

## EVALUACIÓN DE PLOMO EN SANGRE DE TRABAJADORES DE INDUSTRIAS DE BATERÍAS

*John J. Valbuena P., Martha Duarte A.<sup>1</sup>, Clara Marciales C.<sup>1</sup>*

Recibido: septiembre de 2000 – Aceptado: agosto de 2001

**Palabras clave:** exposición al plomo, sangre, absorción atómica con horno de grafito.

**Keywords:** Lead exposure, blood, battery workers, atomic absorption graphite furnace.

### RESUMEN

Se determinó el nivel de plomo y de protoporfirina de zinc en la sangre de trabajadores de tres pequeñas industrias de reciclaje y fabricación de baterías, ubicadas en Bogotá, Colombia, con el fin de establecer la existencia de riesgo ocupacional por la exposición a este elemento. También se realizó esta evaluación en personas no expuestas ocupacionalmente al plomo, para contribuir con el establecimiento de los valores base de plomo en la población colombiana no expuesta.

Las muestras de sangre venosa fueron recolectadas en tubos de vidrio, libres de metales, con heparina. Se analizó el contenido de plomo por absorción atómica con horno de grafito y la protoporfirina de zinc por fluorescencia.

De acuerdo con la legislación colombiana, los resultados indican que alrededor de un 31 % de los trabajadores de es-

tas industrias se encuentran en nivel de exposición peligrosa y de intoxicación; sin embargo, cuando los resultados se comparan con el valor de 30  $\mu\text{g Pb/dL}$  de sangre establecido por la American Conference Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), el 91 % de estos trabajadores supera ese nivel, que es el valor de referencia adoptado por muchos países para la evaluación de riesgo ocupacional por exposición a plomo.

### ABSTRACT

In order to evaluate the occupational risk of exposure to lead of employees working in three small industries that recycle and manufacture acid lead batteries, the lead and zinc protoporphyrine (ZPP) blood content was determined.

The determination was also performed on people not exposed in order to establish comparison values.

Venous blood was collected in metal free heparinized glass tubes. Lead was analyzed by atomic absorption with graphite furnace and ZPP by fluorescence.

According to Colombian legislation, it was found that around 31 % workers in this type of industries are in dangerous and in-

<sup>1</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Bogotá.

toxication exposure. It was also found that 91% of workers exceed the level of 30  $\mu\text{g Pb/dL}$  blood established as standard by the American Conference Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

## INTRODUCCIÓN

El plomo es un elemento ampliamente utilizado por la humanidad en diferentes actividades; se calcula que su producción sobrepasa los cuatro millones de toneladas al año en el mundo, correspondiendo a Latinoamérica un 15% de esta cifra. En Colombia se importa o se obtiene a partir del reciclaje de baterías o acumuladores eléctricos; actividad que generalmente se realiza en forma artesanal, y por la cual los trabajadores pueden estar expuestos a niveles considerables de plomo. El Instituto de Seguros Sociales indica que la intoxicación por plomo o saturnismo es la segunda enfermedad profesional en nuestro país.

### Acción tóxica

El plomo se absorbe por inhalación o por ingestión; la absorción cutánea tiene importancia cuando hay contacto con sus compuestos orgánicos. Una vez absorbido, el plomo no se distribuye en forma homogénea en el organismo, hay una absorción rápida en la sangre y en los tejidos blandos, seguida de una redistribución lenta a los huesos; produce, además, lesiones en varios órganos y sistemas, siendo los más afectados el sistema nervioso central y periférico, el sistema hepático, el renal, el hematopoyético y el gastrointestinal (1-5).

### Valores de referencia para la evaluación de plomo a nivel ocupacional

Para evaluar la presencia de agentes químicos en el aire de ambientes ocupacionales existen los valores límite umbral (threshold level value, TLV) que se consideran como guía o referencia para proteger la salud de los trabajadores expuestos. Para el plomo, el valor dado en 1998 es de 0,05 mg Pb/m<sup>3</sup> de aire (6); también existen, para evaluar el riesgo ocupacional, los índices de exposición biológica (BEI), complementarios de los valores TLV.

