

## Determinación de plomo y cadmio en aguas del Valle del Mezquital

---

Carmen Medina-Mendoza<sup>1,§</sup>  
Yucundo Mendoza-Toletino<sup>2</sup>  
María Dolores Pérez-Laínez<sup>3</sup>

1 Ingeniería en Alimentos-Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital. Carretera Ixmiquilpan-Capula km 4, Nith, Ixmiquilpan, Hidalgo. CP. 42300. Tel. 759 7232789, ext. 9119.

2 Ingeniería en Energía y Desarrollo Sostenible-Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital. Carretera Ixmiquilpan-Capula km 4, Nith, Ixmiquilpan, Hidalgo. CP. 42300. Tel. 759 7232789, ext. 9113. (ymendoza@utvm.edu.mx).

3 Ingeniería en Agroindustrias-Universidad de la Costa. Carretera al Libramiento Paraje de las Pulgas S/N, Santiago, Pinotepa Nacional, Oaxaca. CP. 71600. Tel. 954 5434610. (dolores.lainez@uncos.edu.mx).

Autora para correspondencia: cmedina@utvm.edu.mx.

---

### Resumen

El Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, ha utilizado históricamente aguas residuales provenientes de la Ciudad de México para el riego agrícola, lo que ha favorecido la producción local, pero también ha generado riesgos ambientales y a la salud por la presencia de metales pesados con capacidad de bioacumulación. El objetivo de esta investigación fue determinar los niveles de plomo y cadmio en muestras de aguas residuales, naturales y potables de siete municipios de la región. Las determinaciones se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica por flama, conforme a la norma NMX-AA-051-SCFI-2001. Los resultados mostraron que las aguas residuales superaron los límites permisibles en un 26% para Pb y 30% para cadmio. En aguas naturales y potables, el exceso fue del 70% y 100%, respectivamente, según la NOM-127-SSA1-2021 y la NOM-001-SEMARNAT-2021. Estos hallazgos evidencian la necesidad de establecer un monitoreo continuo y especializado de metales pesados en el agua, con el fin de proteger la salud pública y promover un uso más seguro del recurso hídrico.

### Palabras clave:

materia orgánica, metales pesados, salud pública.

---



## Introducción

El uso de aguas residuales en la región del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, ha impulsado el desarrollo agrícola al proporcionar aguas residuales a los distritos de riego: 003-Tula, 100-Alfajayucan y 112-Ajacuba, desde la construcción del gran canal de desagüe en 1856, permitiendo la producción de cultivos (García, 2019; Rosas y García, 2024).

Esta práctica ha enriquecido los suelos con materia orgánica favoreciendo el crecimiento de los cultivos (Guédron *et al.*, 2014); sin embargo, ha generado la contaminación de fuentes de agua, degradación de suelos y exposición a sustancias tóxicas (González *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2016; Leeser *et al.*, 2018; Luneberg *et al.*, 2018; Chamizo *et al.*, 2020) propiciando problemas ambientales y de salud pública.

Entre los contaminantes más peligrosos se encuentran los metales pesados, debido a su alta movilidad en el medio y su capacidad de bioacumulación (Garduño *et al.*, 2023). La exposición prolongada a plomo (Pb) y cadmio (Cd) representa un grave riesgo para la salud, con límites permisibles de  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$  para Pb y Cd en aguas residuales y para uso y consumo humano los límites son de  $0.01 \text{ mg L}^{-1}$  y  $0.005 \text{ mg L}^{-1}$  para Pb y Cd, respectivamente, de acuerdo con las (NOM-001-SEMARNAT-2021; NOM-127-SSA1-2021; SCFI, 2022 a, b).

Los metales pesados generan radicales libres específicos del metal que causan estrés oxidativo en células que ocasiona daño al ADN, inactivación de proteínas enzimáticas, agregación de proteínas, cambios conformacionales que afectan su estructura, función y causan daño celular (Wu *et al.*, 2016), lo anterior se ve reflejado en efectos sistémicos crónicos y aumento en la incidencia de cáncer cuando se encuentran en concentraciones elevadas en el agua de consumo humano (Contreras *et al.*, 2017; Izquierdo *et al.*, 2022).

A pesar del impacto ambiental y a la salud pública, la contaminación por metales pesados en el Valle del Mezquital ha sido poco analizada, siendo una de las regiones más afectadas ambientalmente en México. El objetivo del trabajo fue medir los niveles de plomo y cadmio en distintas fuentes de agua del Valle del Mezquital, Hidalgo, para determinar si exceden los límites permisibles establecidos por la normatividad mexicana.

De manera específica, se buscó cuantificar las concentraciones de estos metales en aguas residuales, naturales y potables de la región, así como comparar estadísticamente los niveles entre los distintos tipos de fuentes hídricas para identificar zonas de riesgo. La hipótesis planteó que dichas concentraciones superaron los valores normativos, lo que representó un riesgo potencial para la salud pública y el medio ambiente, derivado del uso prolongado de aguas residuales en actividades agrícolas.

## Materiales y métodos

El análisis de aguas se realizó en la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital. Se colectaron 29 muestras de aguas residuales procedentes de canales de riego, presas y ríos, las aguas potables y purificadas se obtuvieron, seis de manantiales, cuatro de pozos y 16 de fuentes potables, en total de 54 muestras del estado de Hidalgo y una del Estado de México como control (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Muestras de aguas residuales, naturales y potables colectados en el estado de Hidalgo.**

Clave	Origen	Ubicación	Altitud (msnm)	Clave	Origen	Ubicación	Altitud (msnm)
CPT1	Canal	Tecozautla	1 733	PMI1	Presa	El Maye, Ixmiquilpan	1 720
CPN1	Canal	Pueblo Nuevo, Ixmiquilpan	1 781	MTA	Manantial	Arbolado, Tasquillo	1 704
CLJI	Canal	La Joya, Ixmiquilpan	1 772	MFI	Manantial	El Fitzí, Ixmiquilpan	1 798

