

## Optimización del procedimiento de determinación de elementos de las tierras raras (ETR) en minerales de cromo



CU-ID: 2144/v13e11

### Optimization of the procedure of determination of rare earth elements (REE) in chromium minerals

Malvis Jarrosay Candó\*, Aida Álvarez Alonso,  
Tania Alfonso Del Cristo, Anabel Gutierrez

**RESUMEN:** El objetivo del trabajo es la optimización del procedimiento primario desarrollado por el CIPIMM para la determinación de elementos de las tierras raras (ETR) en minerales de cromo, cuya presencia ha sido reportada con anterioridad a partir de resultados obtenidos en el extranjero. Para la determinación de las ETR se emplearon métodos de separación y concentración cromatográficos clásicos, para lo que se seleccionó la resina DOWEX 50W-X8 (100-200 mesh), después de una disolución de la muestra con HCl, HF, HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> e incorporación del residuo fundido y determinación final por ICP-OES. Para todas las pruebas se empleó una muestra sintética por no contar con muestras de referencias de cromo con valores certificados de las TR. Las condiciones de la separación concentración cromatográficas fueron optimizadas mediante un diseño experimental del tipo 2<sup>3</sup>, estudiándose las variables más significativas, que fueron: volumen de eluyente en mL (100 y 200), concentración de HNO<sub>3</sub> en Moles (5 y 10) y velocidad de flujo en mL/min (2 y 4), seleccionándose como condiciones óptimas para estas variables los valores: 200mL, 5M y 2 mL/min, respectivamente, con lo que se obtuvieron recobrados entre 95 y 105 para todos los elementos y también el mejor valor medio. Estos resultados permitieron incorporar el procedimiento al Sistema de Calidad del laboratorio.

**Palabras claves:** Elementos del grupo de las tierras raras, determinación, minerales de cromo.

**ABSTRACT:** The objective of the work is the optimization of the primary procedure developed by CIPIMM for the determination of rare earth elements (REE) in chromium minerals, whose presence has been previously reported from results obtained abroad. For the determination of the REE classical chromatographic methods of separation and concentration were employed for which the resin DOWEX 50W-X8 (100-200 mesh) was selected, after dissolving the sample with HCl, HF, HNO<sub>3</sub> and HClO<sub>4</sub> and the incorporation of the molten residue and final determination by ICP-OES. A synthetic sample was used for all tests because there were no chromium reference samples with certified REE values. The chromatographic concentration separation conditions were optimized by means of an experimental design of type 2<sup>3</sup>, studying the most significant variables, which were: volume of eluent in mL (100 and 200), concentration of HNO<sub>3</sub> in Moles (5 and 10) and speed of flow in mL / min (2 and 4), selecting as optimal conditions for these variables the values: 200mL, 5M and 2 mL / min, respectively, with which recoveries between 95 and 105 were obtained for all the elements and also the best middle value. These results allowed the procedure to be incorporated into the laboratory's Quality System.

**Keywords:** Elements of the rare earth group, determination, chromium minerals.

Recibido: 07/10/2021

Aprobado en su forma original: 02/12/2021

Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), La Habana, Cuba.

\*Correo electrónico: [malvis@cipimm.minem.cu](mailto:malvis@cipimm.minem.cu)

## INTRODUCCIÓN

Tierras raras es el nombre común de 17 elementos químicos (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Ga, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu), los que a pesar del nombre de tierras raras son elementos relativamente abundantes en la corteza terrestre y que tienen una amplia aplicación en la industria moderna.

Las aplicaciones más importantes se encuentran en la industria de cerámicos, catalizadores, electrónica, medicina y metalurgia, entre otras. Además, su uso en los sectores de eficiencia energética fundamentalmente en los elementos asociados a la iluminación y en particular a la tecnología LED y en la defensa define su carácter estratégico por lo que tienen amplio horizonte, lo cual ha generado un incremento vertiginoso en el interés mundial por la ocurrencia y posible explotación o recuperación de estos valiosos materiales.

