

RIESGO AMBIENTAL POR PASIVO DE RELAVES DE LA EX PLANTA METALÚRGICA DE YAURIS, HUANCAYO

ENVIRONMENTAL RISK BY PASSIVE TAILINGS OF THE FORMER METALLURGICAL PLANT YAURIS, HUANCAYO

Edith Orellana Mendoza
Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente
Universidad Nacional del Centro del Perú
edithorellana1@hotmail.com

Carlos Gómez Guillermo
carlos.gomez.miguel@gmail.com



Resumen

En la actualidad, la situación de los pasivos ambientales es bastante preocupante, por considerar los fuentes de contaminación del suelo, el agua, el aire, causada por los relaves de la actividad minera y metalúrgica, que al contacto con el agua y el suelo, alteran su composición natural, afectando la fauna, flora y población humana con riesgos a la salud. La investigación tuvo como propósito determinar el nivel de riesgo ambiental por el pasivo de relaves de la ex planta metalúrgica de Yauris, Huancayo, se aplicó la metodología recomendada por el Ministerio del Ambiente. Se analizaron muestras de relave, suelo, agua y estudiaron a 21 familias expuestas a los relaves. Las concentraciones de plomo, cadmio y cromo en el suelo y agua exceden los estándares de calidad ambiental, sustancias tóxicas y peligrosas; con un volumen de residuos que sobrepasa las 500 toneladas. El nivel de riesgo ambiental promedio estimado para el pasivo de relaves es alto (78.0 %); el nivel de riesgo estimado para la salud de la población es moderado, para la calidad del medio y la seguridad de la población es alto.

Palabras clave: riesgo ambiental, pasivo ambiental, contaminación.

Abstract

At present, the situation is quite worrying environmental liabilities, considering sources of pollution of soil, water, air, caused by tailings from the mining and metallurgical activity; which in contact with water and soil, altering its natural composition, affecting the flora, fauna and human population health risks. The research was to determine the level of environmental risk from passive tailings of the former metallurgical plant Yauris, Huancayo, the methodology applied was recommended by the Ministry of Environment. Tailings samples, soil and water were analyzed and studied 21 families exposed to the tailings. Concentrations of lead, cadmium and chromium in soil and water exceed the environmental quality standards, toxic and hazardous substances; with a volume of waste that exceeds 500 tons. The level of environmental risk estimated average by passive tailings is high (78.0 %); the estimated level of risk to the health of the population is moderate, environmental quality and safety of the population is high.

Keywords: environmental risk, environmental liability, pollution.

Historial del artículo

Recibido: 04 de noviembre de 2015

Aprobado: 27 de noviembre de 2015

Disponible: 16 de diciembre de 2015

INTRODUCCIÓN

La minería ha sido históricamente importante para la economía del país, sin embargo, el gran volumen de desechos generados por esta industria ha dejado un importante legado de depósitos de relaves distribuidos por toda la zona norte, sur y centro del país. El abandono inadecuado de estos depósitos los ha transformado en focos potenciales de contaminación del entorno, imponiendo diversos riesgos ambientales. El pasivo ambiental de la ex planta metalúrgica de Yauris, ubicado en el distrito de El Tambo – Huancayo, en la margen izquierda del río Mantaro, constituye un foco de contaminación del suelo, agua y aire, se desconoce el nivel de riesgo que viene afectando a la salud de la población, a la calidad del medio natural y la seguridad de la población circundante a los relaves.

Los riesgos no aluden a daños acontecidos, no equivalen a destrucción; el riesgo empieza donde la confianza en nuestra seguridad termina y deja de ser relevante cuando ocurre la potencial catástrofe. Por tanto el riesgo delimita un estado intermedio entre seguridad y destrucción; cuando los riesgos son considerados como reales, las instituciones políticas, científicas y la vida cotidiana entran en crisis, de acuerdo a esto, el concepto de riesgo considerado científicamente (riesgo= accidente x probabilidad) toma la forma de cálculo de probabilidades; debemos asumir que la negación de los riesgos hace que éstos crezcan sin medida ni control; los riesgos tan solo sugieren *lo que no debería hacerse*, no lo que *debería hacerse* (Beck, 1998). Los altos contenidos de plomo, cadmio y cromo en el suelo y agua pueden provocar problemas de toxicidad en plantas, animales y humanos; por otro lado, la transferencia a la cadena alimentaria y a los acuíferos supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Becerril et al., 2007).

La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), consideran al plomo, al cadmio y al cromo (VI) sustancias tóxicas altamente peligrosas, y han determinado que probablemente sea carcinogénico en seres humanos.

