

## Vigilancia epidemiológica en mujeres embarazadas y en lactancia expuestas a plomo en el Norte de México

### Vigilância epidemiológica da exposição ao chumbo em mulheres grávidas e lactantes no norte do México

#### *Epidemiological surveillance of lead exposure in pregnant and breastfeeding women in northern Mexico*

Efraín Ríos Sánchez<sup>1</sup>, Gonzalo Gerardo García Vargas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Salud Ambiental, Servicios de Salud del Estado de Coahuila de Zaragoza, Torreón, Coahuila, México

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México.

**Cita:** Ríos Sánchez E, García Vargas GG. Vigilancia epidemiológica en mujeres embarazadas y en lactancia expuestas a plomo en el Norte de México. Rev. Salud ambient. 2026; 26(1):94-102.

**Recibido:** 24 de diciembre de 2025. **Aceptado:** 26 de mayo de 2026. **Publicado:** 15 de junio de 2025.

**Autor para correspondencia:** Efraín Ríos Sánchez.

Correo e: efrainrios76@gmail.com

**Financiación:** Esta investigación fue financiada por los Servicios de Salud del Estado de Coahuila de Zaragoza, en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

**Declaración de conflicto de intereses:** No existen conflictos de interés relacionados con la investigación presentada.

**Declaraciones de autoría:** ERS y GGGV trabajaron de manera equitativa en el diseño del estudio, análisis de datos y redacción. Cada uno de los coautores revisó y aprobó el manuscrito final.

### Resumen

Las mujeres en estado de embarazo y lactancia son una población vulnerable a los efectos tóxicos del plomo, debido a la transferencia de este contaminante hacia el feto y lactante por lo que el objetivo de este trabajo es describir las tendencias anuales y las concentraciones de plomo en sangre (CPS) en una población de mujeres embarazadas y lactantes residentes de la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Se cuantificaron las CPS en sangre venosa por medio de espectrofotometría de absorción atómica de 13 589 muestras que representan a 6 946 personas muestreadas entre el 1 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2024. En general el 5,5 % de las mujeres en estado de embarazo presentan CPS superiores a 5 µg/dL, mientras que en las mujeres lactantes fue del 9 %. Las CPS desde 2010 a 2024 alcanzaron su nivel más bajo entre 2016 y 2017 y posteriormente incrementan ligeramente. Existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ( $p < 0,00001$ ) con CPS considerablemente superiores en mujeres lactantes (mediana=2,1 µg/dL) comparada con mujeres en embarazo (mediana=1,7 µg/dL). Las CPS incrementaron en el 57,9 % de las mujeres durante la lactancia en comparación con sus valores durante el embarazo. En conclusión, existe una disminución de las CPS en la población ambientalmente expuesta a plomo, sin embargo, la tendencia a la baja se ha interrumpido, asimismo durante el periodo de lactancia las CPS incrementan, por lo cual es importante mantener en vigilancia epidemiológica a las mujeres en estado de embarazo, lactancia y en edad fértil.

**Palabras clave:** plomo; embarazo; lactancia; México.

### Resumo

Mulheres grávidas e lactantes constituem uma população vulnerável aos efeitos tóxicos do chumbo, devido à transferência desse contaminante para o feto e o lactente. O objetivo deste estudo foi descrever as tendências anuais e as concentrações de chumbo no sangue (CCS) em mulheres grávidas e lactantes residentes na cidade de Torreón, Coahuila, México. As CCS em sangue venoso foram quantificadas por espectrofotometria de absorção atômica em 13.589 amostras correspondentes a 6.946 indivíduos coletados entre 1º de janeiro de 2010 e 31 de dezembro de 2024. De modo geral, 5,5% das mulheres grávidas e 9,0% das mulheres lactantes apresentaram CCS acima de 5 µg/dL. As concentrações de chumbo no sangue atingiram seus níveis mais baixos entre

2016 e 2017, seguidas por um leve aumento posteriormente. Diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre os grupos ( $p < 0,00001$ ), com CCS mais elevadas em mulheres lactantes (mediana = 2,1  $\mu\text{g/dL}$ ) em comparação com mulheres grávidas (mediana = 1,7  $\mu\text{g/dL}$ ). Nas análises pareadas, as CCS aumentaram em 57,9% das mulheres durante a lactação em relação ao período gestacional. Em conclusão, embora tenha sido observada uma redução global das CCS nessa população ambientalmente exposta, essa tendência decrescente foi interrompida, e a mobilização de chumbo durante a lactação resulta em maiores concentrações de chumbo no sangue. Esses achados ressaltam a necessidade de manter a vigilância epidemiológica em mulheres grávidas, lactantes e em idade reprodutiva.

**Palabras-chave:** chumbo; gravidez; lactação; Mexico.

### Abstract

Pregnant and breastfeeding women constitute a population vulnerable to the toxic effects of lead, due to the transfer of this contaminant to the fetus and infant. The objective of this study was to describe the annual trends and blood lead concentrations (BLC) in a population of pregnant and breastfeeding women residing in the city of Torreón, Coahuila, Mexico. Venous BLC were quantified by atomic absorption spectrophotometry in 13,589 samples corresponding to 6,946 individuals collected between January 1, 2010, and December 31, 2024. Overall, 5.5% of pregnant women and 9.0% of breastfeeding women had BLCs above 5  $\mu\text{g/dL}$ . BLC reached their lowest level between 2016 and 2017 followed by a slightly increased thereafter. Statistically significant differences were observed between groups ( $p < 0.00001$ ), with considerably higher BLC levels in breastfeeding women (median=2.1  $\mu\text{g/dL}$ ) compared with pregnant women (median=1.7  $\mu\text{g/dL}$ ). BLC levels increased in 57.9% of women during lactation compared to their levels during pregnancy. In conclusion, although an overall decline in BLC was observed in the environmentally exposed population, this decreasing trend has been interrupted, with BLC levels higher during lactation. Therefore, it is important to maintain epidemiological surveillance of pregnant, breastfeeding, and women of childbearing age.