Clave	Origen	Ubicación	Altitud (msnm)	Clave	Origen	Ubicación	Altitud (msnm)
CSM1	Canal	San Miguel, Ixmiquilpan	1 714	MPA	Manantial	Panales, Ixmiquilpan	1 780
CLSS	Canal	Lagunilla, San Salvador	1 979	MLR	Manantial	Remedios, Ixmiquilpan	1 767
CPT2	Canal	Pañhe, Tecoautla	1 733	MAN1	Manantial	Remedios, Ixmiquilpan	1 757
CPN2	Canal	Pueblo Nuevo, Ixmiquilpan	1 781	MAN2	Manantial	Remedios, Ixmiquilpan	1 762
CBI1	Canal	Bangandho, Ixmiquilpan	1 795	PLRI	Pozo	Reforma, Ixmiquilpan	1 738
CNI1	Canal	El Nith, Ixmiquilpan	1 751	PXZ	Pozo	Xindho, Zimapan	1 779
CMLI	Canal	Media Luna, Ixmiquilpan	1 738	PJEM*	Pozo	Santa Ana, Jilotzingo	2 739
CSM2	Canal	San Miguel, Ixmiquilpan	1 714	CNI2	Pozo	Panales, Ixmiquilpan	1 751
COBI	Canal	La Otra Banda, Ixmiquilpan	1 738	RSNI	Potable	Sn Nicolás, Ixmiquilpan	1 719
CTA1	Canal	Tasquillo	1 704	PBAI	Potable	Bangando, Ixmiquilpan	1 795
CXA1	Canal	San Nicolás, Atotonilco	2 012	PEC	Potable	El Carrizal, Ixmiquilpan	1 774
CPN3	Canal	Pueblo Nuevo, Ixmiquilpan	1 781	PLJI	Potable	La Joya, Ixmiquilpan	1 772
CPI1	Canal	Portezuelo, Ixmiquilpan	1 784	PUTV	Potable	UTVM, Ixmiquilpan	1 772
CDI1	Canal	El Deca, Ixmiquilpan	1 762	PVII	Potable	Villagran, Santiago de A.	1 941
CXA2	Canal	Xathé, Atotonilco el Grande	2 049	PLEC	Potable	La Vega, Alfajayucan	1 848
CLOI	Canal	Loma del Oro, Ixmiquilpan	1 738	PEVI	Potable	El Valante, Ixmiquilpan	1 731
CLRI	Canal	La Reforma, Ixmiquilpan	1 738	PMBI	Potable	Maguey B., Ixmiquilpan	1 798
CVSA	Canal	Villagrán, Santiago de A.	1 941	PBSS	Potable	Bóxtha, San Salvador	1 979
CMBI	Canal	Maguey Blanco, Ixmiquilpan	1 798	PENI	Potable	El Nith, Ixmiquilpan	1 751
CSM3	Canal	San Miguel, Ixmiquilpan	1 714	PRPA	Potable	Panales, Ixmiquilpan	1 780
CCAI	Canal	Capula, Ixmiquilpan	1 757	PRMA	Potable	El Maye, Ixmiquilpan	1 720
RTI1	Río	Tula	1 773	PLRE	Potable	La Reforma, Ixmiquilpan	1 738
RMJ	Río	Moctezuma, Jacala	1 360	PRPO	Potable	Portezuelo, Ixmiquilpan	1 784
CPAI	Canal	Panales, Ixmiquilpan	1 780	PRAL	Potable	Alfajayucan	1 871

Clave	Origen	Ubicación	Altitud (msnm)	Clave	Origen	Ubicación	Altitud (msnm)
PHZ	Presa	Hidroeléctrica, Zimapan	1 779				

\* = muestra colectada en el Estado de México.

El muestreo se realizó de acuerdo con la NMX-AA-003-1980 (SCFI, 1980). Se colectaron 500 ml de las muestras en envase de polietileno. Se preservaron añadiendo ácido nítrico hasta un pH de 2, se refrigeraron a 4 °C por un periodo no mayor a seis meses.

La determinación de metales totales se realizó por el método de flama con espectrofotómetro de absorción atómica (modelo Buck Scientific AAS VGP 216, UAS.), por triplicado de acuerdo con la NMX-AA-051-SCFI-2001 (SCFI, 2001). La digestión se realizó en parrilla de calentamiento, se homogenizó verificando que no existieran sólidos adheridos al fondo, se tomó una alícuota de 50 ml y se transfirió a un vaso de precipitados.

Se añadieron 3 ml de ácido nítrico concentrado y se calentó en placa de evaporación, evitando el hervor, hasta obtener de 2 a 5 ml y se dejó enfriar. Se adicionaron 5 ml de ácido nítrico concentrado, se cubrió con vidrio de reloj y se pasó a parrilla, elevando la temperatura hasta reflujo de vapores, concluida la digestión, se retiró y se dejó enfriar.

Por cada 100 ml de volumen de disolución final, se adicionaron 10 ml de ácido clorhídrico (1:1) y 15 ml de agua. Posteriormente, la muestra se calentó durante 15 min sin alcanzar el punto de ebullición y se aforó a 100 ml. Para la toma de lecturas, se calibró el espectrofotómetro de acuerdo con el inciso 9.3 de la norma NMX-AA-051-SCFI-2001, finalmente, se realizaron los cálculos, de acuerdo con la ecuación 1 de la recta, así como el coeficiente de determinación  $R^2$ , con valores de 0.985 para Pb y 0.973 para Cd.

Ecuación 1.  $y = mX + b$ . Donde:  $y$  = absorbancia de la muestra procesada;  $m$  = pendiente (coeficiente de absortividad) y  $b$  = ordenada al origen.

