


# Estudio del efecto de la agitación con impulsores de alto corte sobre la recuperación de plata en tres sistemas lixiviantes

González Pérez Adriana, Esquivel Cortés Bernardo Jair, Alonso Gómez Alejandro Rafael, Luna Sánchez Rosa María

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Energía. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

\*Autor para correspondencia: [rmls@azc.uam.mx](mailto:rmls@azc.uam.mx)

ORCID : 0000-0002-7007-6508

## Recibido:

28/mayo/2022

## Aceptado:

27/septiembre/2022

## Palabras clave:

Lixiviación,  
impulsores,  
minerales

## Keywords:

Leaching,  
impellers,  
minerals

## RESUMEN

Se realizó un estudio de lixiviación de un mineral concentrado para extraer plata, utilizando tres sistemas lixiviantes, cianuro, tiosulfato y tiourea agitados por barra magnética (BM), agitador de paletas planas verticales (PPV) e impulsor Norstone (NR), independientemente. Las lixiviaciones se llevaron a cabo en tiempos entre 4 y 6 horas y al final, las soluciones fueron filtradas. Se tomaron muestras durante el tiempo de reacción y fueron analizadas por espectrometría de absorción atómica. Los resultados indican que las mejores extracciones de plata se obtienen con tiourea con incertidumbres en la agitación aplicada. Posterior a esto se realizó un pretratamiento con agua y agitación con Norstone; después el mismo sólido se puso en reacción para cada sistema y agitando con barra magnética. En el sistema de tiourea se ve un incremento en la extracción de plata importante.

## ABSTRACT

A study of concentrated ore leaching was carried out to extract silver, using three leaching systems, cyanide, thiosulfate and thiourea independently stirred by magnetic bar vertical flat blades and Norstone impeller. The leaching was carried out in times between 4 and 6 hours and at the end the solutions were filtered. Samples were taken during the reaction time and analyzed by atomic absorption spectrometry. The results indicate that the best silver extractions are obtained with thiourea with uncertainties in the applied agitation. After this, a pretreatment with water and agitation with Norstone was carried out; then the same solid was placed to react with each system and stirred with magnetic bar. In the thiourea system, an important increase in the extraction of silver is seen in a significant way.

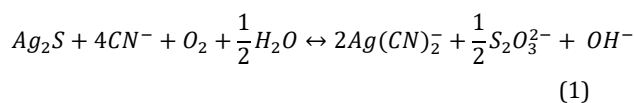
## Introducción

Actualmente la mayoría de los procesos de extracción de plata contenida en concentrados minerales se sigue realizando por el método de cianuración; sin embargo, varios concentrados han resultado ser refractarios a tal proceso, motivo por el cual surge la necesidad de definir sistemas lixiviantes alternativos al cianuro, proponiendo a la tiourea y al tiosulfato como posibles sustitutos.

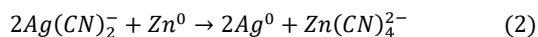
Por otro lado, la hidrodinámica de los tanques agitados en donde se lleva a cabo la lixiviación, también es un factor determinante en la eficiencia global del proceso de obtención de plata, por lo que, en el presente trabajo, además de analizar los sistemas químicos mencionados en el párrafo anterior, también se realizaron pruebas con tres diferentes impulsores, uno de flujo radial y uno de alto corte, así como también, una barra de agitación magnética sencilla.

Para los experimentos realizados, el impulsor de flujo radial que se utilizó es el llamado PPV (paletas planas verticales), mientras que el de alto corte fue uno tipo Norstone (NR).

Luna y Lapidus enfocaron sus estudios a la cinética de la extracción de plata a partir de sulfuro de plata mediante un proceso de cianuración; los resultados indican que, en este proceso, tanto las reacciones de oxidación-reducción como las de complejación suceden de manera simultánea, esto se puede representar con la reacción 1 (Juárez, 2016; Luna y Lapidus, 2000).



