

## Perfil toxicológico de Mercurio (Hg), Número CAS 7439-97-6

El perfil toxicológico presentado se base en información del Sistema Integral de Información toxicológica de la US EPA (US EPA IRIS), de la OMS (OMS 2011) y de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR 1999).

### 1. Características de Mercurio

El mercurio es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El mercurio metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante que ya evapora lentamente a temperatura ambiente, pero más rápido a partir de unos 40°C para formar un gas inodoro e incoloro. El vapor de mercurio elemental es la forma predominante del mercurio en el aire. Una pequeña fracción es adsorbida a partículas y es resuspendido con polvo en el aire. Por lo tanto, la concentración de mercurio encontrada en material particulado no representa la exposición al mercurio por inhalación y es necesario medir o estimar con modelos la concentración de mercurio elemental en aire.

El mercurio metálico se usa en la producción de oro, gas de cloro y soda cáustica y también se usa en termómetros, tapaduras dentales y pilas. Las sales de mercurio se usan en cremas para aclarar la piel y en cremas y ungüentos antisépticos (ATSDR, 1999). En la actualidad, estas aplicaciones de mercurio gradualmente son reemplazadas en la mayor parte del mundo por sustancias menos tóxicas. Formas orgánicas de mercurio generalmente son volátiles y muchos son solubles en agua y/o lípidos. Metilmercurio es altamente bioacumulativo (ATSDR 1999) y biomagnificativo y es la forma predominante de mercurio encontrada en pescado.

El mercurio se combina con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de mercurio inorgánicos, las que son generalmente polvos o cristales blancos. En minerales, el mercurio generalmente se encuentra como sulfuro de mercurio. El mercurio también se combina con carbono para formar compuestos de mercurio orgánicos, incluyendo metilmercurio, dimetilmercurio y fenil mercurio. El más común, metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. Mientras mayor es la cantidad de mercurio en el medio ambiente, mayores la cantidad de metilmercurio que estos organismos producen. Tanto bacterias en condiciones aeróbicas como anaeróbicas son capaces de la metilación de mercurio, con bacterias azufre-reductoras como especies predominantes en el proceso. Al mismo tiempo existen bacterias en la naturaleza que pueden reducir metilmercurio a mercurio elemental que rápidamente volatiliza al ambiente (ATSDR 1999). Generalmente, en sistemas acuáticas y humedales, la cuota de metilación aumenta con las condiciones anaeróbicas y ácidas y disminuye con la concentración de compuestos orgánicos disueltos. Debido a que las condiciones en el área de proyecto en Mollehuaca no son favorables para la formación de metilmercurio, la probabilidad de la formación de este compuesto es considerada baja.

#### *Destino y Transporte Ambiental de Mercurio*

El destino ambiental de mercurio en aire, agua, suelo y sedimento depende de la especiación y de las propiedades específicas asociadas a las diferentes formas. Aproximadamente el 95% del mercurio encontrado en la atmósfera está en forma de vapor de mercurio elemental/metálico ( $Hg^0$ ) (ATSDR 1999). Esta forma del mercurio tiene una alta presión de vapor y una baja solubilidad en agua lo que permite un

transporte por medio de grandes distancias. Investigaciones han demostrado que el tiempo de residencia promedio de vapor de mercurio en la atmósfera está en el rango entre 6 días y 2 años, con un promedio de aproximadamente un año (U.S. EPA 1997; ATSDR 1999). Una pequeña fracción de mercurio en la atmósfera (típicamente unos 5%) es asociada con partículas, con un tiempo de permanencia en el rango de días a semanas (OMS 1991).

Para la pequeña minería trabajando con mercurio, la larga permanencia del vapor de mercurio en el aire es un hecho importante ya que evita una alta contaminación local de suelos y aguas superficiales por la deposición de mercurio elemental. Por otro lado, mercurio evaporado a fuego abierto se dispersa por grandes distancias, resultando en una gradual contaminación de extensas áreas. Mercurio se transforma en el aire por oxidación y reducción, reaccionando con compuestos reactivos en el aire (por ejemplo ozono o óxido nitroso) que llegan al suelo o aguas superficiales por medio de una deposición húmeda (lluvia) o seca (gravitación).

