo, se asume $250 \text{ mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, según la recomendación de Mathavan et al. 1989. Los datos para el cálculo del margen de exposición a suelos con plomo se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Datos para el cálculo del margen de exposición a suelos con plomo en niños de tres áreas de recreación infantil

| Parámetro | Área de recreación infantil Amauta $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ | Área de recreación infantil Ramón Castilla $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ |
|---------------------|--|--|--|
| NOAEL | 250 | 250 | 250 |
| Dosis de exposición | $2,97 \times 10^{-5}$ | $2,47 \times 10^{-5}$ | $1,31 \times 10^{-5}$ |

NOAEL: Nivel sin Efecto Adverso Observable

Los resultados del cálculo del margen de exposición a suelos con plomo se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Margen de exposición a suelos con plomo en niños de tres áreas de recreación infantil

| Parámetro | Área de recreación infantil Amauta | Área de recreación infantil Ramón Castilla | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima |
|----------------------|---|---|---|
| Margen de exposición | 8 428 150 | 10 129 126 | 19 120 459 |

Según los resultados obtenidos en la Tabla 16, los valores del margen de exposición de cada área de recreación infantil como son: Amauta con 8 428 150, Ramón Castilla con 10 129 126 y Santa Rosa de Lima con 19 120 459 se encontraron superiores a uno. Por consiguiente, según la metodología empleada del CEPIS/OPS la población infantil se encontró en condiciones seguras de exposición a suelos con plomo.

4.3.4. Cálculo del riesgo carcinógeno

Para el cálculo del riesgo carcinógeno se usó el Factor Potencial Carcinógeno que para el plomo es igual a $8,5 \times 10^{-3} \text{ mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, según Ynocente & Olórtegui (2018). Primero se calculó el Riesgo Individual, luego el resultado se multiplicó por el número de habitantes del área de influencia para obtener el Riesgo Poblacional. La Tabla 17, presenta los datos que se utilizó para el cálculo del Riesgo Carcinógeno Individual y Poblacional.

Tabla 17. Datos para el cálculo del riesgo individual y riesgo poblacional carcinógeno en niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil

| Parámetro | Área de recreación infantil Amauta mg kg⁻¹ día⁻¹ | Área de recreación infantil Ramón Castilla mg kg⁻¹ día⁻¹ | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima mg kg⁻¹ día⁻¹ |
|---------------------|---|---|---|
| FPC | 8,5 x 10 ⁻³ | 8,5 x 10 ⁻³ | 8.5 x 10 ⁻³ |
| Dosis de exposición | 2,97 x 10 ⁻⁵ | 2,47 x 10 ⁻⁵ | 1,31 x 10 ⁻⁵ |
| Población * | 931 | 931 | 931 |

FPC: Factor Potencial Carcinógeno

* El tamaño de la población infantil menor a 5 años fue estimado a partir de la densidad poblacional de la zona urbana del distrito de Cajamarca (INEI, 2017).

Los resultados del cálculo del riesgo individual y riesgo poblacional carcinógeno en niños expuestos a suelos con plomo se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Riesgo individual y riesgo poblacional carcinógeno de niños expuestos a suelos con plomo de tres áreas de recreación infantil

| Parámetro | Área de recreación infantil Amauta | Área de recreación infantil Ramón Castilla | Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima |
|--------------------|---|---|---|
| Riesgo Individual | 0,25 x 10 ⁻⁶ | 0,21 x 10 ⁻⁶ | 0,11 x 10 ⁻⁶ |
| Riesgo Poblacional | 2,35 x 10 ⁻⁴ | 1,95 x 10 ⁻⁴ | 1,04 x 10 ⁻⁴ |

Según los resultados obtenidos en la Tabla 18, el riesgo individual de cada área de recreación infantil como son: Amauta con 0,25 x 10⁻⁶, Ramón Castilla con 0,21 x 10⁻⁶ y Santa Rosa de Lima con 0,11 x 10⁻⁶ se encontró

en un orden millonésimo; por lo cual, según la metodología empleada del CEPIS/OPS la posibilidad de que un niño pueda sufrir cáncer fue insignificante.

Por otro lado, el riesgo poblacional de cada área de recreación infantil como son: Amauta con $2,35 \times 10^{-4}$, Ramón Castilla con $1,95 \times 10^{-4}$ y Santa Rosa de Lima con $1,04 \times 10^{-4}$ se encontró en un orden diezmilésimo; por lo tanto, según la metodología empleada del CEPIS/OPS la posibilidad de que la población infantil pudiera padecer cáncer fue mínima.

Contrastación de la hipótesis

La contrastación de la hipótesis se realizó mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación de Pearson, haciendo uso del software Microsoft Excel 2016, para esto se relacionó la concentración máxima de plomo, variable X y la dosis de exposición, variable Y de cada área de recreación infantil como se observa en la Tabla 19.