Posteriormente, se emplea una etapa conocida como cementación para recuperar la plata en su forma metálica. En esta etapa se adiciona generalmente zinc en polvo, con la finalidad de que se lleve a cabo una reacción de oxidación-reducción como la mostrada en la reacción 2 (Alonso, 2007).

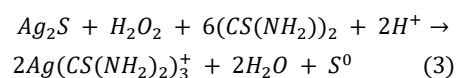


Sin embargo, este proceso de cianuración presenta ciertas desventajas, como son: cinética de oxidación-reducción lenta, ineficaz ante minerales con fases resistentes al cianuro, alto consumo de reactivo cuando existen especies cianicidas y una alta toxicidad (Juárez, 2016).

Actualmente la tiourea es otro agente lixiviante que se emplea para la recuperación de oro y plata, debido a que, en condiciones ácidas, logra disolver estos metales formando complejos catiónicos.

Entre sus principales ventajas podemos mencionar las siguientes: una alta tasa de recuperación (arriba del 95%), eficaz al momento de tratar minerales con los cuales el cianuro tiene bajos rendimientos, la reacción es rápida (aproximadamente de 8 horas), menos tóxico comparado con el cianuro y, además, es posible recircular y regenerar la solución lixivante, ya que los otros metales, productos de reacciones secundarias no la contaminan (Juárez, 2016).

En la reacción (3) se representa el proceso de lixiviación con tiourea para la extracción de plata, la cual se lleva a cabo en un medio ácido con la ayuda de un agente oxidante como el peróxido de hidrógeno.

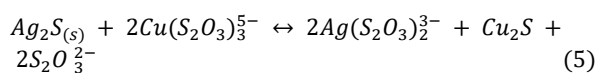
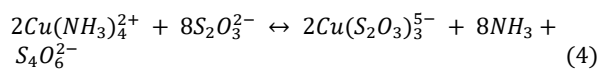


Cuando se habla de este tipo de lixivaciones, es importante mencionar que existen ciertas consideraciones a tomar en cuenta: un aumento de temperatura durante este proceso implicaría un mayor consumo de tiourea, por lo cual es importante controlar esta variable; a valores de pH por debajo de 1 y por encima de 4 la tiourea sufre una descomposición irreversible; la velocidad de reacción de oro y plata con respecto a la concentración de tiourea es de primer orden; la concentración de tiourea y la cantidad de metal extraído guardan una relación directa entre sí (Juárez, 2016).

De igual manera, otro sistema lixivante que se postula como candidato para la recuperación de metales como el oro y la plata, en minerales que presentan fases resistentes al cianuro, es el formado por soluciones con tiosulfato.

En 1981, Tozawa y Umetsu demostraron que es indispensable la presencia de iones Cu (II) como agente oxidante en un proceso de extracción de oro en el cual se emplea una solución de tiosulfato (Alonso, 2007).

Flett y Wilson, en 1983, propusieron un mecanismo de reacción en el cual se remarca la importancia de la presencia o ausencia del aire para la formación del ion Cu (II) o Cu (I). En las reacciones (4) y (5) se pueden observar las ecuaciones propuestas por Flett (Alonso, 2007).



## Metodología

### Condiciones Iniciales

Previo a la experimentación se definieron los parámetros que se muestran a continuación:

- (1) El volumen de la mezcla. 500 mL para barra magnética y 920 mL para impulsores.
- (2) El pH de la solución. De 10.8 para la solución de cianuro, de 10.0 a 10.3 para la solución de tiosulfato y de 2 para la solución de tiourea.
- (3) Potencia de agitación de 25 W para los impulsores.
- (4) Temperatura ambiente.
- (5) Presión atmosférica.
- (6) Porcentaje de sólidos del 20%.
- (7) Duración del proceso de lixiviación entre 4 y 6 horas.

La combinación de estas variables y los tipos de agitación generó una matriz inicial de 12 experimentos (Figura 1). Posteriormente, los resultados obtenidos dieron pauta a una nueva serie de experimentos con la finalidad de ahondar un poco más respecto al efecto que tiene el corte promovido por los impulsores PPV y NR sobre el mineral estudiado.