Tanto en sistemas acuáticos como en ecosistemas terrestres la forma determinante de mercurio es bivalente ( $Hg^{2+}$ ) (ATSDR 1999; CCME 1999). En suelos y sedimentos con materia orgánica, mercurio inorgánico es adsorbido a sustancias complejantes como ácido humínico o ácido fúlvico que reduce su movilidad y evita una fácil lixiviación a cuerpos de agua. Generalmente, la adsorción de mercurio a suelos incrementa con los niveles de hierro y aluminio presentes y se reduce con un aumento de pH e iones de cloruro (Schuster 1991).

La mayoría de plantas en áreas con niveles elevados de mercurio no acumulan este metal, con excepción a hongos que acumulan mercurio fácilmente (ATSDR 1999).

En Mollehuaca, las concentraciones de mercurio en los suelos más probable provienen del proceso de la amalgamación. No existe evidencia de otras fuentes de arsénico antropogénico aparte de la actividad minera. Según la ATSDR (ATSDR 1999), el rango de las concentraciones normales de mercurio en suelo natural generalmente oscila entre 0.02 y 0.63 mg/kg. En Mollehuaca, en muestras de fondo se encontraron concentraciones en muestras de fondo entre <0.04 (no detectado) y 1.24 mg/kg.

## **2. Efectos a la Salud por la exposición al Mercurio**

La absorción, la distribución, el metabolismo, y la excreción de mercurio dependen de su forma y su estado de oxidación. Los compuestos orgánicos de mercurio son más fácilmente absorbidos que los compuestos inorgánicos y mercurio elemental. Tanto en el organismo de animales como en humanos, el metabolismo de los compuestos de mercurio incluye un ciclo de óxido-reducción, con el resultado de una parcial transformación del estado de oxidación y de la forma química del metal. La orina y las heces son las principales rutas de excreción primarias, teniendo una vida media de eliminación para el mercurio elemental y vapores de mercurio entre 35 a 90 días, y una vida media para las sales de mercurio de 40 días (Goyer 1991).

La ingestión de mercurio metálico por lo general no causa daños graves para la salud si no existen daños en el sistema gástrico como úlceras. Más peligroso que la ingestión de mercurio elemental es la inhalación de los vapores que puede causar la irritación de las vías respiratorias, desórdenes o trastornos renales, efectos en el sistema nervioso central caracterizados por cambios de la conducta, toxicidad en el sistema nervioso periférico, toxicidad renal y puede causar la muerte (ATSDR 1999). En comparación, la ingestión de sales inorgánicas puede causar graves problemas de irritación gastrointestinal, insuficiencia renal, y la muerte en cantidades entre 1 a 4 gramos (ATSDR 1999). Por lo general, las sales de mercurio

divalentes son más tóxicas que las sales de mercurio monovalente (Goyer 1991). También se ha reconocido que el mercurio, induce reacciones de hipersensibilidad como dermatitis y acrodinia (la denominada “enfermedad rosada” por la coloración rosada de manos y pies) (Mathesson et al. 1980).

La toxicidad resultante de la exposición subcrónica y crónica al mercurio y sus compuestos generalmente involucra a los riñones y/o a los componentes del sistema nervioso, los órganos blancos y el efecto depende de la forma de mercurio.

El sistema nervioso es muy susceptible a todas formas de mercurio. El metilmercurio y los vapores de mercurio metálico son más nocivos que otras formas, ya que una mayor cantidad de mercurio llega al cerebro. La exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico, u orgánico puede dañar en forma permanente a los riñones, el cerebro, y al feto. Los efectos sobre la función cerebral pueden manifestarse como irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones a la vista o la audición y problemas de la memoria. La exposición por corto tiempo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar lesiones al pulmón, náusea, vómitos, diarrea, aumento de la presión sanguínea o del pulso, salpullidos e irritación a los ojos.

Los efectos teratogénicos, debido a la exposición al mercurio orgánico o inorgánico, no parecen estar bien documentados para los seres humanos o animales. Sin embargo, existe evidencia de perturbaciones inducidas por el mercurio en el ciclo menstrual y abortos espontáneos (Amin al-Zaki et al. 1974, ATSDR 1999).