**Keywords:** lead; pregnancy; breastfeeding; Mexico.

## INTRODUCCIÓN

El plomo es un metal pesado que históricamente ha contaminado el ambiente debido a diferentes actividades humanas, tales como el uso de pinturas hechas a base de plomo o contaminadas con este metal, el uso de loza de barro vidriada, así como la minería y las emisiones industriales<sup>1</sup>. Múltiples esfuerzos se han realizado a nivel global para regular y limitar el uso de este contaminante, como la prohibición de su uso en las gasolinas como aditivos, limitar su uso en pinturas para uso doméstico y en áreas infantiles, y regular los niveles permisibles de este metal en el medio ambiente, sin embargo, su presencia continúa siendo persistente en múltiples escenarios representando un riesgo para la población, considerando que no existe un umbral de toxicidad para este elemento, donde se han encontrado efectos adversos a concentraciones muy bajas (menores a 1  $\mu\text{g/dL}$ ), siendo el más importante de ellos, los efectos generados a nivel del neurodesarrollo infantil<sup>2</sup>, impactando en un menor índice de desarrollo mental y disminución del coeficiente intelectual en edades posteriores<sup>3</sup>.

Por lo anterior, la población más vulnerable a los efectos tóxicos del plomo son los niños y niñas, especialmente menores a 5 años. Sin embargo, las mujeres en estado de embarazo y lactancia también representan un grupo de interés debido a la transferencia placentaria de plomo y a la movilización del plomo a través de la leche materna<sup>4</sup>; por este mecanismo, el plomo puede llegar a los fetos y recién nacidos y ejercer sus efectos tóxicos.

En México, la fuente de exposición más ampliamente documentada a este metal es a través de la loza de barro vidriada, en donde según datos de la más reciente Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, se documentó 17,2 % de niñas y niños con niveles superiores a la normativa mexicana vigente, lo que representa a 1,38 millones de niños y niñas en todo el país, convirtiéndose en la fuente de exposición a plomo más importante de México<sup>5</sup>; sin embargo, en la ciudad de Torreón, Coahuila, México, una ciudad ubicada en el Centro-Norte de México, la fuente de exposición ha sido a través de las emisiones metalúrgicas al encontrarse la fundidora primaria de plomo, plata y zinc más importante de América Latina y una de las 5 más grandes del mundo<sup>6</sup>. Por ello, se implementó por decreto gubernamental<sup>7</sup> desde el año 1999 un programa de vigilancia epidemiológica de las concentraciones de plomo en sangre (CPS) dirigido a niños y niñas menores de 16 años, mujeres en estado de embarazo y lactancia, con el objetivo de dar seguimiento a la población expuesta a este contaminante, identificar casos de intoxicación por plomo para su adecuada atención ambiental y médica y, en consecuencia, desarrollar herramientas para observar las tendencias temporales anuales de las CPS con el fin de orientar el desarrollo de las políticas públicas en materia de salud ambiental con base en los resultados generados en los 27 años de vida del programa. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es describir las líneas de tiempo de las CPS de las mujeres en estado de embarazo o lactancia, residentes de la ciudad de Torreón, Coahuila expuestas ambientalmente a plomo en los últimos 15 años.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El programa de vigilancia epidemiológica forma parte de las acciones de atención y remediación de la problemática de contaminación ambiental por plomo generado por la fundidora. Este programa indica el monitoreo de las CPS a la población que reside en un perímetro de 2 km alrededor de la fundición. Después de explicar los objetivos de la vigilancia de las CPS en la población y obtener su consentimiento informado por escrito, se tomaron muestras sanguíneas venosas en tubos con anticoagulante (EDTA) para las determinaciones analíticas; esta determinación se repite periódicamente en cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000<sup>8</sup>. La autorización del estudio y seguimiento de los resultados de la población ambientalmente expuesta a plomo fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Juárez, del Estado de Durango (CEI-FAMEN-01/2023).

En total se procesaron 13 589 muestras sanguíneas de mujeres en estado de embarazo y lactancia, recolectadas entre el 1 de enero de 2010 y 31 de diciembre del 2024 que corresponden a 6 946 personas estudiadas de manera longitudinal. A partir de estas determinaciones, se identificaron 2 703 pares de muestras embarazo-lactancia cuya diferencia de tiempo entre ambas mediciones fue menor a 12 meses. Con base en lo anterior, se calculó la variación de las CPS mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Variación de las CPS } (\Delta\text{CPS}) = \text{CPS}_{\text{lactancia}} - \text{CPS}_{\text{embarazo}}$$

Un valor de  $\Delta\text{CPS} < 0$  se interpretó como una disminución de las CPS durante la lactancia, un valor de  $\Delta\text{CPS} = 0$  indica ausencia de cambios en las CPS durante los estados fisiológicos y un valor  $\Delta\text{CPS} > 0$  como incremento en las CPS durante la lactancia.

Los datos que se reportan de manera regular a los Servicios de Salud del Estado de Coahuila de Zaragoza e incluyen información sobre el nombre de la mujer, la edad, el sexo, la fecha de nacimiento, la CPS, la fecha de toma de muestra, el domicilio donde reside la mujer y el estado de embarazo o lactancia. La determinación de la CPS se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito con corrección de Zeeman (Analist-600, Perkin Elmer) en el Laboratorio Central, de la Unidad de Salud Ambiental, perteneciente a la fundidora Met-Mex Peñoles y la Facultad de Medicina, de la Universidad Autónoma de Coahuila, empleando estándares certificados para metales en sangre y realizando estudios de intercalibración con muestras ciegas. Las determinaciones por debajo del límite de cuantificación de los equipos empleados (1,4  $\mu\text{g/dL}$ ) fueron tratados como datos censurados y representados

como el valor de su raíz cuadrada (1,18  $\mu\text{g/dL}$ ), estrategia comúnmente empleada en estudios de biomonitorio para el manejo de valores por debajo del límite de cuantificación. Adicionalmente con el fin de evaluar la robustez de los resultados, se realizaron análisis de sensibilidad utilizando los valores crudos reportados por el equipo que incluyen determinaciones por debajo de los límites establecidos por la técnica analítica.

Para el análisis estadístico de los datos, se presentan las medianas y percentiles 25° y 75° (Q1 – Q3), así como el porcentaje de participantes con niveles superiores a 5  $\mu\text{g/dL}$ , que es el límite establecido por la NOM199-SSA1-2000 modificada en 2017, actualmente vigente en México<sup>8</sup>. Considerando que las distribuciones de las CPS en la población fueron de tipo no normal, las diferencias se evaluaron por pruebas no paramétricas. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico STATA versión 17 considerando un valor de  $p < 0,05$  como estadísticamente significativo.

## RESULTADOS

La mediana de la edad de las mujeres incluidas en el estudio fue de 23.3 años (Q1 – Q3: 19,7 – 27,9); de manera global, se observaron CPS más elevadas durante la lactancia en comparación con el embarazo. La mediana de las CPS en mujeres lactantes fue de 2,1  $\mu\text{g/dL}$  (1,18 – 3,2  $\mu\text{g/dL}$ ), mientras que en mujeres embarazadas fue de 1,7  $\mu\text{g/dL}$  (1,18-2,6  $\mu\text{g/dL}$ ) siendo estas diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,00001$ ) y se mantuvieron a lo largo del periodo de estudio (tabla 1), estos resultados corresponden al análisis que considera la censura de los valores por debajo del límite de cuantificación. Cuando los análisis se realizaron utilizando los valores crudos de las cuantificaciones (tabla 2), las estimaciones obtenidas y la significancia estadística de las pruebas empleadas, no mostraron cambios relevantes.

En cuanto a la proporción de mujeres con CPS  $> 5 \mu\text{g/dL}$ , el 5,5 % de las mujeres en embarazo presentaron niveles superiores a este límite, mientras que en las mujeres en estado de lactancia fue de 9 %, es decir, existe casi el doble de mujeres lactantes con CPS en sangre superiores a los aceptados por la normativa mexicana.

El análisis temporal anual se presenta en la figura 1 empleando los datos censurados y en la figura 2 empleados los datos crudos, en ambos casos se observó una disminución progresiva de las CPS a partir del año 2010, alcanzando sus valores más bajos en los años 2016 y 2017. Esta tendencia se reflejó en una menor proporción de mujeres con CPS por encima de la normativa, con valores mínimos de hasta 2,3 % en mujeres embarazadas y de 5,0 % en mujeres en lactancia durante los años 2017 y 2018, respectivamente. Posteriormente se identificó un incremento gradual hasta el año 2020, patrón que

Tabla 1. Concentraciones de plomo en sangre en mujeres en estado de embarazo y lactancia en la ciudad de Torreón del periodo 2010 – 2024 calculados a partir de los datos censurados

Año de muestra	Embarazo				Lactancia				p <sup>a</sup>
	n	Nivel de plomo Mediana (Q1 - Q3)	Min - Max	Nivel superior a 5 µg/dL n (%)	n	Nivel de plomo Mediana (Q1 - Q3)	Min - Max	Nivel superior a 5 µg/dL n (%)	
2010	613	2,8 (2,1–4,0)	1,18 – 42,8	92 (15,01)	114	3,8 (3,1–5,4)	1,4 – 46,4	35 (30,7)	<0,00001*
2011	705	2,1 (1,5–3,1)	1,18 – 24,3	55 (7,8)	893	2,8 (2,0–4,1)	1,18 – 26,9	144 (16,13)	<0,00001*
2012	727	2,3 (1,8–3,3)	1,18 – 17,7	63 (8,67)	122	2,9 (2,3–4,3)	1,18 – 16,2	19 (15,57)	<0,00001*
2013	684	1,9 (1,18–2,7)	1,18 – 12,1	30 (4,39)	805	2,6 (1,8–3,7)	1,18 – 35,2	106 (13,17)	<0,00001*
2014	614	1,6 (1,18–2,4)	1,18 – 19,4	24 (3,91)	792	2,2 (1,5–3,2)	1,18 – 79,8	69 (8,71)	<0,00001*
2015	679	1,6 (1,18–2,3)	1,18 – 23,7	20 (2,95)	790	2,1 (1,5–2,9)	1,18 – 30,5	52 (6,58)	<0,00001*
2016	478	1,18 (1,18–1,8)	1,18 – 17,3	13 (2,72)	519	1,6 (1,18–2,5)	1,18 – 17,9	29 (5,59)	<0,00001*
2017	300	1,18 (1,18–1,8)	1,18 – 17,0	7 (2,33)	439	1,5 (1,18–2,4)	1,18 – 14,6	25 (5,69)	<0,00001*
2018	424	1,18 (1,18–1,75)	1,18 – 42,5	22 (5,19)	460	1,7 (1,18–2,5)	1,18 – 32,1	23 (5,0)	<0,00001*
2019	396	1,18 (1,18–1,8)	1,18 – 22,8	13 (3,28)	467	1,7 (1,18–2,7)	1,18 – 37,9	26 (5,57)	<0,00001*
2020	85	1,5 (1,18–2,4)	1,18 – 7,8	3 (3,53)	120	1,9 (1,5–3,1)	1,18 – 36,9	9 (7,5)	0,0012*
2021	128	1,18 (1,18–2,05)	1,18 – 20,2	6 (4,69)	181	1,8 (1,18–2,6)	1,18 – 11,6	14 (7,73)	0,0005*
2022	307	1,18 (1,18–1,9)	1,18 – 24,6	6 (1,95)	366	1,5 (1,18–2,3)	1,18 – 22,7	25 (6,83)	<0,00001*
2023	324	1,18 (1,18–1,9)	1,18 – 15,1	6 (1,85)	468	1,6 (1,18–2,6)	1,18 – 13,2	22 (4,7)	<0,00001*
2024	220	1,4 (1,18–2,25)	1,18 – 13,4	8 (3,64)	369	1,8 (1,18–2,8)	1,18 – 22,9	26 (7,05)	0,0004*
Total	6 684	1,7 (1,18–2,6)	1,18 – 42,8	368 (5,51)	6 905	2,1 (1,18–3,2)	1,18 – 79,8	624 (9,04)	<0,00001*

<sup>a</sup> Prueba de diferencia de rangos U de Mann Whitney entre medianas de la CPS, n: tamaño de muestra, Q1:cuartil 1 (25 %), Q3: cuartil 3 (75 %), Min: Valor mínimo, Max: Valor máximo, \*Estadísticamente significativo.

Tabla 2. Concentraciones de plomo en sangre en mujeres en estado de embarazo y lactancia en la ciudad de Torreón del periodo 2010 – 2024 calculados a partir de los datos crudos

Año de muestra	Embarazo				Lactancia				p <sup>a</sup>
	n	Nivel de plomo Mediana (Q1 - Q3)	Min - Max	Nivel superior a 5 µg/dL n (%)	n	Nivel de plomo Mediana (Q1 - Q3)	Min - Max	Nivel superior a 5 µg/dL n (%)	
2010	613	2,8 (2,1–4,0)	0,7 – 42,8	92 (15,01)	114	3,8 (3,1–5,4)	1,4 – 46,4	35 (30,7)	<0,00001*
2011	705	2,1 (1,5–3,1)	0,1 – 24,3	55 (7,8)	893	2,8 (2,0–4,1)	0,1 – 26,9	144 (16,13)	<0,00001*
2012	727	2,3 (1,8–3,3)	0,2 – 17,7	63 (8,67)	122	2,9 (2,3–4,3)	0,7 – 16,2	19 (15,57)	<0,00001*
2013	684	1,9 (1,2–2,7)	0 – 12,1	30 (4,39)	805	2,6 (1,8–3,7)	0,2 – 35,2	106 (13,17)	<0,00001*
2014	614	1,6 (1,1–2,4)	0,1 – 19,4	24 (3,91)	792	2,2 (1,5–3,2)	1,18 – 79,8	69 (8,71)	<0,00001*
2015	679	1,6 (1,1–2,3)	0 – 23,7	20 (2,95)	790	2,1 (1,5–2,9)	1,18 – 30,5	52 (6,58)	<0,00001*
2016	478	1,2 (0,7–1,8)	0 – 17,3	13 (2,72)	519	1,6 (1,0–2,5)	0 – 17,9	29 (5,59)	<0,00001*
2017	300	1,1 (0,5–1,8)	0,1 – 17,0	7 (2,33)	439	1,5 (0,9–2,4)	0,1 – 14,6	25 (5,69)	<0,00001*
2018	424	1,1 (0,6–1,75)	0,1 – 42,5	22 (5,19)	460	1,7 (1,0–2,5)	0,1 – 32,1	23 (5,0)	<0,00001*
2019	396	1,3 (0,7–1,8)	0,1 – 22,8	13 (3,28)	467	1,7 (1,0–2,7)	0,1 – 37,9	26 (5,57)	<0,00001*
2020	85	1,5 (1,0–2,4)	0,2 – 7,8	3 (3,53)	120	1,9 (1,5–3,1)	0,1 – 36,9	9 (7,5)	0,0005*
2021	128	1,15 (0,65–2,05)	0,1 – 20,2	6 (4,69)	181	1,8 (1,0–2,6)	0,1 – 11,6	14 (7,73)	0,0001*
2022	307	1,1 (0,6–1,9)	0,1 – 24,6	6 (1,95)	366	1,5 (0,9–2,3)	0,1 – 22,7	25 (6,83)	<0,00001*
2023	324	1,2 (0,65–1,9)	0,1 – 15,1	6 (1,85)	468	1,6 (0,9–2,6)	0,1 – 13,2	22 (4,7)	<0,00001*
2024	220	1,4 (0,9–2,25)	0,1 – 13,4	8 (3,64)	369	1,8 (1,2–2,8)	0,1 – 22,9	26 (7,05)	0,0004*
Total	6 684	1,7 (1,0–2,6)	0 – 42,8	368 (5,51)	6 905	2,1 (1,3–3,2)	0 – 79,8	624 (9,04)	<0,00001*

<sup>a</sup> Prueba de diferencia de rangos U de Mann Whitney entre medianas de la CPS, n: tamaño de muestra, Q1:cuartil 1 (25 %), Q3: cuartil 3 (75%), Min: Valor mínimo, Max: Valor máximo, \*Estadísticamente significativo.

Figura 1. Línea de tiempo de las concentraciones de plomo en sangre empleando datos censurados en la población en mujeres en estado de embarazo y lactancia en la ciudad de Torreón, periodo 2010 – 2024. Las líneas transversales de las cajas representan la mediana y sus bordes representan el cuartil 1 y el cuartil 3, y los bigotes los valores mínimos y máximos, respectivamente

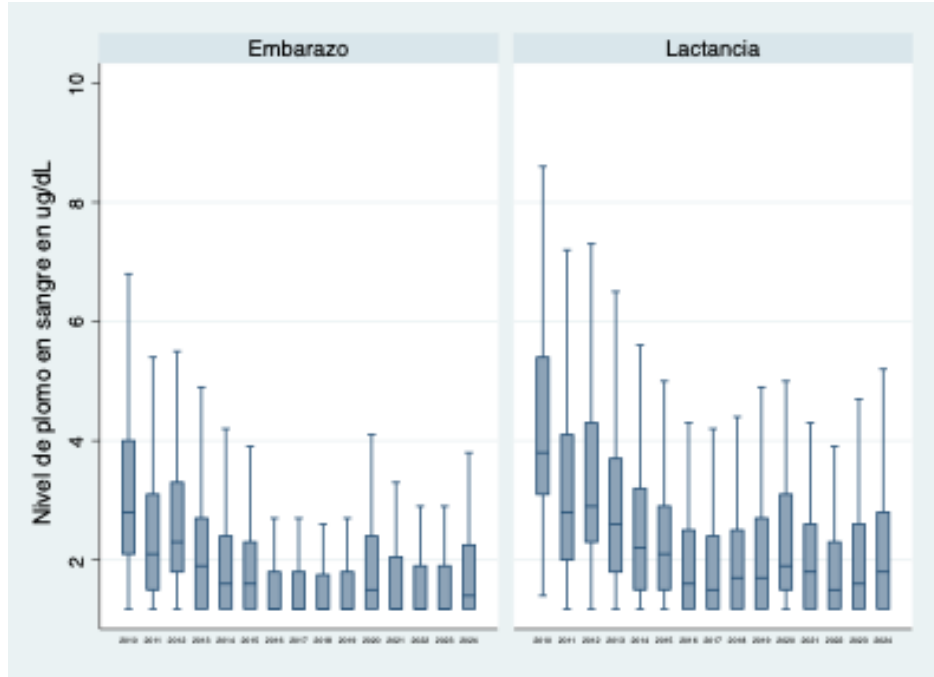


Figura 2. Línea de tiempo de las concentraciones de plomo en sangre empleando datos crudos en la población en mujeres en estado de embarazo y lactancia en la ciudad de Torreón, periodo 2010 – 2024. Las líneas transversales de las cajas representan la mediana y sus bordes representan el cuartil 1 y el cuartil 3, y los bigotes los valores mínimos y máximos, respectivamente

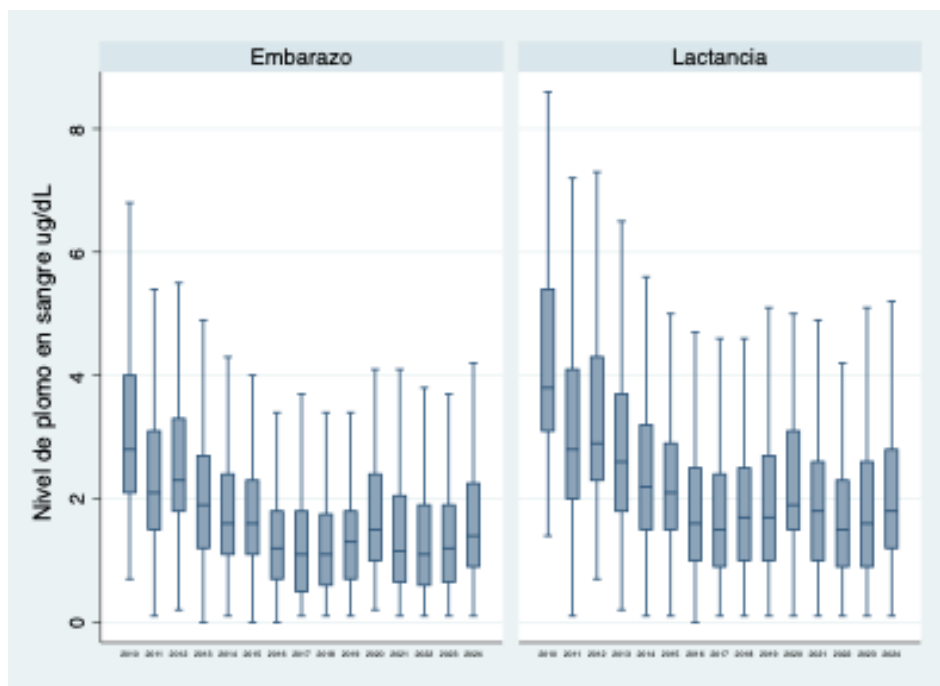


Tabla 3. Variación en las CPS entre el embarazo y la lactancia

	Calculados a partir de datos censurados			Calculados a partir de datos crudos			
	CPS en el Embarazo $\mu\text{g/dL}$	CPS en la Lactancia $\mu\text{g/dL}$	$p^a$	CPS en el Embarazo $\mu\text{g/dL}$	CPS en la Lactancia $\mu\text{g/dL}$	$p^a$	
Mediana (Q1–Q3)	1,7 (1,18 – 2,6)	2,2 (1,4 – 3,2)	<0,00001*	1,7 (1,0 – 2,6)	2,2 (1,4 – 3,2)	<0,00001*	
Min–Max	1,18 – 42,8	1,18 – 39,1		0,1 – 42,8	0 – 39,1		
n	2,703	2,703		2,703	2,703		
Cambio en las CPS				Cambio en las CPS			
Cambio en la CPS <sup>b</sup>		n (%)		Cambio en la CPS <sup>b</sup>		n (%)	
Decremento		646 (23,9)		Decremento		805 (29,79)	
Sin diferencia		491 (18,16)		Sin diferencia		92 (3,4)	
Incremento		1,566 (57,94)		Incremento		1,806 (66,81)	
Total		2,703 (100)		Total		2,703 (100)	

<sup>a</sup> Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras pareadas. <sup>b</sup> Para determinar la variación en la CPS, se considera decremento si DCPS < 0, sin diferencia si DCPS = 0 e incremento si DCPS > 0. \*Estadísticamente significativo

se observa tanto en mujeres embarazadas como en lactancia, sin embargo, el aumento fue más marcado en mujeres en lactancia. Es importante mencionar que las CPS presentan un comportamiento distinto en el periodo del 2020 al 2021, lo cual podría ser atribuido a las acciones de contención por la pandemia; en ambos grupos la CPS aumenta en el año 2024.

En la tabla 3 se presenta la  $\Delta\text{CPS}$  en el embarazo y la lactancia generado a partir de los 2 703 pares de muestras embarazo-lactancia identificadas. De manera general, la mediana de la CPS en las mujeres durante el embarazo con las determinaciones de datos censurados fue de 1,7  $\mu\text{g/dL}$  (1,18 – 2,6  $\mu\text{g/dL}$ ), mientras que durante la lactancia la mediana incrementó a 2,2  $\mu\text{g/dL}$  (1,4 – 3,2  $\mu\text{g/dL}$ ) diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,00001$ ), lo mismo ocurre al analizarse con datos crudos; estas variaciones se traducen en un 24 % de las mujeres que presentaron un decremento en las CPS, un 18 % que no presentó diferencias y un 58 % que presentó incrementos en las CPS con datos censurados, mientras que con los datos crudos la  $\Delta\text{CPS}$  disminuyó en 29 %, no presentó cambios en un 3,4 % e incrementó en un 66 %.

Para evaluar la influencia de la edad materna sobre el aumento en la  $\Delta\text{CPS}$ , las participantes se clasificaron en 4 categorías etarias con intervalos de 10 años. Se observó una tendencia ascendente en las medianas de las  $\Delta\text{CPS}$  calculadas con los datos censurados entre el embarazo y la lactancia conforme aumentó la edad, en el grupo menor de 20 años con una mediana de 0,82  $\mu\text{g/dL}$  (0,42–1,42  $\mu\text{g/dL}$ ), en el grupo de 20 a 29 años con valores de 0,82  $\mu\text{g/dL}$  (0,50–1,50  $\mu\text{g/dL}$ ), en el grupo de 30 a 39 años con una mediana de 0,92  $\mu\text{g/dL}$  (0,50–1,52  $\mu\text{g/dL}$ ) y en el grupo de mujeres mayores de 40 años con una mediana de 1,02  $\mu\text{g/dL}$  (0,7–1,72  $\mu\text{g/dL}$ ), sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas

( $p=0,368$ ); esta tendencia se mantiene al emplear los datos crudos, en el grupo menor de 20 años con una mediana de 0,9  $\mu\text{g/dL}$  (0,4–1,5  $\mu\text{g/dL}$ ), en el grupo de 20 a 29 años con valores de 0,9  $\mu\text{g/dL}$  (0,5–1,5  $\mu\text{g/dL}$ ), en el grupo de 30 a 39 años con una mediana de 1,0  $\mu\text{g/dL}$  (0,6–1,6  $\mu\text{g/dL}$ ) y en el grupo de mujeres mayores de 40 años con una mediana de 1,1  $\mu\text{g/dL}$  (0,7–3,3  $\mu\text{g/dL}$ ), mismas que se mantienen no significativas ( $p=0,324$ ).

De manera concordante, la correlación entre la edad materna y la  $\Delta\text{CPS}$  fue de  $\rho=0,048$  (IC95 % = -0,001 a 0,096) y no significativa ( $p=0,056$ ) con los datos crudos, mientras que con los datos censurados fue de  $\rho=0,044$  (IC95 % = -0,001 a 0,09) y no significativa ( $p=0,056$ ).

## DISCUSIÓN

La implementación del programa de vigilancia epidemiológica en la ciudad de Torreón, Coahuila, así como las acciones de intervención y remediación ambiental realizadas en la ciudad, han contribuido positivamente en la disminución de las CPS en la población, influyendo en su notoria disminución y por tanto, protegiendo a las poblaciones vulnerables. Este efecto se ha documentado en los trabajos de Recio-Vega<sup>9</sup>, Rubio-Andrade<sup>10</sup> y Ríos-Sánchez<sup>11</sup>, en donde en población infantil y adolescente los esfuerzos realizados en la ciudad han impactado en la disminución de las CPS a través del tiempo. En este estudio se evidencia que las CPS en mujeres embarazadas y en lactancia han disminuido progresivamente a lo largo del tiempo, lo que representa un logro relevante atribuible a los involucrados en el desarrollo, ejecución y supervisión del programa de atención médica y medio ambiental. No obstante, a pesar de que en el año 2010 el 17,47 % de las mujeres presentaba CPS superiores a la normativa mexicana vigente<sup>8</sup> y que para el 2024 esta proporción se redujo al 5,77 %, es importante enfatizar

que, dada la alta toxicidad del plomo, no debería existir exposición a este contaminante, particularmente en esta etapa de la vida. Estos hallazgos indican que se sigue presentando exposición a plomo en niveles considerables a poblaciones altamente vulnerable. Esta exposición se hace más importante al clasificar a las mujeres en estado de lactancia y embarazo, en donde las CPS son considerable y significativamente superiores en mujeres en estado de lactancia; asimismo, es evidente el incremento en las CPS a partir del año 2017, fenómeno que también se ha observado en niños y niñas menores a 15 años en esta población expuesta<sup>11</sup>, lo cual refleja la sensibilidad de las CPS como indicador de la exposición ambiental a plomo, y sugiere un incremento en la exposición global a este contaminante. Es necesario realizar estudios más detallados en matrices ambientales para identificar las rutas y vías de exposición responsables de este incremento en la exposición.

En ambos periodos fisiológicos (embarazo y lactancia) existe una alta demanda de calcio; se estima que durante el embarazo aproximadamente 20-30 g de calcio son transferidos de la madre al feto mientras que durante la lactancia, aproximadamente 210 mg de calcio al día son empleados para la producción de leche, lo cual supone una pérdida de calcio durante la lactancia de 280-400 mg de calcio al día, aunque éste puede alcanzar hasta 1 000 mg al día, la cual es aproximadamente tres veces más alta que durante el embarazo<sup>12</sup> siendo el hueso una de los reservorios de calcio más importantes para el organismo, pero asimismo, de plomo<sup>13</sup>.

Se estima que el 90 % de la carga corporal de plomo se encuentra en los huesos y en los dientes<sup>14</sup>, por tanto, la exposición a plomo a través del hueso materno toma relevancia como una fuente de exposición continua. En el trabajo de Téllez-Rojo<sup>15</sup>, se documentó un incremento medio del 16% en las CPS en mujeres lactantes con respecto a su CPS en el embarazo, estimando un incremento de las CPS de 6,1 % (IC95 %: 4,2 – 8,1) y de 8,1 % (IC95 %: 5,2 – 11,1) por cada 10 µg de plomo/g de mineral óseo encontrados en rótula y tibia. En el contexto de la ciudad de Torreón, históricamente reconocida por la exposición ambiental a plomo, una parte importante de las mujeres incluidas en este estudio han estado expuestas de manera crónica a este metal desde etapas tempranas de la vida como la infancia y la adolescencia, alcanzando la edad reproductiva con una carga corporal significativa de plomo en hueso, lo que representa un riesgo potencial tanto para su salud como para su vida reproductiva. Por lo tanto, la liberación del plomo almacenado en el hueso es una explicación plausible del aumento de las CPS durante la lactancia. Además, es importante considerar otros mecanismos de exposición propios de esta etapa como la pica o la geofagia, misma que se ha documentado en la lactancia y que incrementa significativamente las CPS<sup>16</sup>.

Se han reportado concentraciones de plomo en leche de  $6,49 \pm 5,23$  µg/L (mínimo=0,55; máximo=49,7) en mujeres chinas con CPS de  $2,12 \pm 1,05$  µg/L (1,04–5,16), mismas que se ven influenciadas por factores como la exposición ambiental, hábitos higiénicos y fuentes dietéticas de exposición a plomo, atribuyendo una ingesta diaria estimada de 0,628 µg/kg-peso/día de plomo para el lactante<sup>17</sup>. Si se considera que la CPS materna es el principal determinante de la cantidad de plomo presente en leche materna, en la población analizada en este estudio dicha concentración sería considerablemente más elevada, dado que las CPS observadas fueron hasta casi 10 veces superiores. Esta exposición prenatal y post natal al plomo se asocia negativamente con el peso que alcanza el lactante al mes de edad con una disminución de hasta 15,1 g de peso por cada µg de plomo en sangre<sup>18</sup> lo cual refuerza el conocimiento actual en donde no existe un límite de exposición a plomo seguro en ninguna etapa de la vida.

La vigilancia epidemiológica de las poblaciones expuestas a contaminantes ambientales es primordial por la necesidad de conocer el estado de exposición en la población, así como para identificar casos puntuales para su seguimiento. Si bien cualquier persona en cualquier grupo etario es sensible a los efectos tóxicos del plomo, son los niños y niñas los más vulnerables, así como las mujeres en estado de embarazo y lactancia. Por otra parte, es importante mantener y enfatizar la vigilancia a las mujeres en edad fértil y considerarla como un grupo de especial atención, ya que es frecuente que una mujer tarde un par de meses en enterarse del embarazo, tiempo crucial en el neurodesarrollo del feto, por ello es necesario promover y alentar la vigilancia de las CPS en mujeres en edad fértil tanto en el ambiente ocupacional como no ocupacional.

Es importante reconocer que los niveles de plomo observados en la población estudiada se encuentran cercanos al límite de cuantificación de las técnicas analíticas empleadas, lo cual genera incertidumbre en las determinaciones por debajo de este umbral. En el presente estudio, el 31,2 % de mediciones se ubicaron por debajo del límite de cuantificación, por ello se realizó un análisis de sensibilidad comparando los resultados obtenidos a través del método de censura descrito contra los valores analíticos crudos. Los resultados fueron consistentes entre ambos enfoques ya que no muestran cambios significativos y las diferencias encontradas se mantienen, lo que sugiere que el método de manejo de los valores por debajo del límite de cuantificación no modifica la interpretación general de los hallazgos, los resultados presentados en esta investigación se fortalecen y no distorsionan el escenario de exposición estudiado.

Es deseable que los equipos y mecanismos de diagnóstico a los que se tiene acceso en los sistemas de salud públicos sean más sensibles, con el fin de realizar estudios con menor cantidad de muestra, detectar niveles de exposición bajos, así como cuantificar múltiples contaminantes en el mismo ensayo, sin embargo, es importante considerar que los costes implicados son considerables y que ante todo, se debe tener claro el objetivo de la medición, que en el caso de los programas de vigilancia epidemiológica, es evaluar la exposición con fines de seguimiento e identificación de casos puntuales con niveles de exposición altos (tamizaje), así como orientar acciones de prevención para ampliar la cobertura de la vigilancia, dejando las determinaciones de mayor precisión a nivel individual con fines de manejo clínico<sup>19</sup>.

En este trabajo se documentan los avances en materia de remediación ambiental lo cual refleja una disminución considerable de las CPS en mujeres en embarazo y lactancia, sin embargo, es importante reconocer algunas limitaciones que tiene esta investigación. Debido a que este estudio parte de las bases de datos de medición de plomo en sangre, no fue posible identificar otras fuentes de exposición como son el uso de alimentos enlatados, el uso de cosméticos, el empleo de loza de barro o la presencia de geofagia en la población, así mismo no contamos con información relacionada a las características del embarazo, antecedentes ginecoobstétricos ni del recién nacido. Es importante reconocer que los límites analíticos de los equipos empleados en este trabajo, pudieran limitar la capacidad de detectar diferencias o disminuciones cercanos al límite de cuantificación del método, lo cual podría generar un efecto suelo (*floor effect*) donde se dificulta observar disminuciones reales a niveles bajos de exposición. A pesar de lo anterior, la evidencia generada en este estudio refuerza la presencia de un incremento de las CPS durante la lactancia con respecto al embarazo en la misma mujer, lo cual podría explicarse por la movilización corporal de plomo presente en el hueso que ha sido documentado en estudios previos. Asimismo resulta necesario evaluar la concentración de plomo presente en leche materna en esta población crónicamente expuesta de manera ambiental al plomo que, de acuerdo a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, deberá situarse en un rango de 2 – 5 µg/L<sup>20,21</sup>. Esta evaluación permitiría estimar de manera más precisa el riesgo de exposición del neonato durante la lactancia.