La concentración de plomo en la sangre o plumbemia es una medida pertinente para las evaluaciones por exposición a este elemento, ya que, además de ser un indicador de exposición reciente, es un indicador del equilibrio entre la cantidad de metal que es absorbido, la cantidad que está siendo transportada en la sangre y la que se deposita en los tejidos.

Para ambientes ocupacionales, el índice de exposición biológico (BEI) establecido por la ACGIH para plomo es de 30  $\mu\text{g Pb/dL}$  de sangre, parámetro estimado después de numerosas investigaciones con trabajadores sanos expuestos ocupacionalmente a este metal, en jornadas de ocho horas diarias, cinco días a la semana. Este valor es tomado como referencia para personas expuestas ocupacionalmente y es revisado periódicamente (6).

El nivel de protoporfirina de zinc, ZPP, en eritrocitos es una medida de efectos metabólicos de intoxicación. La presencia de plomo inhibe la biosíntesis del grupo heme, impidiendo que el hierro

se inserte en el lugar que le corresponde para formar dicho grupo; en estas circunstancias se acumula la protoporfirina y el lugar del hierro es ocupado por el zinc. El indicador ZPP es un indicador precoz de intoxicación, aunque ciertas enfermedades también elevan su valor. El valor de referencia dado por la ACGIH es de 100  $\mu\text{g}$  ZPP/dL de sangre (6).

En Colombia, el saturnismo o intoxicación por plomo se encuentra reportado como enfermedad profesional, según el Decreto 1832 de 1994 (7). Se han tomado como valores de referencia para evaluación de riesgo ocupacional por exposición a plomo (8):

Niveles de plomo en población no expuesta: hasta 38  $\mu\text{g}$  Pb/dL de sangre.

Niveles de plomo en población ocupacionalmente expuesta: 38-66  $\mu\text{g}$  Pb/dL de sangre.

Absorción peligrosa: 67-77  $\mu\text{g}$  Pb/dL de sangre.

Absorción compatible con intoxicación: mayor que 77  $\mu\text{g}$  Pb/dL de sangre.

## METODOLOGÍA

### Recolección de muestras

En tres pequeñas industrias de la zona urbana de Bogotá, Colombia, con intervalos aproximados de veinte días, se recolectaron muestras de sangre venosa de trabajadores que laboraban en las diferentes actividades de reciclaje y fabricación de baterías. En la empresa A se realizaron seis muestreos, y tres en las empresas B y C.

Con el fin de establecer un nivel de referencia y compararlo con los niveles encontrados en los trabajadores de las industrias de baterías, también se recolectaron muestras de sangre de personas no expuestas ocupacionalmente a plomo (133 en total) pertenecientes a los siguientes sectores: grupo D: personas de una entidad de salud; grupo E: personas de una población rural; grupo F: estudiantes universitarios, grupo G: personal de una industria metalmeccánica.

Se tomaron muestras de aproximadamente 5mL de sangre en tubos de vidrio, libres de metales, con heparina, y se conservaron a 4°C hasta el momento del análisis.

### Métodos y procedimientos de análisis

*Análisis de plomo:* para la determinación de plomo se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Unicam 929 con lámpara de cátodo hueco de plomo, lámpara de deuterio para corrección por absorción no específica, horno de grafito Unicam GF90 y muestreador automático Unicam FS90.

Para el análisis de plomo en la sangre se siguió, con algunas modificaciones, la metodología dada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (INSHT), en la cual se realiza la cuantificación por absorción atómica a 283,3nm, utilizando horno de grafito y modificador de matriz (9). En el presente estudio se emplearon patrones de plomo en sangre, y la curva de calibración se preparó en un intervalo de concentración de 0 a 588  $\mu\text{g}$  de plomo por litro de sangre.

