

Recibido: 04.12.2017 | Aceptado: 12.01.2018

Palabras clave: Oro, plata, teluro, cianuración y extracción.



# Retos actuales en la extracción de metales preciosos en México

FABIOLA NAVA ALONSO

*fabiola.nava@investav.edu.mx*

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

México es un país minero por excelencia y productor importante de metales preciosos; actualmente ocupa el primer lugar mundial en la producción de plata y de oro, con 19.78 y 3.95 por ciento de la producción, respectivamente (U. S. Geological Survey, 2016). La industria minera mexicana contribuye de manera notable al producto

interno bruto (PIB) del país: En 2015 representó 8.8 por ciento del PIB industrial y 3.0 por ciento del PIB nacional, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi).

Más de 80 por ciento de los metales preciosos en el mundo son extraídos



Muestras minerales de oro/plata/teluro del estado de Sonora.

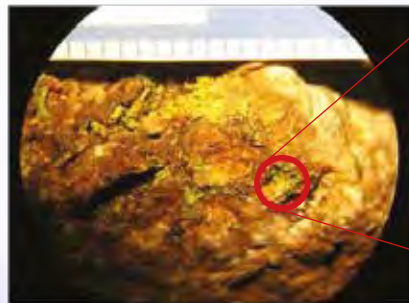
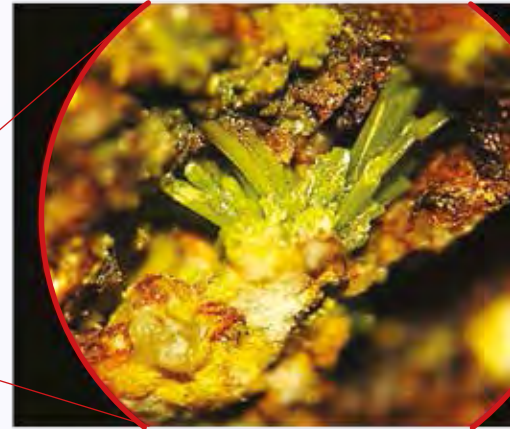


Imagen de un mineral de teluro/hierro recolectada en una mina de Sonora.



por la cianuración, un proceso en el que una solución alcalina diluida de cianuro se pone en contacto con el mineral molido y disuelve los metales preciosos, los cuales se recuperan de la solución por adsorción con carbón activado, o bien por su precipitación con zinc. A pesar del problema ambiental relacionado con el uso del cianuro, es un proceso económico, eficiente y, en general, de fácil operación. Se cuenta con métodos de control y tratamiento de los efluentes, los cuales garantizan una operación segura para el personal y para el ambiente. Las leyes mexicanas tienen un estricto control en cuanto al contenido de cianuro en estos procesos.

Recientemente, en los yacimientos existentes en México se ha detecta-

do la presencia de especies de oro y/o plata asociados al teluro; éstas no pueden ser procesadas por el método normal de extracción y provocan una disminución en la recuperación de metales preciosos. En el estado de Sonora se produce la mayor cantidad de oro en México y se han detectado alrededor de 30 especies de teluro. Los yacimientos con telururos de oro o plata son difíciles de procesar por el método de cianuración, y existe una controversia en cuanto a la causa real de la dificultad de lixiviación (extracción de uno o varios solutos de un sólido, mediante un disolvente líquido) con cianuro. Hoy en día dichas especies se consideran minerales no recuperables (o refractarios a la cianuración) y no se están procesando, lo que ocasiona pérdidas cada vez mayores para las compañías mineras.

Además del problema de recuperación de metales preciosos cuando está presente el teluro, existe también el problema de análisis de oro y plata. Por lo general, el método utilizado en las compañías mineras para evaluar el contenido de metales preciosos en un mineral es el ensayo a fuego o copelación, para lo cual existen técnicas estándar según el tipo de mineral que quiera analizarse. Se ha demostrado recientemente que la presencia de teluro complica también esta técnica, y reporta valores menores o poco reproducibles en cuanto a contenido de oro y/o plata. Esto significa que los resultados del análisis de ambos metales da el mismo valor si se hacen repeticiones de una misma muestra. Este error de medición puede tener consecuencias graves en cuanto a los cálculos de recuperación del metal precioso o a la estimación de sus reservas.