## CONCLUSIONES

Las CPS en la población de mujeres en embarazo y lactancia han mostrado una tendencia a la baja, con un porcentaje relativamente mínimo de mujeres por encima de las normativas mexicanas lo cual representa un avance en materia de atención y remediación ambiental,

sin embargo, sigue existiendo exposición a plomo en la ciudad, y tomando en cuenta las evidencias de los efectos adversos derivados de la exposición al plomo que pueden presentarse a bajas concentraciones (menores a 1 µg/dL), es indispensable continuar con la vigilancia epidemiológica en poblaciones vulnerables como niños, niñas, mujeres en embarazo y lactancia, así como en población general, enfatizando a las mujeres en edad fértil; así mismo es importante promover, en medida de lo posible, el uso de metodologías analíticas más sensibles y de mayor resolución, con el fin de caracterizar con mayor precisión la exposición real a estos contaminantes. Por otra parte, al seguir la cohorte de las CPS de las mujeres embarazadas hacia la lactancia, las concentraciones de plomo en sangre incrementaron significativamente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Chavez-Garcia JA, Noriega-León A, Alcocer-Zuñiga JA, et al. Association between lead source exposure and blood lead levels in some lead manufacturing countries: A systematic review and meta-analysis. *J Trace Elem Med Biol.* 2022;71:126948.
2. Axelrad DA, Coffman E, Kirrane EF, Klemick H. The relationship between childhood blood lead levels below 5 µg/dL and childhood intelligence quotient (IQ): Protocol for a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2022;169:107475.
3. Parithathi A, Choudhari N, Dsouza HS. Prenatal and early life lead exposure induced neurotoxicity. *Hum Exp Toxicol.* 2024;43:1-14.
4. Ettinger AS, Roy A, Amarasiriwardena CJ, et al. Maternal blood, plasma, and breast milk lead: Lactational transfer and contribution to infant exposure. *Environ Health Perspect.* 2014;122(1):87-92.
5. Téllez-Rojo MM, Bautista-Arredondo LF, Cantoral-Preciado A, et al. Intoxicación por plomo en población pediátrica. *Salud Publica Mex.* 2024; 66(4): 469-78.
6. García Vargas GG, Rubio Andrade M, Del Razo LM, Borja Aburto V, Vera Aguilar E, Cebrián ME. Lead exposure in children living in a smelter community in Region Lagunera, Mexico. *J Toxicol Environ Health A.* 2001;62(6):417-29.
7. Decreto por el que se dispone la constitución de un fideicomiso público para el financiamiento y administración de los recursos que se destinarán a la prevención, tratamiento, seguimiento y control de la salud de la población por contaminación de plomo de la ciudad de Torreón, Coah. 1999. Gobierno del Estado de Coahuila.
8. Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. 2000.
9. Recio-Vega R, Valdez-Abrego C, Adame-Lopez B, Gurrola-Mendez A. Surveillance of elevated blood lead levels in children in Torreón, Coahuila, Mexico, 1998–2010. *Int J Hyg Environ Health.* 2012;215(5):507-13.
10. Rubio-Andrade M, Valdés-Pérezgasga F, Alonso J, Rosado JL, Cebrián ME, García-Vargas GG. Follow-up study on lead exposure in children living in a smelter community in northern Mexico. *Environ Health.* 2011;10(1):66.

11. Ríos-Sánchez E, Rubio-Andrade M, García-Vargas GG. Vigilancia epidemiológica en población infantil expuesta a plomo en Coahuila, México. *Salud Publica Mex.* 2025;67:485-93.
12. Ettinger AS, Hu H, Hernandez-Avila M. Dietary calcium supplementation to lower blood lead levels in pregnancy and lactation. *J Nutr Biochem.* 2007;18(3):172-8.
13. Ciosek Ż, Kot K, Kosik-Bogacka D, Łanocha-Arendarczyk N, Rotter I. The Effects of Calcium, Magnesium, Phosphorus, Fluoride, and Lead on Bone Tissue. *Biomolecules.* 2021;11(4):506.
14. Ali Daoud Y, Tebby C, Beaudouin R, Brochot C. Development of a physiologically based toxicokinetic model for lead in pregnant women: The role of bone tissue in the maternal and fetal internal exposure. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2023;476:116651.
15. Téllez-Rojo MM, Hernández-Avila M, González-Cossío T, et al. Impact of Breastfeeding on the Mobilization of Lead from Bone. *Am J Epidemiol.* 2002;155(5):420-8.
16. Thomas DSK, Asori M, Nyanza EC. The role of geophagy and artisanal gold mining as risk factors for elevated blood lead levels in pregnant women in northwestern Tanzania. *PLOS Global Public Health.* 2024;4(2):e0002958.
17. Lin YC, Chang WH, Li TC, Iwata O, Chen HL. Health Risk of Infants Exposed to Lead and Mercury Through Breastfeeding. *Expo Health.* 2022;15(1):255-67.
18. Sanín LH, González-Cossío T, Romieu I, et al. Effect of Maternal Lead Burden on Infant Weight and Weight Gain at One Month of Age Among Breastfed Infants. *Pediatrics.* 2001;107(5):1016-23.
19. Téllez-Rojo MM, Trejo-Valdivia B, Bautista-Arredondo LF. Estimación poblacional de plomo en sangre en México como fuente de información para guiar acciones de salud pública. *Salud Publica Mex.* 2025;67(3): 215-6.
20. Cherkani-Hassani A, Slaoui M, Ghanname I, et al. Lead concentrations in breast milk of Moroccan nursing mothers and associated factors of exposure: CONTAMILK STUDY. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2021;85:103629
21. World Health Organization & International Atomic Energy Agency. Minor and trace elements in breast milk: report of a joint WHO/IAEA collaborative study. World Health Organization. 1989.