

Higiene y Sanidad Ambiental, 9: 514-522 (2009)

Efecto de fuentes antropogénicas sobre la contaminación por plomo en agua para uso humano y la prevalencia de intoxicación crónica en la población

María del Rosario ARNAUD VIÑAS¹ y Raúl ROJAS CHÁVEZ²

¹ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Medicina, Plan de San Luis y Díaz Mirón, C.P. 11340, México D. F. Correo-e: marnaud@ipn.mx

² Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Hornos 1003, C. P. 71230, Oaxaca, México.

RESUMEN

El propósito del estudio fue cuantificar los niveles de contaminación por plomo en agua de abastecimiento para uso humano, valorando otras fuentes de contaminación de origen antropogénico; y estimar la prevalencia de niveles de plomo en sangre (NPS) elevados en mujeres embarazadas analizando su asociación con las fuentes de contaminación valoradas.

El área de estudio se localiza en una zona conurbada a la ciudad de Oaxaca, al sur de México, donde existe evidencia de descargas de aguas residuales y de fabricación artesanal de piezas de cerámica vidriada que contienen plomo. Se analizaron 26 muestras de agua: viviendas, un pozo de riego agrícola, un tanque elevado y pozos profundos que abastecen a la población en la zona de estudio. La referencia para valorar las concentraciones de plomo en agua fue la Norma NOM-127-SSA1-1994, que establece como límite permisible 0.025 mg kg⁻¹ de plomo para aguas de abastecimiento. Participaron en el estudio 200 mujeres gestantes. A cada mujer se le aplicó: 1) un cuestionario previamente validado, para conocer fuentes de exposición a plomo; 2) valoración clínica; y 3) toma de muestra de sangre entera (50µl) por punción digital que fue colectada en tubo capilar para la determinación de niveles de plomo en sangre (NPS) por electroquímica. Se estimó la prevalencia de NPS elevados (>10 µg/dL) de acuerdo a lo establecido por el NCEH (National Center for Environmental Health, USA) y la NOM-199-SSAI-2000 de la Secretaría de Salud en México.

Ni los pozos profundos ni el tanque de almacenamiento de agua para uso urbano presentaron valores por arriba de los límites de la Norma, lo que indica que la contaminación por plomo se encuentra en otras fuentes diferentes al agua de distribución que utilizan las mujeres participantes. No obstante, un 41.5% de las mujeres embarazadas participantes en el estudio presentaron NPS elevados (>10 µg/dL). La edad tiene un efecto acumulativo sobre el NPS, marcando la historia de exposición de cada sujeto. Los resultados muestran que la fuente más importante de contaminación se ubica en el uso de utensilios de cerámica vidriada para la preparación y consumo de alimentos, siendo éste último el factor de exposición ambiental que está asociado a 2.1 veces más riesgo de NPS elevado de manera directa e independientemente de otros factores (P<0.0001).

INTRODUCCIÓN

Fuentes antropogénicas de contaminación por plomo

Las aguas naturales rara vez lo contienen por encima de 5µg/dL. No obstante, los múltiples usos industriales del plomo constituyen el medio de exposición más frecuente y más directa para el ser humano. Ejemplos de sus aplicaciones industriales son las fundidoras de metales, el vidriado de piezas y la fabricación de baterías, soldaduras, esmaltes,

antidetonantes y municiones. Son desechos que contienen plomo los aceites reutilizados de motores, pilas y baterías de automóviles usadas y de computadoras; así como la combustión de productos con plomo o compuestos de plomo (Aguilar et al., 1999).

Como fuentes puntuales fijas, cuyo punto de entrada al medio ambiente está claramente definido, las descargas de aguas residuales municipales, las emisiones a la atmósfera de las chimeneas industriales, los tanques de almacenamiento de combustible bajo tierra, las descargas de la industria avícola y ganadera, los pozos de inyección subterránea y los

derrames accidentales pueden afectar significativamente la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Son fuentes puntuales móviles, las emisiones de los vehículos de motor de todo tipo que consumen combustibles fósiles y se desplazan a lo largo y ancho de los territorios.

Para las fuentes dispersas o no-puntuales, es difícil identificar el punto exacto de entrada al medio ambiente; sea porque se compone de muchas fuentes puntuales pequeñas que generan niveles bajos de contaminación pero cuyo efecto acumulativo es significativo, o porque el contaminante es diseminado de forma homogénea a través de un área extensa. La escorrentía urbana es una fuente potencial de contaminación de aguas superficiales y subterráneas por derivados de petróleo, fertilizantes, pesticidas, aceites grasas y materia orgánica. Muchos contaminantes emitidos hacia la atmósfera a través de chimeneas industriales, incineradores, la quema de basura y otras actividades humanas son traídos de vuelta a la tierra por la acción de la lluvia. Estos contaminantes pueden infiltrarse a través del suelo y contaminar las fuentes de agua subterránea cuya zona de recarga se encuentre en el lugar donde ocurre la precipitación.

Fuentes antropogénicas en la zona de estudio

El área de estudio se localiza a una altitud de 1550 m.s.n.m. en los municipios de Santa Cruz Xoxocotlán y Santa María Atzompa, conurbados a la ciudad de Oaxaca, al sur de México, entre los 96°47' 45" y 96°43' 15" y 17° 6' 30" y 17° 2' 0" N. En la zona que nos ocupa se ha descartado la actividad minera y las descargas de hornos de fundición como fuentes de emisión de contaminación por plomo al ambiente.

