

# GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE LA PRESA LA PURÍSIMA (GUANAJUATO)

Solis Reyes, Karla Fernanda (1), Zanor, Gabriela Ana (2), Martínez Jaime, Oscar Alejandro (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [kf.solisreyes@ugto.mx]

2 [Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [gzanor@ugto.mx]

3 [Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [oscarja@ugto.mx]

## Resumen

La presa La Purísima se encuentra localizada en el municipio de Guanajuato, abastece de agua al Distrito de Riego No. 011 y actúa en la recarga del acuífero Silao-Romita. Se tomaron muestras de sedimentos en 17 sitios aleatorios en dos épocas diferentes (seca y húmeda) y se efectuaron determinaciones de las concentraciones de As, Cu, Pb y Zn por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES), con la finalidad de evaluar la contaminación en sedimentos y su origen mediante el uso de índices de contaminación (índice de geoacumulación, factor de enriquecimiento, grado y factor de contaminación). También se realizó una comparación de las concentraciones medias de los elementos examinados en las épocas húmeda y seca en cada zona (lacustre, ribereña y de transición). Según el índice de geoacumulación, los sedimentos del embalse se encontraron no contaminados (Cu y Zn) a moderadamente contaminados (As y Pb), con mayores índices en la zona ribereña con origen antropogénico. Existieron diferencias significativas entre los promedios de concentración de los sedimentos de ambas épocas para el As en las zonas de transición y lacustre y para el Zn en la zona lacustre. Este estudio aporta información relevante para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico.

## Abstract

The dam La Purísima is located in the municipality of Guanajuato, provides water to the irrigation district No. 011 and acts on the recharge of the Silao-Romita aquifer. Sediment samples were collected at 17 random sites in two different seasons (dry and humid) and determinations were made of the concentrations of As, Cu, Pb and Zn by Atomic Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma (ICP-AES) in order to assess sediments environment pollution and their origin through the use of Pollution Indexes (Geoaccumulation index, enrichment factor, degree and pollution factor). A statistical analysis was also made to relate the concentrations of the elements examined with the humid and dry seasons in each zone (lacustrine, riparian and transition). According to the index of geoaccumulation, the sediments of the reservoir were found uncontaminated (Cu and Zn) to moderately contaminated (As and Pb) with higher indices in the zone riparian and of anthropogenic origin. According to the statistical analysis, there is a difference of concentration in the sediments between both seasons for the As (transition and lacustrine zones) and Zn (lacustrine zone). This study provides relevant information for decision-making in the management of water resources.

## Palabras Clave

Sedimentos de fondo; embalses; contaminación; metales; variación estacional

## INTRODUCCIÓN

La presa la Purísima se localiza en el estado de Guanajuato, en la parte suroeste del municipio de Guanajuato. Este embalse abastece de agua al distrito de riego No. 011 y tiene alta importancia en la recarga del acuífero Silao-Romita [1]. Diferentes autores [2], [3] y [4] han efectuado investigaciones en donde demuestran la presencia de diversos contaminantes en concentraciones elevadas en la presa, principalmente a causa de los desechos de la actividad minera y el insuficiente manejo de aguas residuales y residuos sólidos.