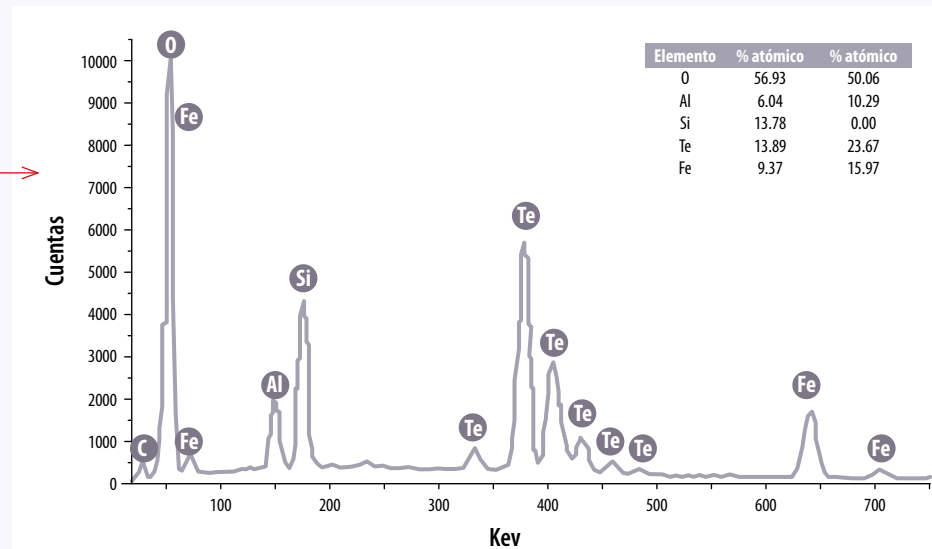


Análisis por difracción de rayos X del mineral del estado de Sonora.

En el Cinvestav Unidad Saltillo, en el área de metalurgia extractiva, se ha iniciado una línea de trabajo para estudiar este problema y encontrar alternativas de procesamiento para este tipo de minerales, así como para proponer y validar las técnicas de análisis químicos que sean aplicables a telururos de oro y plata.

El método más utilizado para extraer oro y plata de los minerales que los contienen es la cianuración. En este proceso el mineral molido se pone en contacto con una solución alcalina diluida de cianuro, el cual disuelve selectivamente los metales preciosos dejando las otras especies minerales en forma sólida. Una etapa de electrólisis donde se depositan los metales preciosos en forma metálica.

Dentro de los minerales que contienen metales preciosos, se tienen los de fácil recuperación, donde el oro o la plata están libres y pueden ser disueltos por el reactivo que se utilice (generalmente cianuro), y los que se denominan "refractarios" a la cianuración, que indica que los metales preciosos contenidos en estos minerales no pueden ser extraídos por el método convencional de cianuración.



Las causas de la refractariedad de un mineral pueden ser físicas o químicas; una causa física puede ser que las partículas de oro y plata sean tan pequeñas que queden ocluidas en otra especie mineral y no puedan entrar en contacto con el agente químico que las va a disolver; un ejemplo de refractariedad química es la presencia de oro o plata como telururo, y no como elementos metálicos. A diferencia de los metales preciosos, los telururos no son solubles en cianuro.

La hipótesis de la línea de investigación en la que trabaja nuestro equipo es que la identificación y el entendimiento del problema que causa la refractariedad de las especies de oro y plata con telururo permitirá proponer alternativas que den lugar a su recuperación, tanto para la industria de los metales preciosos como para la de celdas solares, la cual requiere telururo. Por lo anterior, nuestro objetivo es identificar las causas de la baja recuperación de oro y plata que se obtienen en el proceso de cianuración convencional

de minerales que contienen metales preciosos en forma de telururos, y proponer alternativas de tratamiento.

Inicialmente se realizó un diagnóstico de la presencia de telururos de metales preciosos en México para identificar las especies más abundantes. Se ha evaluado la recuperación de oro y plata obtenida por cianuración estándar para algunos de los minerales de Sonora, esto ha corroborado la imposibilidad de recuperar los metales preciosos de este tipo de minerales.

El problema inicial por resolver es el análisis de oro y plata en este tipo de minerales, pues si no existe seguridad en cuanto a la ley del mineral (es decir, su concentración de oro y plata) difícilmente podrán calcularse los porcentajes de recuperación. En este sentido, están evaluándose diferentes mezclas de fundentes (químicos utilizados en el proceso de fusión) para la copelación, o sea, su análisis químico, así como las temperaturas y tiempos de permanencia en el horno de fusión/copelación.