El terreno plano del municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, en la parte baja de la ciudad, facilita la concentración de las descargas de la mayor parte de las aguas residuales de la ciudad de Oaxaca, de acuerdo al análisis preliminar de campo; adicionalmente, el paso del río Atoyac con aguas residuales, basura con residuos de construcción, de fertilizantes y domésticos, entre otros, podría influir en la calidad del agua subterránea. El sistema de descarga de aguas residuales municipales que hasta hace unos 15 años se vertía al río provenía de casas-habitación, establecimientos de servicio mecánico, gasolineras, locales comerciales, hospitales, etc., sin ningún tratamiento, lo convirtió en una fuente potencial de contaminación del suelo y agua subterránea (González-Alafita et al., 2004).

En el municipio de Santa María Atzompa, se ubica una zona alfarera con terrenos agrícolas, donde la fabricación de cerámica vidriada ha sido la principal actividad económica durante los últimos 40 años (González-Alafita et al., 2004), misma que involucra el uso de óxido de plomo para el recubrimiento de las piezas. Durante el barnizado hay derrames de

óxido de plomo y durante la cocción de la cerámica, volatilización de plomo a la atmósfera. Debido a la falta de sistemas de alcantarillado, el agua de desecho con residuos de suspensiones de plomo es vertida sobre el suelo.

El plomo de origen industrial que puede contaminar un suministro de agua en la zona de estudio tiene su origen en residuos de aceites vehiculares reutilizados; partículas de pintura esmaltada, lápices de colores o crayones; polvo o suelo contaminado con partículas atmosféricas que contienen plomo; lixiviados de talleres o actividades en las que se manejan compuestos de plomo o materiales que los contienen; o bien, puede provenir de tuberías de cobre con soldadura de plomo.

Causas comunes de intoxicación por plomo

Algunas causas comunes de intoxicación son: 1) ingestión de polvo procedente de pinturas deterioradas hechas a base de plomo y que permanecen en muros, ventanas, puertas muebles, juguetes y otros materiales de viviendas; 2) manipulación de tierra o materia que contiene residuos de emisiones de combustibles con plomo o de aditivos ya utilizados en motores de vehículos, como es el caso de los aceites; a diferencia del suelo rural en el que es de especial cuidado la contaminación microbiológica, el suelo urbano, además de microorganismos, puede convertirse en una fuente importante de contaminación por metales (Ljung. et al., 2006); 3) aspiración de humos de vehículos o de industrias que utilizan el plomo; 4) uso de agua de viviendas con tuberías de cobre con soldadura de plomo; 5) esmaltes y barnices con plomo; 6) cualquier producto alimenticio enlatado en lámina sellada con plomo o que durante su elaboración haya estado en contacto con tuberías de cobre que contienen plomo en sus soldaduras; 7) uso alimentario de cerámica vidriada fabricada con esmalte a base de óxido de plomo, a baja temperatura; ya que existe evidencia que la concentración media de plomo (1265 ppm) en alimentos cocinados en recipientes de barro vidriado fue muy superior a la de aquéllos cocinados en recipientes de acero inoxidable (4 ppm) (Díaz, 1999); 8) juguetes, objetos y piezas de fantasía que contienen el metal; y 9) algunos productos utilizados en cosmetología como pueden ser tintes para el cabello, lápices, labiales o crayones (Espinoza, Rojas y Sejas, 2003; Jiménez et al., 1993).

En Atzompa, Oaxaca, se han descrito niveles elevados de plomo en sangre de niños escolares y sujetos mayores de 16 años (Azcona et al., 2000), así como en más del 80% de hombres y mujeres entre 21 y 49 años de edad (Hernández y Olaiz, 1996); los cuales se han atribuido a la tinción, horneado y fabricación de cerámica vidriada, decorada con un esmalte que contiene plomo, así como al uso de ésta en la preparación y consumo de alimentos (Azcona et al., 2000).

Efectos del plomo en la fisiología humana

Entre los efectos documentados de intoxicación crónica por plomo están la disminución de la fertilidad en ambos sexos, bajo peso al nacer y déficit de talla, disminución del coeficiente intelectual, disminución de agudeza auditiva, daño renal, hipertensión, anemia, trastornos digestivos, dificultades para la concentración y memoria, dolores musculares y en articulaciones, osteoporosis, alteración de los mecanismos de defensa del organismo y del metabolismo de drogas en el hígado por su acción sobre el citocromo P450, (Sallmen et al., 2000; Carvalho et al., 2003). Los niños pueden presentar daño en cerebro y sistema nervioso, problemas de conducta y aprendizaje, crecimiento deficiente, anemia, dolores de cabeza, problemas de audición y convulsiones (Ahamed et al., 2007; Jiménez et al., 1999). No obstante, los signos y síntomas de la intoxicación por plomo pueden confundirse con los de otros padecimientos por lo que es necesario recurrir al médico y a la valoración de los niveles de plomo en tejidos siendo la concentración sanguínea el método más recurrido (González et al., 1999).