La importancia estratégica de las tierras raras se deriva no sólo de su destacado papel en toda la industria informática (civil y militar), sino también en los diferentes sistemas de generación de energías renovables así como en la fabricación de armamento y material militar. Todo ello, unido a su utilización creciente y a la fuerte concentración de su producción en manos de China hace de las tierras raras un conjunto de materiales de crucial importancia para la soberanía económica y política de cualquier país o conjunto de países que se precie de ello, entre otros para EE.UU, Japón, Canadá y la Unión Europea, que ya han mostrado de una u otra forma su preocupación al respecto.

La presencia de estos elementos en minerales de cromo ha sido reportada con anterioridad, a partir de muestras analizada en laboratorios extranjeros ([Hernández-Martínez, J.L., 2009](#); [Saturnina H., 2010](#); [Cazañas X., Parte I y Parte II, 2016](#), entre otros), de ahí la importancia de contar con procedimientos apropiados para su determinación en el país.

El laboratorio del CIPIMM ha desarrollado un procedimiento primario para la determinación en la que emplea la separación cromatográfica de la matriz y la concentración de los elementos por la vía cromatográfica, con una determinación final de los elementos de interés por ICP-OES

([Jarrosay, 2019](#)). La aplicación del procedimiento permitió detectar la presencia de varios de los elementos de las tierras raras en muestras de minerales de cromo, sin embargo, los resultados obtenidos en cuanto a exactitud y precisión eran insuficientes para considerar al procedimiento cuantitativo.

El trabajo tiene entonces como objetivo la optimización del procedimiento primario desarrollado por la División de Caracterización de Materiales (DCM) del CIPIMM para la determinación de elementos de las tierras raras (ETR) en minerales de cromo de yacimientos en explotación y perspectivas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Equipos

- Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) modelo secuencial Spectroflame de la marca SPECTRO.
- Horno de mufla con indicador de temperatura, control automático de temperatura, y temperatura máxima de operación de 1000°C marca Carbolite
- Micro balanza analítica capaz de pesar 0,01mg marca Sartorius

### Reactivos

- Ácido clorhídrico ( $d = 1,18 \text{ g/cm}^3$ )
- Ácido fluorhídrico ( $d = 1,13 \text{ g/cm}^3$ ; 40%)
- Ácido nítrico ( $d = 1,42 \text{ g/cm}^3$ )
- Ácido perclórico ( $d = 1,66 \text{ g/cm}^3$ ; 70%)
- Ácido Sulfúrico ( $d = 1,84 \text{ g/cm}^3$ )
- Ácido oxálico di- hidratado
- Resina Dowex 50W-X8 100-200 mesh
- Solución de cloruro estannoso 20 %
- Peróxido de sodio
- Muestra de Referencia Cr-1
- Agua destilada
- Soluciones patrones de:  
Escandio (Sc), Ytrio (Y), Lantano (La), Europio (Eu), Neodimio (Nd), Gadolinio (Gd), Iterbio (Yb), Praseodimio (Pr) y Cerio (Ce)

### Métodos

Procedimiento primario desarrollado por [Jarrosay, M. \(2019\)](#), basado en el procedimiento de [Villalobos, S. \(2017\)](#).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la optimización del procedimiento se partió de la comparación del procedimiento básico desarrollado por [Jarrosay \(2019\)](#) con otras posibles variantes que podrían mejorar los parámetros de desempeño del procedimiento. Para realizar las pruebas se empleó una matriz sintética, de igual composición que la Muestra de Referencia de Cromo MCR-1 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - 32,98 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 25,97 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 15,64 %,  $\text{MgO}$  - 19,91% y  $\text{CaO}$  0,26%, sin  $\text{SiO}_2$ , pues este se elimina en el tratamiento) y a la que se añadieron 50 g/t de los elementos Eu, Gd, La, Nd, Pr, Sc e Y.

Los procedimientos probados, además del primario, fueron el de ([Kiyoshi I., 1988](#)), también empleado por [Webster J.R., 1990](#), pero con determinación final diferente y el de ([Álvarez, A., 2019](#)), los que se describen brevemente a continuación.

