

# NIVELES DE METALES PESADOS EN EL AMBIENTE Y SU EXPOSICIÓN EN LA POBLACIÓN LUEGO DE CINCO AÑOS DE EXPLORACIÓN MINERA EN LAS BAMBAS, PERÚ 2010

Jonh Astete<sup>1,a</sup>, María del Carmen Gastañaga<sup>1,a</sup>, Doris Pérez<sup>1,b</sup>

## RESUMEN

**Objetivos.** Determinar las concentraciones de material particulado (PM<sub>10</sub>) y metales pesados en el ambiente, así como en población aledaña al proyecto Las Bambas luego de cinco años de exploración minera. **Materiales y métodos.** Estudio comparativo de corte transversal realizado en tres distritos del área de influencia del proyecto Las Bambas en la región Apurímac, Perú. Se obtuvieron muestras de agua, aire y suelo para determinar las concentraciones de PM<sub>10</sub> y metales pesados. Se tomaron muestras de sangre y orina a 310 pobladores para evaluar niveles de plomo, cadmio, arsénico y mercurio. Los resultados se compararon con los obtenidos el año 2005. **Resultados.** Concentraciones ambientales de PM<sub>10</sub> y metales pesados no sobrepasaron los valores referenciales establecidos. La calidad de agua de consumo y suelo no se encuentra alterada. Para el año 2010 comparado con los valores hallados el 2005, los niveles promedio de cadmio y mercurio en orina se incrementaron significativamente en la población del distrito de Chalhuanahuacho ( $2,4 \pm 0,8$  y  $2,6 \pm 0,4$ ), el Progreso ( $2,6 \pm 1,1$  y  $2,9 \pm 1,3$ ) y Haquira ( $3,2 \pm 1,2$  y  $2,6 \pm 0,9$ ). Los valores de cadmio superaron los límites permisibles. **Conclusiones.** Luego de cinco años de actividad de exploración minera, no se han visto afectadas las características ambientales de las zonas de influencia del proyecto minero Las Bambas, sin embargo, se observan cambios en los niveles de cadmio en orina y en el porcentaje de personas que lo presentan.

**Palabras clave:** Metales pesados; Minería; Material particulado (fuente: DeCS BIREME).

## LEVELS OF HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT AND POPULATION EXPOSURE AFTER FIVE YEARS OF MINERAL EXPLORATION IN THE LAS BAMBAS PROJECT, PERU 2010

### ABSTRACT

**Objectives.** Determine particulate matter (PM<sub>10</sub>) and heavy metals concentrations in the environment, as well as in surrounding communities of the Las Bambas project after five years of mineral exploration. **Materials and methods.** A comparative cross-sectional study was conducted in three districts in the area of influence of the Las Bambas project in Apurímac, Peru. Samples of water, air and soil were obtained to determine the concentrations of PM<sub>10</sub> and heavy metals. Blood and urine samples were taken from 310 villagers to evaluate levels of lead, cadmium, arsenic and mercury. Results were compared with those obtained in 2005. **Results.** Environmental concentrations of PM<sub>10</sub> and heavy metals did not exceed the established reference values. The quality of drinking water and soil was not altered. Compared to the values found in 2005, the 2010 average levels of cadmium and mercury in urine increased significantly in the population of the districts of Chalhuanahuacho ( $2.4 + 0.8$  and  $2.6 + 0.4$ ), El Progreso ( $2.6 + 1.1$  and  $2.9 + 1.3$ ) and Haquira ( $3.2 + 1.2$  and  $2.6 + 0.9$ ). Cadmium values exceeded permissible limits. **Conclusions.** After five years of mineral exploration activity, environmental characteristics of the areas of influence of the Las Bambas mining project, have not been affected. However, changes are observed in the levels and percentage of people with cadmium in their urine.

**Key words:** Metals, heavy; Mining; Particulate matter (source: MeSH, NLM).

## INTRODUCCIÓN

Es función de los gobiernos vigilar la conservación del medioambiente y de los recursos naturales. La alteración del estado natural de estos recursos, por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana, que ocasiona impacto ambiental, por lo cual, satisfacer las

necesidades de las actuales y futuras generaciones es competencia del estado y de todos los pobladores. En efecto, existe una política ambiental nacional<sup>(1,2)</sup> cuyo objetivo es proteger y conservar el medioambiente y los recursos naturales con la finalidad de hacer posible el desarrollo integral de la persona y garantizar una adecuada calidad de vida. Esto es aún más importante

<sup>1</sup> Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud. Instituto Nacional de Salud. Lima, Perú.

<sup>a</sup> Médico; <sup>b</sup> Ingeniero químico

Recibido: 25-03-14 Aprobado: 23-07-14

Citar como: Astete J, Gastañaga MC, Pérez D. Niveles de metales pesados en el ambiente y su exposición en la población luego de cinco años de exploración minera en las Bambas, Perú 2010. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2014;31(4):695-701.

si se trata de un lugar donde se desarrollan actividades socioeconómicas ya que estas, además de contribuir con el desarrollo local de la zona involucrada, podrían causar daños de naturaleza ambiental <sup>(3,4)</sup>.

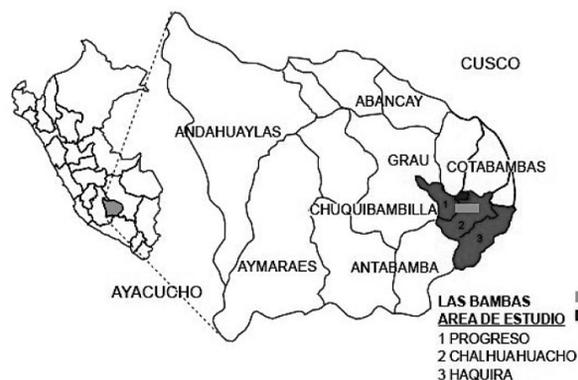
El Perú cuenta con un gran potencial geológico y con un marco normativo propicio para la inversión y la industria minera, la cual resulta ser la fuente más importante de divisas. Pero en muchas oportunidades se presentan altos niveles de conflicto social en torno a la gran minería debido a su impacto en el medioambiente y a los efectos negativos en la vida y salud de las poblaciones aledañas a las zonas mineras. En ese contexto, encontramos al proyecto minero Las Bambas, ubicado a 72 kilómetros del Cusco, entre las provincias de Cotabambas y Grau, departamento de Apurímac, y cuya área de influencia social la constituyen los distritos de Chalhuhhuacho, Progreso y Haquira. Los yacimientos de Las Bambas fueron descubiertos en el año 1911, época desde la cual se han realizado diversos estudios: en 1966, por la Cerro de Pasco Cooper Corporation; en 1993, por la empresa Tintaya, y en el 2002, por Centromin, quien determinó su potencial polimetálico, principalmente para la explotación de cobre y oro. Actualmente, la explotación de Las Bambas puede generar minerales como sílice, plomo, cobre, cadmio, mercurio, cianuro, arsénico, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, que son sustancias con efectos negativos en la salud de las poblaciones.

En el año 2005, el Centro Nacional de Salud Ocupacional y protección del ambiente para la Salud (CENSOPAS) del Instituto Nacional de Salud (INS), realizó un estudio en la zona del proyecto Las Bambas <sup>(5)</sup>. Desde ese entonces hasta el 2010, la empresa minera se ha encontrado desarrollando actividades de exploración, las cuales pueden haber ocasionado cambios respecto a la situación encontrada en el 2005. El presente estudio busca determinar las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ ) y de metales pesados en el ambiente, así como los niveles de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en la población, como consecuencia de la actividad de exploración realizada durante los últimos cinco años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### DISEÑO Y ÁMBITO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio descriptivo de corte longitudinal en la población de tres distritos de la región Apurímac: Chalhuhhuacho, Progreso y Haquira, que residen en el área de influencia social del proyecto Las Bambas, para determinar los niveles de plomo, cadmio, arsénico



**Figura 1.** Mapa de la provincia de Apurímac donde se desarrolla el proyecto minero Las Bambas

y mercurio en la población expuesta a la actividad de exploración minera, el dosaje se realizó en los años 2005 y 2010. Asimismo, se determinó la calidad de aire, suelo y agua, en cada uno de estos distritos en los años 2005 y 2010.

### UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

El proyecto se ubica entre los 3500 a 4500 metros de altitud en la región de Apurímac, en las provincias sur andinas de Cotabambas y Grau. Posee un área de concesión minera de 35 000 hectáreas; cuenta con 40,5 toneladas de reservas y un potencial mayor a 500 millones de toneladas. Los distritos que fueron parte del estudio son: Chalhuhhuacho (7321 habitantes), y Haquira (10437 habitantes) en la provincia de Cotabambas, y el distrito de Progreso en la provincia de Grau de la región Apurímac (2723 habitantes) (Figura 1).