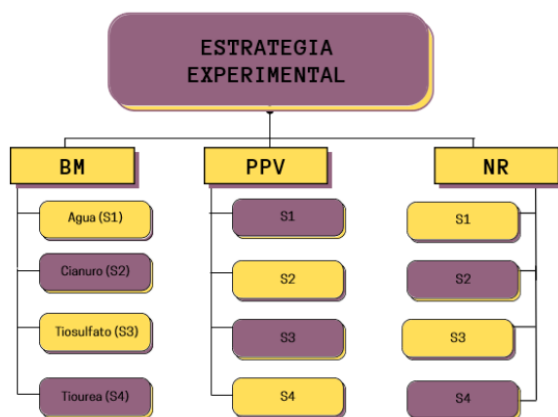


Figura 1. Esquema de estrategia experimental.

### Mineral

El concentrado mineral que se utilizó para realizar las lixiviaciones es el denominado Fresnillo-Zn, el cual presenta fases refractarias al cianuro y cuyo contenido de metales de interés se puede observar en la tabla 1. El concentrado fue tamizado para obtener un tamaño de partícula entre 75 y 150  $\mu\text{m}$ ; el proceso de tamizado se realizó en seco utilizando la fracción de -100 +200 mallas.

Tabla 1. Composición del mineral Fresnillo-Zn.

Metal	Kg/ton <sub>min</sub>
Ag	10.486
Cu	11.719
Pb	105.5
Zn	95.3125
Fe	70.093
Otros	706.8895

### Lixiviaciones

Previo a realizar cada una de las lixiviaciones correspondientes, se preparó una solución fresca de acuerdo con el sistema lixivante a estudiar, utilizando reactivos de grado analítico y agua desionizada (18  $\text{M}\Omega\text{-cm}^{-1}$ ). Las concentraciones de los reactivos para la preparación de cada sistema lixivante se muestra a continuación:

- (1) Cianuro:  $[\text{NaCN}]$  0.05 M.
- (2) Tiosulfato:  $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$  0.2 M,  $[\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$  0.05 M.
- (3)  $[\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8]$  0.025 M y  $[\text{NH}_4\text{OH}]$  para ajustar el pH.
- (4) Tiourea:  $[\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}]$  0.4M,  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  0.1M y  $[\text{H}_2\text{SO}_4]$  0.25M.

El proceso de la lixiviación se llevó a cabo en dos etapas, la primera correspondiente a las lixiviaciones con una barra de agitación magnética (BM) y la segunda en donde la agitación está dada por los dos tipos diferentes de impulsores: PPV y NR.

### Análisis

El análisis de las muestras fue realizado con base en la cuantificación de los iones metálicos contenidos en solución, como Fe, Ni, Cu, Pb y Ag, mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica en un equipo SpectrAA 220FS; el análisis morfológico del mineral remanente mediante difracción de rayos X (DRX) y microscopía de barrido electrónico (SEM) en un equipo SUPRA 55VP.

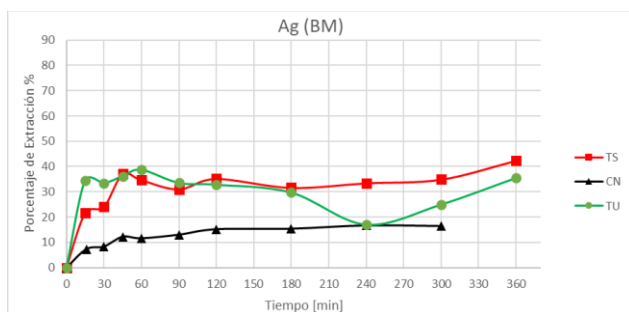
## Resultados y discusión

### Análisis de las muestras por EAA

A continuación, se muestra el cambio de concentración de plata en función del tiempo para las lixiviaciones realizadas en los tres sistemas químicos analizados bajo agitación magnética y con los impulsores PPV y el NR.