Para el horno de grafito se utilizó el siguiente programa de temperatura y tiempo:

fase de secado a 100°C durante 10 s y gradiente 5°C/s; fase de cenizas a 550°C durante 20s; fase de atomización a 1200°C, 5 s y fase de limpieza a 2500°C durante 5 s. Siempre se inyectaron 20 µL de muestra o patrones con automuestreador, y fueron medidas tres o más réplicas de cada muestra (10). Se determinaron la linealidad, sensibilidad y el límite de detección del método (11,12). Para la evaluación de la repetibilidad y exactitud se utilizaron muestras control de plomo en sangre suministradas por el Instituto Nacional de Salud de Colombia, INS, con contenidos de plomo certificados por INSHT de España.

*Determinación de protoporfirina de zinc, ZPP:* la ZPP tiene características fluorescentes y esta propiedad se aprovecha para determinar su concentración en la sangre. Se colocaron 25 µL de cada muestra en laminillas de vidrio y se midió la intensidad de la fluorescencia en el hematofluorometro AVIV 2069 MH. Se obtuvieron medidas por triplicado y se expresaron como µg ZPP/ dL de sangre.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Características del método de absorción atómica con horno de grafito para la determinación de plomo en la sangre

La curva de calibración promedio presentó linealidad en el rango seleccionado de 0 a 588 µg de plomo por litro de sangre y respondió a la ecuación:  $A = 1,138 C_{Pb} + 0,005$ ; el coeficiente de correlación fue de 0,9887; la desviación estándar de la curva de 10,6 µg Pb/L de sangre y su coe-

ficiente de variación de 4,8%. La sensibilidad del método fue  $1,138 \times 10^3$  L/ µg Pb (o expresada como la masa que produce una absorbancia de 0,0044 fue de 80pg Pb); el límite de detección fue 11 µg Pb/L (o 220 pg Pb en 20 µL de sangre) y el límite de cuantificación fue 35 µg Pb/L de sangre (o 700 pg Pb en 20 µL). La repetibilidad expresada como % de coeficiente de variación fue menor que 5,1%. La exactitud expresada como % de error relativo fue menor que 5,6%.

### Contenido de plomo y de protoporfirina de zinc ZPP en sangre de personas no expuestas ocupacionalmente

En la tabla 1 se presentan los intervalos encontrados para plomo y ZPP en la población no expuesta. Se encontraron valores inferiores a 38 µg Pb/dL de sangre, nivel considerado en la legislación colombiana como límite para población no expuesta a plomo. Los contenidos más bajos se presentaron en la población rural. El valor medio para este grupo poblacional fue de 6,4 µg Pb/dL de sangre (n= 133).

En cuanto al nivel de ZPP, cerca del 98% de las personas presentaron valores menores que 100 µg ZPP/dL de sangre.

### Contenido de plomo y de protoporfirina de zinc ZPP en trabajadores de las industrias de baterías

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los intervalos de concentración de plomo y de ZPP encontrados en los trabajadores, de acuerdo con la actividad desarrollada.

**Tabla 1.** Concentración de plomo y ZPP en sangre de personas no expuestas ocupacionalmente.

Grupo	N° de personas	Intervalo de plomo µg Pb/dL de sangre	Intervalo de ZPP µg ZPP/dL de sangre
D ENT. SALUD	24	1,7 - 20,4	23 - 174
E POBL. RURAL	39	1,0 - 11,2	21 - 137
F UNIVERSIDAD	53	2,4 - 14,0	16 - 206
G IND.MET.MEC.	17	5,0 - 26,3	21 - 80
D+E+F+G	133	1,0 - 26,3	16 - 206

En la industria A se realizaron seis muestreos a 48 personas, aunque para ninguna de ellas fue posible la recolección de las seis muestras. En las industrias B y C se realizaron tres muestreos, a 12 y 19 trabajadores respectivamente, y se recolectaron tres muestras por persona.

Los contenidos de plomo encontrados en la sangre de los 79 trabajadores de las empresas de baterías estudiadas son mayores que el rango y el valor medio deter-

minado, en este estudio, para las personas no expuestas ocupacionalmente.

Comparadas las concentraciones halladas con el índice de exposición biológico dado por la ACGIH, de 30 µg Pb/dL de sangre, se observa que en la empresa A todos los trabajadores superan este valor y en la empresa B y C sólo 5 personas (cuatro en administración) presentan valores inferiores. De acuerdo con este valor de referencia, la mayoría de los trabajadores de estas tres industrias se

**Tabla 2.** Contenidos de plomo y ZPP en los trabajadores de la industria A según actividad.

Actividad	N° de personas	N° de muestras	Intervalo de Pb µgPb/dL sangre	Intervalo de ZPP µg ZPP/dL sangre
Empastado	5	18	56,8 - 93,6	184 - 394
Formación de rejillas	5	13	29,6 - 70,6	85 - 247
Fundición	22	64	36,6 - 122,0	127 - 625
Carga	1	1	60,6	181
Formación de placas	1	4	57,8 - 71,6	304 - 330
Oficios varios	14	34	26,6 - 81,8	101 - 687
Total	48	134	26,6 - 122	85 - 687

**Tabla 3.** Contenido de plomo y ZPP en los trabajadores de la industria B según actividad.

Actividad	N° de personas	N° de muestras	Intervalo de Pb µg Pb/dL sangre	Intervalo de ZPP µg ZPP/dL sangre
Empastado	3	9	32,0 - 55,8	73 - 353
Ensamble	3	9	29,5 - 49,0	140 - 293
Formación rejillas	1	3	33,6 - 60,0	57 - 66
Carga	1	3	24,0 - 30,4	54 - 56
Soldadura	1	3	38,5 - 48,8	309 - 338
Formación placas	1	3	28,4 - 33,4	97 - 106
Administración	2	6	12,1 - 52,2	28 - 140
Total	12	36	12,1 - 60,0	28 - 353

encuentra en situación de riesgo por exposición a plomo (cerca del 93%).

En este estudio los contenidos de plomo en los trabajadores presentaron varia-

bilidad, sin tendencia definida, a pesar de que las muestras fueron tomadas en períodos relativamente cortos (cercanos a 20 días), lo que sugiere la necesidad de

**Tabla 4.** Contenido de plomo y ZPP en los trabajadores de la industria C según actividad.

Actividad	N° de personas	N° de muestras	Intervalo de Pb µg Pb/dL sangre	Intervalo de ZPP µg ZPP/dL sangre
Empastado	1	3	18,0 - 46,5	28 - 63
Ensamble	3	9	35,2 - 79,4	206 - 709
Fundición	2	6	22,6 - 105,5	34 - 419
Formación rejillas	1	2	42,1 - 61,6	321 - 345
Carga	2	4	42,4 - 75,2	168 - 346
Formación placas	3	9	34,1 - 46,8	84 - 260
Administración	4	6	19,9 - 44,6	91 - 335
Oficios varios	3	9	36,5 - 71,6	51 - 465
Total	19	48	18,0 - 105,5	28 - 709

realizar varios muestreos para la evaluación de riesgo ocupacional.

### Correlación entre los niveles de plomo y de ZPP

Se tomaron todos los pares de datos de concentración de plomo en la sangre y de ZPP, tanto de personas expuestas como de personas no expuestas ocupacionalmente a plomo, y se encontró correlación lineal significativa ( $\alpha = 0,05$ ) entre la concentración de plomo y el logaritmo natural de ZPP según:

$\ln ZPP = 0,027 Pb + 3,7$  ó  $ZPP = 41,4 e^{0,027 Pb}$  con  $r = 0,82$  y  $n = 350$  pares de datos.

Este resultado corrobora que la prueba de ZPP es un buen indicador para un diagnóstico preliminar de intoxicación por plomo.

### Evaluación de riesgo ocupacional de trabajadores de industrias de baterías

En la tabla 5 se presenta la distribución de frecuencias de las concentraciones de plomo encontradas en los trabajadores, de acuerdo con los criterios establecidos en Colombia para la evaluación de riesgo ocupacional. Se observa que el 17,9% de los contenidos de plomo indican absorción peligrosa y el 13,3% intoxicación (o valores mayores que 77  $\mu\text{g Pb/dL}$  de sangre).

En la tabla 6 se ilustra la frecuencia de los contenidos de plomo en la sangre que superan el índice de exposición biológico dados por ACGIH y el nivel ZPP.