Tabla 19. Datos para elaborar el diagrama de dispersión

| Área de recreación infantil | Concentración máx. de Plomo mg kg^{-1} X | Dosis de Exposición $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ Y |
|------------------------------------|---|--|
| Amauta | 47,46 | $2,97 \times 10^{-5}$ |
| Ramón Castilla | 39,49 | $2,47 \times 10^{-5}$ |
| Santa Rosa de Lima | 20,92 | $1,31 \times 10^{-5}$ |

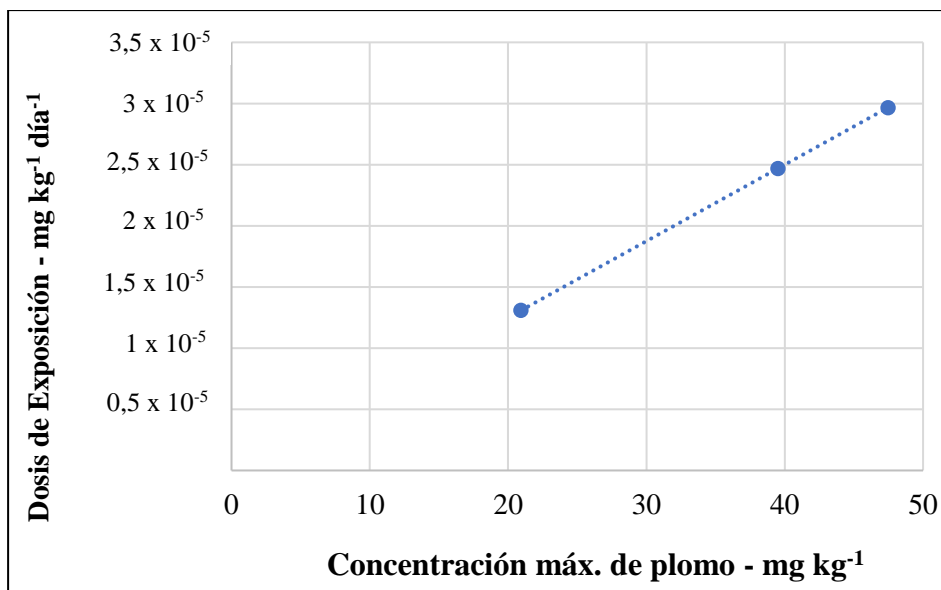


Figura 16. Diagrama de dispersión de las variables de estudio
Fuente: Microsoft Excel 2016

Coeficiente de Correlación de Pearson = 1

Según el resultado del Coeficiente de Correlación de Pearson = 1, existe una correlación positiva perfecta entre las variables de estudio, lo que significa que, a mayores niveles de plomo, mayores dosis de exposición y riesgos en la salud de los niños.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Los niveles de plomo en el suelo de las áreas de recreación infantil fueron: Amauta con media de $36,99 \text{ mg kg}^{-1}$ y rango de $47,46 \text{ mg kg}^{-1}$ - $26,51 \text{ mg kg}^{-1}$, Ramón Castilla con media de $32,90 \text{ mg kg}^{-1}$ y rango de $39,49 \text{ mg kg}^{-1}$ - $26,31 \text{ mg kg}^{-1}$ y Santa Rosa de Lima con media de $20,03 \text{ mg kg}^{-1}$ y rango de $20,92$ - $19,13 \text{ mg kg}^{-1}$. Tales niveles fueron bajos, según el Estándar de Calidad Ambiental para suelo de parques que es 140 mg kg^{-1} del Ministerio del Ambiente de Perú.
- Los volúmenes de tránsito horario que afectaron las áreas de recreación infantil fueron: durante el periodo de lluvias en el área infantil Amauta 693 vehículos/hora, en el área infantil Ramón Castilla 582 vehículos/hora y en el área infantil Santa Rosa de Lima 863 vehículos/hora, y durante el periodo de estiaje en el área infantil Amauta 667 vehículos/hora, en el área infantil Ramón Castilla 686 vehículos/hora y en el área infantil Santa Rosa de Lima 855 vehículos/hora.
- La dosis de exposición estimada estuvo relacionada directamente con los niveles de plomo obtenidos, encontrándose una mayor dosis de exposición en el área de recreación infantil Amauta con $2,97 \times 10^{-5} \text{ mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, seguidos por el área de recreación infantil Ramón Castilla con $2,47 \times 10^{-5} \text{ mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima con $1,31 \times 10^{-5} \text{ mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$.
- La población infantil no presentaría riesgos en su salud por la presencia de plomo en el suelo de las áreas de recreación infantil, debido a que el Índice de Peligrosidad y el Margen de Exposición indicaron condiciones seguras.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agencia de Protección Ambiental (EPA). (2017). *Regional Screening Levels Frequent Questions*. Washington D. C., Estados Unidos. Obtenido de <https://www.epa.gov/risk/regionalscreening->

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2007). *Reseña toxicológica del plomo*. Atlanta, EE. UU.: Departamento de Salud y Servicios Humanos.

Aguilar, A., & Amanqui, R. (2011). *Estudio técnico económico de prefactibilidad de un proceso de transformación para el incremento de octanaje de gasolinas en refinerías de la selva del Perú (Tesis de Pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Alarcón, C. (2018). *Contaminación con plomo en los expendedores de gasolina del distrito de Ayacucho, 2017 (Tesis de Pregrado)*. Ayacucho, Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Asociación Automotriz del Perú. (2019). *Estadísticas - venta de vehículos nuevos en países de la región*. Obtenido de https://aap.org.pe/estadisticas/venta_vehiculos_nuevos_paises_region/venta-de-vehiculos-nuevos-por-paises-2019/

Baird, C., & Cann, M. (2014). *Química Ambiental*. Barcelona, España: Reverte S.A.

- Bellido, J. (2018). *Niveles de plomo en los suelos de la Urbanización Primavera, distrito de El Agustino (Tesis de Pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (1999). *Canadian environmental quality guidelines*. Canadá: Hull, QC: CCME.
- Caselles, M., Gómez, M., Molero, M., & Sardá, J. (2015). *Química Aplicada a la Ingeniería*. Madrid, España: Uned.es/publicaciones.
- CEPIS/OPS. (2005). *Curso de Autoinstrucción en Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados*. Obtenido de: https://cidta.usal.es/riesgos/CD1/sitios_contaminados/www.cepis.ops-oms.org/tutorial3/e/capitulo2/index.html
- Chang, R. (1995). *Química*. México: McGraw-Hill.
- Díaz, F. (1999). *Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados*. Lima, Perú: OPS/CEPIS/PUB/99.34.
- Galán, E., & Romero, A. (2008). *Contaminación de suelos por metales pesados*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Obtenido de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Gallego, M. (2019). *Consumoteca, Parque Infantil*. Obtenido de <https://www.consumoteca.com/familia-y-consumo/parques-infantiles/parque-infantil/>

- Ilizarbe, G. (2017). *Composición de los aerosoles atmosféricos y su relación con las fuentes contaminantes en las Estaciones de Calidad del Aire de San Juan de Lurigancho y Puente Piedra, 2017 (Tesis de Pregrado)*. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Cajamarca.
- Jordán, A. (2015). *Manual de Edafología*. España: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Klaassen, C., & Walkins III, J. (1999). *Manual de Toxicología*. México: McGraw-Hill.
- Korc, M. (2001). *Guía para plomo de la OMS*. Lima - Perú.
- Lugol, L. (2013). *Derecho de los niños y espacios jugables (Tesis Doctoral)*. Puebla, México: Universidad Autónoma de Puebla.
- Madhavan, S., Rosenman, K., & Shethata, T. (1989). *Lead in Soil: Recommended maximum permissible levels*. Environ.
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2001). *Reglamento para la comercialización de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos - D.S. N° 045-2001-EM*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2019). *Estadística, Servicios de transporte terrestre por carretera - Parque automotor*. Lima, Perú.

- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. Lima, Perú: Mavet Impresiones E.I.R.L.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados*. Lima, Perú: Q&P Impresores S.R.L.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). *Estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo*. Lima, Perú: El Peruano.
- Moreno, M. (2013). *Toxicología Ambiental*. Madrid, España: Edigrafos S. A.
- Municipalidad Provincial de Cajamarca (MPC). (2019). *Plan de desarrollo urbano*. Cajamarca, Perú.
- Olaya, R., & Vargas, A. (2018). *Presencia de contaminantes metálicos en sedimentos depositados en las hojas de los árboles y salud de los trabajadores ambulantes de la avenida Manco Cápac en el distrito de La Victoria (Tesis de Pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (Febrero de 2015). *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*. Obtenido de WHO. Regional Office for Europe: <http://www.euro.who.int/document/E91044.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (agosto de 2018). *Intoxicación por plomo y salud*. Obtenido de WHO: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, N., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2011). *Contaminación Ambiental - Una Visión desde la Química*. Madrid, España: Paraninfo, S. A.
- Pérez, G. (25 de octubre de 2019). *Espectrometría.com*. Obtenido de https://www.espectrometria.com/espectrometra_de_emisin
- Poma, P. (2008). *Intoxicación por plomo en humanos*. Chicago, EEUU: REVISIONES 120-6.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (Febrero de 2015). *Saturnismo Infantil*. Obtenido de http://www.chem.unep.ch/irptc/publications/leadpoison/lead_spn.pdf
- Ramírez, A. (Febrero de 2005). *El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo*. Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Anales de la Facultad de Medicina: <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v66n1/a09v66n1.pdf>
- Rodríguez, A., Cuéllar, L., Maldonado, G., & Suardiaz, M. (2016). *Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre*. Hospital Clínico Quirúrgico "Hermanos Ameijeiras". La Habana, Cuba: Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas.
- Salazar, S. (2017). *Vulnerabilidad de la Infraestructura Vial ante Incremento del Parque Automotor en la Ciudad de Cajamarca (Tesis Posgrado)*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Satian, D. (2019). *Determinación de plomo y cadmio en el hollín impregnado en aceras y bordillos de las estaciones de la metrovía (Tesis de Pregrado)*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.

Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía (SNMPE). (22 de Setiembre de 2019). *El Plomo*. Obtenido de <https://www.snmpe.org.pe/mineria/publicaciones-del-sector-minero/los-minerales/241-el-plomo.html>

Tamayo, P., Vásquez, C., Salvador, J., & De la Cruz, S. (2015). La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país. *Osinergmin*, 34, 35.

Tarazona, E. (2019). *Asociación Automotriz del Perú*. Obtenido de <https://aap.org.pe/aap-los-efectos-de-un-parque-automotor-escaso-y-antiguo-2/>

Tejada, C. (2014). *Dosaje de plomo en sangre en relación a la contaminación por el parque automotor en Arequipa (Tesis de Pregrado)*. Arequipa - Perú: Universidad Católica de Santa María.

Tello, L., Jave, J., & Guerrero, J. (2018). *Análisis de cuantificación de plomo en suelos de parques recreacionales de la ciudad de Lima - Perú*. Obtenido de Ecología Aplicada: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau/article/view/1168>

Trujillo, J. (2014). *Evaluación de tres zonas de la ciudad de Villavicencio a partir de las concentraciones de metales pesados presentes en el polvo vial (Tesis de Posgrado)*. Bogotá, Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Valdivia, M. (Febrero de 2015). *Intoxicación por plomo*. Obtenido de Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna:
http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf

Yacomelo, M. (2014). *Riesgo toxicológico en personas expuestas a suelos y vegetales con posibles concentraciones de metales pesados, en el sur del Atlántico (Tesis de Posgrado)*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

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.