Grupo de trabajo en extracción de metales preciosos del Cinvestav Saltillo. De izquierda a derecha: Adrián Amilcare González Ibarra (estudiante de doctorado), Homero Rodríguez Chávez (tesista de licenciatura), Alejandra Moreno Ramos (estudiante de maestría), Paula Cristina Santos Munguía (estudiante de doctorado), Fabiola Nava Alonso (profesora investigadora) y Víctor Manuel Rodríguez Chávez (estudiante de maestría).

Para la extracción de los metales preciosos, están evaluándose las siguientes alternativas:

- a) El proceso de cianuración en condiciones modificadas (pH, concentración de cianuro, presencia de nitrato de plomo).
- b) Emplear tratamientos oxidativos antes de la cianuración (peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio, persulfatos y ozono gas).
- c) Usar microondas como pretratamiento de la cianuración.
- d) El uso de otros reactivos diferentes al cianuro, por ejemplo, el tiosulfato de sodio.
- e) La extracción con solventes para separar metales preciosos y teluro de las soluciones de lixiviación.
- f) Usar la electroquímica para identificar los fenómenos que impiden la recuperación de oro y plata de especies ligadas al teluro.

Se ha trabajado con especies puras con la idea de incluir las diferentes especies minerales que forman la matriz hasta llegar a minerales reales de Sonora. Con este fin, se han recolectado tres diferentes materiales, los cuales están caracterizándose para evaluar en ellos las condiciones en que se encuentren a partir de las especies puras. Se tiene claro que el traslado de los resultados de especies puras a minerales reales no será fácil, debido a la presencia de otras especies que también pueden reaccionar, y a los problemas de liberación que pueden tener los metales preciosos (su inclusión en partículas mayores que impiden su contacto con el cianuro, o el agente disolvente). Un problema adicional es la imposibilidad de conseguir, como especie pura, todos los telururos de oro y plata presentes en estos minerales. Sin embargo, la colaboración entre los participantes de las diferentes instituciones, cada uno con su enfoque y experiencia, enriquecerá los resultados.

Un atractivo de este tema de investigación es el uso del teluro, que se usa como película delgada en la fabricación de celdas solares. El incremento sustancial que ha tenido la producción de energía solar ha disparado fuertemente la demanda de teluro, el cual es escaso y tiene que importarse. De encontrarse una vía para recuperar los metales preciosos contenidos en los telururos, se hallaría una fuente alternativa de teluro, el cual tendría un valor cada vez más importante, y México tendría yacimientos en el estado de Sonora. 



### FABIOLA NAVA ALONSO

Obtuvo el Doctorado en Metalurgia en la Universidad Laval, de Quebec, Canadá. Trabaja en el Cinvestav Saltillo en el Área de Metalurgia Extractiva en las líneas de investigación Extracción de oro y plata y Tratamiento de efluentes de la industria minera.



### Agradecimientos:

Los autores y el Cinvestav Unidad Saltillo agradecen al Conacyt el apoyo por medio del proyecto 257115 de Ciencia Básica. Actualmente, tres doctores, además de la autora de este artículo, participan en la investigación: Alejandro Uribe Salas, Roberto Pérez Garibay y Juan Carlos Fuentes Aceituno; también están involucrados los estudiantes de doctorado Adrián Amilcare González Ibarra y Paula Cristina Santos Munguía, los de maestría Alejandra Moreno Ramos y Víctor Manuel Rodríguez Chávez y de licenciatura Homero Rodríguez Chávez. Las universidades participantes son la Autónoma de Coahuila: doctores Antonia Martínez Luévanos, Gloria Ivone Dávila Pulido y Francisco Raúl Carrillo Pedroza; de Guanajuato: doctores Carolina de Jesús Rodríguez Rodríguez y Enrique Elorza Rodríguez; Estatal de Sonora: maestro David García Martínez y geólogo Gustavo Eduardo Durazo Tapia; y la Autónoma de Zacatecas: doctores Omero Alonso González y Juan Antonio González Anaya.

### Bibliografía:

U. S. Geological Survey. (2016). *Mineral Commodity Summaries*. Recuperado de: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf>