






Concentración por gravimetría de un depósito tipo SEDEX de (Au-Pt) Concentration by gravimetry of a SEDEX-type deposit of (Au-Pt)

J. Hernández-Ávila ^{a,*}, E. Cerecedo-Sáenz ^a, E. Salinas-Rodríguez ^a, A Arenas-Flores ^a, M. del P. Gutiérrez-Amador ^b, C. Monroy-Olguín ^a

^a Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, México.

^b Escuela Superior de Apan, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Apan-Calpulalpan km 8, Apan, 43920, Hidalgo, México

Resumen

En este trabajo se realizó la caracterización y la concentración gravimétrica de oro y platino contenidos en un mineral tipo SEDEX, proveniente de la región de Molango en el estado de Hidalgo, México, dicho mineral presentó una composición química promedio en % en peso de 32.72 de Si, 4.92 de Al, 0.62 de Fe, 0.70 de Mn, 1.25 de K, 57.07 de C, 0.61 de Na, 0.2 de Mg, 0.21 de Ti y de 0.34 g/ton de Pt, 0.71 g/ton de Pd, 0.23 g/ton de Ag y 7.67 g/ton de Au; así mismo presenta como fases mineralógicas mayoritarias: ilmenita, calcopirita, cuarzo, mogonita, argentopirita, moscovita. Por otra parte los resultados de concentración gravimétrica reveló que las mayores recuperaciones de concentrados de estos metales se presentan entre las mallas 80 a 150 con rangos de recuperación de 37 a 55 g de elementos metálicos con contenidos del 23 % Au y del 3 % de Pt.

Palabras Clave: Concentración gravimétrica, metales preciosos, SEDEX.

Abstract

In this work the characterization and gravimetric concentration of the precious metals contained in a SEDEX type mineral, from the Molango region in the state of Hidalgo, Mexico, was performed, said mineral presented an average chemical composition in weight% 32.72 of Si, 4.92 of Al, 0.62 of Fe, 0.70 of Mn, 1.25 of K, 57.07 of C, 0.61 of Na, 0.2 of Mg, 0.21 of Ti and 0.34 g/ton of Pt, 0.71 g/ton of Pd, 0.23 g/ton of Ag y 7.67 g/ton of Au.; Likewise, it presents as majority mineralogical phases: ilmenite, calcopirite, quartz, mogonite, argentopirite, moscovite. On the other hand, the results of gravimetric concentration revealed that the greatest recoveries of these metal concentrates occur between 80 to 150 meshes with recovery ranges of 37 to 55 g of metallic elements with contents of 23% Au and 3% Pt.

Keywords: Gravimetric, concentration, precious metals, SEDEX.

1. Introducción

La concentración gravimétrica es un proceso donde se basa en la diferencia de peso específico entre los minerales a separarse que están conjugados con la acción de fuerzas hidráulicas, fricción y gravedad, donde mantienen un comportamiento diferente en las partículas de mineral valioso y ganga manteniendo las partículas alejadas unas de otras para que puedan moverse con facilidad y separarse en capas de mineral valioso y ganga, mientras mayor es la

diferencia del peso específico de los metales útiles mayor será la efectividad de separación, con adición de agua, teniendo en cuenta la presión y el flujo de ésta (Aguilar, 2014).

Así mismo, Los medios para la recuperación de metales nativos es por concentración por amalgamación, lixiviación, Concentración por flotación, Concentración centrífuga y Concentración gravimétrica, lo cual dependerá de proceso a utilizar de acuerdo a los contenidos de estos en el mineral.

* Autor para la correspondencia: herjuan@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: herjuan@uaeh.edu.mx (Juan Hernández Ávila), mardenjazz@yahoo.com.mx (Eduardo Cerecedo Sáenz), salinasr@uaeh.edu.mx (Eleazar Salinas Rodríguez), arenasa@uaeh.edu.mx (Alberto Arenas Flores), gutierrezam@yahoo.com (María del P. Gutiérrez-Amador), mo391627@uaeh.edu.mx (Celina Monroy Olguín).

Por su parte los métodos de concentración gravitacional son preferidos en relación a los procesos de flotación debido a que los costos favorecen su uso, miscible en agua, estable, no tóxico, no corrosivo y además son menos contaminantes del medio ambiente. Así mismo, en un posterior tratamiento hidrometalúrgico la reducción del tamaño de la planta de cianuración, puesto que la planta evita el tiempo excesivo para la disolución de granos grandes de oro, recuperación de granos de oro encapsulados que pueden resistirse o retardar la disolución con cianuro, ahorro en el consumo de reactivos y poca pérdida de oro entre las soleras del molino (Aguilar, 2014).

En México, y especialmente en Hidalgo, la extracción minera es una de las actividades económicas de mayor tradición desde la época prehispánica hasta nuestros días, las cuáles se han centrado principalmente en minerales con contenidos de oro y plata, estas han incluido tecnologías que van desde el beneficio del Patio, los tanques Pachuca, hasta los circuitos con tecnologías aún vigentes como la molienda, flotación y cianuración, de los cuales el estado de Hidalgo en México ha sido pionero en este rubro a nivel mundial (Salinas, et al., 2017, Salinas et al., 2016). Así mismo, la evolución de las necesidades de extracción minera han ido de la mano del avance de las nuevas tecnologías pasando de extracción convencional de metales base a materiales estratégicos para uso de alta tecnología; así mismo, las fuentes de minerales se han diversificado desde los yacimientos superficiales de tipo ígneo que se han explotado desde hace cinco siglos en América con procesos convencionales de metalurgia extractiva tradicionales pasando a las menas complejas con minerales metamorfizados y de yacimientos sedimentarios con problemas extractivos diferentes y de comportamiento mineralógico de su mena (Ortiz, et al., 2009, Roldán, et al., 2018, Cerecedo, et al., 2018, Salinas, et al., 2018, Hinojosa, 2016).

Por otra parte, los yacimientos sedimentarios exhalativos (SEDEX), con un alto contenido de carbón, se dividen en depósitos de metales base con acumulaciones estratiformes de metales (Cu, Pb y Zn y, de forma subordinada, Ba, Ag, Au, Fe y Mn), en forma mayoritariamente sulfuros, aunque también de sulfatos y óxidos. Estos aparecen en cantidades muy variables, desde varios cientos de millones de toneladas (Fiallos, 2020, Roldán et al., 2018, Cerecedo, et al., 2018, Jowet, 1986, Rivera 2017).

Es por esto, la importancia de probar e implementar nuevas técnicas de concentración para estos metales preciosos que se encuentran en forma nativa a través de procesos gravimétricos debido al tamaño de partícula y densidades para establecer las mejores condiciones a través de estos procesos no convencionales, los cuales son amigables al medio ambiente, en donde posterior a este proceso se pretende obtener recuperaciones mayores del 90% de Pt y Au por algún otro proceso de metalurgia extractiva.

2. Experimental

El mineral proveniente del yacimiento tipo SEDEX ubicado en la zona de Molango, Hidalgo, México, se trata de un yacimiento sedimentario estratiforme, cómo lo indica su tipo, su litología se considera del tipo homogénea, y por lo tanto, sus contenidos son similares. Por otro lado, se comprobó en campo con un muestreo preliminar de orientación su homogeneidad en sentido lateral. En lo referente a el sentido vertical se realizó un muestreo por canal colectando 70 kg de muestra, las cuales fueron procesadas en una trituradora de quijadas marca Denver y en un molino de rodillos marca Quiin, posteriormente se cuarteo para obtener una muestra homogénea representativa para su posterior caracterización química, morfológica, mineralógica y granulométrica del material. El análisis granulométrico se realizó por vía húmeda la cual se realizó por triplicado, (Norma ASTM D422-63) y se llevó a cabo con tamices estándar (serie Tyler MR.), No. 80,100, 140, 200, 270, 400, utilizando una muestra mineral de 100 g, pesando posteriormente las fracciones obtenidas. Se procedió a realizar la caracterización. Así mismo, se realizó el análisis instrumental de las fracciones obtenidas iniciando con Difracción de rayos X por medio de un difractorómetro INEL Equinox 2000. La base de datos MATCH se utilizó para indexar los espectros. Entre tanto, para la cuantificación de los elementos contenidos en las muestras minerales se analizaron mediante un Espectrofotómetro de emisión con plasma de acoplamiento inductivo utilizando un equipo Perkin Elmer modelo 2100 (AES-ICP) con un límite de detección mínimo de 1ppm. También, se utilizó Microscopia Electrónica de Barrido utilizando un equipo marca JEOL modelo JSM-IT3000 con un detector de EDS de rayos X (espectrómetro de dispersión de energía) marca Oxford, el cual fue utilizado para observar la morfología y la composición semicuantitativa de las muestras, antes y después de realizar la concentración de los metales preciosos. Finalmente, para realizar las pruebas gravimétricas se utilizó una mesa concentradora de la marca Wilfley, donde se pesaron 100 g de mineral por mallas estudiadas, previamente acondicionada con agua con una relación de 2:1 agua-mineral, mezclándolos y generando una pulpa, vertiendo está en el área de alimentación de la mesa, con un flujo de agua de 5 L/min y un ángulo de trabajo de 17°, con una velocidad de trabajo de 325 rpm, donde se realizaron 5 lavados a cada una de las muestras.

3. Resultados y discusión

En la figura 1, se muestra la distribución granulométrica del mineral estudiado en proporción todo uno, donde se puede apreciar que el mayor porcentaje de retención de este se encuentra en la malla 140 con un 23.2 %, posteriormente presenta una caída muy abrupta hasta la malla 400 que es donde se encuentra el peso retenido mínimo que es del 7.50 %. Entre tanto, en la malla -400 se presenta un 14.2 %.

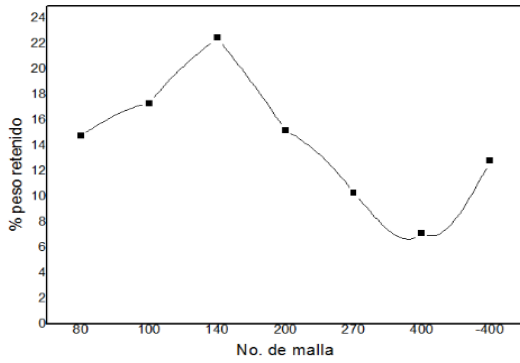


Figura 1. Distribución granulométrica del mineral tipo SEDEX.

En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos por ICP de los elementos contenidos en el mineral estudiado, en la cual se puede apreciar contenidos mayoritarios Si, C, O, Al, K y minoritarios como Mg, S, Na, K y Ti, Au, Ag, Pd y Pt.

Tabla 1. Composición promedio del mineral tipo SEDEX.

Elemento	%	Elemento	g/ton
C	57.07	Pt	0.34
Na	0.61	Au	7.67
Mg	0.2	Ag	0.23
Al	4.92	Pd	0.71
Si	32.72		
S	0.87		
Fe	0.62		
K	1.25		
Ti	0.21		
Ca	0.2		

Los resultados obtenidos por microscopía electrónica de barrido se muestran en la figura 2, donde se observa una morfología irregular de las partículas, con contenidos mayoritarios de Si, Al, Mg, K, Fe, S y minoritarios como el Na, Ba, Au, Pt, Pd. Así mismo se observa la distribución de los elementos presentes mediante el mapeo de la zona de estudio.

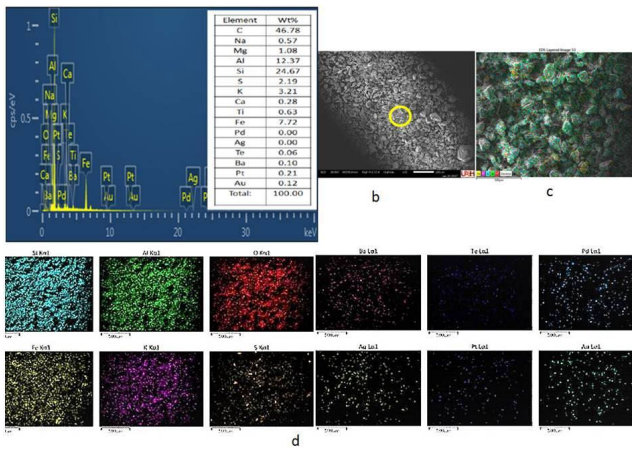


Figura 2. Microfotografía del mineral SEDEX – 320 mallas a) resultado del microanálisis general SEM-EDS b) Imagen general, 2000X, SEM, c) imagen puntual donde fue tomado el microanálisis d) mapping de distribución de elementos presentes.

En la figura 3 se observan las especies minerales identificadas por Difracción de Rayos X, en la que se puede observar la presencia de ilmenita [00-003-0781], cuarzo [99-100-5718], monacita [99-100-2737].

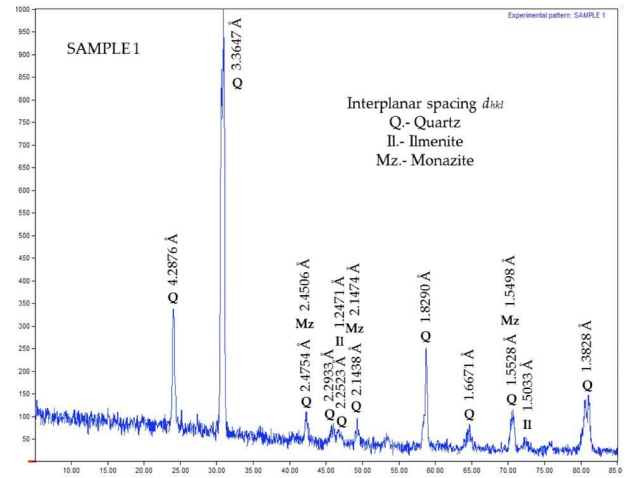


Figura 3. Difractograma de rayos X del material tipo SEDEX estudiado. Obtenida con una radiación de Co K α 1 de longitud 1.78 Å, un voltaje de 30 Kv, una intensidad de 20 mA y un ángulo de barrido de 10 a 110°.

Resultados de concentración por mesa concentradora.

En la figura 4, muestra la mesa concentradora en la cual se puede apreciar los concentrados metálicos después del lavado.



Figura 4. Mesa concentradora con lavado de mineral.

En la figura 5, se presentan los resultados de la concentración gravimétrica realizada al mineral recuperado por malla, en donde se aprecia que en la malla 100 es donde se obtuvo la mejor concentración con una recuperación del 55 g, seguida de la malla 140 con 50 g de elementos

metálicos, así mismo se puede observar que estas recuperaciones se presentan en mayor proporción entre los rangos de número de malla 50 a 200 mallas, debido a que el mineral presenta partículas grandes de metales nativos.

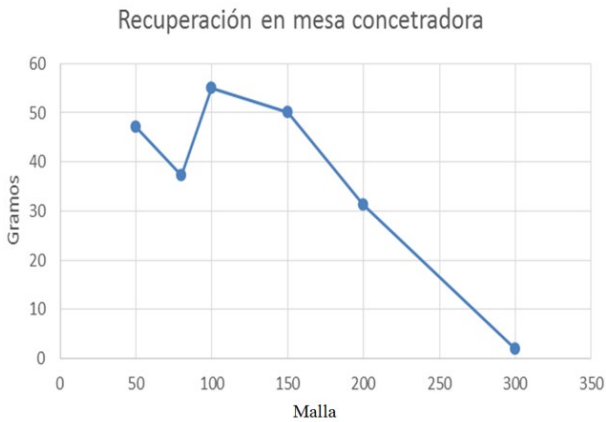


Figura 5. Contenidos de la concentración gravimétrica por malla.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos por ICP de los elementos contenidos en el mineral concentrado en malla 100, en la cual se puede apreciar contenidos mayoritarios C, Au, Pd y Pt y minoritarios como Ag, Fe y S lo que ratifica que este método es eficiente para concentración de estos metálicos contenidos en este tipo de mineral.

Tabla 2. Composición promedio del concentrado por ICP.

Elemento	%	Elemento	g/ton
C	44.07	Pt	2.34
Na	0.11	Au	3.67
Mg	0.12	Ag	1.23
Al	2.29	Pd	1.81
Si	22.27		
S	0.99		
Fe	5.81		
K	0.25		
Ti	0.11		
Ca	0.1		

En la figura 6 observamos el difractograma obtenido de los concentrados procedentes de la concentración gravimétrica, encontrando como fases mayoritarias Au, Pt, C.