Yucra, S., Gasco, M., Rubio, J., & González, G. (Febrero de 2008). *Exposición ocupacional a plomo y pesticidas órgano fosforados: efecto sobre la salud reproductiva masculina*. Obtenido de Perú, Salud Pública:
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n4/a09v25n4.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Informes de ensayo de laboratorio
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



INFORME DE ENSAYO N° 131741 - 2019 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : PERALES VALDIVIA NILTON IBAN
DOMICILIO LEGAL : PASAJE VERGARA No 105 - CAMARCA
SOLICITADO POR : PERALES VALDIVIA NILTON IBAN
REFERENCIA : "NIVELES DE PLOMO EN EL SUELO DE ÁREAS DE RECREACIÓN INFANTIL AFECTADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR Y RIESGOS EN LA SALUD DE LOS NIÑOS DE LA CIUDAD DE CAMARCA - 2019"
PROCEDENCIA : ÁREAS DE RECREACIÓN INFANTIL
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2019-03-25
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2019-04-01 AL 2019-04-02
FECHA(S) DE MUESTREO : 2019-03-24
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

| Ensayo | Método | Unidades |
|---|---|----------|
| Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc). | Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC, Verion (1994). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. | mg/kg |

II. RESULTADOS:

| Producto declarado | Suelo | Suelo | Suelo |
|--------------------------------|------------|------------|------------|
| Matriz analizada | Suelo | Suelo | Suelo |
| Fecha de muestreo | 2019-03-24 | 2019-03-24 | 2019-03-24 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | 09:45 | 10:50 | 12:10 |
| Condiciones de la muestra | Conservada | Conservada | Conservada |
| Código del Cliente | ARI-LIA | ARI-RC | ARI-SRL |
| Código del Laboratorio | 19031462 | 19031463 | 19031464 |
| Ensayo | L.O.M. | unidades | Resultados |
| Metales totales | | | |
| Plata (Ag) | 0.07 | mg/kg | <0.07 |
| Aluminio (Al) | 1.4 | mg/kg | 4961.3 |
| Arsénico (As) | 0.1 | mg/kg | 7.5 |
| Boro (B) | 0.2 | mg/kg | <0.2 |
| Bario (Ba) | 0.2 | mg/kg | 86.2 |
| Berilio (Be) | 0.03 | mg/kg | 0.26 |
| Calcio (Ca) | 4.7 | mg/kg | 9838.2 |
| Cadmio (Cd) | 0.04 | mg/kg | 3.44 |
| Cerio (Ce) | 0.2 | mg/kg | 18.0 |
| Cobalto (Co) | 0.05 | mg/kg | 3.74 |
| Cromo (Cr) | 0.04 | mg/kg | 11.98 |
| Cobre (Cu) | 0.1 | mg/kg | 32.8 |
| Hierro (Fe) | 0.2 | mg/kg | 9796.7 |
| Mercurio (Hg) | 0.1 | mg/kg | <0.1 |
| Potasio (K) | 4.3 | mg/kg | 769.6 |
| Litio (Li) | 0.3 | mg/kg | 1.4 |
| Magnesio (Mg) | 4.4 | mg/kg | 711.7 |
| Manganeso (Mn) | 0.05 | mg/kg | 222.75 |
| Molibdeno (Mo) | 0.2 | mg/kg | 0.2 |
| Sodio (Na) | 2.3 | mg/kg | 132.0 |
| Niquel (Ni) | 0.06 | mg/kg | 2.91 |
| Fósforo (P) | 0.3 | mg/kg | 1621.4 |
| Plomo (Pb) | 0.06 | mg/kg | 47.46 |
| Antimonio (Sb) | 0.2 | mg/kg | 2.0 |
| Selenio (Se) | 0.3 | mg/kg | <0.3 |
| Estaño (Sn) | 0.1 | mg/kg | 0.4 |
| Estroncio (Sr) | 0.1 | mg/kg | 0.4 |
| Titanio (Ti) | 0.03 | mg/kg | 36.0 |
| Talio (Tl) | 0.3 | mg/kg | 39.82 |
| Vanadio (V) | 0.04 | mg/kg | <0.3 |
| Zinc (Zn) | 0.2 | mg/kg | 17.19 |
| | | | 54.1 |
| | | | 49.9 |

L.O.M.: límite de detección del método.
 Resultados de Suelo reportado en base seca.

Lima, 05 de Abril del 2019.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de almacenamiento. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación se autorizada, tramite o fabricación de, sometido o de la empresa de este documento en base y los resultados pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Asesor Técnico Químico

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 134691 - 2019
CON VALOR OFICIAL**

RAZÓN SOCIAL : PERALES VALDIVIA NILTON IBAN
DOMICILIO LEGAL : PS3E VERGARA NRO 105- CAJAMARCA- CAJAMARCA- CAJAMARCA
SOLICITADO POR : PERALES VALDIVIA NILTON IBAN
REFERENCIA : TESIS "NIVELES DE PLOMO EN EL SUELO DE ÁREAS DE RECREACIÓN INFANTIL AFECTADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR Y RIESGOS EN LA SALUD DE LOS NIÑOS DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA - 2019"
PROCEDENCIA : ÁREAS DE RECREACIÓN INFANTIL DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA (URBANIZACIÓN AMAUTA, RAMÓN CASTILLA Y SANTA ROSA DE LIMA)
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2019-07-16
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2019-07-18-AL 2019-07-19
FECHA(S) DE MUESTREO : 2019-07-14
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

| Ensayo | Método | Unidades |
|---|---|----------|
| Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc). | EPA 3050-B (1996) / Method 200.7 Rev. 4.6 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. | mg/kg |

[Signature]
 Quim. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod: FI 02/Revisión: 00/VI E.03/2018

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. MTP: Norma Técnica Peruana.

