

Perfil toxicológico de Plomo (Pb), Número CAS 7439-92-1

Perfiles toxicológicos detallados para plomo fueron desarrollados por diversas agencias regulatorias, incluyendo U.S. EPA (2008), JECFA (1987), MOE (2007; 2008), OMS (1995; 2000), CCME (1999), RIVM (2001), Cal EPA (2005) y ATSDR (2007). El presente perfil toxicológico resume aspectos importantes para la evaluación del riesgo por la contaminación con plomo en el área del proyecto.

1. Características de Plomo

El plomo es un metal gris-azulado que ocurre naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. El plomo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles. El plomo tiene muchos usos diferentes. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X. Debido a inquietudes sobre salud pública, la cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para calafatear y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años. El uso del plomo como aditivo para gasolina se prohibió a partir de los 90's en Europa, los Estados Unidos y muchos otros países. En Perú aún se utiliza el tetraetil de plomo en algunos combustibles.

El plomo presente en el suelo y en minerales puede entrar al aire, al agua y a suelos en otras áreas en polvo que levanta el viento y puede entrar al agua en efluente de lluvia o en agua que se filtra a través del suelo. En el ambiente, el plomo no puede ser destruido en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma.

En Mollehuaca no existe evidencia de una contaminación antropogénica por plomo, menos la actividad minera. El rango de las concentraciones normales de cadmio en suelo no contaminado generalmente oscila entre 2 y 200 mg/kg (Lindsay 2001). En Mollehuaca, las concentraciones de fondo (río arriba y abajo) están dentro de este rango con un promedio de 15.3 mg/kg.

2. Efectos a la Salud por la exposición al Plomo

Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición prolongada puede causar un deterioro en el resultado de algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso, además de una debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo también produce un pequeño aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles puede alterar la producción de espermatozoides.

2.1 Carcinogenicidad

No hay evidencia definitiva de que el plomo produzca cáncer en seres humanos. Algunas ratas y ratones que recibieron dosis altas de un cierto tipo de compuesto de plomo desarrollaron tumores en el riñón. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es

razonable predecir que el plomo y los compuestos de plomo son carcinogénicos en seres humanos. La US EPA ha determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico probablemente es carcinogénico en seres humanos y que no hay suficiente información para determinar si los compuestos orgánicos de plomo pueden producir cáncer en seres humanos.

2.2 Efectos para niños

Los niños pueden exponerse al ingerir trozos de pintura seca con plomo, chupando objetos pintados con pintura con plomo o tragando polvo o tierra que contienen plomo. Los niños son más sensibles que los adultos a la intoxicación con plomo. Un niño que traga cantidades altas de plomo puede desarrollar anemia y sufrir serios dolores de estómago, debilidad muscular y daño cerebral. Si un niño tiene una exposición crónica a bajas concentraciones de plomo, el plomo puede afectar el desarrollo mental y físico de un niño. La exposición al plomo es más peligrosa para niños y el feto que para adultos. El feto puede estar expuesto al plomo a través de la madre. Efectos dañinos incluyen nacimientos prematuros, bebés de menor tamaño, disminución de la capacidad mental del niño, dificultades de aprendizaje, y retardo del crecimiento en niños pequeños. Estos efectos son más comunes si la madre o el bebé estuvieron expuestos a niveles altos de plomo. Algunos efectos pueden durar más allá de la infancia.

3. Datos toxicológicos de Plomo

3.1 Toxicocinética

El ser humano se encuentra expuesto al plomo a través de múltiples rutas, tales como aire, suelo, agua, polvo de las casas y alimentos contaminados.

Vía respiratoria:

La vía respiratoria es la vía de entrada más importante, penetrando por inhalación de vapores, humos y partículas del polvo. Un 50% del plomo depositado en los pulmones se encuentra en sangre circulante tras aproximadamente 50 horas, pasando un porcentaje a tejidos o siendo eliminado (Lauwerys 1982). El grado de absorción de plomo por esta vía depende de la concentración ambiental en el puesto de trabajo, del tiempo de exposición, de la forma física (vapores, humos, tamaños de las partículas) y química del plomo inhalado, de factores personales (edad, tipo de ventilación), y de las condiciones de trabajo (temperatura, humedad y ventilación ambientales, y nivel de esfuerzo físico). Las partículas muy pequeñas (por debajo de unos 2.5 μm) entrando al tracto respiratorio se absorben hasta un 90% en los alvéolos.

Vía oral:

Las partículas de polvo de plomo son ingeridas directamente a través de las manos, alimentos, bebidas o cigarrillos contaminados en el ambiente de trabajo. Constituye la segunda vía de entrada, en importancia, de plomo en el organismo. Hay también un porcentaje de partículas por encima de unos 10 μm que después de haber sido inhalado posteriormente son vertidos al tubo digestivo por los mecanismos de aclaramiento pulmonar.