#### *Efectos para niños*

Niños pequeños son más sensibles al mercurio que adultos. El mercurio en el cuerpo de la madre pasa al feto, en donde puede acumularse. También puede pasar al niño a través de la leche materna. No obstante, los beneficios de amamantar pueden ser mayores que los posibles efectos nocivos del mercurio en la leche materna. Efectos nocivos del mercurio que puede pasar de la madre al feto incluyen daño cerebral, retardamiento mental, incoordinación, ceguera, convulsiones e incapacidad para hablar. Niños con envenenamiento de mercurio pueden desarrollar problemas al sistema nervioso y sistema digestivo y lesiones al riñón.

#### *Carcinogenicidad*

Hay datos disponibles, aunque inadecuados, acerca de todas las formas del mercurio y cáncer en seres humanos. El cloruro mercúrico produjo un aumento en varios tipos de tumores en ratas y ratones, y el metilmercurio produjo tumores del riñón en ratones machos. Basándose en los datos toxicológicos disponibles, la EPA ha determinado que el cloruro mercúrico y el metilmercurio son posiblemente carcinogénicos en seres humanos. No se encontró evidencia de que los vapores de mercurio elemental o minerales de mercurio aumenten significativamente el riesgo de cáncer en seres humanos.

#### *Exposición dermal*

La piel sana es una buena barrera para mercurio elemental e inorgánico. Sin embargo, piel dañada permite la entrada de mercurio a la corriente sanguínea.

Reacciones dérmicas fueron observadas en personas expuestas a mercurio inorgánico y mercurio orgánico, por exposición oral y/o dérmica o por inhalación. La reacción predominante son sarpullidos eritematosos y pruriginosos de la piel.

En muchos de los casos con reacciones dérmicas, se observaron tipos de dermatitis de contacto. Sin embargo, un prurigo<sup>1</sup> no-alérgico es característico de una acrodinia, una reacción hipersensitivo a una exposición a mercurio que es observada principalmente en niños. Acrodinia más que todo se observa en la infancia, generalmente como consecuencia de la exposición crónica a compuestos de mercurio. Esta enfermedad puede producir encefalopatía y polineuropatía. Las características clínicas incluyen dolor, inflamación y decoloración rosada de los dedos de manos y pies, debilidad de las extremidades, irritabilidad extrema, hiperestesia y alteraciones en el nivel de conciencia. Otras reacciones dérmicas características para una acrodinia incluyen una excesiva transpiración con picor, enrojecimiento, hinchazón y/o desconcha de la piel, particularmente en la palma de las manos y pies.

Los resultados demuestran que existen particularmente dos grupos de personas con un riesgo de desarrollar reacciones dérmicas como resultado de un contacto con mercurio. El primer grupo son personas que desarrollan una reacción alérgica contra mercurio. El otro grupo son las personas que son hipersensibles contra mercurio y que desarrollan una acrodinia luego de una exposición a este metal.

### 3. Datos toxicológicos de Mercurio

#### 3.1 Exposición por Inhalación de vapor de mercurio elemental u organometálico

En el caso de la inhalación de vapores de mercurio elemental, unos 80% del metal son asimilados dentro del pulmón y entran al flujo sanguíneo donde rápidamente afectan los órganos, particularmente el cerebro y riñones. Una vez en el cuerpo, mercurio elemental queda asimilado durante semanas y meses. Una vez llegando al cerebro, el mercurio se convierte en un compuesto inorgánico y queda “atrapado” durante un largo tiempo.

##### *Aire en el área de trabajo*

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido límites de 0.1 miligramos de mercurio orgánico por metro cúbico de aire ( $0.1 \text{ mg/m}^3$ ) en el aire del trabajo y  $0.05 \text{ mg/m}^3$  para vapor de mercurio metálico en jornadas de 8 horas diarias y 40 horas semanales.

Un NOAEL<sup>2</sup> no se encuentra disponible para la exposición oral a mercurio inorgánico o mercurio de metilo. Para una inhalación crónica y sub-crónica existe una dosis de  $0.0003 \text{ mg/kg/m}^3$  para mercurio inorgánico (EPA, 1995, 1996). El LOAEL<sup>3</sup> para exposiciones de mercurio inorgánico de inhalación sub-crónicas y crónica es de 0.32 y  $0.03 \text{ mg/kg/m}^3$ , respectivamente.

Basándose en los datos toxicológicos disponibles y aplicando un factor de incertidumbre de 30, la US EPA ha definido una Dosis de Referencia (RfD) de  $3\text{E-}4 \text{ mg/m}^3$  o  $0.3 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  para la exposición a vapores de mercurio.

#### 3.2 Exposición oral

Si mercurio elemental llega al estómago, menos de 0.01% del mercurio dragado es asimilado por el tracto intestinal (Goldwater 1972). Solamente en el caso de enfermedades intestinales (particularmente en caso

---

<sup>1</sup> afección cutánea, caracterizada por pápulas cubiertas frecuentemente de costras negruzcas debidas a excoiraciones producidas por rascarse.

<sup>2</sup> NOAEL (Non Observed Adverse Effects Level): El nivel de exposición que representa el máximo nivel probado al cual no se observan efectos tóxicos.

<sup>3</sup> LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level): El nivel más bajo en el que se observaron efectos adversos en estudios toxicológicos.

de úlceras), la cantidad de mercurio asimilado por el cuerpo puede ser más alta. Todo el mercurio no asimilado sale del cuerpo con las heces.

Una dosis de referencia oral sub-crónica y crónica de 0.1 µg/kg/día de metil-mercurio se basa en una dosis de referencia de 1.1 µg/kg/día, relativas al desarrollo de anomalías en niños humanos (EPA, 1995, 1996). Una dosis de referencia oral subcrónica y crónica es de 0.0003 mg/kg/día para el cloruro de mercurio se basa en la glomerulonefritis inmunológica (EPA, 1996). Un LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) de 0.63 mg Hg/kg/día para el cloruro de mercurio fue identificado (EPA, 1987).

#### *Agua Potable*

El D.S. 002-2008 MINAM establece un límite de 1 partes de mercurio por mil millones de partes de agua potable (1 ppb) para agua que puede ser potabilizado previa desinfección. En comparación, la EPA de los EEUU ha establecido un límite de 2 partes de mercurio por mil millones de partes de agua potable (2 ppm o ppb). La Administración de Alimentos y Drogas (FDA) ha establecido un nivel permisible máximo de 1 parte de metilmercurio por cada millón de partes de mariscos (1 ppm).

### **3.3 Niveles de mercurio en la sangre**

Un grupo de investigadores liderados por Bakir investigó la correlación entre niveles de mercurio en la sangre y efectos para la salud de las personas afectadas (Bakir et al. 1973). Los niveles de mercurio en la sangre que generan efectos adversos fueron entre los 10 µg /dL y 300 µg/dL, causando efectos leves y la muerte, respectivamente.

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

Se realizó una revisión de estudios toxicológicos y de evaluación de riesgos para todas las formas químicas de mercurio, utilizando datos de diferentes países y organizaciones internacionales, con el propósito de definir niveles de ingestión diaria o semanal de mercurio que son considerados “seguros” (UNEP 2008). Eso quiere decir que se puede definir un valor límite por debajo del cual una exposición/ingestión estadísticamente no causa un peligro para la salud humana. La Organización Mundial de Salud (OMS) aclara en su evaluación que estos valores límites de referencia de toxicidad no representan una clara línea entre seguro e inseguro. La razón es que han incorporado varios factores de seguridad/incertidumbre en su cálculo de Valores de Referencia de Toxicidad (VRTs) de mercurio lo que significa que una pequeña excedencia de uno de estos valores no inmediatamente causará efectos adversos.

Los VRTs identificados para la evaluación de una exposición potencial al mercurio (en todas sus formas), se basan en estos niveles de seguridad (i.e. que incorporan diferentes factores de seguridad). Los factores de seguridad son asociados con la cantidad de mercurio a la cual un miembro de la población general podría ser expuesta diariamente, durante toda su vida. Por lo tanto, estos valores son relevantes para la evaluación de una exposición crónica (i.e. por largo tiempo). La cuantificación del riesgo también requiere de la evaluación de exposiciones que podrían ocurrir infrecuentemente o solamente durante un tiempo corto (menos de un año, por ejemplo exposiciones que pueden ocurrir durante operaciones de mantenimiento o construcción). Estas exposiciones se llaman sub-crónicas. Consecuentemente, tanto VRTs crónicos como sub-crónicos fueron identificados y considerados en la evaluación. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los aspectos claves de salud humana en relación a la exposición y efectos adversos asociados con mercurio elemental, inorgánico y de metil-mercurio (como representante más importante de los compuestos organometálicos del mercurio).