### CONCLUSIONES

El rango de concentraciones de plomo en la sangre, encontrado en las personas no expuestas a plomo, varió entre 1,0 y

**Tabla 5.** Distribución de frecuencias de los contenidos de plomo encontrados en trabajadores de las industrias de baterías con relación a los criterios de evaluación de riesgo establecidos en Colombia.

Industria	N° muestras	Intervalo Pb $\mu\text{g/dL}$ de sangre	FRECUENCIA %			
			No riesgo Pb < 38 $\mu\text{g/dL}$ de sangre	Exposición ocupacional 38-66 $\mu\text{gPb/dL}$ de sangre	Absorción peligrosa 67-77 $\mu\text{gPb/dL}$ de sangre	Intoxicación Pb > 77 $\mu\text{g/dL}$ de sangre
A	134	26,6-122,0	11,2	41,6	26,9	20,1
B	36	12,1-60,0	55,6	44,4	0	0
C	48	18,0-105,5	31,3	58,3	6,3	4,2
A+B+C	218	12,1-122,0	22,9	45,9	17,9	13,3

**Tabla 6.** Superación del índice de exposición biológico establecido por ACGIH para plomo, y del nivel de protoporfirina de zinc (ZPP).

Industria	N° muestras	% de valores mayores que 30 µg Pb/dL de sangre	% de valores mayores que 100 µg ZPP/dL de sangre
A	134	97,8	97,8
B	36	75,0	69,4
C	48	85,4	75,0
A+B+C	218	91,3	88,1

26,6 µg Pb/dL de sangre, con un promedio de  $6,4 \pm 3,5$  µg Pb/dL de sangre (n = 133).

El 91% de los trabajadores de las empresas de baterías estudiadas superó el índice de exposición biológico de 30 µg Pb/dL de sangre establecido por la ACGIH, y el 88% superó el índice de 100 µg ZPP/dL de sangre. Estos resultados muestran que los trabajadores se encuentran en alto riesgo de intoxicación por exposición a plomo; aunque al aplicar la legislación colombiana, sólo el 17,9% se encuentra en el rango de absorción peligrosa, y el 13,3% en la categoría de intoxicación por plomo.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa colaboración y el apoyo brindado para la realización de este trabajo al Instituto de Seguros Sociales, División de Salud Ocupacional, Bogotá; al Doctor Jaime Ortiz del Instituto Nacional de Salud; y al Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

### BIBLIOGRAFÍA

1. World Health Organization IPCS. (1995). Inorganic Lead. *Environmental Health Criteria* **165** 33, 293.
2. Herbert, M. et al. (1995). Environmental lead and children intelligence. *B. Med. J.* **310** 1408.
3. Davis, J.M. et al. (1996). The comparative development neurotoxicity of lead in humans and animals. *Neur. Teratol.* **12** 215-229.
4. Conroy, L. et al. (1996). Lead, chromium and cadmium exposure during abrasive blasting. *Arch. Environ. Health.* **51** 95-99.
5. Reppetto, M. (1995). *Toxicología Avanzada*. Díaz de Santos: Madrid, pp. 219-354.
6. American Conference Governmental Industrial Hygienists. (1998). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents*. p. 44.
7. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Instituto de Seguros Sociales. (1995). *Legislación sistema na-*

- cional de riesgos profesionales, Ley de seguridad social.* Bogotá, pp. 23-27, 41.
8. Podlesky, E. (1992). *Determinación de trazas de metales en muestras biológicas y ambientales.* Instituto Nacional de Salud: Bogotá, p. 39.
  9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1994). *Métodos de toma de muestras y análisis.* INSHT: Madrid, p. 6 (MTA/MB-011/R92).
  10. Valbuena, J. (1998). *Evaluación de plomo en sangre de trabajadores de industrias de baterías en Santafé de Bogotá.* Trabajo de grado. Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
  11. Miller, J.; Miller, J.N. (1993). *Estadística para química analítica.* Addison-Wesley Iberoamericana S.A.: Wilmington.
  12. Analytical Methods Committee. (1979). Recommendations for the definition, estimation and use of the detection limit. *Analyst* **112** 199-204.