Los sedimentos de lagos (naturales o artificiales) proveen información muy valiosa de la historia de la calidad del agua, ya que actúan como un sistema colector de contaminantes porque debido a los procesos fisicoquímicos de precipitación y sedimentación, grandes variedades de elementos tóxicos y en especial, los metales pesados [5]. Los metales pesados y metaloides acumulados en los sedimentos pueden transformarse en formas químicas biodisponibles, resuspenderse hacia la columna de agua y provocar daños a la salud humana y al desarrollo de los ecosistemas, debido a que esos elementos no son eliminados por procesos naturales y pueden incorporarse a las cadenas alimenticias por medio de procesos de bioacumulación, bioconcentración o biomagnificación [6]. Sin embargo, aunque los elementos contaminantes tengan una importante fuente en las actividades de origen antropogénico (minería, agricultura, residuos industriales y domésticos), se tiene que considerar que los sedimentos de embalses se forman con una contribución importante de rocas, sedimentos y suelos [7], que pueden contribuir significativamente con los niveles anómalos de ciertos elementos.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la concentración de metales pesados (Cu, Pb y Zn) y arsénico (As) en sedimento de la presa La Purísima durante dos épocas del año (seca y húmeda), así como también evaluar la contaminación de los sedimentos mediante el uso de índices de contaminación (Índice de Geoacumulación, Factor de Enriquecimiento, Grado y Factor de contaminación). Asimismo, se emplearon métodos estadísticos para analizar las variaciones de las concentraciones de los elementos estudiados entre las diferentes zonas de estudio (ribereña, transicional y lacustre) y las diferentes épocas del año. El resultado de este estudio brindará respuestas que permitan apoyar en la gestión del recurso hídrico y la toma de decisiones para preservar el ecosistema.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de sedimentos se llevó a cabo en enero de 2017 (época seca) y en septiembre 2017 (época húmeda). El muestreo se realizó de manera aleatoria, donde se incluyeron las entradas de los ríos Guanajuato y Chapín (zona ribereña), la zona de transición y la zona más profunda (zona lacustre), obteniendo en total 17 puntos (Imagen 1). La extracción de los sedimentos se efectuó utilizando una draga EKMAN, a una profundidad de 30 cm. Las concentraciones de As, Cu, Pb y Zn se cuantificaron en el laboratorio del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, A.C.), León (Gto.) mediante Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES). Con los datos obtenidos, se realizó una comparación de dos muestras aleatorias independientes de las medias de las concentraciones de cada elemento examinado en las dos épocas de muestreo (seca y húmeda) (prueba de t), para cada zona (lacustre, ribereña y transición) [8].

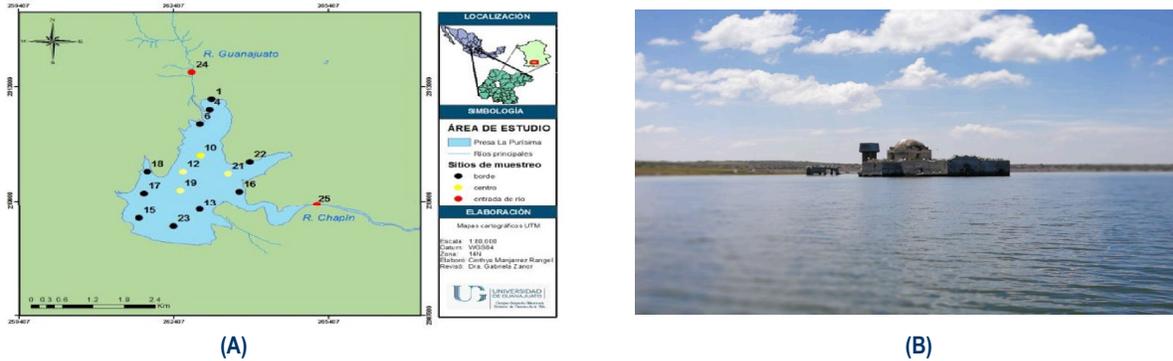


IMAGEN 1: (A) localización de los puntos de muestreo dentro del embalse. (B) Fotografía de la Presa La Purísima (Enero 2017).

Además, se calcularon el índice de geoacumulación (Igeo) [9], el Factor de Enriquecimiento (FE) [10] y el Factor de contaminación y el grado de contaminación [11]. El Igeo es utilizado para evaluar la contaminación a través de la relación de la concentración medida frente a los valores de referencia, con base en la siguiente fórmula [9]:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n}$$

Donde  $C_n$  es la concentración del elemento en el sedimento,  $B_n$  es la concentración de fondo del elemento (corteza continental) y 1.5 es el factor de corrección de efectos litogénicos. En la Tabla 1 se presentan las categorías de interpretación del Igeo. Por su parte, el FE informa acerca del origen natural o antropogénico [10]. La fórmula es:

$$FE = \frac{C_n(\text{muestra})}{C_{ref}(\text{muestra})} = \frac{B_n(\text{fondo})}{B_{ref}(\text{fondo})}$$