**Kiyoshi Iwasaki:** 1 g de muestra se pesa y lleva a vaso de teflón, se disuelve con mezcla de 20 mL de HF (40%), 20 mL de  $\text{HNO}_3$  y 5 mL de  $\text{HClO}_4$  (60%), y evaporado a sequedad. El residuo se trata con 10 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado y 5 mL de  $\text{HClO}_4$  (60%), y de nuevo evaporado a sequedad. El residuo se disuelve en 10 mL de HCl 6 M con calentamiento y se lleva a volumen de aproximadamente 150 mL con agua. Se añaden 10 mL de solución de Ca 20 mg/mL y añadir a esta solución 1 g de ácido oxálico dihidratado y ajustar pH a 3,5-4 con solución amoniacal, para asegurar la completa precipitación de las TR. El precipitado es filtrado por papel sin cenizas y lavado con agua y luego incinerado a 800 °C para llevarlo a óxidos. El residuo se disuelve con 25 mL de  $\text{HNO}_3$  2 M, con cuidado y la solución se diluye a 50 mL. Esta solución se pasa por una columna de 20 cm x 1 cm con resina de intercambio Dowex 50 W-X8 de 100-200 mesh que ha sido pre-equilibrada con 1 mL de  $\text{HNO}_3$ . Luego la columna fue lavada con 130 mL de  $\text{HNO}_3$  2 M a 1 mL/min para eluir el calcio y los elementos de la matriz. Las TR fueron eluidas con 100 mL de  $\text{HNO}_3$  6 M a

1 mL/min. Este eluato fue evaporado a sequedad después de la adición de 3 mL de  $\text{HClO}_4$  (60%). El residuo se disuelve con 5 mL de HCl 6 M y la solución se diluye a 25 mL y se determinan las TR por ICP-OES.

**Álvarez:** Pesar 1g de muestra previamente secada, trasvasar a un vaso de precipitados de teflón u otro material resistente al ácido fluorhídrico, y añadir consecutivamente 15 mL de HCl concentrado, 5 mL de  $\text{HNO}_3$ , y 5 mL de HF. Calentar hasta sequedad, añadir 10 mL de HCl 1:1, enjuagar las paredes del vaso con agua destilada y calentar a ebullición durante 5 min para disolver las sales. Filtrar a frasco volumétrico de 50 mL. Quemar papel de filtro y fundir con 0,2 g de metaborato de litio. Disolver e incorporar al volumétrico de 50 mL. Enrasar con agua destilada. Directa: Leer las soluciones por ICP-OES. Adición de estándar: Preparar al menos 3 soluciones que contengan 1X, 2X y 3X ppm de Sc, donde X es el valor de Sc esperado en las muestras.

Los resultados obtenidos se muestran en la [tabla 1](#).

Como se aprecia en la Tabla los recobrados oscilaron entre 57 y 148 %, este último valor corresponde al Gd, que es evidente que presenta algún tipo de interferencia en la muestra directa. En el trabajo de [Álvarez y col.](#) para la determinación de Sc se habían observado efectos de matriz que llegaba a un 14 %, dependiendo del tipo de matriz, razón por la cual estos autores emplean la adición de estándar, pues se trata de un trabajo de metalurgia, que requiere la mayor precisión y exactitud en las determinaciones. No obstante, para objetivos de reconocimiento puede ser empleado este procedimiento para definir la presencia y los rangos de contenidos de los elementos.

En el caso de la coprecipitación con ácido oxálico no se obtuvieron buenos resultados, a pesar de los muchos intentos realizados y como se ve las recuperaciones fueron muy bajas para todos los elementos. En este caso no aparecen los resultados para Yb y Ce, pues estas pruebas fueron realizadas cuando aún no se contaba con soluciones certificadas de estos elementos.