La cantidad de plomo que pasa del intestino a la sangre, puede ser del 10% en adultos y del 40-50% en niños (Alabdullah et al., 2005); basta 1 mg diario durante 15 días para que aparezcan glóbulos rojos punteados. Se puede acumular en sangre, hígado, pulmones, riñones y médula ósea, con una vida media de 36 días; después migra hacia el sistema óseo o bien es excretado por la orina. Un 95% del plomo de los huesos puede permanecer durante 17-27 años, aunque se puede liberar al torrente sanguíneo, en especial durante el embarazo y la lactancia con alto riesgo para el feto, ya que traspasa fácilmente la placenta (Tsuchiya et al., 2006; Scalón, 2003; Rivera, 2002). Durante la lactancia, es excretado en la leche materna (Rauda-Esquivel et al., 2000). Las mujeres en edad reproductiva pueden convertirse en una fuente de exposición directa a plomo para el feto y el niño lactante (Sanin et al., 1998).

El propósito del estudio fue cuantificar los niveles de contaminación por plomo en agua de abastecimiento para uso humano, valorando otras fuentes de contaminación de origen antropogénico; y estimar la prevalencia de niveles de plomo en sangre (NPS) elevados en mujeres embarazadas analizando su asociación con las fuentes de contaminación valoradas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Determinación de plomo en agua de abastecimiento

Se obtuvieron 26 muestras de 200 mL agua cada una: 22 de viviendas de mujeres con NPS elevados, 1 de un pozo de riego agrícola ubicado en un área anteriormente irrigada con aguas del río Atoyac, así como 1 de un tanque elevado y 2 de pozos profundos

que abastecen a la población en la zona de estudio. Las muestras se preservaron según norma y se enviaron al laboratorio para la determinación de plomo mediante espectroscopia de emisión de plasma por acoplamiento inductivo. El método de cuantificación está aprobado por el Comité Métodos Estándar de los EE.UU. (APHA, AWWA, WPCF, 1995). Se aplica a la determinación de metales en muestras de agua limpias y residuales, con un límite de detección de 0.02 mg kg⁻¹ de plomo, una concentración de calibración de 10 mg/L y un límite de detección superior de 100 mg/L. La referencia para valorar las concentraciones de plomo en agua fue la Norma NOM-127-SSA1-1994, que marca como límite permisible 0.025 mg kg⁻¹ de plomo para aguas de abastecimiento.

Sujetos participantes y determinación de niveles de plomo en sangre (NPS)

Participaron en el estudio 200 mujeres gestantes que acudieron a consulta de control del embarazo en los tres centros de salud ubicados en la zona de estudio. A cada mujer se le aplicó: 1) un cuestionario, previamente validado, para conocer características sociodemográficas y fuentes de exposición a plomo (Margetts y Nelson, 1998); 2) valoración clínica (Arroyo, Reynoso y Casanueva, 1995); y 3) toma de muestra de sangre entera (50 µl) por punción digital que fue colectada en tubo capilar para la determinación de NPS por electroquímica utilizando un equipo Lead Care. Se estimó la prevalencia de NPS elevados (>10 µg/dL) de acuerdo a lo establecido por el NCEH (National Center for Environmental Health, USA) y la NOM-199-SSAI-2000 de la Secretaría de Salud en México. La información derivada de este estudio fue entregada en cada uno de los centros de salud. Se diseñó una cédula con recomendaciones para evitar la exposición a plomo.

Análisis estadístico

Se establecieron categorías definidas según NPS (>10 µg/dL y ≤10 µg/dL) como medida del efecto; y según la exposición a distintas fuentes de contaminación por plomo en la vivienda (agua de bebida, material de la tubería, uso de pintura de esmalte, cercanía a una vía de alta circulación vehicular y uso de cerámica vidriada) y en el trabajo (contacto con esmaltes, gasolina y/o solventes y exposición a humos de vehículos). Mediante la Prueba χ^2 se contrastó la hipótesis de homogeneidad de frecuencia del efecto (% NPS >10 µg/dL y % NPS ≤10 µg/dL) entre grupos definidos según su exposición a plomo. Se describe el nivel de significación estadística (P). Se modeló la prevalencia de NPS elevados en función de los factores de exposición mediante análisis multivariado de regresión logística 'por pasos-hacia atrás' basando la eliminación de variables en el estadístico de la razón de verosimilitud. Se describe el valor estimado de la Odds Ratio OR e I.C. (95%) y el nivel

de significación estadística (P) (Sánchez Cantalejo, 2000).

RESULTADOS

Fuentes puntuales y dispersas de contaminación por plomo

Durante el análisis de campo desarrollado en la zona de estudio, conurbada a la ciudad de Oaxaca, se registraron fuentes puntuales fijas de emisiones a la atmósfera que pueden generar contaminación directa o indirecta por plomo: 1) 1,020 fuentes fijas principalmente de emisiones de gases de combustión por el consumo de diesel y gas L.P., generadas por establecimientos con calderas de baja potencia como hoteles, restaurantes, baños públicos, tintorerías y panaderías; y 2) 6 empresas manufactureras con emisiones a la atmósfera por combustión de diesel en el ramo de bebidas embotelladas, plásticos, parafinas e industria de la madera, que utilizan calderas de potencia media (INEGI, 2005).

Entre las fuentes móviles de emisiones a la atmósfera se hallaron: 1) 109,620 vehículos automotores circulan en la zona de acuerdo al reporte de la Dirección de Tránsito del Estado; y 2) aeronaves con centro de operación en el aeropuerto de la Ciudad de Oaxaca, que se encuentra ubicado en la zona de estudio.