La absorción de plomo por vía oral depende del tamaño y la solubilidad de las partículas ingeridas. Típicamente, en el tracto gastrointestinal la absorción del plomo en adultos es del 10% al 15% y en niños del 42% al 50% (Alessio 1988, Goyer 1995). En suelos contaminados con minerales de plomo, Freeman y Lorenzana encontraron cuotas de absorción en el tracto intestinal entre 0,3 y 27% del plomo ingerido (Freeman et al. 1995; Lorenzana et al. 1996). El plomo que no está absorbido es eliminado por las heces.

Vía cutánea:

La absorción por esta vía es débil en el caso del plomo inorgánico al contrario a los compuestos inorgánicos como el tetraetil de plomo que pueden penetrar la barrera de la piel. Debido a que en el área de proyecto la contaminación por plomo solamente es inorgánica, la exposición cutánea es considerada insignificante.

3.2 Toxicodinámica

La absorción del plomo a través del tracto respiratorio depende, entre otros factores, del tamaño de partícula y de la biodisponibilidad del compuesto. Por el tracto respiratorio las partículas se absorben en un 90% en los alvéolos.

Una vez que el plomo llega al torrente sanguíneo, el 96% se une a los eritrocitos; de éste el 50% se une a la hemoglobina, el 25% se une a proteínas y el otro 25% se encuentra libre. En niños, el 73% del plomo absorbido se deposita en hueso (como los dientes) y en adultos el 94%. El resto se deposita en tejidos blandos como hígado, riñón, pulmones y puede llegar al sistema nervioso central. El plomo que no se absorbe en el intestino se excreta en heces y en orina eliminándose entre un 40% y un 70% de lo absorbido en total.

El tiempo promedio de permanencia de plomo depositado en huesos fue estimado en 30 años por Ibrahim (Ibrahim et al., 2006).

3.3 Carcinogenicidad

Los estudios sobre el potencial carcinogénico de compuestos inorgánicos de plomo no son conclusivos ya que dependen de la forma química del plomo y de otros factores. La US EPA (EPA IRIS) clasifica plomo inorgánico como “potencialmente carcinogénico” (grupo 2B), basándose en algunos resultados de estudios con animales donde se observaron un incremento de la formación de tumores renales luego de una exposición a concentraciones de 2000 mg/kg de sales solubles de plomo (Azar et al. 1973).

Debido a la falta de una confirmación de la carcinogenicidad de compuestos inorgánicos de plomo en seres humanos y la falta de estudios confirmativos, en la mayoría de los países (incluyendo Europa y US EPA) no se está considerando plomo inorgánico como cancerígeno. Una excepción es el estado de California en los EEUU (Cal EPA 2005) donde se desarrollaron factores de riesgo de cáncer por exposición oral (0.0085 por mg/kg-día) e inhalación (1.2×10^{-5} por $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a sales inorgánicas de plomo.

Con respecto a compuestos orgánicos de plomo como el tetraetil de plomo, la Agencia Internacional de Investigación de Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos orgánicos de plomo no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos basado en evidencia inadecuada en estudios en seres humanos y en animales (ATSDR 2007).

Debido a que en el área de proyecto la contaminación por el plomo no es por sales solubles de plomo como utilizadas en los ensayos toxicológicos sino por plomo incorporado en una matriz mineralógica y además de la falta de estudios toxicológicos para la confirmación de la carcinogenicidad humana de este elemento, no se considera oportuno considerar la carcinogenicidad en el presente estudio.

3.4 Indicadores de Exposición y Toxicidad

Las pruebas de sangre se usan comúnmente para determinar si trabajadores y niños expuestos a plomo sufren de envenenamiento con este metal. Una concentración de plomo en la sangre de niños por debajo de unos 10 microgramos por decilitro ($\mu\text{g}/\text{dL}$) y de adultos no expuesto

ocupacionalmente de unos 20 µg/dL es considerada una exposición no significativa (MINSa 2007). El plomo en los dientes o los huesos puede medirse mediante el uso de rayos X, pero estos métodos no están disponibles en forma rutinaria. También se puede evaluar la exposición al plomo midiendo la protoporfirina de los glóbulos rojos en muestras de sangre. La protoporfirina es un componente de los glóbulos rojos que aumenta cuando la cantidad de plomo en la sangre es alta. Sin embargo, esta prueba no es suficientemente sensible para identificar a niños con niveles de plomo menores de 25 µg/dL. Estas pruebas generalmente requieren equipo de análisis especial que no se encuentra en el consultorio de un médico.