**Tabla 1.** Resultado de las pruebas comparativas entre procedimientos diferentes

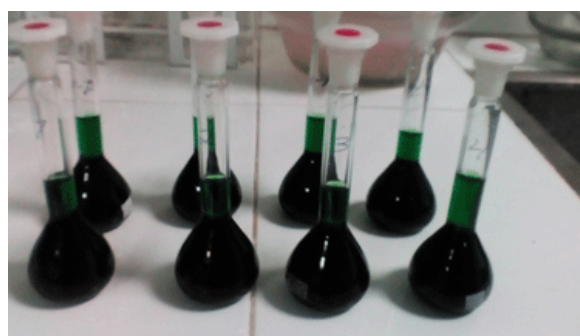
| Tratamiento                                           | Parámetro        | Sc    | Y     | La    | Nd    | Eu    | Gd    | Ce     | Yb    |
|-------------------------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Directa (Álvarez)                                     | Media µg/mL      | 0,774 | 0,774 | 0,774 | 0,827 | 1,029 | 1,477 | 1,0185 | 0,687 |
|                                                       | Contenido en g/t | 38,7  | 28,4  | 35,4  | 41,4  | 51,5  | 73,9  | 50,93  | 34,4  |
|                                                       | Recuperación %   | 77,4  | 56,8  | 70,85 | 82,7  | 102,9 | 147,7 | 101,85 | 68,7  |
| Coprecipita-ción con oxalato de Ca ( Kiyoshi Iwasaki) | Media µg/mL      | 0,407 | 0,467 | 0,498 | 0,244 | 0,499 | 0,500 | -      | -     |
|                                                       | Contenido en g/t | 20,33 | 23,33 | 24,88 | 12,21 | 24,96 | 25,00 | -      | -     |
|                                                       | Recuperación %   | 40,7  | 46,7  | 49,8  | 24,4  | 49,9  | 50,0  | -      | -     |
| Separación y concentración con resina (Jarrosay)      | Media µg/mL      | 0,208 | 1,701 | 2,091 | 1,924 | 1,53  | 1,643 | 2,244  | 1,547 |
|                                                       | Contenido en g/t | 5,2   | 42,5  | 52,3  | 48,1  | 38,3  | 41,1  | 56,1   | 38,7  |
|                                                       | Recuperación %   | 10,4  | 85,1  | 104,6 | 96,2  | 76,5  | 82,2  | 112,2  | 77,4  |

El procedimiento de Jarrosay si dio resultados aceptables para este tipo de determinación que es de alta complejidad, estando las recuperaciones entre 77 y 112 para todos los elementos, excepto para el Sc, que mostró una recuperación de apenas 10 %. Esto ya había sido observado en pruebas preliminares realizadas, e incluso este elemento no está referido en el trabajo de Villalobos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se procede a la optimización de las principales variables del proceso primario (Jarrosay) para alcanzar parámetros de desempeño que garanticen que las determinaciones sean cuantitativas, es decir recobrados de los elementos entre 95 y 105 %. Las figuras 1,2 y 3 muestran el aspecto de las muestras en los pasos fundamentales.

Como puede apreciarse de lo hasta aquí expuesto la parte más compleja del procedimiento seleccionado es la separación de la matriz y recuperación de los elementos de las TR mediante el empleo de las columnas de intercambio iónico. Por tal motivo para la optimización solo se estudiará esta etapa, ya que se consideró que el método de digestión de las muestras fue satisfactorio y el objetivo de esta parte será mejores recuperaciones que las que se han obtenido hasta aquí

Para llevar a cabo esta tarea se escogió un diseño factorial de experimentos del tipo 2<sup>3</sup>, es decir, el estudio de la influencia de 3 variables en



**Figura 1.** Disolución de la muestra sintética



**Figura 2.** Separación de la matriz



**Figura 3.** Recuperación de los ETR

dos niveles sobre la recuperación, que es la respuesta escogida para la selección de las mejores condiciones para esta parte del procedimiento. Para esta parte se empleó la matriz sintética que nos permite cuantificar los resultados y que como ya se mencionó contiene 50 g/t de cada uno de los elementos a determinar.