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

<b>Mercurio Elemental (Hg<sup>0</sup>)</b>	
Potencial para Exposición	<p>Mercurio es un metal pesado que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El mercurio metálico o elemental (Hg<sup>0</sup>) es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante que ya evapora lentamente a temperatura ambiente, pero más rápido a partir de unos 40°C para formar un gas inodoro e incoloro. El vapor de mercurio elemental es la forma predominante del mercurio en el aire. Una pequeña fracción es adsorbida a partículas y es resuspendido con polvo en el aire. Por lo tanto, la concentración de mercurio encontrada en material particulado no representa la exposición al mercurio por inhalación y es necesario medir o estimar con modelos la concentración de mercurio elemental en aire. El mercurio se combina con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de mercurio inorgánicos o “sales,” las que son generalmente polvos o cristales blancos. El mercurio también se combina con carbono para formar compuestos de mercurio orgánicos. Mercurio elemental tiene un largo tiempo de permanencia en el aire y por lo tanto puede ser transportado por largas distancias antes de ser transformado y depositado como Hg<sup>2+</sup> por medio de procesos húmedos o secos. Una exposición al mercurio elemental más que todo es asociada con una inhalación de vapores de mercurio ya que unos 80% del metal son asimilados dentro del pulmón y entran al corriente sanguíneo. Exposiciones dérmicas y orales por mercurio elemental no son consideradas significante y fuente de efectos adversos para la salud (OMS 2003). Mercurio elemental tiene una solubilidad de aproximadamente 56 µg/l en agua a temperatura ambiente (National Research Council 2014).</p> <p>El ensayo TCLP demostró que en varias muestras se detectó una concentración por encima de 0.2 mg/L en el lixiviado, valor considerado crítico para la salud humana y el ecosistema (NSW EPA 2009). La concentración encontrada en los lixiviados estaba en un rango entre &lt;0.01 y 0.84 mg/L con un promedio de 0.29 mg/L. Este resultado indica que el mercurio presente en el suelo es biodisponible y tiene un potencial significativo de dañar al ecosistema y la salud pública.</p>
Efectos para la salud	Los efectos claves relevantes para la evaluación de una exposición a Hg <sup>0</sup> son trastornos de la funcionalidad pulmonar en caso de una exposición aguda y del sistema central nervioso y daños renales en caso de una exposición crónica.
ECA Suelo (D.S. 002-2008 MINAM)	6.6 mg/kg (suelo agrícola y residencial/parques) 24 mg/kg (suelo comercial, industrial, extractivos)
<b>VRTs identificados para la Evaluación Cuantitativa de Riesgo</b>	
Concentración de Referencia (CdR) para Inhalación de Hg <sup>0</sup> (crónico)	<p>0.3 µg/m<sup>3</sup> CdR para la exposición a vapores de mercurio (US EPA IRIS). Este VRT es relevante para la ruta de exposición crónica y sub-crónica por inhalación de mercurio. Se estima que unos 80% del metal son asimilados dentro del pulmón y entran al corriente sanguíneo. Para la evaluación de esta CdR, la US EPA incluyó los últimos estudios toxicológicos disponibles.</p> <p>La OMS (2000) aún está recomendando un valor menos conservador de CdR de 1.0 µg/m<sup>3</sup>, basándose en un LOAEL (nivel con mínimo efecto adverso observado) entre 15–30 µg/m<sup>3</sup> y aplicando un factor de seguridad</p>

	de 20. Debido a que la información utilizada no está considerando estudios de los últimos 14 años, se considera la CdR de la US EPA de 0.3 µg/m <sup>3</sup> más confiable.
Media Ponderada en el tiempo (TWA) en el lugar de trabajo (8 hrs diarias)	0.025 mg/m <sup>3</sup> (D.S. N° 015-2005-SA)
Dosis de Referencia (DdR) inhalación	0.12 µg/kg-día Calculado del CdR, considerando un volumen de inhalación de 23 m3 por día y un peso corporal de 60 kg.
DdR ingestión oral	La ruta oral no es considerada significativa por la US EPA por el muy bajo Factor de Absorción Gástrica de Hg <sup>0</sup> . Menos de un 0,01% del mercurio dragado es asimilado por el tracto intestinal y entra al flujo sanguíneo. Por lo tanto, no se ha definido ningún VRT para esta ruta de exposición.
DdR Dermal	No disponible
Exposición de fondo	Basándose en los datos analíticos disponibles, la concentración de mercurio en el fondo está en el rango de <0.04 (no detectado) y 1.24 mg/kg. Considerando el uso de mercurio elemental para la amalgamación en la zona, se estima que la mayor parte del mercurio encontrado en muestras del fondo es mercurio elemental.
<b>Mercurio Inorgánico</b>	
Potencial para Exposición	<p>El término mercurio inorgánico se refiere a un grupo amplio de compuestos de mercurio e incluye mercurio del estado de oxidación uno y dos. Generalmente, cuando mercurio elemental reacciona con oxígeno, sulfuro o cloruro en la naturaleza, se forman preferiblemente compuestos con el estado de oxidación dos (Hg<sup>2+</sup>). Debido a que la fuente de la contaminación es mercurio elemental y basándose en los resultados de los ensayos de lixiviación (TCLP), se puede concluir que la fracción de mercurio inorgánico presente en el suelo es pequeña.</p> <p>La ruta más significativa de mercurio inorgánico es la ingestión de polvo, suelo, agua y alimentos contaminados. La ingestión por inhalación de mercurio inorgánico depende del tamaño de las partículas y de la solubilidad de los compuestos de mercurio. La US EPA (US EPA 2004) recomendó un factor de absorción gastrointestinal de 7% para mercurio inorgánico, basándose en la resorción de cloruro de mercurio y otras sales solubles de mercurio en el tracto gastrointestinal.</p> <p>La absorción dérmica de mercurio inorgánico presente en suelos es considerado no significativa. Solamente existe evidencia de una absorción de mercurio después de la aplicación de ungüentos conteniendo sales de mercurio (OMS, 2003).</p>
Efectos para la salud	Los efectos claves relevantes para la evaluación de una exposición a compuestos de mercurio inorgánico son trastornos de la funcionalidad pulmonar en caso de una exposición aguda y del sistema central nervioso y daños renales en caso de una exposición crónica. Mercurio inorgánico, en particular cloruro de mercurio, puede causar daños al sistema central nervioso. Cloruro de mercurio fue clasificado por la US EPA como potencialmente cancerígeno. Sin embargo, el mecanismo de la carcinogenicidad no es de tipo genotóxico y los efectos carcinogénicos solamente fueron observados a exposiciones a concentraciones elevadas que son por encima de las concentraciones causando otros efectos adversos. Por lo tanto, se puede adoptar para cloruro de mercurio como para compuestos inorgánicos de mercurio en general un nivel de umbral

	(considerado seguro) para la evaluación de los efectos adversos para la salud humana.
<b>VRTs identificados para la Evaluación Cuantitativa de Riesgo</b>	
DdR crónico oral e inhalación	0.6 µg/kg/día (OMS 2011) para rutas de exposición oral e inhalación;  La USEPA ha recomendado el uso de un Factor de Absorción Gástrica de 7% para compuestos inorgánicos de mercurio, basándose en la absorción de cloruro de mercurio y otras sales solubles de mercurio en el tracto intestinal. Debido a que la solubilidad de cloruro de mercurio es más alta que la gran mayoría de compuestos generados en la naturaleza por mercurio elemental, un Factor de Absorción Gástrica de 7% es considerado conservador y protector.  La resorción pulmonar de compuestos inorgánicos altamente depende de la solubilidad de las mismas. En el presente estudio se estima que unos 80% del mercurio inorgánico inhalado entrarán al flujo sanguíneo, un enfoque considerado conservador, considerando la baja solubilidad de compuestos típicos en minerales como el sulfuro de mercurio.
DdR sub-crónico oral	2 µg/kg/día (ATSDR 1999) para rutas de exposición oral e inhalación.
DdR Dermal	No disponible
Exposición de fondo	No se realizó un análisis sistemático de la especiación del mercurio presente. Sin embargo, basándose en los datos analíticos se puede concluir que la concentración de mercurio inorgánico en el suelo de fondo está muy baja.
<b>Metilmercurio</b>	
Potencial para Exposición	Metilmercurio es una forma orgánica de mercurio que generalmente es utilizado como representante más importante de compuestos organometálicos de mercurio encontrados en el medio ambiente.  En la zona climática de Mollehuaca, con la ausencia de una cobertura vegetal y un no-favorable ambiente para la proliferación de bacterias, la probabilidad de una formación de metilmercurio u otros compuestos organometálicos de mercurio es considerado baja.
Efectos para la salud	Existe evidencia de una alta sensibilidad de embriones y fetos a una exposición a esta toxina. El sistema central nervioso es el más afectado en caso de una exposición a metilmercurio, además de daños a los riñones, hígado, pulmón y al sistema cardiovascular. Metilmercurio está clasificado por la US EPA e IARC (Agencia Internacional de Investigación de Cáncer) como potencialmente carcinogénico para humanos, a pesar de que el mecanismo de carcinogenicidad no parece ser genotóxico, lo que significa que se puede definir un nivel umbral seguro para la evaluación de efectos adversos para la salud.
<b>VRTs identificados para la Evaluación Cuantitativa de Riesgo</b>	
DdR crónico oral	0.23 µg/kg/día (Environmental Agency 2009; OMS 2011) adoptado para todas las rutas de exposición, relevante para la evaluación de exposiciones crónicas y sub-crónicas.
Exposición de fondo	Debido a que las condiciones ambientales en Mollehuaca no están favoreciendo la formación de metilmercurio ni su acumulación en la cadena alimenticia, la probabilidad de una concentración significativa de metilmercurio en el fondo es considerada baja.

## 5. Bibliografía

- [1] Amin-Zaki, L., Elhassani, S., Majeed, M.A. Clarkson, T. W., Doherty R.A y Greenwood M. (1974). Intra-uterine methylmercury poisoning, *Pediatrics* 54, pp. 587-595.
- [2] ATSDR (1999). Toxicological Profile for Mercury. 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=115&tid=24>
- [3] Bakir, F., Damluji, S.F., Amin-Zaki, L., Murtadha, M., Khalidi, A., al-Rawi, N.Y., Tikriti, S., Dahahir, H.I., Clarkson, T.W., Smith, J.C. y Doherty, R.A. (1973). Methylmercury poisoning in Iraq, *Science* 181, pp. 230-241.
- [4] Casarett y Doull's Toxicology (2013), The Basic Science of Poison, 8th ed, Pergamon Press, New York, pp. 623-680. ISBN-10: 0071769234
- [5] CCME (1999). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health: Mercury (inorganic). Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment.
- [6] Environment Agency, Bristol, UK (2009), Supplementary information for the derivation of SGV for mercury, Environment Agency, Bristol, UK
- [7] Goldwater, L. J. (1972). Mercury: A history of quicksilver, York Press, Baltimore, MD.
- [8] Goyer, R. (1991), Toxic effects of metals. In: Amdur, M.O., J.D. Doull and C.D. Klassen, Eds.
- [9] Mathesson, D. S., T. W. Clarkson, y E. Gelfand (1980), Mercury toxicity (acrodynea) induced by long-term injection of gamma globulin, *J. Pediatr*, 97, 153-155 pp.
- [10] National Research Council (2014). Toxicological Effects of Methylmercury ( 2000 ) / Chemistry, Exposure, Toxicokinetics, and Toxicodynamics, The National Academies | 500 Fifth St. N.W. | Washington, D.C. 20001, National Academy of Sciences, página 32.
- [11] 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](http://www.environment.nsw.gov.au)
- [12] OMS (1991). Inorganic mercury: Environmental Health Criteria, No. 118. World Health Organization, Geneva. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm>
- [13] OMS (2011), Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition, World Health Organization (en inglés)
- [14] OMS (2003). Concise International Chemical Assessment Document 50 (CICAD 50), Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects, WHO Geneva 2003.
- [15] OMS (2000). Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe.
- [16] Schuster, E. (1991). The behavior of mercury in the soil with special emphasis on complexation and adsorption process – una revisión de la literatura. *Water, Air, Soil Pollution* 56:667-680. Citado en: ATSDR (1999).

[17] UNEP (2008), Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure, United Nations Environment Programme and World Health Organisation, Geneva, Switzerland.

[18] U.S. EPA (1997). Mercury Study Report to Congress: Fate and Transport of Mercury in the Environment. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development, Washington, DC. EPA-452/R-97-005.

[19] U.S. EPA (2004). Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual, (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment), United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.; <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragse/>

[20] U.S. EPA IRIS (2012). U.S. Environmental Protection Agency Integrated Risk Information System. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. [www.epa.gov/iris](http://www.epa.gov/iris).