### Agitación con barra magnética (BM)

Durante la agitación con barra magnética, el sólido sólo se mantiene en suspensión sin que se presenten esfuerzos cortantes importantes, por lo que en la Figura 1 se puede apreciar prácticamente el ataque químico de cada sistema sin que la hidrodinámica juegue un papel relevante, es decir, las gráficas mostradas en la figura 2 se pueden considerar como una línea base.

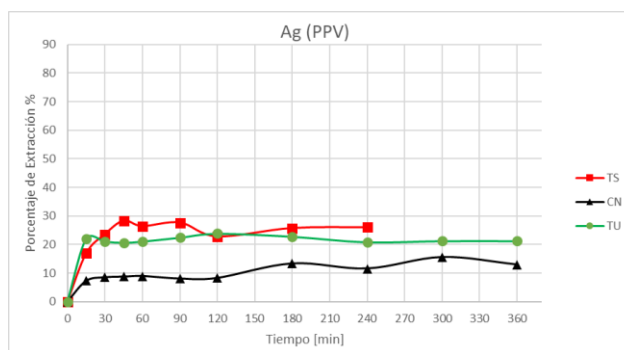


**Figura 2.** Representación de los porcentajes de extracción obtenidos al agitar con BM para los sistemas químicos: Ts, tiosulfato. CN, cianuro. Tu, tiourea.

Es evidente que el cianuro resulta poco eficiente en la lixiviación de plata a partir del mineral utilizado, lográndose sólo un 15% de extracción. Por otro lado, tiosulfato y tiourea muestran un comportamiento similar entre sí, al menos durante las primeras tres horas de procesamiento, logrando una extracción superior al 35% en ambos casos. Después de tres horas de lixiviación, en el sistema con tiourea se observa un descenso en la concentración de plata, posiblemente debido a un efecto conocido como “preg-robbing”, en el que parte de los iones ya disueltos, de alguna forma se reincorporan al sólido, aunque este mecanismo aun es desconocido.

### Agitación con el impulsor PPV

Al usar el impulsor de paletas planas verticales (ver figura 3), no se observan cambios apreciables en el perfil de concentraciones de plata para el sistema de cianuro con respecto a lo observado cuando se agitó con barra magnética, manteniéndose por debajo del 15% de extracción. No obstante, en el caso de tiourea y tiosulfato, el porcentaje de extracción es menor (respecto a lo observado en las gráficas de la figura 2), estabilizándose en valores de 20 y 30% para tiourea y tiosulfato respectivamente. Es probable que la incorporación de aire debido a la hidrodinámica inducida por el PPV resulte en un aumento del potencial redox de la solución, favoreciendo la oxidación de la tiourea y tiosulfato, debido a que son más sensibles a este parámetro que el cianuro.



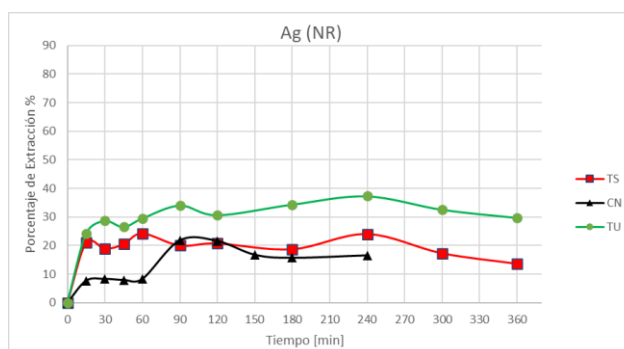
**Figura 3.** Representación de los porcentajes de extracción obtenidos al agitar con el impulsor PPV, para los sistemas químicos: Ts, tiosulfato. CN, cianuro. Tu, tiourea.

En este punto es importante mencionar que el impulsor PPV mayoritariamente favorece el bombeo, por lo que la incorporación de aire de la atmósfera puede ser considerable. Por otro lado, el impulsor Norstone, proporciona en mayor medida esfuerzos de corte en la vecindad de sus superficies, y aunque en menor medida que el PPV también induce la incorporación de aire.

### Agitación con el impulsor Norstone (NR)

En la figura 4 se muestran los cambios de concentración cuando se empleó el impulsor Norstone en cada sistema químico. En el caso de la lixiviación con cianuro, se alcanza un máximo de aproximadamente 22% de extracción en 90 minutos, para después descender y estabilizarse en 15%, mismo valor que el logrado con barra magnética y PPV.

Es probable que el sólido contenga material apto para la adsorción del complejo Ag-CN y que, si bien durante algún tiempo se tienen concentraciones relativamente altas de este complejo en solución, el equilibrio obliga a que esta especie abandone la solución.



**Figura 4.** Representación de los porcentajes de extracción obtenidos al agitar con el impulsor NR, para los sistemas químicos: Ts, tiosulfato. CN, cianuro. Tu, tiourea.

En el caso del sistema basado en tiosulfato, la agitación con el impulsor Norstone es la que permite la menor extracción de plata, manteniéndose siempre por debajo del 25% con fluctuaciones constantes, para alcanzar después de 6 horas de lixiviación un 13.5%, valor similar a lo observado en cianuro. Este fenómeno no es observable en la misma magnitud en el caso de la tiourea, sistema en el que se logra una extracción de plata de entre 30 y 35%.

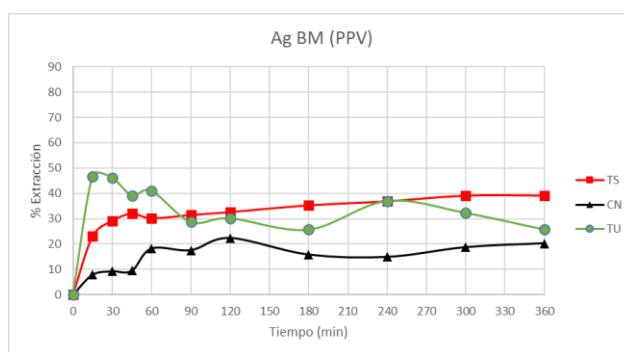
La baja inclusión de aire de la atmósfera que se logra por el uso del impulsor Norstone, aunado a la gran diferencia entre los comportamientos de las curvas de concentración en los sistemas de tiourea y tiosulfato, y a la similitud de la curva de éste último con la correspondiente al sistema de cianuro, sugieren la posibilidad de que el corte inducido por el impulsor Norstone puede favorecer la liberación de sitios ácidos en la superficie del sólido, fenómeno que permitiría la adsorción de complejos aniónicos (como  $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$  y  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ ) pero limitaría la de los catiónicos (como  $\text{Ag}(\text{TU})^+$ ), favoreciendo la estabilidad de plata soluble en la solución de tiourea.

Con la intención de mantener el efecto físico que cada impulsor pueda tener sobre las partículas sólidas, y al mismo tiempo evitar que la hidrodinámica inducida por cada agitador modifique el potencial redox del sistema debido a la incorporación de aire de la atmósfera, alterando así el equilibrio propio de cada agente lixivante, se realizaron pretratamientos a una porción de sólido virgen en un volumen de agua igual al usado en las lixivaciones (920 ml), empleando el impulsor PPV y el Norstone, manteniendo la relación sólido líquido en 20%. Después de mantener la mezcla agua/mineral agitada durante 2 horas, se separó el líquido del sólido y después de secar este último, se pesó la cantidad necesaria para realizar una lixiviación con cada sistema químico estudiado en un vaso de precipitados agitando con barra magnética (BM).

#### Pretratamiento con PPV y agitación con BM

En la figura 5 se muestra el cambio de concentración de plata después de que el sólido mineral se agitó en agua con el impulsor PPV, y posteriormente se lixivó en cada sistema químico manteniendo agitación constante con una barra magnética. Debe resaltarse que los sistemas de tiosulfato y cianuro presentan un comportamiento similar a lo observado en la figura 1, en la que el mineral virgen se lixivó en un vaso agitado con barra magnética sin pretratamiento alguno.

Por otro lado, en la lixiviación hecha con tiourea la extracción de plata alcanza valores cercanos al 45% desde los primeros 15 minutos, valor 50% mayor a lo observado en la figura 1; sin embargo, después de 30 minutos, la concentración de plata disminuye, presentando variaciones alrededor del 30% de extracción.



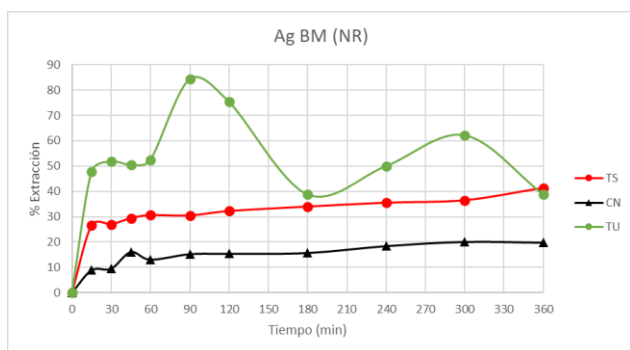
**Figura 5.** Representación de los porcentajes de extracción obtenidos con el mineral pretratado con PPV y lixiviado agitando con BM para los sistemas químicos: Ts, tiosulfato. CN, cianuro. Tu, tiourea.

El pretratamiento aplicado aparentemente afecta de manera positiva únicamente la lixiviación con tiourea, en tanto que las realizadas con cianuro y tiosulfato no experimentan cambios apreciables. Es posible que el pretratamiento con el PPV haya liberado físicamente, probablemente por cizallamiento, ciertas zonas de las partículas sólidas susceptibles al sistema ácido de tiourea, pero resistentes a los medios alcalinos en los que se encuentran cianuro y tiosulfato.

#### Pretratamiento con NR y agitación con BM

Al igual, el pretratamiento con PPV, el uso del impulsor Norstone previo a la lixiviación con cianuro y tiosulfato, aparentemente no provocaron cambios suficientes como para alterar la recuperación obtenida al lixiviar el mineral virgen de forma directa en un vaso agitado con barra magnética, toda vez que las extracciones alcanzadas estuvieron alrededor de 30 y 20% con tiosulfato y cianuro respectivamente (ver figura 6).

Sin embargo, la cantidad de plata extraída mediante la lixiviación con tiourea se encuentra en valores estables de 50% durante los primeros 60 minutos de prueba, para después alcanzar un máximo de casi 85% en 90 minutos, observándose un descenso pronunciado después de este tiempo.



**Figura 6.** Representación de los porcentajes de extracción obtenidos con el mineral pretratado con NR y lixiviado agitando con BM para los sistemas químicos: **Ts**, tiosulfato. **CN**, cianuro. **Tu**, tiourea.

indica que si bien el pretratamiento aplicado al mineral usando el impulsor Norstone, modifica la naturaleza del sólido, esto sólo es útil en la estabilización de los complejos  $Ag(Tu)^+$ .

En la tabla 2, se muestra una comparación entre los sistemas químicos utilizados en función del pH de trabajo y del tipo de complejo que se forma. Debe notarse que, en el sistema de tiourea, además de que el pH es ácido, el complejo formado es catiónico, lo que sugiere que alguna de estas características o ambas en combinación son responsables de que en este sistema se pueda lograr extraer hasta el 85% de plata presente. La readsorción posiblemente esté relacionada con una deficiencia del poder oxidante de la solución de tiourea debido a que el agente empleado para fijar el potencial redox es peróxido de hidrógeno y durante las pruebas no se controló la exposición a la luz de ninguno de los sistemas.

**Tabla 2.** Comparación de algunas características de los sistemas lixiviantes analizados.

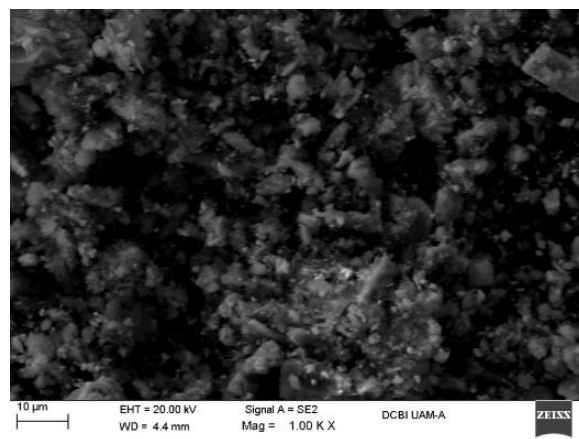
Sistema	pH	Complejo predominante	Polaridad del complejo
Tiourea	2.0	$Ag(Tu_2)^+$	Catiónico
Tiosulfato	10.0	$Ag(S_2O_3)_2^{3-}$	Aniónico
Cianuro	10.5	$Ag(CN)_2^-$	Aniónico

Los resultados mostrados en el presente proyecto permiten asegurar que el pretratamiento con el impulsor Norstone es útil cuando la lixiviación posterior se realiza con tiourea, aumentando casi en un 300% con respecto a lo obtenido al lixiviar directamente el mineral fresco. No obstante, no es posible asegurar el origen de este comportamiento, por lo que es indispensable continuar con la investigación en trabajos futuros.

### Caracterización de las Muestras por SEM

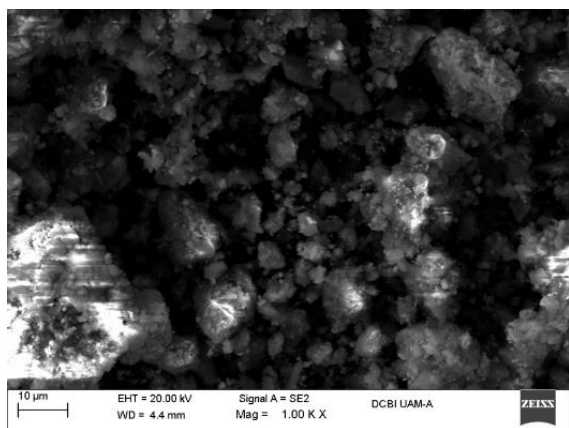
En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las muestras sólidas sin tratamiento y tratadas. Para este trabajo se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido, SUPRA 55VP, de la marca Zeiss, acoplado a un detector de energía dispersa.

Como se discutió en la sección anterior, se realizó un pretratamiento sólo con agua, pero agitando con el impulsor tipo Norstone; posterior a esto, los sólidos fueron tratados con tiourea y agitados con barra magnética nuevamente, disgregando las partículas de forma tal que, al realizar el ataque químico, se obtuvieron mejores porcentajes de extracción. Estas dos muestras fueron observadas en el microscopio con el fin de ver la morfología que presentaban ambas y cuantificar los elementos presentes. La figura 7, muestra la morfología del concentrado después del pretratamiento realizado, el cual permite observar agregados de tamaños similares, y homogéneos. También se observó que el análisis químico semicuantitativo, confirma los elementos que se tienen en la muestra formando diferentes compuestos de óxidos y sulfuros, con un % en peso de plata de 1.35.



**Figura 7.** Morfología de la muestra pretratada con agua y agitada con impulsor Norstone.

La figura 8, es una micrografía del concentrado después de haberlo pretratado en agua plicando agitación con NR y posteriormente lixiviado con tiourea mediante agitación con barra magnética. Se nota una disgregación de las partículas y tamaños ligeramente menores a aquélla mostrada en la Figura 7. Se observa una distribución de tamaños de partículas heterogénea y grumosa; partículas más brillantes que opacas que puede ser asociado a la formación de óxidos que se ven afectados por el voltaje impuesto y debido a su baja conductividad son cargados. El espectro obtenido para este sólido (datos no mostrados), indica plata cuantificada que el porcentaje de plata es de 0.79%.



**Figura 8.** Morfología de la muestra con tiourea pretratada con agua y agitada con barra magnética.

## Conclusiones

Derivado de los resultados y la discusión de estos, en el presente trabajo se llegaron a las siguientes conclusiones:

La recuperación de plata se ve favorecida en la mayoría de los casos cuando la agitación es proporcionada por el impulsor tipo Norstone en comparación con otros agitadores, e incluso aún más cuando se aplicó un tratamiento previo del mineral con el mismo tipo de agitación.

La morfología observada para la muestra virgen y las lixiviadas con los 3 sistemas agitados con barra magnética es muy similar en todos los casos, en donde se ven partículas de diferentes tamaños y brillo; en comparación con la morfología observada al pretratar el mineral con impulsor Norstone, en donde se nota que las partículas se han disgregado y homogeneizado en la ausencia de ataque químico, es decir, solo por el efecto del corte del impulsor, conduciendo así a mejores porcentajes de extracción.

Al determinar la tasa de recuperación para cada uno de los sistemas químicos (cianuro, tiourea y tiosulfato) al concentrado mineral en un tanque agitado con barra magnética, impulsor PPV e impulsor Norstone, se observó que el corte provocado por el impulsor Norstone, probablemente favorece la liberación de sitios ácidos en la superficie del sólido, ayudando a la adsorción de complejos aniónicos como lo son  $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$  y  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ , pero éstos también limitan la adsorción de los catiónicos como  $\text{Ag}(\text{Tu}_2)^+$ , dicha limitación puede ayudar a favorecer la estabilidad de la plata en solución.

Cabe destacar que la solución de tiourea se lleva a cabo en un medio ácido, pero también se observa la formación de un complejo catiónico, siendo posiblemente alguna de estas dos las responsables de que dicho sistema alcance un porcentaje de extracción de casi 85%, en comparación con los de cianuro y tiosulfato que alcanzan entre 20 y 30% respectivamente.

De los resultados experimentales obtenidos en este trabajo, es notorio que la extracción de plata con los sistemas lixiviantes propuestos de tiourea y tiosulfato se ve favorecida frente al sistema constituido por el cianuro, esto debido al carácter resistente del mineral Fresnillo-Zn cuando se busca extraer a la plata lixivando con cianuro. Hablamos de porcentajes de extracción de plata no mayores al 20% para el cianuro, en comparación a porcentajes entre el 20 y 40% de extracción con tiosulfato e incluso hasta casi un 85% con tiourea.

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Dr. Jorge Ramírez Muñoz por el apoyo y los consejos brindados durante la realización de este proyecto.

Al Sr. Heriberto Alonso por todo el apoyo brindado en el análisis de las muestras.

A la unidad Azcapotzalco de la UAM, al laboratorio de Análisis de Procesos por permitirnos trabajar en él, al personal encargado del análisis por DRX y del Laboratorio de Microscopía Electrónica de la División de CBI por la ayuda brindada en el análisis de muestras. Gracias también a la unidad Iztapalapa por recibirnos siempre que lo requerimos.

## Referencias

- Alonso Gómez, A. R. (2007). Electroseparación selectiva de plata a partir de soluciones amoniacaes de tiosulfato. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=14026&docs=UAMI14026.pdf>
- Juárez Mata, R. (2016). Modelado de un reactor de lixiviación para el proceso de extracción de metales contenidos en minerales de baja ley [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco]. Repositorio Institucional. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6074>.
- Luna Sánchez, R. M. y Lapidus Lavine, G. T. (2000). Cyanidation kinetics of silver sulfide. *Hydrometallurgy*, 56(2), 171-188. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(00\)00072-4](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00072-4).