Donde  $C_n$  es la concentración del elemento examinado en la muestra,  $C_{ref}$  es la concentración del elemento de referencia en la muestra, en este estudio se utilizó el Fe,  $B_n$  es la concentración del elemento examinado en la corteza terrestre y  $B_{ref}$  es la concentración del elemento del Fe en la corteza terrestre. En la Tabla 2 se presentan las categorías de interpretación del FE [10].

El factor de contaminación ( $C_f^i$ ) se evalúa en base a la siguiente fórmula [11]:

$$C_f^i = \frac{C_0^i - 1}{C_n^i} =$$

Donde  $C_0^i - 1$  es el contenido promedio de metales de al menos cinco sitios de muestreo y  $C_n^i$  es la concentración preindustrial del metal individual (corteza terrestre como valor de referencia). Se divide en cuatro categorías (Tabla 3).

La suma de los factores de contaminación para todos los elementos examinados representa el grado de contaminación ( $C_{deg}$ ) del medio ambiente, con cuatro clases (Tabla 4) [11].

**Tabla 1: Clases del Igeo y calidad del sedimento.**

Clase	Valor	Calidad del sedimento
0	$I_{geo} < 0$	No contaminado
1	$0 < I_{geo} < 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < I_{geo} < 3$	De moderado a fuertemente contaminado
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < I_{geo} < 5$	De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado
6	$5 < I_{geo}$	Extremadamente contaminado

**Tabla 2: Categoría del Factor de Enriquecimiento.**

Valor	Categoría
$FE < 2$	Enriquecimiento deficiente a mínimo
$FE = 2-5$	Enriquecimiento moderado
$FE = 5-20$	Enriquecimiento significativo
$FE = 20-40$	Muy alto enriquecimiento
$FE > 40$	Extremadamente alto enriquecimiento

**Tabla 3: Categoría del Factor de Contaminación**

Valor	Categoría
$C_f < 1$	Baja contaminación
$1 \leq C_f < 3$	Factor de contaminación moderado
$3 \leq C_f < 6$	Factor de contaminación considerable
$6 \leq C_f$	Factor de contaminación muy alto

**Tabla 4: Categoría del Grado de Contaminación.**

Valor	Categoría
$C_{deg} < 8$	Baja grado de contaminación
$8 \leq C_{deg} < 16$	Moderado grado de contaminación
$16 \leq C_{deg} < 32$	Considerable grado de contaminación
$32 \leq C_{deg}$	Muy alto grado de contaminación

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

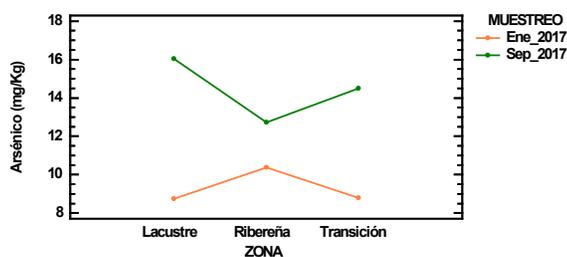
En la Tabla 5 se observa que el Cu y el Zn presentaron un Igeo de 0 para ambas épocas (húmeda y seca) mientras que el Pb y el As mostraron un Igeo de 1 y 2 (moderadamente contaminado). Los FE en la época seca indicaron un origen antropogénico para el As, Pb y Zn, para el Cu solo la zona de transición presentó un enriquecimiento antropogénico. Por otra parte, los FE del Cu, Pb y Zn para la época húmeda indicaron un origen natural, a excepción del As, que presentó un enriquecimiento antropogénico en los sedimentos. La presencia de As, Zn y Pb podría atribuirse a la influencia de los residuos mineros y mineralizaciones mientras que el Cu podría ser explicado por los procedimientos mineros utilizados en el pasado.