Las fuentes puntuales de aguas residuales consistieron en 5 descargas de aguas residuales municipales que se vierten en la zona de estudio, dentro del municipio de Santa Cruz Xoxcotlán, con un caudal cercano a los 850 L/s (Informe Municipal de Oaxaca de Juárez 2002-2004).

Las fuentes dispersas de contaminantes fueron: 1) tiradero municipal al aire libre ubicado en un municipio vecino a la zona de estudio a un nivel más bajo que ésta, que recibe un promedio de 438 toneladas de residuos sólidos al día y genera lixiviados al suelo, gases de combustión y gases producto de la descomposición de diversos materiales en el tiradero; y 2) 72 hornos ladrilleros con emisión de gases de combustión producto de la quema de materiales de desecho diversos.

Estado de la contaminación por plomo en agua de abastecimiento

Cuadro 1. Concentración de plomo en agua de abastecimiento de viviendas (n=22).

Muestra	Concentración de plomo (mg kg ⁻¹)	Muestra	Concentración de plomo (mg kg ⁻¹)
1 *	0	14	0
2	0	15	0
3	0	16 *	0
4 *	0	17	0
5	0	18	0
6	0	19	0
7	0	20	0
8	0	21*	0
9	0	22	0
10	0	23	0
11	0.2	24	0
12	0	25	0
13	0	26	0
Norma		0.025	
m		0.01	
e.e		0.001	

Norma = límites establecidos por la NOM-127-SSA1-1994

m = Media

e.e =Error estándar

0 = no detectada por el método

* muestreo realizado en dos ocasiones para verificar fiabilidad del muestreo, manejo de muestra y determinación de concentración de plomo.

Cuadro 2. Distribución de las mujeres participantes según sus características sociodemográficas indicando la frecuencia de casos con niveles de plomo en sangre (NPS) elevados (>10 µg/dL) en cada categoría (n=200).

Factor de exposición	Categorías	Número (%)	NPS>10 (%)	NPS≤10 (%)	(P) ^a
Edad (años)	≤ 25	110	33.6	66.4	0.042
	26 – 35	(55.0)	50.6	49.4	
	> 35	83 (41.5) 7 (3.5)	57.1	42.9	
Escolaridad	Básico o menor	3	45.8	54.2	0.087
	Medio	(41.5)	40.4	59.6	
	Superior	104 (52.0) 13 (6.5)	23.1	76.9	

a. Nivel de significación estadística (P) en la Prueba χ^2 .

25 de las 26 muestras analizadas presentaron concentraciones de plomo dentro de la Norma NOM-127-SSA1-1994, que marca como límite permisible 0.025 mg kg⁻¹ de plomo para aguas de abastecimiento (Cuadro1).

Cuadro 3. Distribución de las mujeres participantes según sus características de exposición a posibles fuentes de contaminación por plomo indicando la frecuencia de casos con niveles de plomo en sangre (NPS) elevados en cada categoría (n=200).

Factor de exposición	Categorías	Número (%)	NPS>10 (%)	NPS≤10 (%)	(P) ^a
Tipo de agua que bebe habitualmente	Agua purificada	134 (67.0)	31.0	69.0	0.042
	Grifo hervida	42 (21.0)	39.3	60.7	
	Grifo sin hervir	24 (12.0)	64.7	35.3	
Material de la tubería de agua en la casa donde habita	Cobre	120 (60.0)	55.5	45.4	0.184
	PVC	13 (6.5)	25.0	75.0	
	Otro	45 (22.5)	47.4	52.6	
	No tiene	22 (11.0)	50.8	49.2	
Pintura de esmalte en la casa donde habita	Ventanas	65 (32.5)	47.7	52.3	0.179
	Puertas	70 (35.0)	45.7	54.3	0.198
	Techo	12 (6.0)	32.4	67.6	0.161
	Pisos	5 (2.5)	40.0	60.0	0.260
	Muros	13 (6.5)	30.8	69.2	0.182
	Tanque de agua	44 (22.0)	40.9	59.1	0.094
	Cisterna de agua	10 (5.0)	50.0	50.0	0.324
Trabaja con esmaltes, gasolina o solventes	Si	10 (5.0)	90.0	10.0	0.079
	No	112 (66.0)	39.0	61.0	
	No trabaja	78 (39.0)	46.5	53.5	
Exposición laboral a humo de vehículos	Si	30 (15.0)	52.0	48.0	0.126
	No	170 (85.0)	37.3	62.7	
Trabaja cerámica	Pintado	6 (3.0)	100.0	0.0	0.075
	Venta	4 (2.0)	75.0	25.0	
	No	190 (95.0)	40.4	59.6	
Uso de cerámica vidriada	Guisar	63 (31.5)	63.5	36.5	0.001
	Servir alimentos	15 (5.5)	54.5	45.5	
	Consumir	11 (7.5)	45.5	54.5	
	No usa	111 (55.5)	29.7	70.3	
Vive cerca de vía con alta circulación vehicular	Si	90 (45.0)	52.2	47.8	0.052
	No	110 (55.5)	35.2	64.8	

a. Nivel de significación estadística (P) en la Prueba χ^2 .

Sólo en una muestra, que corresponde a un domicilio, se halló 0.20 mg kg⁻¹ de plomo excediendo el límite de la Norma. En la misma muestra se observaron niveles elevados de cobre (9.75 mg kg⁻¹, la Norma establece un límite máximo de 2.0 mg kg⁻¹); y hierro (16.1 mg kg⁻¹, la Norma establece 0.3 mg kg⁻¹).