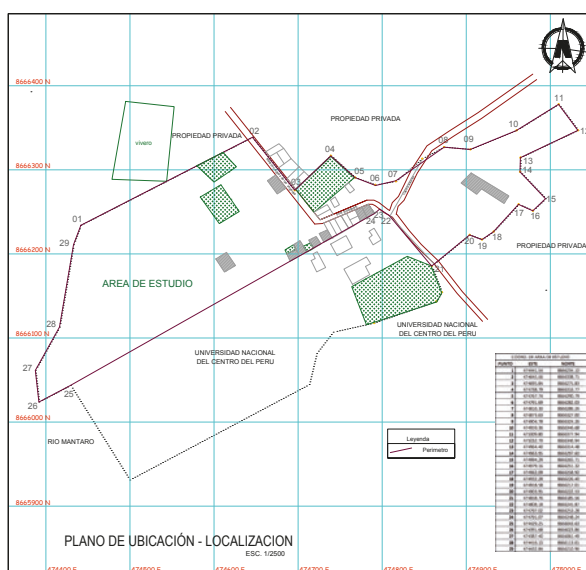
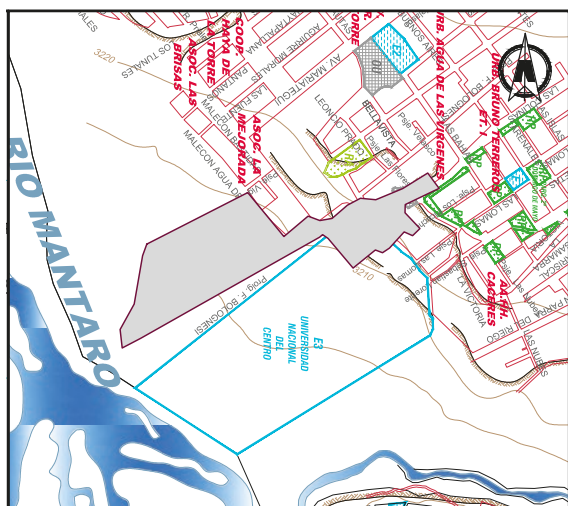
La probabilidad de que ocurra algo con consecuencias negativas, por exposición a un peligro, ya sean físicos, químicos, biológicos y culturales se le considera como riesgo (Evans et al., 2003; Schinitman, 2011 y Zuck e Ize, 2010). La probabilidad de un riesgo se expresa en valores entre 0 y 1, como la posibilidad de ocurrencia del evento, si el valor es cerca de 1, existe certidumbre de que existe riesgo (Miller, 2002). La teoría de probabilidades desempeña un papel importante en la toma de decisiones, los eventos futuros no pueden predecirse con absoluta seguridad (Beck, 1998).

La presencia de plomo y mercurio en el agua de consumo con concentraciones dentro de los límites permisibles de la normatividad colombiana; determinó que el coeficiente de peligrosidad para Pb fue inferior a uno (1), representando un riesgo bajo (Hernández, 2012). El análisis de riesgo mediante la metodología RBCA (*Risk Based Corrective Actions*) determina que el riesgo acumulado por los contaminantes excede los límites tóxicos para elementos

carcinogénicos como el arsénico y elementos con efectos sistémicos como el cobre, plomo y zinc (Jozami, 2009). El índice de riesgo carcinogénico para As (1,8/10-1) indica que existe una exposición crítica a través del suelo, con posibilidad de 18 casos de cáncer por cada 100 receptores (Jozami, 2009). Aplicando la metodología recomendada por la Agencia de Protección Ambiental (1998), el índice de peligro estimado en la salud de la población de las localidades de Huamalí, El Mantaro, San Lorenzo y Apata por ingesta de productos agrícolas con altas concentraciones de plomo fue bajo; y según el Ministerio del Ambiente (2011), el nivel de riesgo ambiental por acumulación de plomo en suelos y productos agrícolas irrigados con agua contaminada con metales pesados fue alto (Orellana, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ámbito de estudio corresponde al pasivo de relaves de la ex planta metalúrgica de Yauris, ubicado próximo a la urbanización Pio Pata, en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, en la margen izquierda del río Mantaro, a una altitud de 3250 msnm, ver Mapa 1.



Se trata de un pasivo ambiental abandonado por la ex planta metalúrgica de Yauris de la UNCP, relaves que están afectando la calidad del suelo y del agua dentro de su área de influencia. El área afectada es de aproximadamente 7.44 ha. La zona afectada se localiza dentro de un área residencial con población circundante, de aproximadamente 116 personas.

La muestra elegida para determinar la concentración de metales en el suelo y agua, estuvo constituida por nueve muestras de suelo y tres muestras de agua; el muestreo de las unidades de análisis fue intencional. Se entrevistaron a 21 familias expuestas al pasivo ambiental, asentadas en la misma zona del relave y a la población circundante.

La metodología empleada para estimar el riesgo ambiental fue la modificada por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010; 2011), según la norma española UNE 150008:2008.

En la **estimación del riesgo ambiental**, se consideró el siguiente procedimiento:

Identificación de peligros

Se identificaron aquellos factores de riesgo derivados del pasivo de relaves mineros y metalúrgicos, se consideró los efectos sobre el entorno humano, entorno natural y sobre el entorno socioeconómico:

- ✓ Indicadores de calidad del medio (sobre el suelo y agua, sobre la flora y fauna, los cultivos y productos agrícolas).
- ✓ Indicadores del entorno humano (efectos relacionados con la salud de la población, población afectada del entorno).
- ✓ Indicadores de la seguridad de la población (acceso y protección en la zona afectada)

Estimación de la probabilidad de ocurrencia

Se estimó la probabilidad de ocurrencia, asociada a las características del entorno y a las consecuencias que sobre él produzcan, y se estimó la probabilidad de ocurrencia sobre la salud de la población, la calidad del medio y la seguridad de la población. Previamente se seleccionó todos los posibles escenarios de riesgos. Se asignó una probabilidad de ocurrencia en función a los valores numéricos establecidos por el MINAM (2011).