**Tabla 5: Índices de contaminación calculados en los sedimentos de la presa para las épocas seca y húmeda.**

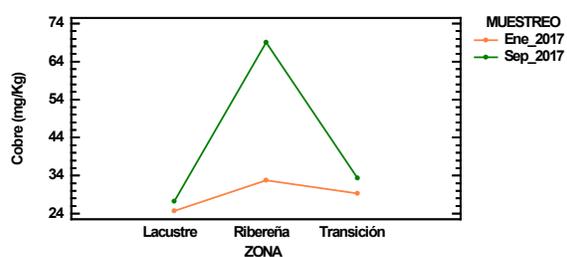
Índice	Elemento	Época seca			Época húmeda		
		Valor	Clase	Categoría	Valor	Clase	Categoría
Igeo	As	0.29	1	No Contaminado a moderadamente contaminado	1.02	2	Moderadamente contaminado
	Cu	-0.71	0	No Contaminado	-0.38	0	No Contaminado
	Pb	0.07	1	No Contaminado a moderadamente	0.11	1	No Contaminado a moderadamente

	contaminado			contaminado			
	Zn	-0.29	0	No Contaminado	-0.09	0	No Contaminado
FE	As	3.03		Enriquecimiento moderado	3.68		Enriquecimiento moderado
	Cu	1.61		Enriquecimiento deficiente a mínimo	1.47		Enriquecimiento deficiente a mínimo
	Pb	2.88		Enriquecimiento moderado	1.96		Enriquecimiento deficiente a mínimo
	Zn	2.03		Enriquecimiento moderado	1.68		Enriquecimiento deficiente a mínimo
T	As	1.70		Contaminación moderada	2.90		Contaminación moderada
	Cu	0.99		Baja contaminación	1.24		Contaminación moderada
	Pb	1.73		Contaminación moderada	1.63		Contaminación moderada
	Zn	1.26		Contaminación moderada	1.41		Contaminación moderada
Cdeg	As, Cu, Pb y Zn	5.68		Bajo grado de contaminación	7.18		Bajo grado de contaminación

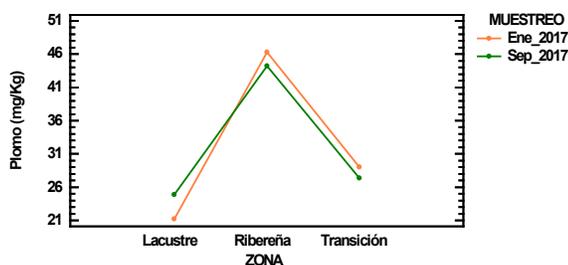
Para la zona lacustre, existieron diferencias significativas entre las dos épocas para los promedios de las concentraciones del As ( $t=-4.00$ ,  $P=0.0024^{**}$ ) (imagen 2), así como para el Zn ( $t=-2.73$ ,  $P=0.0210^{*}$ ) (imagen 5). Mientras que en la zona de transición, las medias de la concentración de As en ambas épocas también resultó diferente estadísticamente ( $t=-4.16$ ,  $P=0.0019^{**}$ ) (imagen 2).



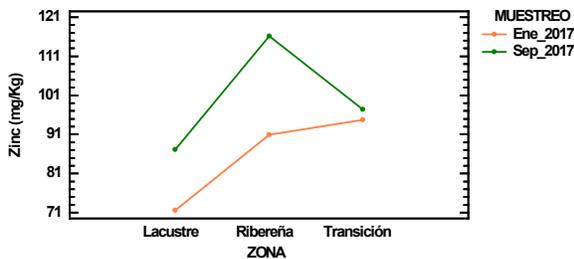
**IMAGEN 2:** Concentraciones de As en las tres zonas de muestreo para la época seca y húmeda.