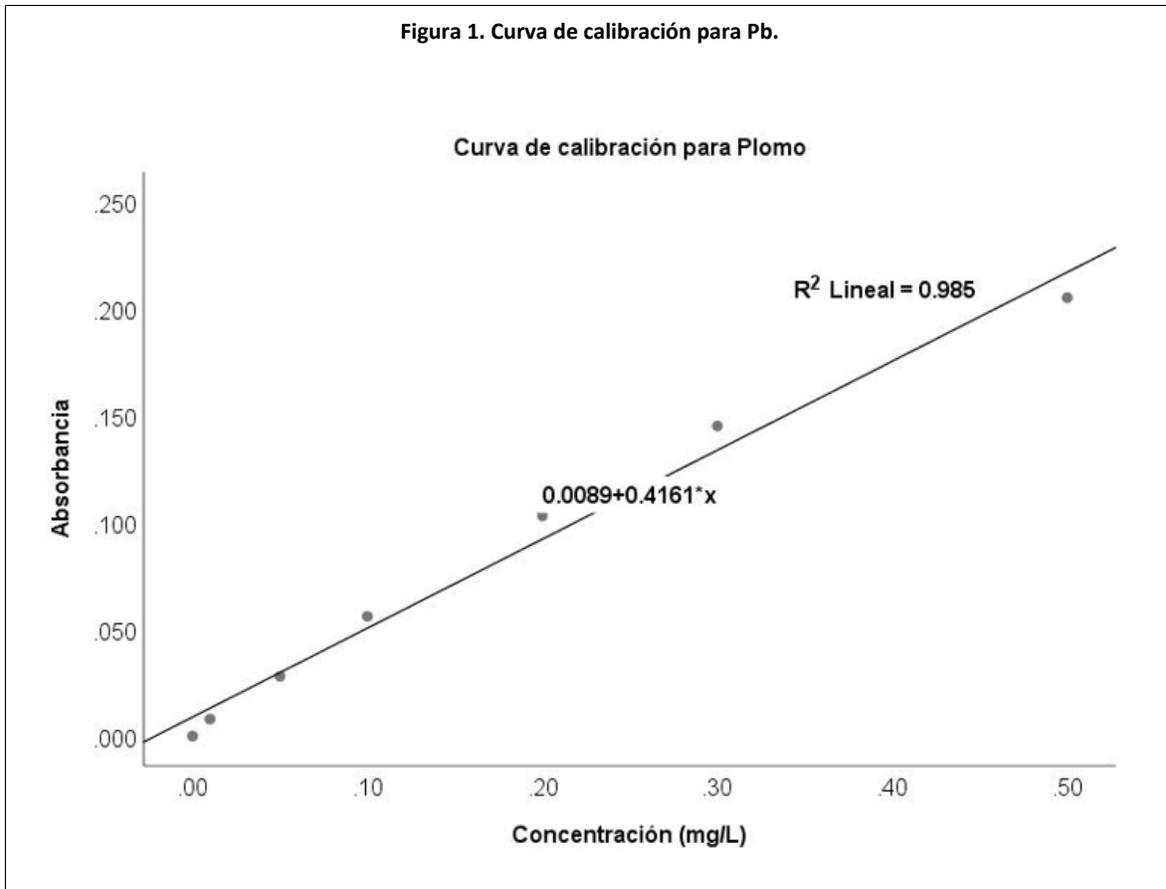
## Análisis estadísticos

Con los valores de concentraciones de Pb y Cd de los sitios de muestreo, se realizó un análisis de varianza (Anova) y *post-hoc* para realizar las comparaciones múltiples entre medias, se utilizó la prueba de rangos múltiples de Scheffe, con  $\alpha = 0.05$  para indicar la significancia estadística debido a la homogeneidad de varianzas, lo anterior se realizó con el paquete estadístico SPSS Statistics Versión 25.

## Resultados y discusión

Curvas de calibración. Se prepararon soluciones patrón con concentraciones conocidas de Pb: 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.5 mg ml<sup>-1</sup>, y de Cd: 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15 y 0.3 mg ml<sup>-1</sup>, incluyendo un blanco como referencia. Las mediciones se realizaron mediante espectroscopía de absorción atómica, a longitudes de onda de 283.3 nm para Pb y 326.1 nm para Cd, con un ancho de banda de 0.1 nm. Se utilizó acetileno como combustible y óxido nítrico como gas soporte, optimizando la atomización de los analitos (Figura 1).

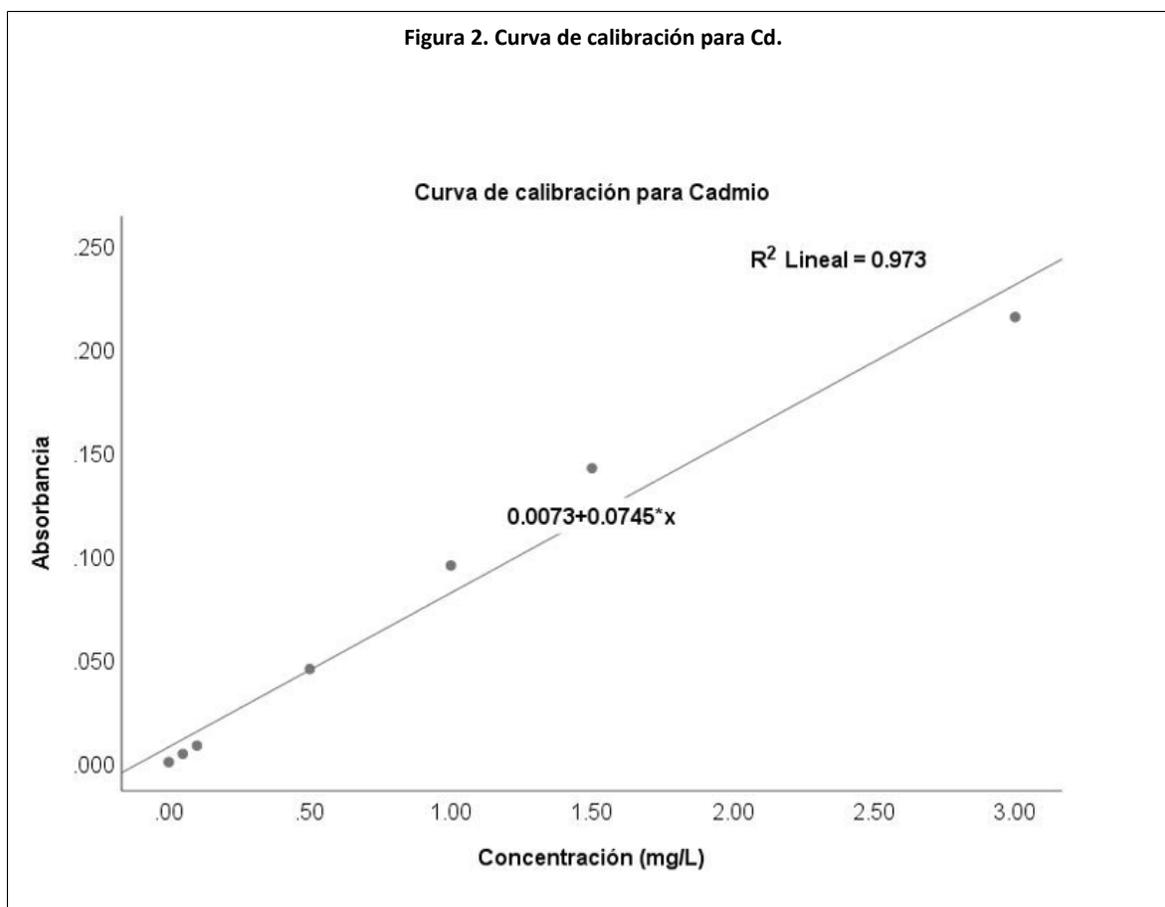




Concentraciones de Pb y Cd en aguas residuales. El análisis de las muestras de aguas residuales reveló que el 26% de ellas superaron los límites permisibles de Pb, establecidos en  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$ , con concentraciones que oscilaron entre  $0.017 \text{ mg L}^{-1}$  y  $0.466 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 2).