Estimación de la gravedad de las consecuencias

Consistió en estimar el posible daño o consecuencias que cada uno de los escenarios identificados causan sobre el entorno receptor. Para estimar la gravedad se aplicó la siguiente fórmula:

Gravedad entorno humano = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + población afectada

Gravedad entorno natural = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + calidad del medio

Gravedad entorno socioeconómico = cantidad + 2 peligrosidad + extensión + seguridad de la población

Evaluación del riesgo ambiental

Estimadas las probabilidades de ocurrencia de los distintos escenarios identificados y las consecuencias derivadas sobre cada uno de los tres entornos se procedió a su estimación para cada caso. El riesgo ambiental se determinó en función al producto del valor dado a la probabilidad de ocurrencia por el valor de la consecuencia.

$$\text{Riesgo ambiental} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

RESULTADOS

a) Contaminación ambiental

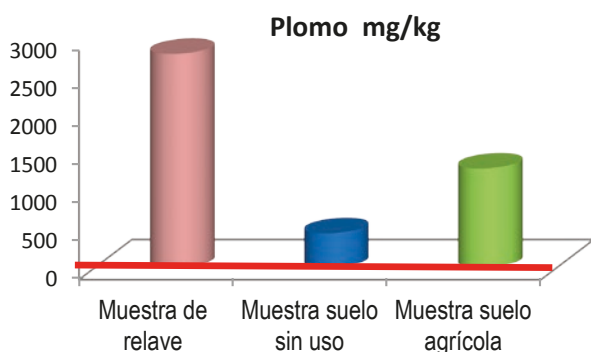


Figura 1. Concentración de plomo (mg/kg) en el suelo

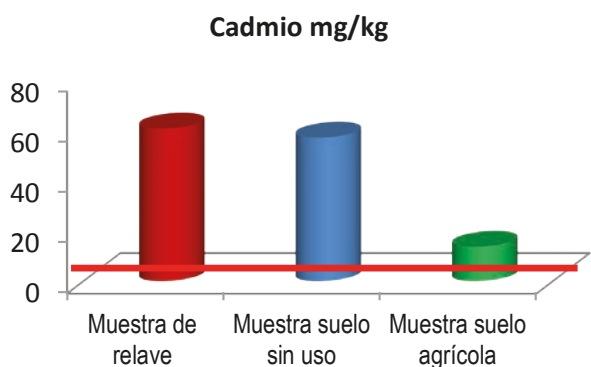


Figura 2. Concentración de cadmio (mg/kg) en el suelo

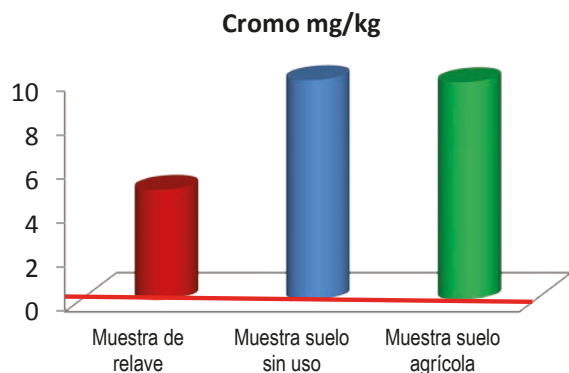


Figura 3. Concentración de cromo (mg/kg) en el suelo

Pb, Cd y Cr (ppm)

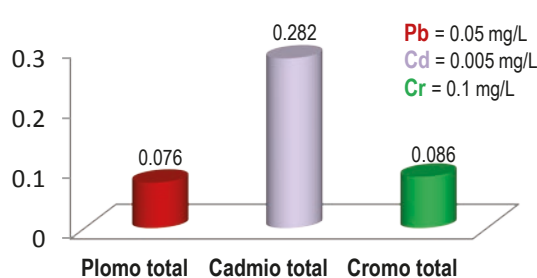


Figura 4. Concentración de Pb, Cd y Cr (ppm) en el agua

b) Población expuesta

Tabla 1: Población expuesta al pasivo de relaves

Población	Número	Porcentaje (%)
Niños	27	23.3
Jóvenes	34	29.3
Adultos	43	37.1
Adultos mayores	12	10.3
Total	116	100.0

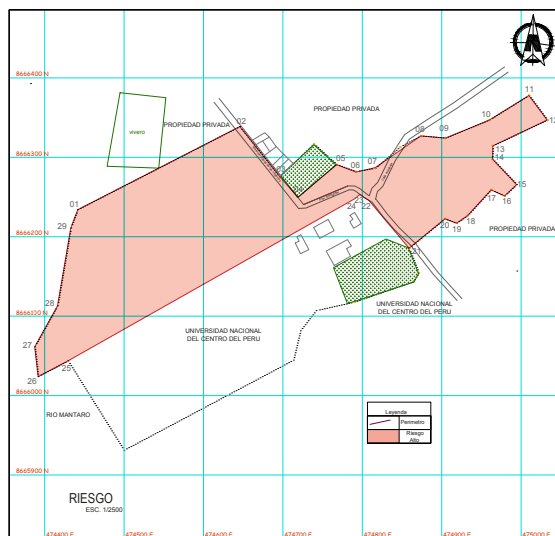
Tabla 2. Frecuencia de contacto de la población con el pasivo de relaves

Población	Diario	Una v/ semana	Una v/ mes	Dos v/ año	Una v/ año	Total
Niños	3	9	4	4	3	23
Jóvenes	0	2	2	3	1	8
Adultos	3	6	2	2	2	15
Ancianos	2	0	0	0	2	4
Total	8	17	8	9	8	50

c) Estimación del nivel de riesgo ambiental

Tabla 3. Estimación del nivel de riesgo en la salud de la población, calidad del medio y seguridad de la población

Escenario	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Nivel de riesgo
Salud de la población				
Pasivo de relaves (Pb, Cd y Cr suelo y agua)	3	5	15	Moderado
Pasivo de relaves (Pb, Cd y Cr aire)	3	4	12	Moderado
Nivel de riesgo salud de la población			54%	Moderado
Calidad del medio				
Pasivo de relaves (Pb, Cd y Cr suelo, agua)	5	5	25	Alto
Pasivo de relaves	5	5	25	Alto
Nivel de riesgo calidad del medio			100%	Alto
Seguridad de la población				
Accesibilidad	4	5	20	Alto
Presencia de cercos	4	5	20	Alto
Nivel de riesgo para seguridad de la población			80%	Alto
Nivel de riesgo ambiental promedio:			78%	Riesgo alto



DISCUSIÓN

a) Contaminación ambiental

El pasivo de relaves de la ex planta metalúrgica de Yauris, actualmente se encuentra abandonada, y viene afectando de manera perceptible elementos ambientales naturales como el suelo, agua, aire, flora, fauna, paisaje entre otros, con impactos negativos en la salud de la población. El depósito de residuos constituye un peligro permanente y potencial para la salud, seguridad de las personas, el ambiente, el ecosistema circundante y la propiedad (D.S. N° 033-2005-EM), debido a que no se implementó el plan de cierre del pasivo ambiental.

La presencia de enfermedades en la piel de niños que juegan en la zona de residuos abandonados, la dispersión del polvo con contaminantes en época de estiaje y vientos fuertes que ocasiona la irritación de los ojos de las personas que habitan próximo al relave, son evidencias de peligro que afectan la calidad de vida de los pobladores asentados sobre el depósito de relaves y circundantes a él.

Los residuos minero metalúrgicos depositados sin considerar los lineamientos mínimos de prevención y minimización de riesgos, además de causar daños al ecosistema, actualmente ha modificado el paisaje natural en una extensión de más de siete ha. (Mapa 01), área erizada con escasa presencia de vegetación y cinco parcelas de cultivos agrícolas. La población asentada en el lugar de riesgo no se encuentra organizada para encarar los problemas ambientales que los aquejan, siendo esta área de propiedad privada que actualmente están siendo lotizados para construcción de viviendas, y ya cuenta con servicio de agua potable.

La concentración de plomo en el depósito de relaves (Figura 1) excede 20 veces los estándares de calidad ambiental para suelo residencial (140 mg/kg), actualmente el uso del terreno es para edificación de sus viviendas con riesgo potencial para la salud de sus habitantes. La concentración de plomo en el suelo, destinado para cultivos agrícolas (choclo, papa, habas, pastos) excede seis veces por encima del nivel de la referencia teórica (70 mg/kg), por

lo que se encuentra contaminado y el consumo de alimentos contaminados incrementa el riesgo en la salud de los consumidores, con consecuencias a largo plazo del sistema nervioso, el hígado, los riñones, el cerebro y acumulación en el sistema óseo, tanto en niños como en adultos, incluso pueden ocasionar la muerte (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades [ATSDR], 2007).

Los valores de concentración de cadmio en el depósito de relaves (Figura 2), excede más de seis veces lo reglamentado, también se encuentra por encima de los estándares de calidad ambiental para suelo residencial (10 mg/kg). El contenido de cadmio en el suelo agrícola excede más de nueve veces el nivel de la referencia teórica (1.4 mg/kg). Cuando los seres humanos ingieren alimentos o toman agua con niveles de cadmio muy elevados, se presentan irritaciones severas en el estómago, dando lugar a vómitos y diarrea, y en ocasiones provocan la muerte (Hernández, 2012).