Prevalencia de NPS elevados

Un 41.5% de las mujeres embarazadas presentaron NPS elevados (>10.0 µg/dL). Un 33.5% presentó niveles de 10.01-20.0 µg/dL; y un 8.0%, niveles ≥20.01 µg/dL. Aunque ninguna de ellas informó que

fumaba en el momento del estudio, un 15.0% sí habían fumado con anterioridad al embarazo. La mayoría era menor de 25 años de edad aunque 11% tenía 3 hijos ó más, 79%, 1 ó 2 hijos y 10% aún no tenían hijos (Cuadro 2).

Los factores asociados a mayor prevalencia de NPS elevados fueron el tipo de agua de bebida, habitar cerca de una vía de alta circulación vehicular y utilizar cerámica vidriada en la preparación y/o consumo de alimentos (Cuadro 3, Gráfico1). De éstos, el último mostró mayor fuerza de asociación con el efecto. Entre las mujeres que usaban cerámica vidriada con fines alimentarios, un 56.2% de presentó

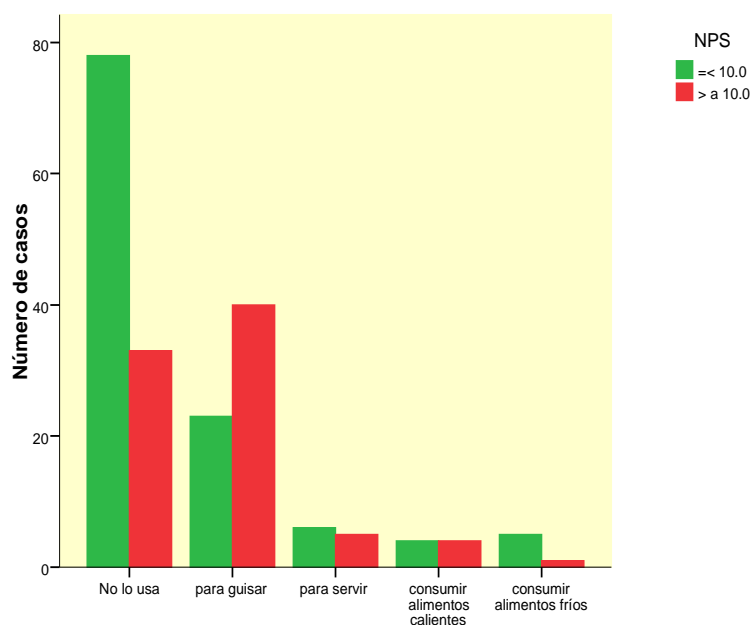


Gráfico 1. Distribución de las mujeres embarazadas en función de sus niveles de plomo en sangre (NPS): $\leq 10 \mu\text{g/dL}$ y $> 10 \mu\text{g/dL}$, según el uso más frecuente dado a la loza de cerámica vidriada ($P < 0.0001$) ($n = 200$).

NPS elevados; en contraste con aquéllas que no la utilizaban, entre las que se observó una frecuencia de NPS elevados de 27.9% ($P < 0.0001$).

La prevalencia de NPS elevados entre las mujeres de estudio estuvo asociada a efectos descritos en la literatura. Consecuentemente, se observó que un 67% de las mujeres con NPS elevados ($> 10 \mu\text{g/dL}$) tenían presión arterial diastólica elevada, mientras que entre las demás mujeres la frecuencia de hipertensión fue de 33% ($P = 0.049$). Un 70% de las mujeres con NPS elevados presentaron anemia; en tanto que entre las mujeres con NPS $\leq 10 \mu\text{g/dL}$, la frecuencia de anemia fue de 30%. Del mismo modo, la prevalencia de NPS

Cuadro 4. Modelo multivariado de regresión logística que estima el riesgo asociado a la prevalencia de niveles de plomo en sangre (NPS) elevados, ($> 10 \mu\text{g/dL}$) en mujeres embarazadas, en función de factores asociados ($n = 200$).

Variable	Categorías (n)	Odds Ratio (IC 95%)	(P)
Edad (años)	<25 (110)	1.00	
	25 - 35 (83)	1.8 (1.2, 2.8)	<0.005
	> 35 (7)	3.8 (1.4, 10.2)	<0.010
Uso de cerámica vidriada para cocinar o consumir alimentos	No (111)	1.00	<0.0001
	Si (89)	2.1 (1.4, 3.2)	

elevados estuvo asociada a menor estatura ($< 1.60 \text{ m}$) ($P < 0.0001$); y a mayor dificultad para lograr el embarazo ($P = 0.026$).

Mediante análisis multivariado de regresión logística binaria se modeló el riesgo asociado a la prevalencia de NPS elevados en función de los factores presentados en los cuadros 2 y 3. Después de excluir las variables no significativas se halló que únicamente la edad y el uso de cerámica vidriada estuvieron asociadas al efecto (Cuadro 4).

DISCUSIÓN

Ni los pozos profundos ni el tanque de almacenamiento de agua para uso urbano presentaron valores por arriba de los límites de la Norma y los resultados del análisis de agua muestran que tampoco el material de la tubería de las casas de las mujeres tiene relación con la concentración de plomo en sangre lo que indica que la contaminación por plomo se

encuentra en otras fuentes diferentes al agua de distribución que utilizan las mujeres participantes.

Se han descrito ciertas concentraciones del metal en lixiviados del Río Atoyac en 1 zona de estudio (González et al., 2004). Adicionalmente, Bautista y Arnaud (2006), estudiaron la concentración de plomo y metales pesados en muestras tomadas a 30 cm. de profundidad en suelos de uso agrícola ubicados en Santa María Atzompa y Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, hallando que la concentración de plomo está por debajo de los límites fitotóxicos de 100 mg kg^{-1} , considerados por El-Bassam y Tietjen, 1977; y por Kabata-Pendias y Pendias, 1992. Por otra parte, tomando en cuenta los valores más altos de plomo total (44 mg kg^{-1} y 48 mg kg^{-1}) observaron que están cercanos a los niveles reportados por Finnecy E. y Pearce K., 1986 quienes indican que un nivel de 50 mg kg^{-1} es fitotóxico para la Comunidad Económica Europea (CEE).

Tratándose de un estudio transversal no podemos argumentar causalidad. La evidencia del presente trabajo muestra que el uso de loza de barro vidriada para el consumo y preparación de los alimentos está asociado a niveles de plomo en sangre (NPS) elevados entre las embarazadas participantes; este resultado es consistente con los obtenidos por otros

autores en población mexicana (Navarrete et al., 2000; Meneses et al., 2003; Chantiri et al., 2003; Díaz et al., 1999).

La concentración media de NPS hallada entre las mujeres participantes es superior a la observada en una muestra de 69 embarazadas de Monterrey, N.L. (4.5 µg/dL) (Cantú et al., 2002); y similar a la descrita en 1404 mujeres del Distrito Federal (10.0 µg/dL) (Navarrete et al., 2000). Un 41.5% de las embarazadas tienen NPS elevados (>10.0 µg/dL), lo que se traduce en un daño a la salud materna en el presente y una afectación a su esperanza y calidad de vida futura. Adicionalmente, existe un daño al ser humano en formación por la exposición fetal a plomo. Si consideramos únicamente a las embarazadas con NPS > 20 µg/dL, los hijos de un 8.0% de las mujeres participantes en este estudio tuvieron alta probabilidad de haber nacido con un determinado NPS, lo que limitará su crecimiento físico, el desarrollo de su sistema nervioso central y su capacidad de aprendizaje tanto como la fisiología de otros órganos, entre otros efectos derivados de la exposición a plomo durante su etapa de gestación.

Los resultados del presente trabajo son coherentes con las asunciones de otros autores indicando que la anemia y la hipertensión son efectos de la acción del plomo en el organismo. Es sabido que el plomo bloquea la síntesis de hemoglobina. Éste, como otros estudios, muestra la existencia de una asociación entre anemia y NPS elevados en población de México (Kordas et al., 2004) y de la India (Ahamed et al., 2007).

A la exposición a plomo se añade la falta de una dieta adecuada para limitar la fijación de plomo en el organismo, suficiente en hierro HEM, proteínas, calcio, zinc y vitamina C (Bourges, Casanueva y Rosado, 2004); así como la deficiente atención sanitaria y la falta de acceso a un monitoreo sistemático de NPS para grupos de alto riesgo como son las embarazadas, los niños menores de 5 años y la población ocupacionalmente expuesta (Hernández et al., 2003).

Actualmente se proponen dos alternativas de fabricación para evitar que las piezas de cerámica vidriada contengan plomo soluble para los alimentos 1) uso de un esmalte que no contiene "greta" (óxido de plomo), 2) horneado de piezas a alta temperatura. Sin embargo, aún no han sido aplicadas en el 100% de los casos, ni en todo el país, de manera que, a pesar de los esfuerzos, todavía se comercializan en México piezas de barro vidriado con plomo. En algunos casos ya están disponibles piezas con sello que garantiza la ausencia de plomo, pero es urgente tomar medidas a nivel nacional con respecto a las piezas ya fabricadas con plomo, que están siendo utilizadas por la población, y a los hornos de baja temperatura que sí son fuente de contaminación por plomo. En ese sentido, la evidencia científica muestra distintas opciones para el tratamiento de cuerpos de agua y suelos recurriendo a bacterias (Goyal et al.

2001) o al uso de hojas de ciprés, eucalipto o pino para remover plomo en solución (Al-Subu, 2002), etc.

Las recomendaciones para limitar la exposición proveniente de cualquier fuente y sus efectos, se basan en la higiene evitando la ingesta de polvo contaminado con plomo. En relación con la alimentación es importante evitar periodos de ayuno prolongado; aumentar el consumo de alimentos como las habas, los frijoles, la leche, el queso, el yogurt, la carne magra; los vegetales como el brócoli y las hortalizas verdes son de gran utilidad ya que tienen un alto contenido de calcio y hierro, así como los cítricos por su elevado aporte de vitamina C. Evitar colocar y guardar alimentos en recipientes de cerámica vidriada. No ingerir alimentos ni bebidas enlatadas en envases con soldadura de plomo. Entre otras medidas preventivas: verificar que los lápices y juguetes de los niños no contengan plomo, al igual que las pinturas utilizadas para interiores y exteriores de las casas. En caso de que el padre o la madre se dediquen a alguna actividad relacionada con el plomo (metalúrgica, taller de acumuladores, alfarería, etc.) deberán cambiarse de ropa y bañarse antes de abandonar su trabajo para evitar el transporte de plomo a la casa.

El protocolo de actuación para dar atención médica al problema ha sido establecido por instituciones internacionales (Agencia de Protección Ambiental - EPA, por sus siglas en inglés - y los Centros para el Control de Enfermedades Crónicas en los Estados Unidos - CDC, por sus siglas en inglés) y por la misma Secretaría de Salud en México. Según los niveles de intoxicación será necesaria una intervención nutricional y de monitoreo, en casos leves; pero en casos severos se requiere la intervención médico toxicológica y el tratamiento con quelantes como edetato cálcico disódico (CaNa₂ EDTA), dimercaprol (BAL), ácido 2,3-dimercapto succinico (succimer DMSA), con resultados y efectos secundarios específicos (*American Academy of Pediatrics Comité On Drugs*, 1995). Recientemente algunos bioensayos, mezclas de N-acetilcisteína y metionina han mostrado efecto quelante y efectos favorables en la reducción de radicales libres (Calderón et al., 2008). La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, COFEPRIS, de la Secretaría de Salud, dispone de al menos 9 Normas relacionadas con detección, manejo, exposición y uso de plomo y sus compuestos en México; y los Servicios de Salud en el Estado de Oaxaca desarrollan el proyecto "Plomo en loza vidriada de baja temperatura".

CONCLUSIONES

Un 41.5% de las mujeres embarazadas participantes en el estudio presentaron NPS elevados (>10 µg/dL) de acuerdo a lo establecido por el NCEH (National Center for Environmental Health, USA) y

la NOM-199-SSAI-2000 de la Secretaría de Salud en México.

La edad tiene un efecto acumulativo sobre el NPS, marcando la historia de exposición de cada sujeto. Tener >25 años de edad estuvo asociado a mayor riesgo de NPS elevados, de manera directa e independiente a otros factores.

Los resultados muestran que las fuentes de contaminación no están distribuidas en el acuífero, ni en el agua que se abastece a la población, sino que se ubican en la actividad laboral y, sobre todo, en el uso de utensilios de cerámica vidriada para la preparación y consumo de alimentos, siendo éste último el factor de exposición ambiental que está asociado a 2.1 veces más riesgo de NPS elevado de manera directa e independientemente de otros factores ($P < 0.0001$).

Agradecimientos

Al Departamento de Riesgos Ambientales, a la Subdirección de Salud Ambiental y a la Dirección de Regulación y Fomento Sanitario de los Servicios de Salud de Oaxaca, como parte del Sistema Federal de Protección Sanitaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar MG, Piacitelli GM, Juárez PAC, Vásquez GJH, HU H, Hernández AM. Exposición Ocupacional a plomo inorgánico en una imprenta de la Cd. de México. Salud Pública de México 1999; 41:42-54.
2. Ahamed M, Singh S, Behari J.R., Kumar A., Siddiqui M.K.J. *Interaction of lead with some essential trace metals in the blood of anemic children from lucknow, India.* Clinica Chimica Acta 2007; 377: 92-97.
3. Alabdullah H, Bareford D, Braithwaite R, Chipman K. *Blood lead levels in iron deficient and non iron-deficient adults.* Clin. Lab. Haem 2005; 27:105-109.
4. Al-Subu MM. *The interaction effects of cypress (Cupressus sempervirens), cinchona (Eucalyptus Longifolia) and pine (Pinus halapensis) leaves on their efficiencies for lead removal from aqueous solutions.* Adv Environm Res 2002; 6:569-576.
5. *American Academy of Pediatrics Comité On Drugs. Treatment Guidelines fo Lead Exposure in Children.* Pediatrics 1995; 96:155-160.
6. APHA, AWWA, WPCF, Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19a. Edición; 1995, E.U.A.
7. Arroyo P, Reynoso M, Casanueva E. Peso esperado para la talla y edad gestacional. Tablas de referencia. Gineco obstet Mex. 1995; 53:227.
8. Azcona MI, Rothenberg SJ, Schnaas AL, Romero Placers M, Perroni-Hernández E. Niveles de plomo en sangre en niños de 8 a 10 años y su relación con la alteración en el sistema Vasomotor y del equilibrio. Salud Pública de México 2000; 42:279-287
9. Bautista M.A. Arnaud M.R. Elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas con manejo de riesgo contaminante. Naturaleza y desarrollo. 2006;4:36-42.
10. Bourges H, Casanueva E y Rosado JL eds. Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana. bases fisiológicas. vitaminas y nutrimentos inorgánicos. México: Editorial Médica Panamericana, 2004.
11. Calderón CL, et al. *Determination of the N-acetylcysteine and methionine effects in the cerebellum of rats intoxicated with lead.* Invest Clin 2008; 49:17-28.
12. Cantú MP, Reyes SR, Acuña ZS, Guzmán RG, Flores VG. Relación de los niveles de plomo en sangre con la ingesta de calcio y hierro en mujeres potencialmente gestantes. Rev Salud Pub y Nutrición 2002; 3:147-51.
13. Carvalho FM, Silvany Neto AM, Tavares TM, Costa AC, Chaves CR, Nascimento LD, Reis Mde A. *Blood Lead Leveles in children and environmental legacy of a lead foundry in Brazil.* Rev Panam Salud Pública 2003;13:19-23
14. Chantiri P JN, Audelo R, Galván RR. Niveles de plomo en mujeres y niños alfareros. Revista Médica de la Universidad Veracruzana 2003; 3:203-18.
15. Díaz B. F. et al. Evaluación del riesgo por la exposición a Plomo Caso 3. Curso de Autoevaluación de riesgo. CEPIS OPS-OMS, 1999.
16. El-Bassam, N. y C. Tietien. *Municipal sludge as organic fertilizer with special reference to the heavy metals constituents in soil organic matter studies.* IAEA Viena. 1977; 2:25-35.
17. Espinosa C, Rojas M, Sejas D. Perfil socioeconómico de pacientes adultos monitorizados por exposición a plomo. CITUC: 1998-2000. Rev Toxicol 2003; 20:27-32.
18. Finnecy E y Pearce K. *Land contamination and reclamation in understanding our environment.* Royal Soc. Chemistry, London. 1986: 329-337.
19. Gonzales CT, Hernández M, Romieu I, Palazuelos E, Hu H, Aro A. *Determinants of lead leves in lactating Women in México City.* FASEBJ 1999; 3:345-348.
20. González-Alafita O, GN Torres-López, G. Vez-Paniagua, M. A. Triana T. y E. Méndez S. Auditoría ambiental para organizaciones no industriales. Caso San Jacinto Amilpas Oaxaca. ITO, PROFEPA. 2004.
21. Goyal N, et al. *Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals.* Adv Environm Res 2003; 7:311-319.
22. Hernández SM, Olaiz FG. Factores de exposición a plomo en Santa María Atzompa, Oaxaca. Boletín Salud Ambiental 1996; 1:20-23

23. Hernández-Avila M, González Cossio T, Hernández Avila JE, Romieu I, Peterson KE, Aro A, Palazuelos E, Hu U. *Dietary calcium supplements to lower blood lead levels in lactating women: a randomized placebo-controlled trial.* *Epidemiology* 2003; 14:206-12.
24. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario estadístico 2003. Ed. INEGI, 2003, México.
25. Informe Municipal de Oaxaca de Juárez 2002-2004. Ayuntamiento Ed. 2004, Oaxaca, México.
26. Jiménez C, Romieu I, Palazuelos E, Muñoz I, Cortes, M, Rivero A et al. Factores de exposición ambiental y concentraciones de plomo en sangre en niños de la Ciudad de México. *Salud Pública, México.* 1993; 35, 599-606
27. Jiménez-Gutierrez C, Romieu I, Ramírez-Sánchez AL, Palazuelos-Rendón E, Muñoz-Quiles I. Exposición a plomo en niños de 6 a 12 años de edad. *Salud Pública Mex.* 1999; 41 Supl 2:S72-S281.
28. Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. *Trace elements in soils and plants.* CRC. Press, Inc. 2002, Boca Ratón, Florida. 315 p.
29. Kordas K, López P, Rosado J, García G, Alatorre J, Ronquillo D, Cebrián M, Stoltzfus R. *Blood lead, anemia, and short stature are independently associated with cognitive performance in Mexican school children.* *J. Nutr.* 2004; 134: 363-371.
30. Ljung K, et al. *Metal and arsenic distribution in soil particle sizes relevant to soil ingestion by children.* *Appl Geochem* 2006; 21:1613-1624.
31. Margetts BM, Nelson M. *Design concepts in nutritional epidemiology. 2nd. Edition.* Oxford University Press. Oxford, 1998.
32. Meneses González F, Richardson V, Lino-González M, Vidal MT. Niveles de plomo en sangre y factores de exposición en niños del estado de Morelos, México. *Salud Pública Mex* 2003; 45 supl 2:S203-S208.
33. Navarrete J, Sanin LH, Escandón C, Benítez G, Olaiz G, Hernández M. Niveles de plomo sanguíneo en madres y recién nacidos derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social. *Salud Pública México* 2000; 42:391-396.
34. Norma Oficial Mexicana de Emergencia para el control de plomo (NOM- 127 SSA 1-1994). Secretaría de Salud, 1994, México D.F.
35. Norma Oficial Mexicana de Emergencia para el control de plomo (NOM- 199 SSA 1-2000). Criterios para la determinación de los niveles de contaminación de plomo en la sangre. Acciones para proteger la salud de la población no expuesta ocupacionalmente. Secretaría de Salud, 2000, México D.F.
36. Rauda-Esquivel, L., LH Sanin, C Trimmer-Hernández, I. Muñoz y M Hernández-Avila. Niveles de plomo en el binomio madre-hijo, veinticinco años después de ANAPRA. *Revista Salud Fronteriza* 2000; V(1):11-15.
37. Rivera LM. Riesgo de exposición a plomo en el binomio madre-hijo. *Rev Fac Med UNAM* 2002; 45:164-69.
38. Sallmen M, Lindbohm ML, Anttila, Taskine H, Hemminki, K. *Time to pregnancy among the wives of men occupationally exposed to lead.* *Epidemiology*, 2000; 11:141-147
39. Sánchez-Cantalejo RE. Regresión logística en Salud Pública. 1ª. Edición. Escuela Andaluza de Salud Pública (Ed). Granada, 2000.
40. Sanin HL, González Cossio T, Romieu I, Hernández Avila M. Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pub Mex* 1998; 40:359-368.
41. Scaloni, J. *Umbilical Cord Blood Lead Concentration. Relationship to urban or Suburban residency, during gestation,* *Am. J. Dis. Child.* 2003; pp: 121, 325-326
42. Tsuchiya H, Mitani K, Kodama K, Nakata T. *Placental transfer of heavy metals in normal pregnant Japanese women.* *Arch Environ Health.* 2006; 63:317-320.