Figura 2. Curva de calibración para Cd.



En el caso de Cd, el 30% de las muestras excedieron dicho límite, registrando concentraciones entre  $0.009 \text{ mg L}^{-1}$  y  $0.774 \text{ mg L}^{-1}$ . Los valores obtenidos para ambos metales presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p=0$ ) en todos los análisis de varianza realizados, bajo condiciones de homogeneidad (Cuadro 2). Resultados similares fueron reportados por Oloruntoba *et al.* (2022), quienes identificaron concentraciones elevadas de Pb y Cd en aguas residuales.

Cuadro 2- Concentraciones de Pb y Cd en aguas residuales, naturales y potables.

Clave	Plomo (mg L <sup>-1</sup> )	Cadmio (mg L <sup>-1</sup> )	Clave	Plomo (mg L <sup>-1</sup> )	Cadmio (mg L <sup>-1</sup> )
CPT1 <sup>1</sup>	0.046 ±0.006 <sup>a-b</sup>	0.184 ±0.006 <sup>f</sup>	PMI1 <sup>1</sup>	0.111 ±0.003 <sup>c-f</sup>	0.077 ±0.002 <sup>a-d</sup>
CPN1 <sup>1</sup>	0.029 ±0.002 <sup>a-b</sup>	0.077 ±0.007 <sup>a-d</sup>	MTA <sup>2</sup>	0.022 ±0.021 <sup>a-b</sup>	0.009 ±0.002 <sup>a</sup>
CLJI <sup>1</sup>	0.056 ±0.008 <sup>a-c</sup>	0.023 ±0.023 <sup>a-b</sup>	MFI <sup>2</sup>	0.007 ±0.017 <sup>a</sup>	0.023 ±0.001 <sup>a</sup>
CSM1 <sup>1</sup>	0.226 ±0.031 <sup>g</sup>	0.64 ±0.012 <sup>j</sup>	MPA <sup>2</sup>	0.015 ±0.006 <sup>a-b</sup>	0.036 ±0.006 <sup>a-b</sup>
CLSS <sup>1</sup>	0.329 ±0.017 <sup>h</sup>	0.6 ±0.011 <sup>j</sup>	MLR <sup>2</sup>	0.005 ±0.003 <sup>a</sup>	0.05 ±0.003 <sup>a-b</sup>
CPT2 <sup>1</sup>	0.048 ±0.008 <sup>a-b</sup>	0.077 ±0.004 <sup>a-d</sup>	MAN1 <sup>2</sup>	0.031 ±0.005 <sup>a-b</sup>	0.009 ±0.001 <sup>a</sup>
CPN2 <sup>1</sup>	0.303 ±0.009 <sup>h</sup>	0.05 ±0.005 <sup>a-c</sup>	MAN2 <sup>2</sup>	0.147 ±0.007 <sup>c-d</sup>	0.023 ±0.005 <sup>a</sup>
CB1 <sup>1</sup>	0.128 ±0.007 <sup>e-f</sup>	0.063 ±0.005 <sup>a-c</sup>	PLR1 <sup>2</sup>	0.029 ±0.006 <sup>a-b</sup>	0.009 ±0.001 <sup>a</sup>
CNI1 <sup>1</sup>	0.048 ±0.003 <sup>a-b</sup>	0.09 ±0.003 <sup>b-e</sup>	PXZ <sup>2</sup>	0.113 ±0.002 <sup>c</sup>	0.506 ±0.024 <sup>e-f</sup>
CML1 <sup>1</sup>	0.152 ±0.009 <sup>f</sup>	0.009 ±0.001 <sup>a</sup>	PJEM <sup>2</sup>	0.178 ±0.007 <sup>d</sup>	0.372 ±0.021 <sup>c-d</sup>
CSM2 <sup>1</sup>	0.113 ±0.002 <sup>c-f</sup>	0.506 ±0.02 <sup>i</sup>	CNI2 <sup>2</sup>	0.012 ±0.002 <sup>a</sup>	0.063 ±0.009 <sup>a-b</sup>
COBI <sup>1</sup>	0.466 ±0.03 <sup>i</sup>	0.774 ±0.024 <sup>k</sup>	RSNI <sup>2</sup>	0.329 ±0.03 <sup>e</sup>	0.466 ±0.015 <sup>e-f</sup>
CTA1 <sup>1</sup>	0.329 ±0.01 <sup>h</sup>	0.466 ±0.047 <sup>i</sup>	PBAI <sup>2</sup>	0.005 ±0.001 <sup>a</sup>	0.533 ±0.008 <sup>f-g</sup>
CXA1 <sup>1</sup>	0.063 ±0.002 <sup>a-d</sup>	0.023 ±0.004 <sup>a-b</sup>	PEC <sup>2</sup>	0.149 ±0.009 <sup>c-d</sup>	0.452 ±0.036 <sup>d-f</sup>

Clave	Plomo (mg L <sup>-1</sup> )	Cadmio (mg L <sup>-1</sup> )	Clave	Plomo (mg L <sup>-1</sup> )	Cadmio (mg L <sup>-1</sup> )
CPN3 <sup>1</sup>	0.082 ±0.003 <sup>b-e</sup>	0.009 ±0.003 <sup>a</sup>	PLJI <sup>2</sup>	0.017 ±0.003 <sup>a-b</sup>	0.6 ±0.049 <sup>g</sup>
CPI1 <sup>1</sup>	0.111 ±0.002 <sup>c-f</sup>	0.05 ±0.009 <sup>a-c</sup>	PUTV <sup>2</sup>	0.015 ±0.002 <sup>a-b</sup>	0.426 ±0.009 <sup>c-d</sup>
CDI1 <sup>1</sup>	0.029 ±0.004 <sup>a-b</sup>	0.023 ±0.004 <sup>a-b</sup>	PVII <sup>2</sup>	0.022 ±0.008 <sup>ab</sup>	0.493 ±0.008 <sup>e-f</sup>
CXA2 <sup>1</sup>	0.017 ±0.006 <sup>a</sup>	0.009 ±0.003 <sup>a</sup>	PLEC <sup>2</sup>	0.056 ±0.007 <sup>b</sup>	0.479 ±0.011 <sup>e-f</sup>
CLOI <sup>1</sup>	0.034 ±0.005 <sup>a-b</sup>	0.036 ±0.005 <sup>a-c</sup>	PEVI <sup>2</sup>	0.015 ±0.004 <sup>a-b</sup>	0.452 ±0.003 <sup>d-f</sup>
CLRI <sup>1</sup>	0.07 ±0.01 <sup>a-d</sup>	0.103 ±0.004 <sup>c-e</sup>	PMBI <sup>2</sup>	0.022 ±0.013 <sup>a-b</sup>	0.09 ±0.001 <sup>a-b</sup>
CVSA <sup>1</sup>	0.039 ±0.003 <sup>a-b</sup>	0.157 ±0.014 <sup>e-f</sup>	PBSS <sup>2</sup>	0.012 ±0.001 <sup>a</sup>	0.077 ±0.003 <sup>a-b</sup>
CMBI <sup>1</sup>	0.08 ±0.003 <sup>b-e</sup>	0.077 ±0.008 <sup>a-d</sup>	PENI <sup>2</sup>	0.015 ±0.003 <sup>a-b</sup>	0.023 ±0.001 <sup>a</sup>
CSM3 <sup>1</sup>	0.13 ±0.002 <sup>e-f</sup>	0.063 ±0.003 <sup>a-c</sup>	PRPA <sup>2</sup>	0.005 ±0.002 <sup>a</sup>	0.332 ±0.002 <sup>c</sup>
CCA1 <sup>1</sup>	0.274 ±0.01 <sup>g-h</sup>	0.278 ±0.01 <sup>g</sup>	PRMA <sup>2</sup>	0.007 ±0.002 <sup>a</sup>	0.533 ±0.017 <sup>f-g</sup>
RTI1 <sup>1</sup>	0.118 ±0.011 <sup>d-f</sup>	0.358 ±0.017 <sup>h</sup>	PLRE <sup>2</sup>	0.024 ±0.007 <sup>a-b</sup>	0.009 ±0.004 <sup>a</sup>
RMJ <sup>1</sup>	0.082 ±0.004 <sup>b-e</sup>	0.144 ±0.014 <sup>d-f</sup>	PRPO <sup>2</sup>	0.027 ±0.005 <sup>a-b</sup>	0.117 ±0.002 <sup>a</sup>
CPAI <sup>1</sup>	0.303 ±0.003 <sup>h</sup>	0.144 ±0.02 <sup>def</sup>	PRAL <sup>2</sup>	0.017 ±0.001 <sup>a-b</sup>	0.774 ±0.029 <sup>h</sup>
PHZ <sup>1</sup>	0.113 ±0.002 <sup>c-f</sup>	0.506 ±0.025 <sup>j</sup>			
$\bar{x} \pm SD$	0.135 ±0.004	0.194 ±0.008	$\bar{x} \pm SD$	0.049 ±0.003	0.268 ±0.009
CV (%)	2.92	3.9	CV (%)	5.75	3.46

Resultados expresados como la media ± la desviación estándar, letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas con  $p=0.05$ .  $\bar{x}$ = media; SD= desviación estándar; CV= coeficiente de variación; <sup>1</sup>= aguas residuales; <sup>2</sup>= aguas naturales y potables.

Asimismo, Kinuthia *et al.* (2020) documentó que los niveles de Pb en aguas residuales utilizadas para riego agrícola superaban los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América. En más del 30% de los estudios revisados se han identificado concentraciones de metales pesados como cromo (Cr), cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y zinc (Zn) por encima de los límites permisibles establecidos por la normatividad ambiental vigente.

Esta situación resalta la necesidad urgente de tratar adecuadamente los afluentes de aguas residuales antes de su descarga en cuerpos de agua superficiales, a fin de prevenir la contaminación de los mantos acuíferos subterráneos (Arti y Mehra, 2023). En la región del Valle del Mezquital, el uso de aguas residuales para el riego agrícola es una práctica común. Diversas investigaciones han evidenciado que los metales pesados presentes en estas aguas pueden ser absorbidos por las plantas.

En este sentido, Lara *et al.* (2015) reportaron la presencia de Cd y Pb en cultivos de maíz, alfalfa y girasol, con concentraciones que variaron de 0.001 a 0.096 mg kg<sup>-1</sup> para Cd y de 0.05 a 0.613 mg kg<sup>-1</sup> para Pb. Las concentraciones de Pb y Cd registradas en muestras de aguas naturales y potables superaron los límites permisibles en un 70% y 100% de los casos, respectivamente. Además, se observaron diferencias estadísticas entre los valores obtenidos (Cuadro 2, Figura 3 y Figura 4).



Figura 3. Grafica de concentraciones de Pb y Cd en aguas residuales.