4. Definición de Valores de Referencia de Toxicidad (VRT)

La siguiente tabla resume los valores de referencia toxicológicos seleccionados para la evaluación de riesgo de salud humana.

Tabla 1 – Resumen de características toxicológicas de plomo y Valores de Referencia de Toxicidad (VRT)

Plomo	
Potencial para Exposición	<p>El plomo es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre y su presencia en los suelos de Mollehuaca demuestra que está presente naturalmente en los minerales de la zona.</p> <p>El plomo presente en el suelo y en minerales puede entrar al aire, al agua y a suelos en otras áreas en polvo que levanta el viento y puede entrar al agua en efluente de lluvia o en agua que se filtra a través del suelo. En el ambiente, el plomo no puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma química.</p> <p>El hecho de que se detectaron concentraciones de plomo, tanto en las muestras de suelos como del polvo sedimentable, indica la distribución de este elemento por erosión eólica y la exposición de la población por inhalación de polvo contaminado.</p> <p>Aparte de la inhalación, la ingestión de suelos, polvo o agua con concentraciones de plomo son rutas de exposición que deben ser consideradas.</p> <p>El ensayo TCLP demostró que en ninguna muestra se detectó una concentración por encima de 5 mg/L en el lixiviado, valor considerado crítico para la salud humana y el ecosistema (NSW EPA 2009).</p>
Efectos para la salud	<p>El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos.</p> <p>Los niños son más sensibles que los adultos a la intoxicación con plomo. Un niño que traga cantidades altas de plomo puede desarrollar anemia y sufrir serios dolores de estómago, debilidad muscular y daño cerebral. Aun a niveles de exposición muy bajos, el plomo puede afectar el desarrollo mental y físico de un niño.</p>
Exposición de fondo	Basándose en los datos analíticos disponibles, la concentración de arsénico en el fondo está en el rango de 10.9 a 19.7 mg/kg.
ECA Suelo (D.S. 002-2008 MINAM)	70 mg/kg (suelo agrícola) 140 mg/kg (suelo residencial/parques) 1200 mg/kg (suelo comercial, industrial, extractivos)
VRTs identificados para la Evaluación Cuantitativa de Riesgo	
Exposición crónica – efectos no-carcinogénicos (efectos umbrales)	
DdR ingestión oral	0.0036 mg/kg-día (Health Canada 2004, 2008)
	Según Health Canada, esta dosis máxima protege niños de efectos

	<p>adversos a su desarrollo intelectual y crecimiento. Este VRT se base en la dosis provisional tolerable de ingestión oral desarrollado por Ziegler (Ziegler et al., 1978 ; Ryu et al., 1983; JECFA, 1987).</p> <p>Se aplica un Factor de Absorción Gástrica de 27% que es considerado seguro también para niños expuestos a polvo y suelos contaminados con minerales conteniendo plomo. Para la exposición a agua potable conteniendo plomo inorgánico, se considera un Factor de Absorción Gástrica de 50%.</p>
CdR inhalación	<p>0,5 µg/m³ (Estándar de calidad ambiental, promedio anual) (OMS 2010)</p> <p>Las partículas muy pequeñas (por debajo de 2.5 µm) entrando al tracto respiratorio se absorben hasta un 90% en los alvéolos. Hay un porcentaje de partículas por encima de unos 5 µm que después de haber sido inhalado posteriormente son vertidos al tubo digestivo por los mecanismos de aclaramiento pulmonar. De las partículas totales suspendidas en aire, unos 50% del plomo depositado en los pulmones entra al círculo sanguíneo, pasando un porcentaje a tejidos o siendo eliminado (Lauwerys 1982)¹. Debido a que el ensayo de TCLP demostró una baja lixiviabilidad del plomo, se estima que el Factor de Absorción Pulmonar no excede los 50-80%. En el presente trabajo, se aplicará un Factor de Absorción Pulmonar de 0.8 (80% absorción).</p>
DdR Dermal	No disponible
Exposición crónica – efectos carcinogénicos (efectos no-umbrales)	
DdR ingestión oral	No disponible
DdR inhalación	No disponible
DdR dermal	No disponible

Considerando que la exposición al plomo proviene de minerales con plomo en forma de óxidos y/o sulfuros y no de sales muy solubles de plomo como utilizadas en los estudios toxicológicos, en el presente trabajo solamente se toma en cuenta la toxicidad crónica de efectos no carcinogénicos y no de efectos carcinogénicos.

5. Bibliografía

[1] Alessio L, Apostoli P. (1988), Proposta di protocollo per il monitoraggio e la sorveglianza sanitaria dei laboratori esposti a piombo inorganico. Med Lav 79(1), pp. 78-81.

[2] ATSDR (2007). Toxicological Profile for Lead. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, Georgia. <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=96&tid=22>

[3] Azar, A., Snee R.D., Habibi K. (1973). Relationship of Community Levels of Air Lead and Indices of Lead Absorption. En: Environmental Health Aspects of Lead, Proceedings of an International Symposium. Amsterdam, the Netherlands, October 1972. Comm Eur Communities, Luxembourg. Citado en: Cal EPA, 2005.

[4] Cal EPA (2005). Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Values. California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section. http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/May2005Hotspots.pdf.

¹ Lauwerys RR. 1982, Toxicologie Industrielle et Intoxications Professionnelles. Ed. Masson. Paris.

- [5] CCME (1999). Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Lead. In: Canadian environmental quality guidelines, 2002 Updates, Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg, NB.
- [6] Freeman GB, Dill JA, Johnson JD, Kurtz PJ, Parham F, Matthews HB (1996), Comparative absorption of lead from contaminated soil and lead salts by weanling Fischer 344 rats. *Fund Appl Toxicol* 33, pp. 109-119.
- [7] Goyer, R.A. (1995), Nutrition and metal toxicity, *Am. J. Clin. Nutr.* March 1995 vol. 61 no. 3, pp. 646S-650S
- [8] Health Canada (2004). Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada. Part II: Health Canada Toxicological Reference Values. Environmental Health Assessment Services Safe Environments Programme, Health Canada. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contamsite/part-partie_ii/part-partie_ii_e.pdf
- [9] Health Canada (2008). Summary of Health Canada Toxicological Reference Values. May 2008, Draft. Personal Communication Louise White. Regional Health Risk Assessor and Toxicology Specialist, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada.
- [10] Ibrahim, D., Froberg, B., Wolf, A., Rusyniak, D.E. (2006). Heavy metal poisoning: clinical presentations and pathophysiology. *Clin Lab Med.* 26(1): 67-97.
- [11] JECFA (1987). Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. WHO Food Additives Series 21. The 30th meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. International Program on Chemical Safety (JEFCA), World Health Organization, Geneva. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v21je01.htm>
- [12] Lauwerys R.R. (1982), *Toxicologie Industrielle et Intoxications Professionnelles*. Ed. Masson. Paris.
- [13] Lindsay, Willard L. (2001). *Chemical Equilibria in Soils*, The Blackburn Press, ISBN-13: 978-1930665118.
- [14] Lorenzana RM, Duncan B, Ketterer M, Lowry J, Simon J, Dawson M, Poppenga R (1996), *Bioavailability of arsenic and lead in environmental substrates*. Washington, DC, USA: United States Environmental Protection Agency (USEPA).
- [15] MINSA (2007), Ministerio de Salud de Perú, Guía técnica de práctica clínica para el manejo de pacientes con intoxicación por plomo, http://bvs.minsa.gob.pe/local/dgsp/264_DGSP238.pdf
- [16] MOE (2007). Rationale for the Development of Ontario Air Standards For Lead and Lead Compounds. Standards Development Branch, Ontario Ministry of the Environment.
- [17] MOE (2008). Ontario's Ambient Air Quality Criteria. SUMMARY of STANDARDS and GUIDELINES to support Ontario Regulation 419: Air Pollution – Local Air Quality (incluye programa 6 de O. Reg. 419 con límites umbral superiores de riesgo). PIBS #6569e.
- [18] NSW EPA (2009), New South Wales Environmental Protection Agency, Waste Classification Guidelines Part 1: Classifying Waste, Australia, ISBN 978 1 74232 507 1; www.environment.nsw.gov.au

[19] OMS (1995). Environmental Health Criteria 165: Inorganic Lead. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc165.htm>.

[20] OMS (2000). Air Quality Guidelines for Europe (2nd Edition) Regional Office for Europe, Copenhagen. World Health Organization Regional Publications, European Series, No. 91.
<http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>.

[21] OMS (2010). Exposure to lead: a major public health concern.
<http://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf>

[22] OMS (2011), Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition, World Health Organization.

[23] Ryu, J.E., Ziegler, E., Nelson, S. and Formon, S.(1983). Dietary intake of lead and blood lead concentration in early infancy. Am. J. Dis. Child., 137: 886. Citado por: JECFA (1987); Health Canada, 1992.

[24] U.S. EPA IRIS (1998). www.epa.gov/iris.

[25] U.S. EPA (2008). Lead: Environmental Protection Agency 40 CFR Parts 50, 51, 53 and 58 National Ambient Air Quality Standards for Lead. Oct 17, 2008.

[26] Ziegler, E.E., Edwards, B.B., Jensen, R.L., Mahaffey, K.R. and Fomon, S.J. (1978). Absorption and retention of lead by infants. Pediatr. Res., 12: 29. Citado por: JECFA, 1987; Health Canada, 1992.