**IMAGEN 2:** Concentraciones de Cu en las tres zonas de muestreo para la época seca y húmeda.



**IMAGEN 4:** Concentraciones de Pb en las tres zonas de muestreo para la época seca y húmeda.



**IMAGEN 3:** Concentraciones de Zn en las tres zonas de muestreo para la época seca y húmeda.

## CONCLUSIONES

- Según los índices de contaminación aplicados, el As es el contaminante que mostró un mayor enriquecimiento debido a un origen antrópico (actividad minera y mineralizaciones). En segundo lugar, el Pb presentó un enriquecimiento moderado, mientras que el Cu y el Zn mostraron en general una concentración equivalente a las rocas de la corteza (origen natural).
- La zona ribereña es donde se encuentra el mayor nivel de contaminación para los sedimentos.
- Se registraron diferencias estadísticas significativas en los promedios de las concentraciones de As y Zn en los sedimentos entre ambas épocas, para la zona de transición; y para el As en la zona lacustre. Esto se explicaría por un mayor arrastre de los contaminantes por la lluvia y por escorrentías en la época húmeda.
- Este estudio en conjunto con el análisis de metales pesados en la columna de agua ayudará a determinar la biodisponibilidad de estos elementos en el embalse.
- Esta investigación aportó información crucial para poder coadyuvar a las dependencias ambientales en la implementación de medidas preventivas y/o correctivas en la cuenca para el manejo, cuidado y conservación de este recurso hídrico.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato por haberme aceptado como estudiante y al Verano de investigación UG.

A la Dra. Gabriela Ana Zanor, por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación, y compartirme sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Al Mtro. Oscar Alejandro Martínez Jaime por sus valiosas aportaciones en el análisis estadístico.

A mis amigos y a Roldán por apoyarme en mis estudios.

A mi familia por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado motivándome y aconsejándome siempre.

## REFERENCIAS

- [1] Instituto de Ecología del Estado IEE. (25 de Noviembre de 2005). Presa La Purísima y su Zona de Influencia. Recuperado de Instituto de Ecología del Estado: <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/areas-naturales-protectidas/17/Presa-La-Pur%C3%ADsima-y-su-Zona-de-Influencia>
- [2] Córdova, S.E., Esparza, J.J. (2016). Generación de escenario de potencial de contaminación del acuífero Silao-Romita, en Guanajuato. En: Revista Internacional de Estadística y Geografía. 7(2), 40-56.
- [3] Cano, R.I., Gómez, F.J. FV., Ramírez, V.M., Dueñas, O.F., Rodríguez, E.R. y Aguilera, A. F.A. (2000). Determinación de Contaminantes en la Presa la Purísima y su Efecto en el Sistema de Pozos Puentecillas de Guanajuato. En: Asignación, Productividad y Manejo de Recursos Hídricos en Cuencas. Pp 123-133. International Water Management Institute, Serie Latinoamericana de México #20, México y Colombo, Sri Lanka.
- [4] Flores García, E. M., & Zanor, G. A. (2017). Evaluación de la contaminación por elementos traza en sedimentos de la Presa La Purísima (Guanajuato). (V. d. científica, Ed.) Jóvenes en la Ciencia, 3(1).
- [5] Trejo, F. R., López, A. G., Segura, R. V., Zermeño, R. M., Ruiz, P. A., Mijares, J. A., & Flores, L. L. (2005). La medición de sedimentos en México. Villahermosa, Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- [6] Núñez, J. H., Corrales, J. R., Campos, J. M., Silva, V. S., & Alpizar, H. B. (Enero-Marzo de 2013). Evaluation of heavy metals in superficial sediments of Pirro river. Tecnología en Marcha, 26(1), 27-36.
- [7] Hernández, M. d. (2008). Síntesis Geográfica de Guanajuato. INEGI, Guanajuato. Recuperado de [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220457/702825220457\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220457/702825220457_1.pdf)

- [8] Statgraphics Plus Ver. 5.1 Professional. (2001). STSC and Statistical Graphics Corporation. Bakersville, Maryland, USA
- [9] Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- [10] Sutherland RA. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ Geol* 2000;39:611 – 27.
- [11] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res* 1980;14:975 – 1001.