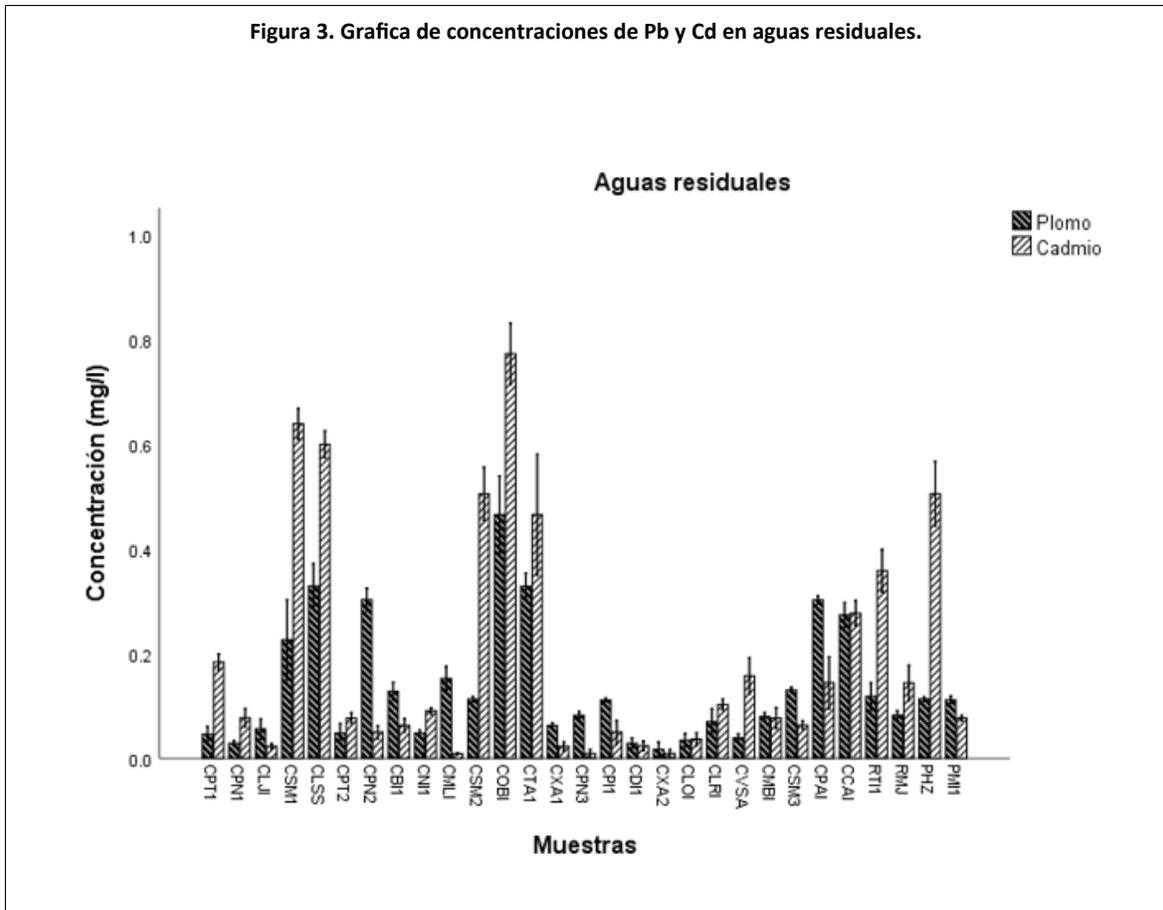
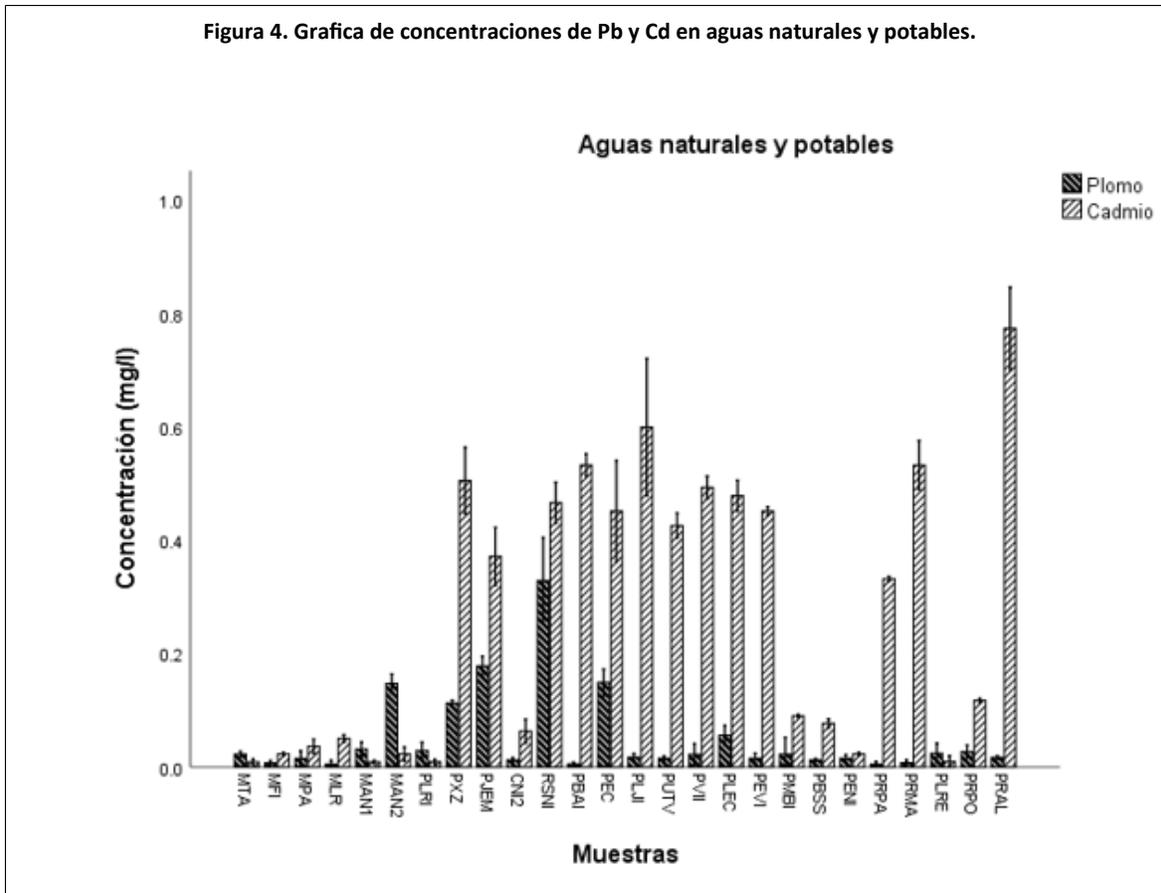


Figura 4. Grafica de concentraciones de Pb y Cd en aguas naturales y potables.



Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Balli y Leghouch (2018); Oloruntoba *et al.* (2022), quienes documentaron concentraciones elevadas de Pb y Cd en agua potable proveniente de pozos y manantiales. En ambos estudios, los niveles detectados exceden los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua apta para consumo humano, lo que representa un riesgo potencial para la salud pública.

Al respecto Sansom *et al.* (2019) reportaron que el 30.8% de los hogares analizados presentaban concentraciones de Pb en agua potable entre 0.6 y 2.4 g L<sup>-1</sup>, excediendo los límites permisibles y evidenciando la necesidad de proteger la salud pública. La contaminación de aguas subterráneas por metales pesados ya sea por causas geogénicas o antropogénicas, representa un riesgo significativo para la salud humana, especialmente mediante la ingesta de agua contaminada (Oloruntoba *et al.*, 2022).

Mejorar su calidad antes del consumo es esencial, aunque las plantas de tratamiento no generan efectos inmediatos debido a la acumulación de materia orgánica, microorganismos y metales pesados. En el Valle del Mezquital, las aguas residuales utilizadas para riego también recargan los acuíferos, contaminando las fuentes de agua potable. A nivel global, más del 20% del agua dulce disponible ya no satisface la demanda, y se estima que la mitad de la población enfrentará escasez severa (Mancosu *et al.*, 2015).

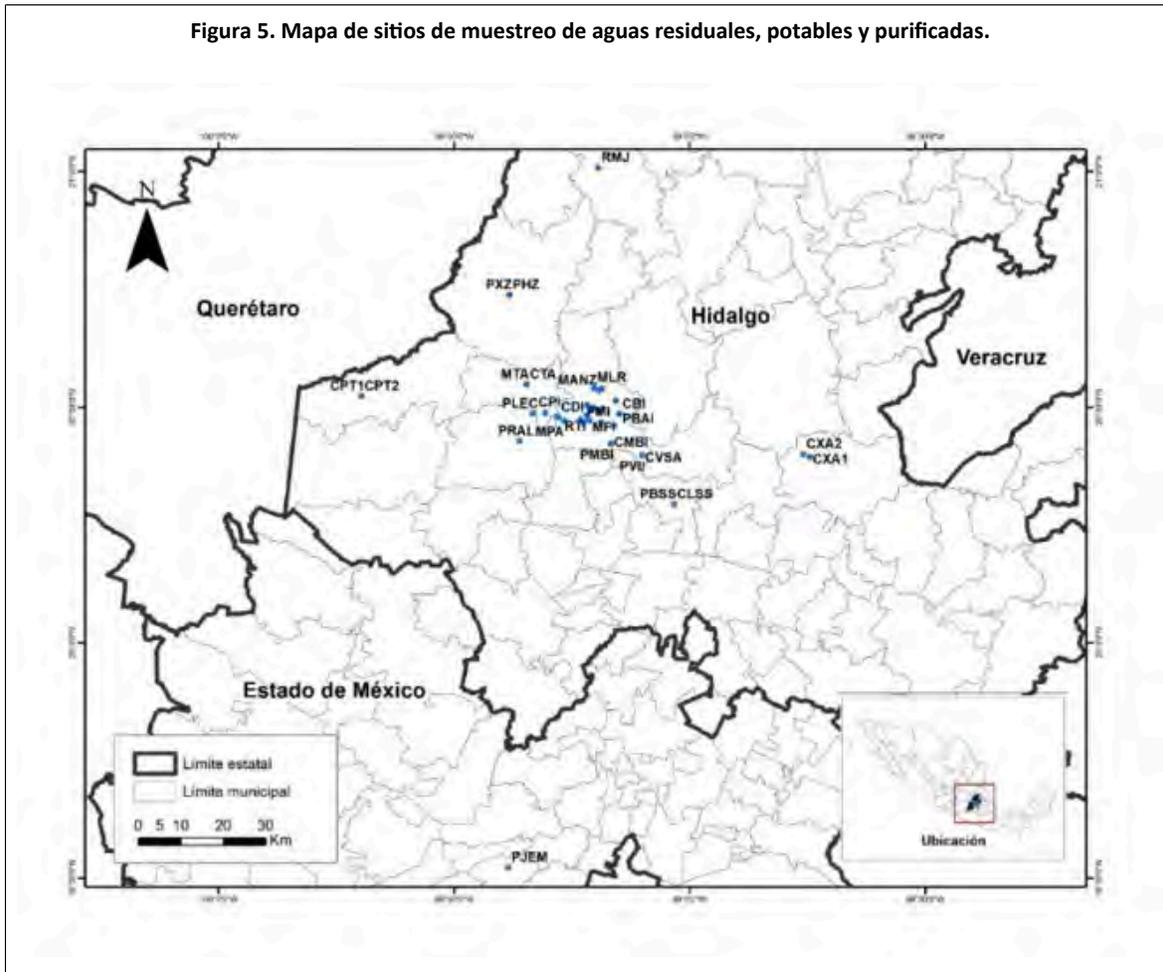
Esto resalta la urgencia de una gestión integral y un monitoreo continuo de los afluentes (Chamizo *et al.*, 2020), dada la toxicidad acumulativa en organismos vivos y su relación con enfermedades como el cáncer (Arti y Mehra, 2023). El agua es la principal vía de exposición humana a metales pesados. El Cd genera estrés oxidativo, daños en pulmones, riñones, huesos y es considerado carcinogénico (Bernhoft, 2013; Rinaldi *et al.*, 2017) El Pb, por su parte, afecta el sistema nervioso, presión arterial y el desarrollo cognitivo, especialmente en niños (Gidlow, 2004).

En el Valle del Mezquital, la contaminación del agua es el resultado del uso histórico de aguas residuales no tratadas para el riego agrícola, el vertido de residuos urbanos e industriales, así como el escurrimiento de agroquímicos desde suelos cultivados. Esta recarga contaminada de los acuíferos compromete las fuentes de abastecimiento.

Los resultados obtenidos en este estudio abren la puerta al desarrollo de investigaciones complementarias que incluyan parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, fundamentales para la toma de decisiones en el diseño de políticas públicas y estrategias de intervención. El uso de aguas residuales debe estar sujeto a estricta vigilancia, priorizando siempre la seguridad humana (Vázquez *et al.*, 2020).

De acuerdo a la zona de muestreo (Figura 5), no se observó una relación directa entre la concentración de Pb y Cd y la cercanía a los puntos de descarga. Aunque se esperaba una disminución en zonas más alejadas, los resultados no reflejan esta tendencia, sugiriendo una dispersión más compleja de los contaminantes.

Figura 5. Mapa de sitios de muestreo de aguas residuales, potables y purificadas.



## Conclusiones

El análisis de aguas realizado en la región del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, evidenció que las concentraciones de Pb y Cd exceden los límites permisibles establecidos por la normatividad mexicana vigente. En aguas residuales, los niveles de Pb y Cd superan dichos límites en un 26% y 30%, respectivamente. En el caso de aguas naturales y potables, las concentraciones rebasan los valores normativos en un 70% para Pb y hasta en un 100% para Cd. Estos resultados reflejan las consecuencias de más de un siglo de uso continuo de aguas residuales para el riego agrícola en la región.

Ante esta situación, es indispensable fortalecer y dar continuidad a estudios científicos orientados a la evaluación periódica y específica de contaminantes en cuerpos de agua. Asimismo, resulta fundamental implementar estrategias integrales para el manejo adecuado de residuos y el tratamiento eficiente de aguas, con miras a su reutilización segura en la agricultura. Para lograrlo, es crucial fomentar la colaboración entre los distintos sectores: académico, gubernamental, industrial y social, promoviendo un enfoque interdisciplinario que garantice la protección de la salud pública, la seguridad alimentaria y la sustentabilidad ambiental en la región.