La presencia de cromo en el pasivo ambiental, excede entre 12 y 25 veces los niveles de la referencia teórica (0.4 mg/kg) para suelo residencial (Figura 3); y para suelo agrícola excede en 25 veces (0.4 mg/kg). La exposición oral al Cr (VI) en pequeñas dosis durante un largo periodo de tiempo puede generar la aparición de erosión y color amarillo de los dientes, irritación gastrointestinal, úlcera gastroduodenal, hepatitis y nefritis (Galvao y Corey, 1987). La IARC considera al Cr (VI) carcinogénico para los seres humanos cuando la exposición es por inhalación, y al Cr (III) y Cr (0) aun no pueden clasificarse respecto a su carcinogenicidad para los seres humanos (América y Palacios, 1997).

Los metales pesados, en pequeñas cantidades pueden ser beneficiosos hasta imprescindibles para los organismos vivos; sin embargo pasado cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación; esta persistencia, acumulación progresiva y transferencia a la cadena alimentaria constituyen una amenaza para la salud humana y un peligro para los ecosistemas.

Los valores de concentración de plomo y cadmio en el agua del riachuelo (Figura 4), en el cual es depositado los lixiviados del relave, exceden los estándares de calidad ambiental para agua (DS N° 002-2008-MINAM), categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, los valores de cadmio en el agua exceden más de 50 veces el valor teórico (0.005 mg/L) y para plomo más de dos veces (0.05 mg/L). La presencia de cromo en el agua no excede los establecidos por la norma.

La ingesta de agua contaminada con metales pesados tóxicos por los animales domésticos (cerdos, aves de corral, vacas) constituye una amenaza para las personas que se alimentan con animales que han concentrado esas sustancias en sus cuerpos. Si un animal consume alimentos que contiene una sustancia tóxica día a día, bajo ciertas circunstancias esta sustancia se concentrará en el animal, a un nivel más alto que en el alimento, lo que puede conducir a niveles peligrosos de toxicidad por sustancias tóxicas en el alimento que los humanos ingieren Márquez (s/f).

b) Población expuesta

La población expuesta son los pobladores asentados y próximos al pasivo de relaves corresponde a niños, jóvenes, adultos y ancianos. Más de 30% del total de la población está representada por individuos adultos, el 10% de la población corresponde a los individuos ancianos; sin embargo este grupo y la población infantil (23%) son los más sensibles a los metales pesados (Tabla 1). La exposición a los metales se da por contacto dérmico en la población infantil, a través de los juegos de recreación (fulbito, trompo, canicas, bicicleta, skate, entre otros) de manera frecuente los fines de semana, algunos de ellos lo utilizan como lugar de descanso. Los jóvenes del lugar practican fulbito y vóley, los sábados y domingos (Tabla 2), y están en contacto directo con el material contaminado. Los adultos y ancianos se encuentran expuestos cuando cultivan sus productos agrícolas, cuando transitan por la zona del pasivo y próximos a este, sobre todo en época de estiaje y la presencia de vientos que dispersan partículas en suspensión mayormente de Suroeste a Noreste. En cinco familias la vía de exposición se da por ingesta directa de alimentos contaminados, por consumo de productos agrícolas (choclo, papa, habas) cultivados en el mismo lugar del relave.



c) Estimación del nivel de riesgo ambiental

El pasivo de relaves conteniendo altas concentraciones de metales pesados (plomo, cadmio y cromo) constituye el escenario de riesgo principal, para la salud de la población, la calidad del medio y la seguridad de la población; los metales pesados presentes en el suelo, agua, aire y su efecto en la población, en los animales domésticos son determinantes, tal como se muestran en las fotografías.

Estimación de la probabilidad de ocurrencia en la salud de la población, la calidad del medio y la seguridad de la población

Las concentraciones de plomo, cadmio y cromo en las muestras de relave, suelo sin uso y suelo de uso agrícola exceden los estándares de calidad ambiental en los com-

ponentes suelo, agua. La vía de exposición de las personas es por contacto dérmico y por inhalación, se ha estimado una probabilidad de ocurrencia probable (3), por la frecuencia de contacto de la población con el relave (niños), con el suelo (adultos) y la ingesta de alimentos (cultivos agrícolas) y animales contaminados (aves de corral, cerdos, vacas). Por otro lado, las partículas en suspensión conteniendo elementos pesados vienen afectando la salud visual de las personas sobre todo en adultos mayores, del mismo modo se estimó una probabilidad probable (3).

Las personas se ven expuestas al plomo, cadmio y cromo por inhalación de estas partículas y la ingestión de polvo en épocas de estiaje, así como la ingestión de alimentos contaminados. El plomo es una sustancia tóxica que se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas del organismo, con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad. La OMS (2000) estima que en los niños, la exposición al plomo causa cada año 600 000 nuevos casos de discapacidad intelectual. Se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos y se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo.

El cadmio es un metal tóxico y no esencial para el organismo, que se acumula en los tejidos humanos. Cuando los seres humanos ingieren alimentos o toman agua con niveles de cadmio muy elevados, se presentan irritaciones severas en el estómago, dando lugar a vómitos y diarrea, y a veces la muerte. Ingerir niveles más bajos de cadmio durante un largo período de tiempo puede conducir a una acumulación de cadmio en los riñones; si los niveles son suficientemente altos se producen daños severos en los riñones. La exposición a bajos niveles de cadmio durante mucho tiempo también puede causar que los huesos se vuelvan frágiles y se rompan con facilidad (Hernández, 2012). El cadmio entra en la alimentación humana con los vegetales y productos animales. El pescado, los crustáceos, el riñón e hígado de animales acumulan cadmio en grado relativamente elevado. El cadmio tiene dos vías de ingreso: inhalación e ingestión (Ramírez, 2002).

La población puede estar expuesta al cromo al respirar aire, tomar agua o comer alimentos que contienen cromo o a través de contacto de la piel con cromo o compuestos de cromo. Cuando se respira aire que contiene cromo, las partículas de cromo pueden depositarse en los pulmones; tragar pequeñas cantidades de cromo (VI) no causa problemas; sin embargo, tragar cantidades más altas ha producido malestar estomacal, úlceras, convulsiones, daño del hígado y el riñón y aún la muerte. Los niveles de cromo (VI) que produjeron estos efectos fueron mucho más altos que los que usted puede estar expuesto a través de los alimentos o el agua (ATSDR, 2002).

La exposición del suelo, agua, aire a contaminantes como el plomo, cadmio y cromo entre otros metales, viene afectando el ecosistema en general, de la zona de estudio; además pueden estar contaminando los niveles freáticos (acuíferos), por infiltración y percolación (Pineda, 2004). Considerando un volumen aproximado de 130 200 m³ de relaves (calculado para 1.75 m de profundidad promedio),

además de la persistencia del relave en el lugar de estudio, y su efecto en el medio abiótico (suelo, agua y aire) y biótico expresado por la escasa presencia de vegetación y la ausencia de animales silvestres se ha estimado una probabilidad de ocurrencia de *muy probable* (5) (Tabla 3). Por otro lado el relave abandonado viene alterando el paisaje natural del lugar, observándose un área casi sin vegetación con producción de lixiviados en época de lluvias, y olores que emanan de manera diaria por lo que se estimó una probabilidad de ocurrencia de *muy probable* (5).

Los metales pesados, en pequeñas cantidades, pueden ser beneficiosos y hasta imprescindibles para los organismos vivos. Sin embargo, pasado cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación. Esta persistencia, acumulación progresiva y/o transferencia a la cadena alimentaria constituye una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas. Durán (2010) ha observado que la permanencia del Cd en el suelo es de 75 a 380 años, del Hg de 300 a 1000 años y de los metales como: Ag, Cu, Ni, Pb, Se y Zn de 1000 a 3000 años.



Contaminación ambiental por pasivo de relaves de la ex planta metalúrgica de Yauris, Huancayo.

No sólo envenenamos directamente a nuestra propia especie cuando se libera un tóxico al medio ambiente, sino el aumento de la concentración de ciertos tóxicos en la cadena alimenticia ecológica, amenaza la vida silvestre, pero también puede dañar seriamente a las personas que comen a los animales que han concentrado esas sustancias en sus cuerpos. Si un animal come alimentos que contiene una sustancia tóxica día a día, bajo ciertas circunstancias esta sustancia se concentrará en el animal a un nivel más alto que en el alimento. El animal que se encuentra en lo más alto de la cadena alimenticia, tiene más tendencia a tener un alto nivel de sustancias tóxicas bio acumuladas en sus tejidos. La base de toda cadena alimenticia son las plantas; la cantidad de sustancia tóxica que se mueve a través de la cadena alimenticia será

determinada en parte por las sustancias que residen en el suelo o el agua, porque es donde los procesos de bio acumulación comienzan.

El acceso al pasivo ambiental de relaves es libre, la zona cuenta con tres vías de acceso principales: por el norte con la calle afirmada Malecón de Agua de las Vírgenes, por el Este con la calle asfaltada Prolongación Francisco Bolognesi, por el Sur con una carretera afirmada que tiene acceso a la Granja de Yauris de la Universidad Nacional del Centro (Mapa 01). La superficie afectada no está demarcada, ni cercada, no presentan señalizaciones, además no existe impedimento para el ingreso de las personas y animales domésticos al pasivo. Considerando el acceso libre a la zona de relaves de niños, jóvenes y adultos, se estimó una probabilidad de ocurrencia *altamente probable* (4). La población no se encuentra organizada para solucionar este problema ambiental, el área de estudio es de propiedad privada y actualmente se encuentra lotizada, por observar hitos de delimitación y con servicios de agua potable, algunos propietarios abandonaron la construcción de sus viviendas.

Estimación de la gravedad del daño en la salud de la población, en la calidad del medio y la seguridad de la población

La gravedad de los daños en la salud de la población por el pasivo de relaves según la metodología aplicada resultó *crítico* (Tabla 3), por la concentración de metales pesados en el suelo que sobrepasan en más de 20 veces el nivel de referencia teórica (plomo), seis veces para cadmio y 25 veces para cromo, la toxicidad del plomo, cadmio y cromo; más de siete ha de terreno expuestos con relaves (Mapa 01) y más de 100 habitantes potencialmente afectadas. La gravedad del *daño crítico* se explica, por los niveles altos de contaminantes en el suelo, que exceden los estándares de calidad ambiental. Por otro lado la gravedad del daño del pasivo por ingesta de polvos suspendidos en el aire y consumo de animales contaminados es *grave*.

Poco después de que el plomo entra al cuerpo, la sangre lo distribuye a órganos y tejidos (por ejemplo, el hígado, los riñones, los pulmones, el cerebro, el bazo, los músculos y el corazón); después de varias semanas, la mayor parte del plomo se moviliza hacia los huesos y los dientes. En adultos, aproximadamente 94% de la cantidad total de plomo en el cuerpo se encuentra en los huesos y los dientes; en cambio en niños, aproximadamente 73% del plomo en el cuerpo se almacena en los huesos, cierta cantidad de plomo puede permanecer en los huesos durante décadas (ATSDR, 2007).

Asimismo, cuando los seres humanos ingieren alimentos o toman agua con niveles de cadmio muy elevados, se presentan irritaciones severas en el estómago, dando lugar a vómitos y diarrea, y a veces la muerte. Ingerir niveles más bajos de cadmio durante un largo período de tiempo puede conducir a una acumulación de cadmio en los riñones; si los niveles son suficientemente altos se producen daños severos en los riñones (Ramírez, 2002).

Igualmente, cuando se respira aire que contiene cromo,

las partículas de cromo pueden depositarse en los pulmones; tragar cantidades más altas producen malestar estomacal, úlceras, convulsiones, daño del hígado y el riñón y aún la muerte. Los niveles de cromo que producen estos efectos son mucho más altos que estar expuesto a través de los alimentos o el agua (ATSDR, 2002).

El volumen del pasivo ambiental de relaves se encuentra afectando los componentes bióticos (inhibición del crecimiento de plantas e ingesta de agua contaminada por animales domésticos que ingresan al relave) y abióticos (tres componentes ambientales: el suelo, agua, aire). Según los resultados de concentración de plomo, cadmio y cromo en el suelo y agua exceden los estándares de calidad ambiental; la toxicidad de estos metales, la extensión afectada, se estimó que la gravedad del daño para la calidad del medio es *crítico*. Además el paisaje natural viene siendo alterado por montículos de relaves y desmontes, de toxicidad peligrosa, sin la presencia de cubierta vegetal y emanando olores desagradables en época de estiaje y época lluviosa, que afecta la calidad del entorno natural, se estimó una gravedad del daño *crítico*.

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo (Martín, 2000). El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, la adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos (Durán, 2010). Además, la textura favorece la entrada e infiltración de metales pesados en el suelo, por ejemplo los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

La facilidad de acceso de la población al pasivo de relaves, la toxicidad de los metales que lo contienen, más de siete HA de terreno expuesto, más de 100 personas potencialmente afectadas, no cuentan con señalización y cercado del pasivo, por lo cual el riesgo de causar daño a la población es alta, todo esto, han permitido estimar la gravedad del daño como *crítico*.

Estimación del nivel de riesgo ambiental

Según la escala de evaluación de riesgo propuesto por el MINAM (2010; 2011), el nivel de riesgo promedio estimado para la salud de la población es alto (54.0 %), esto se explica por la frecuencia de exposición de la población a los relaves y las altas concentraciones de plomo, cadmio, cromo en el suelo y el agua, que exceden los niveles de referencia sugeridos, y que tienen efecto sobre la salud de las personas expuestas.

El nivel de riesgo para la calidad del medio promedio es alto (100%), correspondiéndole al escenario pasivo de relaves con plomo, cadmio y cromo un nivel de riesgo de 100% atribuido al volumen de relaves y las concen-

traciones de metales en el suelo y agua que exceden los estándares de calidad ambiental, así como la modificación del paisaje por montículos de relave y desmonte en el área de estudio.

De la Tabla 3, se aprecia que el pasivo de relaves registró un nivel de riesgo de 80%, por lo tanto se considera un pasivo ambiental con un nivel de riesgo alto para la seguridad de la población. La falta de señalización y cercado del pasivo, así como la facilidad de acceso al lugar ponen en riesgo la seguridad de las personas circundante al área de estudio.

El nivel de riesgo ambiental promedio general caracterizado para el pasivo de relaves de la ex planta metalúrgica de Yauris es alto (78.0 %) (Mapa 03), se atribuye a la presencia y toxicidad de metales pesados del relave que afecta la salud de la población, la composición química del suelo, el deterioro de la función ecológica del suelo; la alteración de la calidad del agua, el aire, la modificación del paisaje natural.

CONCLUSIONES

Los residuos mineros metalúrgicos depositados y abandonados con alto contenido de metales pesados viene ocasionando daños a la salud de la población infantil y adulto mayor por contacto dérmico, inhalación de polvos suspendidos, e irritación visual. Las concentraciones de plomo, cadmio y cromo en el suelo y agua sobrepasan los estándares de calidad ambiental.

