

## EXTRACCIÓN DE La Y Ce POR VÍA HIDROMETALÚRGICA EN MEDIO ÁCIDO

Diego Tamayo Soriano<sup>1</sup>, Francisco Raúl Carrillo Pedroza<sup>2</sup>, Antonia Martínez Luévanos<sup>1</sup>,  
Ulises Figueroa López<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México

<sup>2</sup> Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila, México

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México, México

### RESUMEN

En función de la química que caracteriza al material de estudio, las tierras raras estarían contenidas en los fosfatos (2.35%), junto con una mineralogía compuesta principalmente por silicatos (9.34%), óxidos (30.09%) y carbonatos (12.55%), formando minerales propios como la monacita, apatita, entre otros.

Previo a las pruebas de lixiviación, se realizó una etapa de preconcentración por flotación, cuyo fin es aumentar la ley de REE en el material, permitiendo que el proceso sea más efectivo. Para esto, en base al supuesto que se concentran en minerales no magnéticos, se realiza un proceso de separación magnética, donde se observó que tanto el La y Ce, se concentran en el material no magnético.

Las muestras son lixiviadas a escala laboratorio por medio de agitación mecánica con HCl. Se evaluó el proceso considerando como variable la temperatura. Los resultados de recuperación, muestran que el HCl a una concentración de 1M dentro de los primeros 60 minutos, es el tiempo donde se obtienen los mayores porcentajes de recuperación, independientemente de la temperatura.

**PALABRAS CLAVE:** *Tierras raras REE; Mineralogía; Procesamiento*

## ANTECEDENTES

La minería es una de las principales actividades económicas en México. Recientemente, a partir de algunos prospectos, se extraen minerales enriquecidos en elementos con valores importantes de tierras raras (REE: Rare Earth Elements).

En lo referente a depósitos naturales en México, destacan las regiones del norte como zonas en que se ha informado presencia de REE, asociándose a rocas intrusivas ácidas. Se han descrito zonas con estructuras de cuerpos lenticulares y tubiformes en posición vertical y cuerpos intrusivos de skarn de carbonatita y ferrocronatita.

El procesamiento para el beneficio de estos minerales ricos en REE ha sido ampliamente estudiado, con el objetivo de diseñar diagramas de flujo para su procesamiento [1]. Su procesamiento y beneficio establecen combinaciones de procesos de gravimetría, flotación, separación magnética y lixiviación [2,3].

## METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El primer paso fue llevar a cabo la caracterización del mineral, Tabla 1. Se determinó la composición elemental mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X, con el objetivo de poder identificar los elementos de mayor abundancia del material de estudio. Para esto, se empleó un equipo de fluorescencia de Rayos X Panalytical modelo Epsilon, de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Tabla 1.- Composición química del mineral de cabeza.

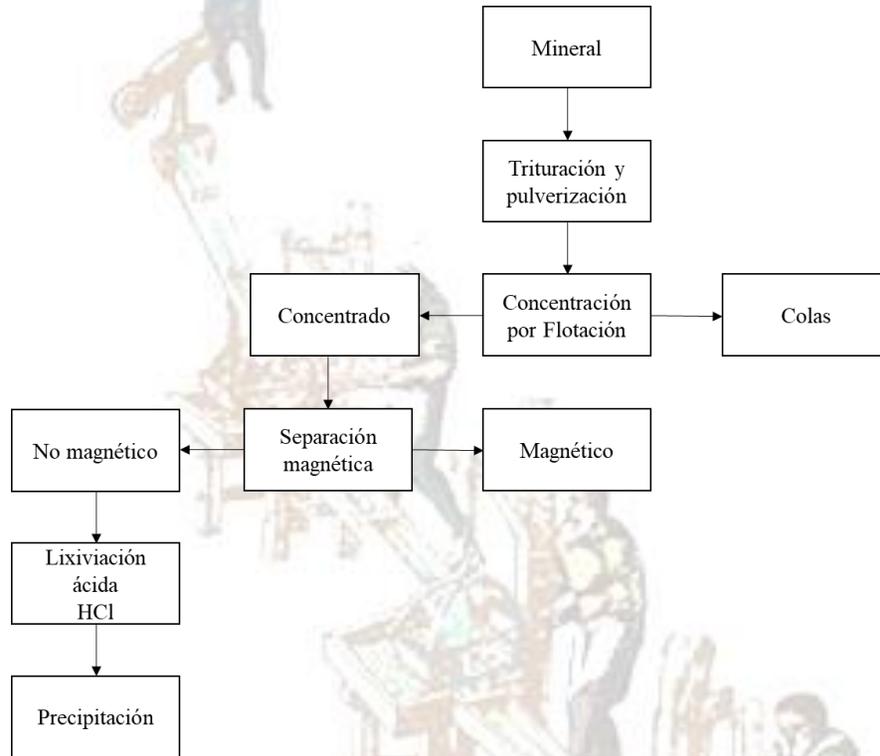
Elemento	Si	P	Ca	Fe	La (ppm)	Ce (ppm)
%	9.34	2.35	12.55	30.09	1630	2530

Se procedió a triturar, pulverizar y moler el material en un molino de bolas por un periodo máximo de 2 horas. Posteriormente, se tamizó el material en seco mediante mallas a diferentes fracciones de tamaños hasta alcanzar partículas de 0.106 mm, para su posterior análisis petrográfico, flotación y lixiviación. En la Figura 1, se esquematiza el proceso.

### **Petrografía**

Los estudios petrográficos involucraron la preparación de secciones delgadas pulidas en diferentes direcciones. Las láminas fueron estudiadas utilizando un microscopio de luz polarizada marca ZEISS Axio

Scope.A1, con el que se fotografiaron y seleccionaron las zonas de interés para los estudios analíticos posteriores.



**Figura 1.** Diagrama de flujo del procesamiento del mineral de estudio

### Flotación

Las pruebas de flotación del mineral se realizaron en una celda mecánica tipo Denver. Las condiciones de flotación se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.-** Condiciones experimentales de las pruebas de flotación.

Reactivo	Acondicionamiento (min)	Temperatura (°C)	Volumen (L)	Mineral (g)	Dosis (g/ton)
Depresor de Fe	7	25	1	300	200 a 500
Depresor de Si	7	25	1	300	200 a 500
Ácido graso	7	25	1	300	200 a 500

### **Separación magnética**

Se procedió a realizar una separación magnética, utilizando un imán de 9 cm de diámetro, con la finalidad de obtener dos productos; mineral no magnético y mineral magnético. Posterior a esta separación, se realizaron lixiviaciones ácidas para cada material obtenido.

### **Lixiviaciones**

Cada prueba de lixiviación se llevó a cabo en un reactor acoplado a una parrilla de calentamiento y controlando la temperatura, siguiendo el modelo experimental que se muestra en la Tabla 3.

Después de cada prueba, la solución final se separó del sólido mediante filtración. El sólido se lavó con agua caliente y se secó en un horno a 100°C durante 24 h. Se analizó el sólido final por fluorescencia de Rayos X Panalytical modelo Epsilon.

**Tabla 3.-** Condiciones experimentales de las pruebas de flotación.

<b>Mineral (g)</b>	<b>Solución lixiviante (ml)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Agente lixiviante</b>	<b>Concentración [M]</b>
25	150	4	20	HCl	1
25	150	4	40	HCl	1
25	150	2	60	HCl	1

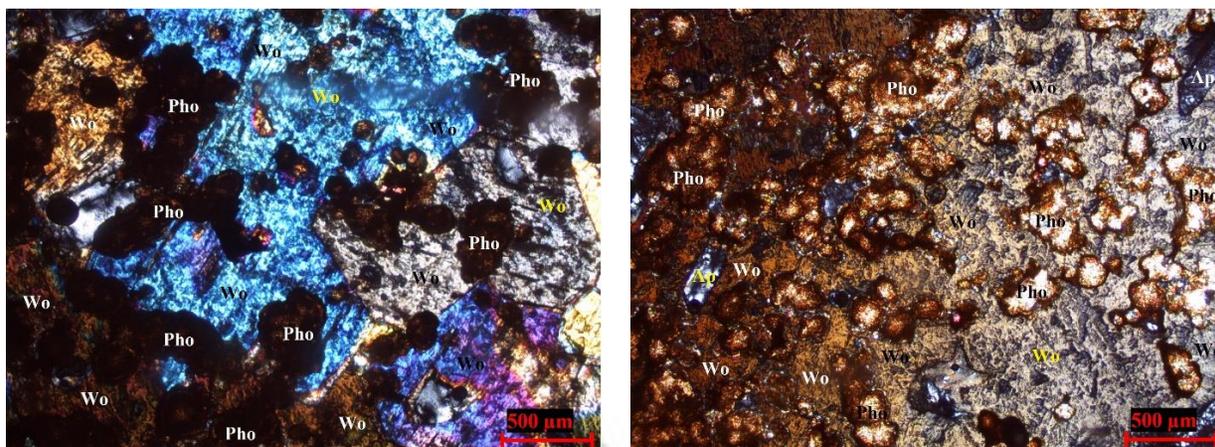
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Petrografía**

Como se observa en la Figura 2, a nivel petrográfico, se evidencia una mineralogía predominantemente con textura botroidal. Se infiere que las apatitas sufrieron un proceso de transformación producto de la acción hidrotermal, ocasionando la hidratación de los fosfatos enriqueciéndolos en hidróxido de hierro y en menor medida en REE, siendo esta especie mineral la principal aportadora de tierras raras.

### **Flotación**

Se observa que el P y Ca, responden a la adición del ácido graso, promoviendo su flotabilidad y concentración. Es aquí donde se observó que las REE, tienden a concentrarse en el principal producto de flotación (concentrados). En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos por FRX para cada una de las pruebas de flotación.



**Figura 2.** Fotomicrografías donde es posible observar bajo ciertas condiciones ópticas, la presencia de fosfatos con relictos de apatita. También se identifican cristales de wollastonita como principal aportador de Ca.

**Tabla 4.-** Condiciones experimentales de las pruebas de flotación.

Leyes (concentrado)	Si %	P %	Ca %	Fe %	La ppm	Ce ppm
<b>Flotación 1</b>	8.12	4.32	19.35	25.07	2800	2800

### Separación magnética

El objetivo de este proceso, es poder eliminar la mayor cantidad de Fe y determinar si las REE tienden a concentrarse en el producto magnético o No magnético. A continuación, en la Tabla 5, se muestran los resultados de FRX.

Se observa que de una ley de cabeza de 30.09% en Fe, el producto No magnético disminuyó a una ley del 24.38% en Fe. En este producto, los elementos Si, P y Ca, se concentran significativamente, al igual que el La y Ce, con leyes de 2000 y 2100 ppm respectivamente.

**Tabla 5.** Resultados del proceso de separación magnética.

Ley No magnético	Si %	P %	Ca %	Fe %	La ppm	Ce ppm
	9.04	3.85	23.19	24.38	2000	2100

### Lixiviación con HCl

El material No magnético, presentó una mejor respuesta en la disolución de La y Ce al utilizar HCl, obteniendo valores de recuperación de aproximadamente 60% durante los primeros 60 minutos para las tres temperaturas, como se observa en la Figura 3 . De igual forma, el P es prácticamente disuelto en su totalidad. El proceso de lixiviación con HCl y el material fosfatado de estudio, se produce bajo la siguiente ecuación:

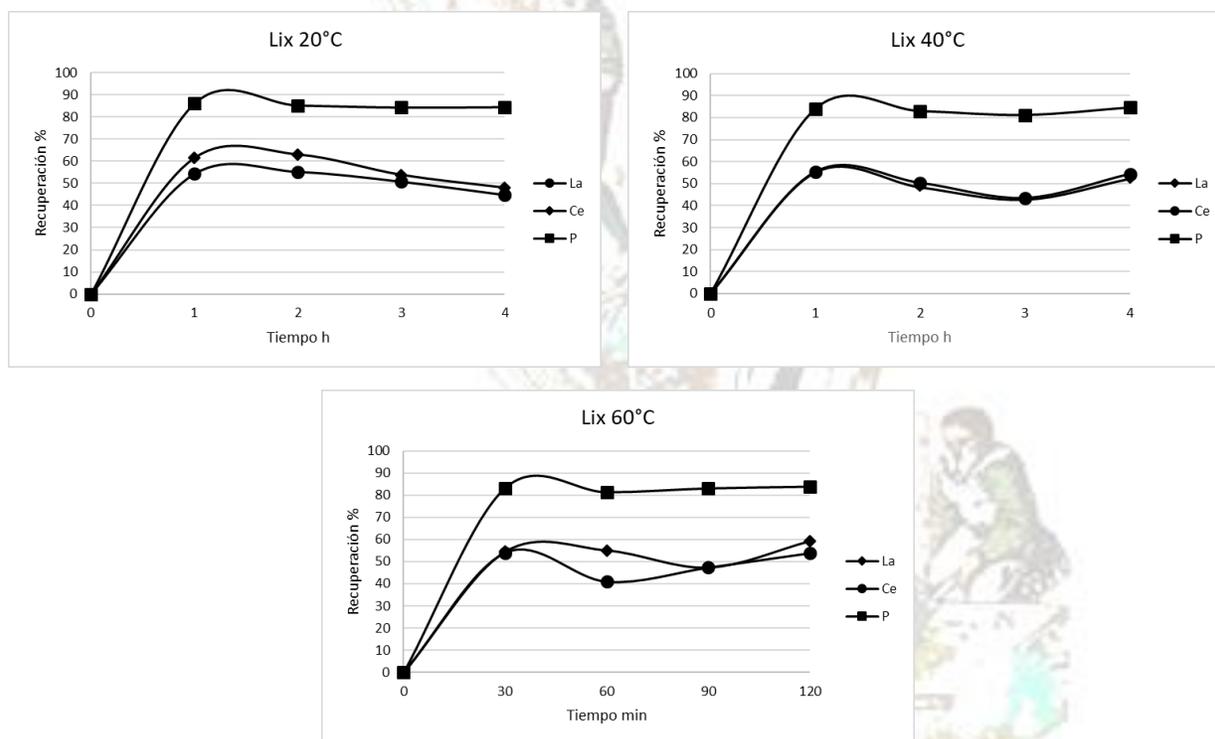


Figura 3. Cineticas de lixiviación a temperaturas de 20, 40 y 60°C

### CONCLUSIONES

Petrográficamente, se infiere que los fosfatos presentan alteraciones de hidróxido de hierro en forma de corona con mineralización de REE como pequeñas inclusiones, siendo esta especie mineral la principal aportadora de tierras raras..

Basándonos en los análisis químicos por FRX, se observa que el método de mayor eficacia para la concentración de REE es la flotación, obteniendo leyes de hasta 2800 ppm de La y Ce. Durante el proceso

de lixiviación, las mayores recuperaciones de lantano y cerio se obtienen durante los primeros 60 minutos para las tres temperaturas de estudio.

## REFERENCIAS

- [1] H. Cui and C. G. Anderson, "Alternative flowsheet for rare earth beneficiation of Bear Lodge ore", *Minerals Engineering*, vol. 110, pp. 166-178, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.04.016>
- [2] R. G. Rejeith and M. Sundararajan, "Combined magnetic, electrostatic, and gravity separation techniques for recovering strategic heavy minerals from beach sands", *Geotechnology*, vol. 36, pp. 959-965, 2018. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2017.1403523>
- [3] W. Xiong, J. Deng, B. Chen, S. Deng and D. Wei, "Flotation-magnetic separation for the beneficiation of rare earth ores", *Minerals Engineering*, vol. 119, pp. 49-56, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.01.014>