### POBLACIÓN DE ESTUDIO

Teniendo como base los datos del Censo Nacional 2007 de las poblaciones de los distritos de Chalhuhhuacho, Progreso y Haquira, se realizó un muestreo aleatorio simple en cada distrito. El tamaño de muestra se obtuvo considerando la proporción de personas con niveles de metales pesados en sangre y en orina por encima del límite referencial (plomo en sangre: 10,00  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ; cadmio en orina: 1,00  $\mu\text{gCd}/\text{L}$ ; arsénico en orina: 100,00  $\mu\text{g}/\text{L}$  y mercurio en orina: 5,00  $\mu\text{g}/\text{L}$ ).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio de línea de base en salud en comunidades aledañas al proyecto Las Bambas 2005 <sup>(6)</sup>, la proporción encontrada en cada distrito fue: Chalhuhhuacho: 0,18; Progreso: 0,45 y Haquira: 0,04. Para la estimación del tamaño muestral, se estableció 95% de nivel de confianza y 5% de error, obteniéndose una muestra de 277 personas.

Además, se consideró una tasa de no respuesta igual a 10%, constituyendo la muestra final 304 personas en los tres distritos. Se incluyeron individuos mayores de tres años que tuvieran un tiempo de residencia mínimo a seis meses en el área de influencia y que aceptaran participar y firmar el consentimiento informado; en el caso de los menores de 18 años, se obtuvo la autorización del padre o tutor, así como su asentimiento.

### PROCEDIMIENTO E INSTRUMENTOS

Para determinar las concentraciones de metales pesados en el ambiente, se tuvo como marco referencial el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire <sup>(7)</sup> y el Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Dirección General de Salud Ambiental <sup>(8)</sup>. La determinación de los puntos de muestreo se llevó a cabo considerando como criterios de selección: 1) Densidad poblacional con potencial exposición humana y susceptibilidad a la contaminación; 2) Seguridad para la permanencia de los equipos. Para la determinación de la calidad de aire, los lugares seleccionados fueron: el local comunal del distrito de Progreso, el Centro de Salud de Challhuahuacho y el Centro de Salud de Haqira. Además, se tomó como base los parámetros y puntos de muestreo del estudio de línea base a las comunidades aledañas al proyecto minero Las Bambas, realizado en el 2006, dado que el objetivo del estudio fue medir los cambios que se hayan producido en este periodo.

La evaluación del material particulado menor de diez micras se realizó con **método gravimétrico**; mientras que el análisis de metales pesados (plomo, cadmio y zinc) se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se empleó muestreadores de bajo volumen, marca Tecora, modelo Charlie IV. Los valores permisibles se determinaron conforme los estándares nacionales de calidad de aire y estándares de organismos internacionales: OMS, EPA y Canadá

**Tabla 1.** Estándares nacionales e internacionales de Calidad de aire

	Perú <sup>(1)</sup>	OMS <sup>(2)</sup>	EPA <sup>(3)</sup>	Canadá <sup>(4)</sup>
PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150 <sup>(5)</sup>	50 <sup>(5)</sup>	150 <sup>(5)</sup>	50 <sup>(5)</sup>
Plomo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0,5 <sup>(6)</sup>	0,5 <sup>(6)</sup>	1,5 <sup>(7)</sup>	2 <sup>(5)</sup>
Cadmio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-	0,005 <sup>(6)</sup>	-	2 <sup>(5)</sup>
Zinc ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-	-	-	120 <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> D.S. 074-2001-PCM y D.S. 069-2003-PCM

<sup>(2)</sup> Air Quality Guidelines for Europe- WHOROEC 2000

<sup>(3)</sup> National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) – EPA

<sup>(4)</sup> Ambient Air Quality Criteria – Canada

<sup>(5)</sup> Promedio de 24 h

<sup>(6)</sup> Promedio Anual

<sup>(7)</sup> Promedio de 3 meses

(Tabla 1) <sup>(9-12)</sup>. La evaluación de suelos se llevó a cabo en muestras de uso residencial en los distritos de Progreso, Haqira y Challhuahuacho. Los planos de cada distrito se dividieron en una grilla que cubría toda el área de estudio, seleccionando seis cuadrículas para igual número de muestras, obteniéndose seis muestras para cada distrito.

Se realizó un muestreo superficial ya que los dos primeros centímetros del suelo se ven involucrados con la exposición por contacto con la población. Del mismo modo, se consideró un área expuesta mínima de 1 m<sup>2</sup> y se eliminaron residuos orgánicos e inorgánicos grandes de la superficie, y con ayuda de una cuchara de plástico se excavó un hoyo de aproximadamente 20 cm de diámetro y 2 cm de profundidad, luego se depositó la muestra en una bolsa de plástico debidamente rotulada para su traslado al laboratorio. Para la evaluación de la calidad de suelo se utilizó los estándares establecidos por la Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. En la evaluación de la calidad del agua se empleó las guías de agua de consumo establecidas en la Ley de Recursos Hídricos, los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, y el Reglamento para la Calidad de Agua para Consumo Humano, OMS y EPA. Para el caso de los distritos Challhuahuacho y Haqira se obtuvieron seis muestras y en el distrito del Progreso se obtuvo diez muestras.

Para la determinación de concentración de metales pesados en sangre y orina, a cada persona que aceptó participar se le extrajo una muestra de sangre venosa (7 mL con EDTA y 3 mL con heparina) y se le solicitó una muestra de orina, las cuales fueron transportadas en cadena de frío a los laboratorios del INS en Lima para su procesamiento. En el laboratorio químico-toxicológico de CENSOPAS se midió la concentración de plomo en sangre así como cadmio, arsénico y mercurio en orina. Se consideró presencia de metales pesados cuando la concentración de plomo en sangre fue >10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  en menores de 12 años; plomo >20  $\mu\text{g}/\text{dL}$  en mayores de 12 años; cadmio en orina >1  $\mu\text{g}/\text{L}$ ; arsénico en orina >100  $\mu\text{g}/\text{L}$  y mercurio en orina >5  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron ingresados a una base de Excel y procesados con el paquete estadístico SPSS versión 18. Las estimaciones por intervalos se aplicaron a las variables numéricas. Para variables categóricas se obtuvo proporciones y porcentajes. El análisis inferencial se realizó empleando la prueba T de Student para diferencia de medias, previa verificación de la normalidad de la muestra mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

**Tabla 2.** Resultados calidad de aire, Las Bambas, 2010

Puntos de muestreo	Material Particulado*		Metales*			
	PM 10	PM 2,5	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo
Centro de Salud Chalhuahuacho	37,4	-	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Centro de Salud Chalhuahuacho	-	6,98	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Centro de Salud Haqira	19,27	-	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Centro de Salud Haqira	-	9,9	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Local comunal del distrito El Progreso	35,35	-	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Local comunal del distrito El Progreso	-	12,69	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

&lt;LCM: menor al límite de cuantificación del método

\*Valores en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ **CONSIDERACIONES ÉTICAS**

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Instituto Nacional de Salud. Los individuos fueron debidamente informados sobre el propósito de la investigación, la decisión de participar fue autónoma y respaldada por la firma de un consentimiento informado. Los resultados obtenidos fueron llevados a los establecimientos de salud de la población evaluada para que sean entregados individualmente a cada participante, el cual recibiría consejería e indicaciones por el personal de salud del establecimiento de salud, previamente capacitado por el CENSOPAS/INS.

**RESULTADOS**

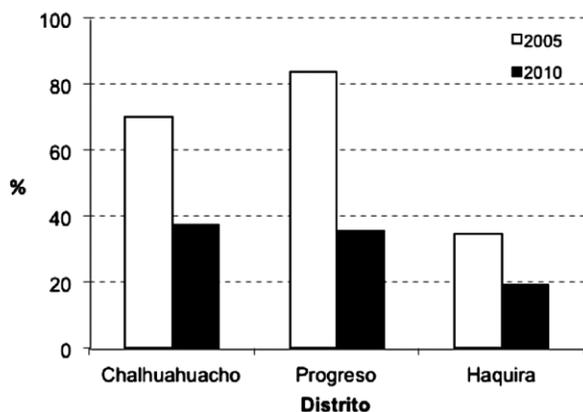
La concentración promedio des metales pesados evaluados en aire, de 24 h, fue menor a lo establecido en los estándares nacionales de calidad de aire y estándares de organismos internacionales como la OMS, EPA y Canadá; pues fueron menores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabla 2). Las concentraciones promedio de  $\text{PM}_{10}$  de 24 h registradas en el año 2010 en los tres distritos, descendieron respecto a las concentraciones encontradas cinco años antes (Figura 2).

La calidad de agua para consumo de las poblaciones de Challhuahuacho, Progreso y Haqira se caracterizaron por presentar temperaturas entre 8 a  $15^\circ\text{C}$ , así como

**Tabla 3.** Resultados calidad de agua, Las Bambas, 2010

Punto de muestreo	(mg/L)								
	T ( $^\circ\text{C}$ )	pH	Cadmio	Cobre	Cromo	Plomo	Zinc	Arsénico	Mercurio
<b>CHALLHUAHUACHO</b>									
Manante Yuracmayo	8	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Manante Ccayccopampa	9	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Manante Queuña-Sector Tocco	15	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Confluencia de ríos Fuerabamba	14	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Pileta patio Centro Educativo Fuera Bamba	14	8	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	2,68	<LCM
Pileta Centro de Salud Challhuahuacho	14	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,030	<LCM	<LCM
<b>HAQUIRA</b>									
Captación Ccorina	8,5	7,7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Laguna Ccorina	12,7	6,5	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,031	<LCM	<LCM
Captación Pitsurar Puquio	8	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Pozo reservorio captación Intitranka y Tupus	12,7	7,5	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Reservorio Haqira	8,5	7,59	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,033	<LCM	<LCM
Pileta Centro de Salud	8	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,079	<LCM	<LCM
<b>PROGRESO</b>									
Manante Hatun Umayoc	10,9	7,91	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,030	<LCM	<LCM
Manante Puccaccacca Chayoc	10,3	7,6	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Reservorio Progreso	11	7,5	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
200 m aguas arriba río altura Puente Progreso	12,3	8,16	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Río altura Puente Progreso	12,6	8,16	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0,040	<LCM	<LCM
200 m aguas abajo Río altura Puente Progreso	12,5	8,16	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Pileta pública calle Ingenio	8	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Pileta pública calle Cahuide	9	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Centro de Salud	8	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Pileta domiciliaria calle San Martín s/n	8	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

&lt;LCM: menor al límite de cuantificación del método



**Figura 2.** Concentraciones promedio de material particulado (PM<sub>10</sub>) de 24 h (µg/m<sup>3</sup>) según año de evaluación y distrito. Las Bambas, Perú 2010

un pH entre 6,5 a 8,6, es decir, dentro de los niveles de establecidos por el D.S. 002-2008 – MINAM y D.S. 031-2010-SA (Tabla 3). En todas las muestras de suelo superficial se registraron niveles de arsénico, cadmio, cromo, plomo y mercurio, en concentraciones menores a los valores guía de las directrices de calidad del suelo de Canadá. Los niveles de cobre y zinc se encontraron en concentraciones superiores respecto a los valores guía de las directrices de calidad del suelo de Canadá, en muestras que fueron tomadas en el distrito de Chalhuanhuacho.

En los tres distritos se encontró que los valores promedio, tanto de plomo en sangre como de arsénico y mercurio en orina, no superaron los límites máximos permisibles, excepto los de cadmio en orina, que alcanzaron su máximo valor en el distrito de Haqira con 3,2 µg/L (Tabla 4). Asimismo, se halló una disminución significativa (p=0,002 y p=0,001) en los niveles de plomo en sangre para los distritos de Progreso y Haqira respectivamente, caso contrario sucedió en el distrito Chalhuanhuacho en donde se halló una disminución no significativa (p=0,824); en el caso de arsénico se observó una disminución en los valores promedio en los niveles en orina respecto a los resultados obtenidos en los tres distritos en el año 2005 (p=0,001). No obstante, los valores promedio de cadmio en orina se incrementaron en los tres distritos en comparación al año 2005 (p=0,001), superando los límites máximo permisibles (Tabla 5).

Con relación al porcentaje de pobladores con niveles anormales de metales pesados, el 100% de pobladores de los tres distritos evaluados presentaron niveles anormales de cadmio en orina, en comparación con los niveles obtenidos en el 2005. Asimismo, los valores promedio de mercurio (Hg) en orina se incrementaron en el 2010, sin superar los valores de referencia, sin embargo, en la figura 4 se pueden observar una disminución del porcentaje de pobladores con niveles anormales en el mismo año. Cabe mencionar que en

**Tabla 4.** Resultados calidad de suelo en mg/kg, Las Bambas, 2010

Punto de muestreo	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Plomo	Zinc	Mercurio
<b>CHALLHUAHUACHO</b>							
Centro de Salud	3,64	<LCM	64,84	<LCM	20,55	82,36	<LCM
Patio casa de Silvestre Chumbes, barrio Patrón Santiago	4,10	<LCM	31,63	<LCM	23,47	73,58	<LCM
Calle centro de Chalhuanhuacho	8,29	<LCM	72,24	<LCM	37,09	213,96	<LCM
Patio campo ferial	3,90	<LCM	34,25	<LCM	<LCM	72,99	<LCM
Institución Educativa Primaria 50633	2,43	<LCM	129,12	<LCM	<LCM	58,06	<LCM
Calle frente a vivienda de Rómulo Sumamani	2,87	<LCM	34,32	<LCM	29,45	79,89	<LCM
<b>HAQUIRA</b>							
Patio Institución Educativa Inicial 716	5,86	<LCM	52,71	8,27	56,56	89,41	<LCM
Institución Educativa 50634 José maría Arguedas	2,60	<LCM	50,49	<LCM	41,42	81,47	<LCM
Campo ferial frente a Institución Educativa	<LCM	<LCM	10,07	<LCM	<LCM	64,81	<LCM
Calle frente a Convento Haqira	2,21	<LCM	41,90	8,58	43,11	86,72	<LCM
Calle feria de juegos -final Av. Perú	2,68	<LCM	39,56	<LCM	34,00	93,43	<LCM
Centro de salud	5,17	<LCM	52,90	<LCM	32,10	97,76	0,31
<b>PROGRESO</b>							
Calle Ingenio	2,84	<LCM	47,20	<LCM	24,68	65,04	<LCM
Calle Cultura	3,14	<LCM	60,98	<LCM	40,39	88,37	0,49
Calle Cahuide	4,55	<LCM	48,91	<LCM	32,71	88,48	4,01
Calle Emancipación	2,35	<LCM	45,50	<LCM	24,55	99,31	1,21
Centro de salud	1,73	<LCM	30,79	<LCM	25,85	93,15	1,08
Futura Plaza Chabuca Granda	2,54	<LCM	36,67	11,16	29,89	66,16	0,54

< LCM: menor al límite de cuantificación del método

**Tabla 5.** Valores de plomo (Pb) en sangre, cadmio (Cd), arsénico (As), y mercurio (Hg) en orina tras 5 años de exploración minera, según población aledaña al proyecto minero Las Bambas. Apurímac, Perú 2010

Distrito	2005		2010		Valor p *
	Media	IC 95%	Media	IC 95%	
<b>Chalhuahuacho</b>					
Pb > 10 µg/dL	8,5	7,5-9,2	7,6	6,9-8,3	0,824
Cd > 1 µg/L	1,5	1,3-1,5	2,4	2,3-2,6	<0,001
As > 100 µg/L	58,6	52,7-63,8	26,1	22,0-30,3	<0,001
Hg > 5 µg/L	1,4	1,5-1,8	2,6	2,5-2,7	<0,001
<b>Progreso</b>					
Pb > 10 µg/dL	5,3	4,3-6,2	5,8	5,1-6,5	0,002
Cd > 1 µg/L	1,5	1,3-1,7	2,6	2,3-2,9	<0,001
As > 100 µg/L	36,7	33,4-42,6	14,6	9,3-19,8	<0,001
Hg > 5 µg/L	2,8	0,8-8,8	2,9	2,6-3,3	0,014
<b>Haquira</b>					
Pb > 10 µg/dL	14,1	11,1-13,2	7,7	6,9-8,5	<0,001
Cd > 1 µg/L	1,5	1,2-1,6	3,2	3,0-3,4	<0,001
As > 100 µg/L	55,7	49,8-62,0	24,2	19,6-28,9	<0,001
Hg > 5 µg/L	1,9	1,8-2,3	2,6	2,5-2,8	<0,001

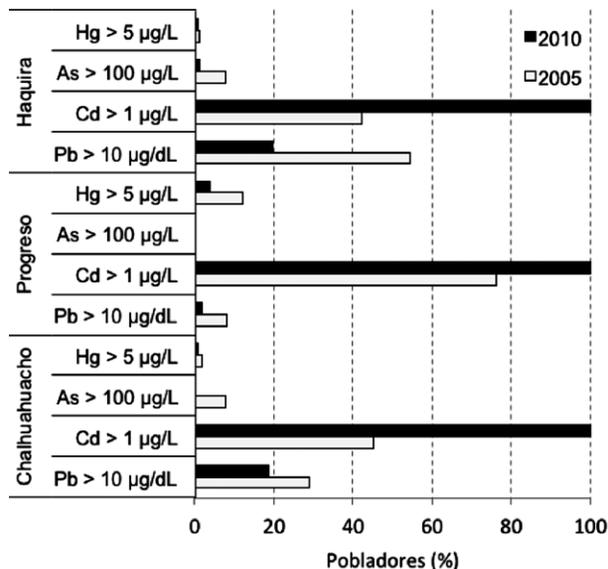
\* prueba T de Student

los distritos de Chalhuahuacho y Progreso no se halló ningún poblador con valores anormales de arsénico en orina (Figura 3).

## DISCUSIÓN

A pesar que las concentraciones de material particulado menor a diez micras hallados en los tres distritos evaluados, se encontraron por debajo de los niveles máximos establecidos tanto por el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (7) como por las Normas de Calidad del Aire Nacionales Ambientales de la Environmental Protection Agency (EPA-USA). En el 2005 el distrito Progreso alcanzó la mayor concentración en relación a los demás con un nivel 83,8 µg/m<sup>3</sup> de material particulado; Chalhuahuacho: 70,3 µg/m<sup>3</sup> y Haquira: 34,7 µg/m<sup>3</sup>, probablemente por las rumas de relave existentes en dicho distrito, como producto del proceso de extracción de oro que ahí se realizaba (Centro Minero de Cochasayhuas –1930) las cuales se esparcían por la actividad de los fuertes vientos. Sin embargo, en el 2010 el distrito Chalhuahuacho alcanzó mayor concentración con un nivel de 35,4 µg/m<sup>3</sup> de material particulado; seguido por el distrito Progreso 35,4 µg/m<sup>3</sup> y Haquira 19,3 µg/m<sup>3</sup>, evidenciando que no hay signos de contaminación ambiental relacionados a PM<sub>10</sub>.

Al ser los niveles de cadmio en el aire de 1 µg/m<sup>3</sup>, consideramos relevante el hallazgo de niveles elevados



**Figura 3.** Porcentaje de pobladores con niveles anormales de plomo (Pb) en sangre, cadmio (Cd), arsénico (As), y mercurio (Hg) en orina tras cinco años de exploración minera, según población aledaña al proyecto minero Las Bambas. Apurímac, Perú 2010

en orina, que alertarían sobre fallas en los mecanismos de protección respiratoria al momento de movilización de tierras, lo cual incrementaría la exposición a polvo con contenido de cadmio en las poblaciones expuestas. Dado que la explotación de las riquezas naturales, en general, trae consigo la degradación del medioambiente, en lo que respecta a la exploración y explotación minera, la contaminación generada reviste aun mayor gravedad por las evidentes secuelas negativas de la contaminación ambiental de orden físico (radiación solar, aire, suelo, agua, etc.) y biológico (plantas, animales, personas). Sin embargo, los resultados muestran que no se evidencia signos de contaminación ambiental relacionados con material particulado. Asimismo, las concentraciones de plomo, cadmio y zinc halladas en todas las muestras de aire y agua en los distritos estudiados estuvieron por debajo de los niveles máximos y valores guías tomados como referencia, es decir, la calidad del agua es apta para el riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales, en cumplimiento de la normativa existente.

Los minerales de cadmio, no se encuentran en concentraciones y cantidades suficientes como para justificar una actividad minera específica por el elemento. Entre los minerales de cadmio, la greenockita (CdS) es el más común. Este mineral se encuentra casi siempre asociado con la esfalerita (ZnS). De esta manera, el cadmio se recupera principalmente como un subproducto de la minería, fundición, y refinación del zinc, y en menor grado de la del plomo y cobre. Esto

sugiere que los elevados niveles de cadmio encontrados en el 2010 podrían deberse a la actividad de exploración minera y a la remoción del suelo. Esas partículas, al suspenderse en el aire, ingresarían al organismo de los pobladores, explicando así la presencia elevada de cadmio en orina.

La absorción del arsénico es predominantemente digestiva y por vía dérmica, siendo una de las principales fuentes de exposición el agua de consumo humano en aguas de origen subterráneo <sup>(12)</sup>; el crecimiento poblacional en cinco años en las comunidades aledañas al proyecto minero Las Bambas, vinieron acompañados de cambios en saneamiento básico, que incrementaron el consumo de agua de red pública, lo cual explicaría la disminución de los niveles de arsénico en la orina de la población participante en el año 2010 a comparación del año 2005.

Cabe mencionar, que los altos niveles de cobre y zinc encontrados pueden explicarse por las características del cuerpo mineralizado de la zona, en el cual hay presencia importante de cobre, el mismo que es objeto

del proyecto. Teniendo en cuenta que Las Bambas se encontraba en fase de exploración, la explotación minera generaría contaminación ambiental zonal y regional si es que no se cuenta con una estrategia de gestión ambiental, poniendo en grave riesgo la biodiversidad existente en la región. Por tanto, el desarrollo de una minería responsable y la aplicación de estrategias integrales de gestión ecológica permitirán tener un ambiente no deteriorado y una población satisfecha.

En conclusión, luego de cinco años de actividad de exploración minera, no se han visto afectadas las características ambientales en relación a la exposición de metales pesados de las zonas de influencia del proyecto minero Las Bambas.

**Agradecimientos:** al equipo técnico del Centro Nacional de Salud Ocupacional y protección del Ambiente para la Salud, Psic. Iselle Sabastizagal, Psic. Martha Lucero, Lic. Tania Oblitas, Lic. Pilar Lizárraga, Tec. Med. Jaime Rosales, y Tec. Lorfio Lupu, por su participación en el estudio de campo.

**Fuente de Financiamiento:** Instituto Nacional de Salud.

**Conflictos de interés:** los autores declaran no tener conflictos de interés.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Perú, Ministerio del Ambiente. *Política nacional del ambiente 2009-2021*. Lima: MINAM; 2009.
2. Perú. *Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Decreto Legislativo 613*. (7 setiembre, 1990)
3. Plá A, Vicente TJ, García FA. Evaluación de riesgos toxicológicos en los ecosistemas terrestres. *Rev Toxicol*. 2001;18(3):137-9.
4. Espinoza N, Mariano M, Porlles J, Romero A. *Estrategias regionales de gestión ambiental. El caso del proyecto minero Las Bambas de Apurímac*. *Rev Inv Fac Cienc Admin UNMSM*. 2006;9(18):33-9.
5. Astete J, Gastañaga MC, Fiestas V, Oblitas T, Sabastizagal I, Lucero M, *et al*. *Enfermedades transmisibles, salud mental y exposición a contaminantes ambientales en población aledaña al proyecto minero Las Bambas antes de la fase de explotación, Perú 2006*. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2010;27(4):512-9.
6. Instituto Nacional de Salud-Dirección Regional de Salud Apurímac, Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud. *Línea de base en salud en comunidades aledañas al proyecto minero Las Bambas 2005*. Informe técnico. Apurímac: INS-CENSOPAS; 2006.
7. Perú, Ministerio de Energía y Minas. *Decreto Supremo 074-2001-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire*. Lima: MINEM; 2001.
8. Perú, Dirección General de Salud Ambiental. *Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los datos*. Lima: DIGESA; 2005.
9. Perú, Ministerio del Ambiente. *Decreto Supremo 069-2003-PCM. Establecen valor anual de concentración de plomo*. Lima; MINAM; 2003.
10. World Health Organization. *Air Quality Guidelines for Europe*. 2da ed. Denmark: WHO; 2000.
11. Organización Mundial de la Salud. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra: OMS; 2006.
12. U.S. Environmental Protection Agency [Internet]. Washington D.C.: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). [actualizado el 21 de octubre de 2014]. Disponible en: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>

---

**Correspondencia:** Jonh Astete Cornejo.  
 Dirección: Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud. Instituto Nacional de Salud. Lima, Perú. Las Amapolas 350, Lince, Lima 14.  
 Correo electrónico: [astetemed@gmail.com](mailto:astetemed@gmail.com)