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de validez del certificado analítico con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para verificar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuede o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los autores podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chocra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 1 de 2

• Central Telefónica (511) 425-8885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-047



Registro P.T.E. - 047

INFORME DE ENSAYO N° 134691 - 2019 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

| Producto declarado | | | Suelo Superficial | Suelo Superficial | Suelo Superficial |
|--------------------------------|--------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Matriz analizada | | | Suelo | Suelo | Suelo |
| Fecha de muestreo | | | 2019-07-14 | 2019-07-14 | 2019-07-14 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 15:00 | 15:50 | 17:15 |
| Condiciones de la muestra | | | Conservada | Conservada | Conservada |
| Código del Cliente | | | ARI-UA | ARI-RC | ARI-SRL |
| Código del Laboratorio | | | 19071652 | 19071653 | 19071654 |
| Ensayo | L.D.M. | unidades | Resultados | | |
| Metales | | | | | |
| Plata (Ag) | 0.07 | mg/kg | <0.07 | <0.07 | <0.07 |
| Aluminio (Al) | 1.4 | mg/kg | 4292.2 | 4648.3 | 3136.0 |
| Arsénico (As) | 0.1 | mg/kg | 6.0 | 3.2 | 4.8 |
| Boro (B) | 0.2 | mg/kg | <0.2 | <0.2 | <0.2 |
| Bario (Ba) | 0.2 | mg/kg | 63.4 | 86.6 | 40.4 |
| Berilio (Be) | 0.03 | mg/kg | 0.27 | 0.50 | 0.37 |
| Calcio (Ca) | 4.2 | mg/kg | 12627.9 | 33724.5 | 12828.8 |
| Cadmio (Cd) | 0.04 | mg/kg | 1.45 | 1.83 | 1.81 |
| Cerio (Ce) | 0.2 | mg/kg | 17.5 | 30.5 | 16.9 |
| Cobalto (Co) | 0.05 | mg/kg | 3.19 | 4.38 | 4.53 |
| Cromo (Cr) | 0.04 | mg/kg | 5.15 | 6.58 | 4.33 |
| Cobre (Cu) | 0.1 | mg/kg | 28.9 | 14.4 | 8.5 |
| Hierro (Fe) | 0.2 | mg/kg | 7439.3 | 9302.7 | 10033.6 |
| Mercurio (Hg) | 0.1 | mg/kg | 0.3 | 0.1 | <0.1 |
| Potasio (K) | 4.3 | mg/kg | 1543.4 | 1251.3 | 723.7 |
| Litio (Li) | 0.3 | mg/kg | 1.3 | 2.9 | 2.3 |
| Magnesio (Mg) | 4.4 | mg/kg | 858.4 | 1184.2 | 902.6 |
| Manganeso (Mn) | 0.05 | mg/kg | 189.19 | 314.87 | 225.28 |
| Moibdeno (Mo) | 0.2 | mg/kg | 0.2 | 0.5 | 0.5 |
| Sodio (Na) | 2.3 | mg/kg | 319.6 | 295.3 | 212.1 |
| Niquel (Ni) | 0.06 | mg/kg | 3.92 | 7.00 | 5.54 |
| Fósforo (P) | 0.3 | mg/kg | 1218.1 | 1418.1 | 833.4 |
| Plomo (Pb) | 0.06 | mg/kg | 26.84 | 39.49 | 19.13 |
| Antimonio (Sb) | 0.2 | mg/kg | 2.0 | 0.6 | 1.4 |
| Selenio (Se) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| Estaño (Sn) | 0.1 | mg/kg | 0.5 | 0.9 | 0.4 |
| Estroncio (Sr) | 0.1 | mg/kg | 37.9 | 78.1 | 34.5 |
| Titanio (Ti) | 0.03 | mg/kg | 60.75 | 42.53 | 39.76 |
| Talio (Tl) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| Vanadio (V) | 0.04 | mg/kg | 15.43 | 22.67 | 15.77 |
| Zinc (Zn) | 0.2 | mg/kg | 56.0 | 56.2 | 43.6 |

L.D.M.: Límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Lima, 30 de Julio del 2019.

Quim. Belbén Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cuid.: FT 00/Modificación: 08/11/03/2019

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPW: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials; NTP: Norma Técnica Peruana.

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para constatar la AUTENTICIDAD del presente informe por favor al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuede a falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 2

Anexo 2. Estándares de Calidad Ambiental para suelo

D. S. N° 011-2017-MINAM

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;

Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 06-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Dispóngase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe, por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe.

Artículo 2.- Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

1593024-1

AMBIENTE

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

DECRETO SUPREMO
N° 011-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado

DIARIO OFICIAL DEL GOBIERNO PERUANO

El Peruano

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos constitucionales autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, que contengan más de una página, se adjuntará un CD o USB en formato Word con su contenido o éste podrá ser remitido al correo electrónico normaslegales@editoraperu.com.pe.