## Bibliografía

- 1 Arti, M. R. 2023. Analysis of heavy metals and toxicity level in the tannery effluent and the environs. *Environ Monit Assess.* 195(554):1-13 <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11154-4>.
- 2 Balli, N. and Leghouchi, E. 2018. Assessment of lead and cadmium in groundwater sources used for drinking purposes in Jijel (Northeastern Algeria). *Global Nest Journal.* 20(2):417-423.
- 3 Bernhoft, R. A. 2013. Cadmium toxicity and treatment. *The Scientific World Journal.* 3:1-7. <https://doi.org/10.1155/2013/394652>.
- 4 Chamizo, C. S.; Otazo, S. S.; Gordillo, M. E.; Suárez S. A.; González, R. C. J. and Muñoz, N. H. 2020. Megacity wastewater poured into a nearby basin: looking for sustainable scenarios in a case study. *Water.* 12(3):824-844. <https://doi.org/10.3390/w12030824>.
- 5 Contreras, J. D.; Meza, R.; Siebe, C.; Rodríguez, D. S.; López, V. Y. A.; Castillo, R. G.; Amieva, R. I.; Solano, G. S. G.; Mazari, H. M. and Silva, M. M. A. 2017. Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Res.* 15(123):834-850.
- 6 García, S. E. M. 2019. El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional.* 29(54):1-34. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.741>.
- 7 Garduño, J. A. L.; Durán, Á. J. C.; Ortori, C. A.; Adelrazig, S.; Barrett, D. A. and Gomes, R. L. 2023. Delivering on sustainable development goals in wastewater reuse for agriculture: Initial prioritization of emerging pollutants in the Tula Valley, Mexico, *Water Research.* 238:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119903>.
- 8 Gidlow, D. A. 2004. Lead toxicity. *Occupational Medicine.* 54(2):76-81.
- 9 González, M. B.; Webster, R.; Fiedler, S.; Loza, R. E.; Hernández, J. M.; Ruíz, S. L.G. and Siebe, C. 2015. Short-term emissions of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O in response to periodic food irrigation with wastewater in the Mezquital Valley of Mexico. *Atmospheric Environment.* 101:116-124.
- 10 Guédron, S.; Duwig, C.; Prado, B. L.; Point D.; Flores, M. G. and Siebe, C. 2014. (Methyl) Mercury, arsenic, and lead contamination of the world's largest wastewater irrigation system: the Mezquital Valley Hidalgo Mexico. *Water Air Soil Pollut.* 225(2045):1-19. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2045-3>.
- 11 Hernández, E. A.; Arango, G. C.; Reyes, P. A.; Martínez, S. P.; Pita de la, P. C.; Macías, M. S.; Arias, P. A. and Breña, N. J. 2016. Water supply source evaluation in unmanaged aquifer recharge zones: The Mezquital Valley (México) case study. *Water.* 9(4):1-25.
- 12 Izquierdo, V. J. A.; Sánchez, G. M.; Peña, L. C. S.; Martínez, A. M. and Razo, L. M. 2022. Arsenic and fluoride in the drinking water in Tula City, México: challenges and lessons learned. *Water Air Soil Pollut.* 233(200):1-11. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05674-x>.

- 13 Kinuthia, G. K.; Ngure, V.; Beti, D.; Lugalia, R.; Wangila, A. and Kamau, L. 2020. Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: community health implication. *Scientific Reports*. 10(8434):1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65359-5>.
- 14 Lara, V. F. M.; Ventura, M. A.; Ehsan, M.; Rodríguez, O. A.; Vargas, M. J. y Landero, V. N. 2015. Contenido de Cd y Pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 31(2):127-132.
- 15 Lesser, L. E.; Mora, A.; Moreau, C.; Mahlknecht, J.; Hernández, A. A.; Ramírez, A. I. and Barrios, P. H. 2018. Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system. Mezquital Valley, Mexico. *Chemosphere*. 198:510-521.
- 16 Luneberg, K.; Schneider, D.; Siebe, C. and Daniel, R. 2018. Drylands soil bacterial community is affected by land-use change and different irrigation practices in the Mezquital Valley, Mexico. *Scientific Reports* . 8(1413):1-15.
- 17 Mancosu, N.; Snyder, R. L.; Kyriakakis, G. and Spano, D. 2015. Water scarcity and future challenges for food production. *Water*. 7(3):975-992. <https://doi.org/10.3390/w7030975>.
- 18 Oloruntoba, E. O.; Wada, O. Z. and Adejumo, M. 2022. Heavy metal analysis of drinking water supply, wastewater management, and human health risk assessment across secondary schools in Badagry coastal community, Lagos State, Nigeria. *International Journal of Environmental Health Research*. 32(9):1897-1914. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1926438>.
- 19 Rinaldi, M.; Micali, A.; Marini, H.; Adamo, E. B.; Puzzolo, D.; Pisani, A.; Trichilo, V.; Altavilla, D.; Squadrito, F. and Minutoli, L. 2017. Cadmium, organ toxicity and therapeutic approaches: a review on brain, kidney and testis damage. *Current Medical Chemistry*. 24(35):3879-3893.
- 20 Rosas, B. M. and García, S. E. M. 2024. Wastewater and agriculture in Mezquital Valley (Mexico): analyzing alternatives from circular economy and ecological economy using bibliometric review. *Discover Water*. 4(61):1-17. <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00111-y>.
- 21 Sansom G.; Cizmas, L.; Aarvig, K.; Dixon, B.; Kirsch, K. R.; Katare, A. and Sansom, L. 2019. Vulnerable populations exposed to lead-contaminated drinking water within Houston ship channel communities. *International Journal Environmental Research and Public Health*. 15(1-16):2745. <https://doi.org/10.3390/ijerph16152745>.
- 22 SCFI. 1980. Norma mexicana NMX-AA-003-1980. Aguas residuales-muestreo. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación*.
- 23 SCFI. 2001. Norma oficial mexicana. NMX-AA-051-SCFI-2001. 2001. Análisis de agua-determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
- 24 SCFI. 2022a. Norma oficial mexicana. NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores de la nación. *Diario Oficial de la Federación* .
- 25 SCFI. 2022b. Norma oficial mexicana. NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. *Diario Oficial de la Federación* .
- 26 Wu, X.; Cobbina, S. J.; Mao, G.; Xu, H.; Zhang, Z. and Yang L. 2016. Una revisión de la toxicidad y los mecanismos de metales pesados individuales y en mezclas en el medio ambiente. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(9):8244-59. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6333-x>.



## Determinación de plomo y cadmio en aguas del Valle del Mezquital

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 00 May 2025
Date accepted: 00 July 2025
Publication date: 15 October 2025
Publication date: Sep-Oct 2025
Volume: 16
Issue: esp30
Electronic Location Identifier: e4043
DOI: 10.29312/remexca.v16i30.4043
Article Id (other): 00006

### Categories

Subject: Artículos

### Palabras clave

#### Palabras clave

materia orgánica

metales pesados

salud pública

### Counts

Figures: 5

Tables: 2

Equations: 0

References: 26