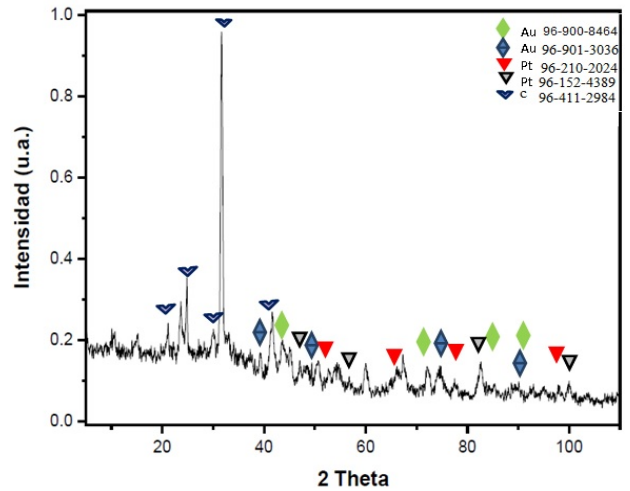


Figura 6. Difractograma realizado al mineral concentrado por método de mesa concentradora. Obtenida con una radiación de Co K α 1 de longitud 1.78 Å, un voltaje de 30 Kv, una intensidad de 20 mA y una velocidad de barrido de 22 θ /min.

En la figura 7, se observan los resultados obtenidos por microscopía electrónica de barrido después de realizar la concentración gravimétrica, en donde se aprecia que el contenido de oro se incrementó considerablemente, así como el platino con contenidos en peso con respecto a la mena procesada.

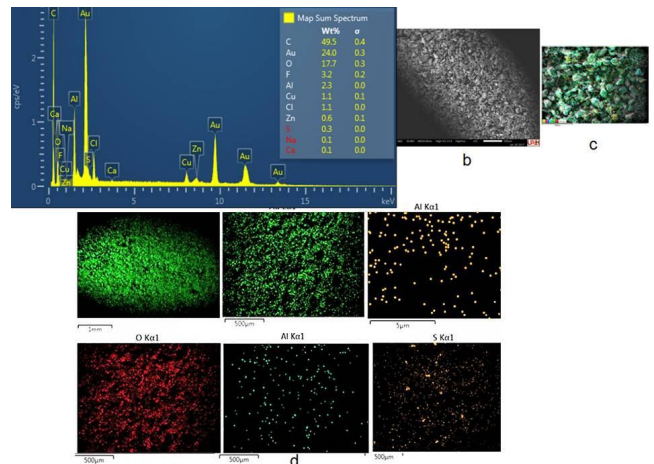


Figura 7. Microfotografía del concentrado – 100 mallas a) resultado del microanálisis general SEM-EDS b) Imagen general, 2000X, SEM, c) imagen puntual donde fue tomado el microanálisis d) mapping de distribución de elementos presentes.

Por otra parte, una vez obtenido los concentrados se procedió a realizar la copelación de los mismos, recuperando dos botones los cuales presentaban pesos de 5 y 10g cada uno, los cuales posteriormente fueron caracterizados por DRX donde se pudo observar la presencia de Au y Pt, y por AAS obteniendo una composición de 2 g de Au y 1 gramo de Pt, como se observa en la figura 8.

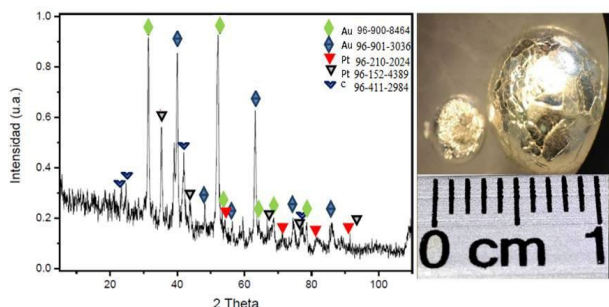


Figura 8. Imagen del botón obtenido por copelación y su espectro DRX.

En base a los resultados obtenidos se pudo corroborar la presencia de los metales del grupo de los platinoides, lo cual es de gran interés ya que en México no se han reportado la presencia de Pt y Pd principalmente, así como su recuperación. Por otra parte, se determinó que la mayor concentración de estos metales se obtuvo en tamaños de partículas de malla 100 lo que indica la presencia de estos en forma nativa, lo cual favorece para su concentración, por lo anterior, se concluyó que el método de concentración propuesto para la recuperación de los metales preciosos a partir de los minerales tipo SEDEX, es adecuado.

4. Conclusiones

Se determinó que para la concentración del mineral tipo SEDEX el uso del método de la mesa concentradora para partículas contenidas en los rangos entre las mallas 50 a 200, obteniendo la mayor concentración en la malla 100 que fue de 55 g, con contenidos de oro hasta de un 23 g/ton y de 2 g/ton de Pt, así mismo se recomienda realizar la recuperación de estos metales preciosos por procesos de lixiviación para el tamaño de partículas menores a 200 mallas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del CONACyT.

Referencias

- Aguilar Velín, K. D. R. (2014). Mejoramiento y simulación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración ubicada en Piñas, Provincia De El Oro (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2014).
- Cerecedo, E., Rodríguez, V., Andrade, P. D., Salinas, E., Hernández, J., & Arenas, A. (2015). Chemical Characterization of a Mineral Deposit of Economic Interest. *MRS Online Proceedings Library Archive*, 1766, 115-122.
- Cerecedo-Sáenz, E., Rodríguez-Lugo, V., Hernández-Ávila, J., Mendoza-Anaya, D., Reyes-Valderrama, M. I., Vázquez-García, R. A., & Salinas-Rodríguez, E. (2018). Preliminary Description of the Origin of a Sedimentary-Exhalative Ore Deposit, in Molango, Hidalgo Mexico. *CRIMSON.V1.2*, 1-22.
- Fiallos, F. A., & Loayza, C. F. (2020). recuperación de oro mediante concentración gravimétrica utilizando concentradores tipo z en el distrito minero zamora-ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 42-49.
- Hinojosa Carrasco, O. (2016). Concentración gravimétrica de menas auríferas. *Revista metalúrgica UTO*, 38, 38-50.
- Jowet, E. C. (1986). effects of continental rifting on the location and génesis of stratiform Cooper-Silver deposits, *Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits*, Geological Association of Canada Special Paper 36, 53-66.
- Norma ASTM D422-63 (2002), *International Testing, Análisis Granulométrico*, V1, 1-8.
- Ortiz, A. A., Jara, P. A. N., Rojas, V. S. A., Delgado, E. F. L., Lavado, L. J. Q., Sandoval, M. C., & Guizado, J. N. A. (2009). Factores que afectan la selección del proceso metalúrgico para beneficiar minerales complejos de oro. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 12(24), 49-55.
- Rivera Parra, S. C. (2017). Optimización de concentración gravimétrica de oro en la Mesa Vibratoria de la Mina "Vicentina", Tesis, Universidad del Azuay, Ecuador, inédita, 1, 1-57.
- Roldán E, Hernández J., Cerecedo E, Reyes María, Salinas E., (2018), "Use of the system S2 O3(2-)-O2 for the leaching of precios metals contained in a mineral form the northeast of Hidalgo state, *Euro scientific journal*, ESJ, Vol.14, No.03, 48-54.
- Salinas Rodríguez E., Hernandez Ávila J., Rivera Landero I., Cerecedo Sáenz E., Reyes Valderrama M. I., Correa Cruz M., & Rubio Mihi, D., (2016). Leaching of silver contained in mining tailings, using sodioum thiosulfate: A kinetic study *hidrometallurgy*, 160, 6-11.
- Salinas Rodríguez, E., Flores Badillo, J., Hernández Ávila, J., Vargas Ramírez, M., Flores Hernández, J. A., Rodríguez Lugo, V., & Cerecedo Sáenz, E. (2017), *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technolog Design And Production Of A New Construction Material (Bricks), Using Mining Tailings*, *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology*, 6, No.6; 225-238.
- Salinas Rodríguez, E., Hernández Ávila, J., Cerecedo Sáenz, E., Arenas Flores, A., Reyes Valderrama, M. I., Roldán Contreras, E., & Rodríguez Lugo, V. (2018). Leaching of Silver Contained in Mining Tailings: A Comparative Study of Several Leaching Reagents. *Silver Recovery From Assorted Spent Sources: Toxicology Of Silver Ions*, V 160, 6-11.