LA DIRECCIÓN

de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, siendo una de sus funciones específicas, analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental del país;

Que, en mérito a la evaluación técnica realizada por el citado Grupo de Trabajo, se identificó la necesidad de actualizar los ECA para Suelo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 182-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente dispuso la prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los ECA para Suelo, en cumplimiento del artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente; y la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, que como Anexo forman parte integrante del presente decreto supremo.

Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio

Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

Artículo 3.- De la superación de los ECA para Suelo

De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente.

Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación.

Artículo 4.- Refrendo

El presente decreto supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud, el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el Ministro de la Producción, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, y el Ministro de Agricultura y Riego.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Criterios para la gestión de sitios contaminados

Mediante decreto supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente y en coordinación con los sectores competentes, se aprobarán los criterios para la gestión de sitios contaminados, los mismos que regulan las acciones señaladas en el artículo 3 del presente decreto supremo.

Segunda.- Aplicación del ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Suelo se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial correspondiente.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental en trámite ante la Autoridad Competente

Los/as titulares que, antes de la entrada en vigencia de la presente norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Suelo vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los/as titulares deberán considerar lo establecido en la Segunda Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Suelo aprobados mediante el presente decreto supremo.

Segunda.- De los procedimientos en trámite para la adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los ECA

Los procedimientos de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los estándares de calidad ambiental (ECA), iniciados con anterioridad a la vigencia del presente decreto supremo, se resuelven conforme a las disposiciones normativas vigentes al momento de su inicio.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única.- Derogación

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, y el Decreto Supremo N° 003-2014-MINAM, que aprueba la Directiva que establece el procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, al primer día del mes de diciembre del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

CAYETANA ALJOVÍN GAZZANI
Ministra de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ CALDERÓN
Ministro de la Producción

FERNANDO ANTONIO D'ALESSIO IPINZA
Ministro de Salud

BRUNO GIUFFRÀ MONTEVERDE
Ministro de Transportes y Comunicaciones

CARLOS RICARDO BRUCE MONTES DE OCA
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

| Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾ | Usos del Suelo ⁽²⁾ | | | Métodos de ensayo ^{(3),(4)} |
|---|-------------------------------|--|--|--|
| | Suelo Agrícola ⁽¹⁾ | Suelo Residencial/ Parques ⁽¹⁾ | Suelo Comercial ⁽¹⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽¹⁾ | |
| ORGÁNICOS | | | | |
| Hidrocarburos aromáticos volátiles | | | | |
| Benceno | 0,03 | 0,03 | 0,03 | EPA 8260 ⁽⁵⁾ EPA 8021 |
| Tolueno | 0,37 | 0,37 | 0,37 | EPA 8260 EPA 8021 |
| Etilbenceno | 0,082 | 0,082 | 0,082 | EPA 8260 EPA 8021 |
| Xilenos ⁽⁶⁾ | 11 | 11 | 11 | EPA 8260 EPA 8021 |
| Hidrocarburos poliaromáticos | | | | |
| Naftaleno | 0,1 | 0,6 | 22 | EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270 |
| Benzo(a) pireno | 0,1 | 0,7 | 0,7 | EPA 8270 |
| Hidrocarburos de Petróleo | | | | |
| Fración de hidrocarburos F1 ⁽⁷⁾ (C6-C10) | 200 | 200 | 500 | EPA 8015 |
| Fración de hidrocarburos F2 ⁽⁷⁾ (>C10-C28) | 1200 | 1200 | 5000 | EPA 8015 |
| Fración de hidrocarburos F3 ⁽⁷⁾ (>C28-C40) | 3000 | 3000 | 6000 | EPA 8015 |
| Compuestos Organoclorados | | | | |
| Bifenilos policlorados - PCB ⁽⁶⁾ | 0,5 | 1,3 | 33 | EPA 8082 EPA 8270 |
| Tetracloroetileno | 0,1 | 0,2 | 0,5 | EPA 8260 |
| Tricloroetileno | 0,01 | 0,01 | 0,01 | EPA 8260 |
| INORGÁNICOS | | | | |
| Arsénico | 50 | 50 | 140 | EPA 3050 EPA 3051 |
| Bario total ⁽⁶⁾ | 750 | 500 | 2 000 | EPA 3050 EPA 3051 |
| Cadmio | 1,4 | 10 | 22 | EPA 3050 EPA 3051 |
| Cromo total | ** | 400 | 1 000 | EPA 3050 EPA 3051 |
| Cromo VI | 0,4 | 0,4 | 1,4 | EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽⁸⁾ |
| Mercurio | 6,6 | 6,6 | 24 | EPA 7471 EPA 8020 ó 200.8 |
| Plomo | 70 | 140 | 800 | EPA 3050 EPA 3051 |
| Cianuro Libre | 0,9 | 0,9 | 8 | EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015 |

Notas:

[*] Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) PS: Peso seco.

(3) Suelo agrícola: Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) Suelo residencial/parques: Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) Suelo comercial: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) Suelo industrial/extractivo: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA

- correspondiente al parámetro bajo análisis.
- (8) Para aquellos parámetros respecto de los cuales no se especifican los métodos de ensayo empleados para la determinación de las muestras, se deben utilizar métodos que cumplen con las condiciones señaladas en la nota (7).
- (9) EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés).
- (10) Este parámetro comprende la suma de Xlenos: o-xileno, m-xileno y p-xileno. En el respectivo informe de ensayo se debe reportar la suma de los Xlenos, así como las concentraciones y límites de cuantificación de los tres (3) isómeros de manera individual.
- (11) **Fracción de hidrocarburos F1 o fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen entre seis y diez átomos de carbono (C6 a C10). Los hidrocarburos de fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, solventes, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (12) **Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbotina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (13) **Fracción de hidrocarburos F3 o fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono (>C28 a C40). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, parafinas, petrodatos, aceites del petróleo, entre otros.
- (14) Suma de siete PCB indicadores: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.
- (15) De acuerdo con la metodología de Alberta Environment (2009): Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health, ISBN No. 978-0-7785-7691-4. En el caso de sitios con presencia de baritina se podrán aplicar los valores establecidos para Bario total real en la Tabla 1. Un sitio con presencia de baritina se determina cuando todas las muestras de suelo cumplen con los valores establecidos para Bario extraíble, de acuerdo con lo indicado en la tabla 1.

- aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.
- (f) Se determina mediante la medición en solución extractora 0,1 M CaCl₂, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health. ISBN Nº 978-0-7785-7691-4.
- (g) Valores aplicables en sitios que cumplen con las concentraciones de Bario extraíble. La concentración del Bario total real se determina mediante las técnicas de fusión XRF o por fusión ICP, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health. ISBN Nº 978 0 7785-7691-4.
- (h) Suelo comercial.
- (i) Suelo industrial/extractivo.
- (16) DIN: Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung, por sus siglas en alemán).

1593392-5

Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados

**DECRETO SUPREMO
Nº 012-2017-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú, establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo 1 del Título Preliminar de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, señala 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, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, en virtud del numeral 16.2 del artículo 16 de la Ley, los instrumentos de gestión ambiental constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales que rigen en el país;

Que, asimismo, según lo dispuesto por el numeral 17.2 del artículo 17 de la Ley, los planes de remediación constituyen un tipo de instrumento de gestión ambiental;

Que, el numeral 30.1 del artículo 30 de la Ley, referido a los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales, señala que estos están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes; asimismo, precisa que los citados planes deben considerar el financiamiento y las responsabilidades que corresponden a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental;

Que, de conformidad con el numeral 30.2 del artículo 30 de la Ley, las entidades con competencias ambientales promueven y establecen planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados, y la Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para su elaboración;

Tabla 1. Valores para bario en sitios con presencia de baritina^(a)

| Parámetros en mg/kg PS | Uso del suelo | | |
|--|-------------------------------|--|--|
| | Suelo Agrícola ^(b) | Suelo Residencial/Parques ^(c) | Suelo Comercial ^(d) / Industrial/ Extractivo ^(e) |
| Bario extraíble ⁽¹⁾ (Extractable Barium) | 250 | 250 | 450 |
| Bario total real en sitios con presencia de baritina ⁽²⁾ (True total Barium at Barite Sites) | 10 000 | 10 000 | 15 000 ⁽³⁾ 140 000 ⁽⁴⁾ |

Notas:

- (a) A efectos de aplicar los valores establecidos para el Bario total, Bario extraíble o Bario total real en sitios con presencia de baritina, corresponde utilizar el procedimiento detallado por Alberta Environment (2009). Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health. ISBN Nº 978-0-7785-7691-4.
- (b) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.
- (c) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.
- (d) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.
- (e) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o

APÉNDICES

Apéndice 1. Galería fotográfica



Figura 17. Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Amauta - marzo del 2019



Figura 18. Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Ramón Castilla - marzo del 2019



Figura 19. Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima - marzo del 2019



Figura 20. Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Amauta - julio del 2019



Figura 21. Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Ramón Castilla - julio del 2019



Figura 22. Toma de muestra de suelo en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima - julio del 2019



Figura 23. Codificación de muestras de suelo de áreas de recreación infantil



Figura 24. Conteo de unidades vehiculares en el área de recreación infantil Amauta



Figura 25. Conteo de unidades vehiculares en el área de recreación infantil Ramón Castilla



Figura 26. Conteo de unidades vehiculares en el área de recreación infantil Santa Rosa de Lima

Apéndice 2. Fichas de observación del volumen de tránsito horario

**Fichas de observación del volumen de tránsito horario
Periodo de lluvias, marzo del 2019**

Área de recreación infantil Amauta

Fecha: 20/03/2019 – Horas: de 07:00:00 am a 07:00:00 pm.

Ubicación del punto de aforo: Intersección Prol. Chanchamayo con Jr. Alejandro Ortiz

Distancia al área de recreación infantil: 65 m

Tabla 20. Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Amauta – Periodo de lluvias

| Sentido / Sub Total de unidades / Vol. Tránsito horario | Moto taxi / Moto lineal | Station wagon, Taxi, Auto particular | Camioneta | Combi | Ómnibus | Camión, Volquete, Tráiler, Máq. Pesada | Sub Total / Total |
|--|--|---|------------------|--------------|----------------|---|----------------------------------|
| NO - SE | 2 682 | 594 | 222 | 74 | 7 | 38 | 3 617 |
| SE - NO | 3 510 | 678 | 304 | 86 | 14 | 108 | 4 700 |
| Sub Total | 6 192 | 1 272 | 526 | 160 | 21 | 146 | 8 317 |
| Vol. Tránsito horario | 516 | 106 | 44 | 13 | 2 | 12 | 693 |

NO: Nor Oeste - SE: Sur Este

Área de recreación infantil Ramón Castilla

Fecha: 21/03/2019 – Horas: de 07:00:00 am a 07:00:00 pm.