La probabilidad de ocurrencia de daños en la salud de la población circundante al pasivo ambiental es probable, en la calidad del medio es muy probable y en la seguridad de la población altamente probable.

La gravedad de los daños ocasionados a la salud de la población, a la calidad del ambiente y la seguridad de la población es crítico respectivamente.

El nivel de riesgo estimado para la salud de la población es moderado, para la calidad del medio y la seguridad de la población es alto, y el nivel de riesgo ambiental promedio general para el pasivo de relaves de la ex planta metalúrgica de Yauris es alto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR). (2002). *Resumen de salud pública cromo*. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. Servicio de Salud Pública. CAS#: 7440-47-3.

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR). (2007). *Resumen de salud pública plomo*. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. Servicio de Salud Pública. CAS#: 7439-92-1.

AMÉRICA, L. Y PALACIOS, A. (1997). *Introducción a la toxicología ambiental*. Metepec, Mexico: CEPIS-OPS/OMS.

- BECERRIL, J., BARRUTIA, O., GARCÍA, J., HERNÁNDEZ, A., OLANO, J. Y GARBISU, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos eco fisiológicos y su uso en fitorremediación". *Ecosistemas*, 16 (2), 50-55.
- BECK, U. (1998). *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós
- DURÁN, P. (2010). *Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Pre litoral Catalana*. (Tesis doctoral). Universidad de Barcelona. Barcelona, España.
- EVANS, J., FERNÁNDEZ, A., GAVILÁN A., IZE, I. MARTÍNEZ, M., RAMÍREZ, P. Y ZUCK, M. (2003). *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- GALVAO, L. Y COREY, G. (1987). *Cromo*. Organización Panamericana de la Salud. Metepec, México: Organización Panamericana de la Salud.
- HERNÁNDEZ, L. (2012). *Evaluación del riesgo para la salud en una población de la zona rural de Bogotá D.C por la presencia de metales en aguas de consumo*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá, Colombia.
- IZE LEMA, I., ZUCK, M. Y ROJAS-BRACHO, L. (Eds). (2010). *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. (2ª ed.). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- JOZAMI, M. V. (2009). *Análisis de riesgos de suelos agrícolas contaminados por metales pesados en minas de Tharsis (Huelva)*. Recuperado de http://uhu.es/noticieros/master-ta/files/jozami_mirta_viviana_resumen_2008_2009.pdf
- LUGO – MORÍN, D.R. (2007). Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui, Venezuela. *Ecosistemas*, XVI (1). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/540/54016109.pdf>
- MANZANARES, E., VEGA, H., ESCOBAR, M., LETECHIPÍA DE LEÓN, C., GUZMÁN, L., HERNÁNDEZ, V. et al. (2005). *Evaluación de riesgos ambientales por plomo en la población de Vetagrande, Zacatecas*. Recuperado de: http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/inf_vetagrande_final_1004_e_ine_final.pdf
- MÁRQUEZ, F. (s/f). *Introducción a la toxicología ambiental*. Chile: Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.
- MARTIN, C. (2000). *Heavy metals trends in floodplain sediments and valley fill*. *Catena* 39, 53-68.
- MILLER, T. (2002). *Introducción a la ciencia ambiental. Desarrollo sostenible de la tierra*. (5ª ed.). España: Thomson.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). (2010). *Guía de evaluación de riesgos ambientales*. Lima, Perú.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). (2011). *Guía de evaluación de riesgos ambientales*. Perú: Dirección General de Calidad Ambiental.
- NORMA UNE 150008:2008. Análisis y evaluación de riesgo ambiental. España: AENOR
- ORELLANA, E. (2014). *Riesgo ambiental por acumulación de plomo en suelos y productos agrícolas irrigados con agua del río Mantaro, Sector Jauja (Tesis Doctoral)* Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2000). Lead. [aut. Libro] OMS. Regional Office of Europe. En *Air quality guidelines for Europe*. Copenhague: OMS/CEPIS, 2000.
- RAMIREZ, A. (2002) Biomarcadores en monitoreo de exposición a metales pesados en metalurgia: *Anales de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- RAMIREZ, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar la exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. 63 (1), 51-64.
- RODRICKS, Y. Y TAYLOR, M.R. (1983). Applications of risk assessment to food safety decision making. *Reg. Toxicol. Pharmacol.* 3, 275-307.
- ROJAS, R. (2002). *Metales pesados en el agua destinada al consumo humano*. Organización Panamericana de la Salud – Organización Mundial de la Salud.
- SALDIVAR, L., TOVAR, A. Y NAMIBIRA, D. (1997). Plomo. En: *Introducción a la toxicología ambiental*. Metepec, México: CEPIS-OPS/OMS.
- SCHINITMAN, N. (2011). Riesgo ambiental. Recuperado de: <http://www.revistavirtualpro.com/blog/files/ti-Riesgo-Ambiental-Schinitman.pdf>.
- ZUCK, M. E IZE, I. (2010). El manejo del riesgo. En Ize Lema, I., Zuck, M. y Rojas-Bracho, L.(Eds). *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. (2ª ed., pp. 149-164) México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.