Ubicación del punto de aforo: Jr. Baños del Inca

Distancia al área de recreación infantil: 12 m

Tabla 21. Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Ramón Castilla – Periodo de lluvias

| Sentido / Sub Total de unidades / Vol. Tránsito horario | Moto taxi / Moto lineal | Station wagon, Taxi, Auto particular | Camioneta | Combi | Ómnibus | Camión, Volquete, Tráiler, Máq. Pesada | Sub Total / Total |
|--|--|---|------------------|--------------|----------------|---|----------------------------------|
| SO - NE | 1 772 | 728 | 125 | 512 | 26 | 62 | 3 225 |
| NE - SO | 2 036 | 1 313 | 236 | 126 | 06 | 44 | 3 761 |
| Sub Total | 3 808 | 2 041 | 361 | 638 | 32 | 106 | 6 986 |
| Vol. Tránsito horario | 317 | 170 | 30 | 53 | 3 | 9 | 582 |

SO: Sur Oeste - NE: Nor Este

Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima

Fecha: 22/03/2019 – Horas: de 07:00:00 am a 07:00:00 pm.

Ubicación del punto de aforo: Intersección Av. San Martín de Porres con Jr. San Bernardo

Distancia al área de recreación infantil: 50 m

Tabla 22. Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Santa Rosa de Lima – Periodo de lluvias

| Sentido / Sub Total de unidades / Vol. Tránsito horario | Moto taxi / Moto lineal | Station wagon, Taxi, Auto particular | Camioneta | Combi | Ómnibus | Camión, Volquete, Tráiler, Máq. Pesada | Sub Total / Total |
|--|--|---|------------------|--------------|----------------|---|----------------------------------|
| NO - SE | 2 628 | 504 | 482 | 732 | 138 | 178 | 4 662 |
| SE - NO | 3 312 | 756 | 372 | 828 | 164 | 262 | 5 694 |
| Sub Total | 5 940 | 1 260 | 854 | 1560 | 302 | 440 | 10 356 |
| Vol. Tránsito horario | 495 | 105 | 71 | 130 | 25 | 37 | 863 |

NO: Nor Oeste - SE: Sur Este

Fichas de observación del volumen de tránsito horario
Periodo de estiaje, julio del 2019

Área de recreación infantil Amauta

Fecha: 10/07/2019 – Horas: de 07:00:00 am a 07:00:00 pm.

Ubicación del punto de aforo: Intersección Prol. Chanchamayo con Jr. Alejandro Ortiz

Distancia al área de recreación infantil: 65 m

Tabla 23. Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Amauta – Periodo de estiaje

| Sentido / Sub Total de unidades / Vol. Tránsito horario | Moto taxi / Moto lineal | Station wagon, Taxi, Auto particular | Camioneta | Combi | Ómnibus | Camión, Volquete, Tráiler, Máq. Pesada | Sub Total / Total |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------|----------------|---|--------------------------|
| NO - SE | 2 432 | 710 | 276 | 112 | 32 | 21 | 3 583 |
| SE - NO | 3 243 | 645 | 268 | 78 | 28 | 158 | 4 420 |
| Sub Total | 5 675 | 1 355 | 544 | 190 | 60 | 179 | 8 003 |
| Vol. Tránsito horario | 473 | 113 | 45 | 16 | 5 | 15 | 667 |

NO: Nor Oeste - SE: Sur Este

Área de recreación infantil Ramón Castilla

Fecha: 11/07/2019 – Horas: de 07:00:00 am a 07:00:00 pm.

Ubicación del punto de aforo: Jr. Baños del Inca

Distancia al área de recreación infantil: 12 m

Tabla 24. Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Ramón Castilla – Periodo de estiaje

| Sentido / Sub Total de unidades / Vol. Tránsito horario | Moto taxi / Moto lineal | Station wagon, Taxi, Auto particular | Camioneta | Combi | Ómnibus | Camión, Volquete, Tráiler, Máq. Pesada | Sub Total / Total |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------|----------------|---|--------------------------|
| SO - NE | 2 042 | 920 | 186 | 734 | 29 | 88 | 3 999 |
| NE - SO | 2 018 | 1 675 | 258 | 221 | 32 | 31 | 4 235 |
| Sub Total | 4 060 | 2 595 | 444 | 955 | 61 | 119 | 8 234 |
| Vol. Tránsito horario | 338 | 216 | 37 | 80 | 5 | 10 | 686 |

SO: Sur Oeste - NE: Nor Este

Área de recreación infantil Santa Rosa de Lima

Fecha: 12/07/2019 – Horas: de 07:00:00 am a 07:00:00 pm.

Ubicación del punto de aforo: Intersección Av. San Martín de Porres con Jr. San Bernardo

Distancia al área de recreación infantil: 50 m

Tabla 25. Ficha de observación del volumen de tránsito horario del área de recreación infantil Santa Rosa de Lima – Periodo de estiaje

| Sentido / Sub Total de unidades / Vol. Tránsito horario | Moto taxi / Moto lineal | Station wagon, Taxi, Auto particular | Camioneta | Combi | Ómnibus | Camión, Volquete, Tráiler, Máq. Pesada | Sub Total / Total |
|--|--|---|------------------|--------------|----------------|---|----------------------------------|
| NO - SE | 2 588 | 634 | 524 | 756 | 122 | 156 | 4 780 |
| SE - NO | 3 246 | 648 | 422 | 783 | 149 | 228 | 5 476 |
| Sub Total | 5 834 | 1 282 | 946 | 1 539 | 271 | 384 | 10 256 |
| Vol. Tránsito horario | 486 | 107 | 79 | 128 | 23 | 32 | 855 |

NO: Nor Oeste - SE: Sur Este