Los niveles estudiados fueron seleccionados a partir del procedimiento en estudio y en base a la experiencia acumulada durante la realización de la investigación y fueron los que se muestran en la [Tabla 2](#).

Los experimentos realizaron corrieron por duplicado y se corrieron en forma aleatoria para evitar tendencias. La [Tabla 3](#) muestra los resultados obtenidos.

Para la evaluación de los valores medios de las recuperaciones de la [Tabla 3](#) no se incluyen los valores de Sc, que como ya se vio, no responden a este procedimiento. Entonces se selecciona para su estimación la vía directa, con lo que se consiguen recobrados de alrededor de 80 %, si solo se trata de establecer rangos, y con adición de estándar si es para fines metalúrgicos, pues de esta manera se obtienen mejores recobrados y también mayor exactitud y precisión. ([Álvarez y col, 2019](#)). Por tal razón los valores medios de la [Tabla 3](#) no incluyen los valores de Sc, que como ya se vio, no responden a este procedimiento.

Teniendo en cuenta que para que un procedimiento analítico sea cuantitativo los recobrados deben estar entre 95 y 105 %, se pudo observar que esta condición se cumple para 3 experimentos 1, 2 y 4, de acuerdo al valor medio de todos los recobrados, ver [Tabla 3](#). Pero si además se tiene en cuenta que este es un procedimiento multielemental, esto es que las condiciones que se seleccionen deben ser buenas para todos los elementos, entonces el experimento 2 resulta ser el mejor, porque los recobrados están en el rango apropiado para todos los elementos, lo que nos permite fijar las condiciones para la elución como siguen:

Volumen de eluyente = 200 mL

Concentración de  $\text{HNO}_3$  = 5 M

Velocidad de flujo = 2 mL/minuto

Entonces el procedimiento quedó como sigue:

### Disolución de la muestra

Pesar 1 g de la muestra de ensayo y trasvase a beaker de teflón, añada 5 mL de  $\text{HNO}_3$ , 15 mL de HCl, 6 mL de HF llevar a la plancha y caliente a aproximadamente 180 °C por 6 horas y lleve a sales húmedas. Enfríe y adicione 15 mL de HF, 10 mL de  $\text{HNO}_3$ , 3 mL de  $\text{HClO}_4$  y vuelva a calentar hasta sales húmedas. Disuelva las sales con 10 mL de  $\text{HNO}_3$  1 M, y filtre a volumétrico

**Tabla 2.** Variables estudiadas y sus niveles

| Variable | Parámetro que representa            | Valor Máximo | Valor Mínimo |
|----------|-------------------------------------|--------------|--------------|
| $X_1$    | Volumen eluyente (mL)               | 100          | 200          |
| $X_2$    | Concentración de $\text{HNO}_3$ (M) | 5            | 10           |
| $X_3$    | Velocidad flujo mL/min              | 2            | 4            |

**Tabla 3.** Resultados del diseño de experimentos

| Exp. No. | Recobrado en % |       |       |       |       |       |       |       | Recobrado Medio % |
|----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
|          | Sc             | Y     | Nd    | La    | Eu    | Gd    | Ce    | Yb    |                   |
| 1        | 12,5           | 95,3  | 96,4  | 94,2  | 94,2  | 89,9  | 100,3 | 99,6  | 95,7              |
| 2        | 20,5           | 101,0 | 105,4 | 103,0 | 100,6 | 99,7  | 96,0  | 105,9 | 101,6             |
| 3        | 8,0            | 88,5  | 93,4  | 91,7  | 85,1  | 82,2  | 95,3  | 89,2  | 89,3              |
| 4        | 6,5            | 96,6  | 100,1 | 97,4  | 98,4  | 89,1  | 96,7  | 102,6 | 97,3              |
| 5        | 5,9            | 106,4 | 111,1 | 103,4 | 111,2 | 100,2 | 109,6 | 115,6 | 108,2             |
| 6        | 7,7            | 82,0  | 95,6  | 98,8  | 85,0  | 74,2  | 102,1 | 78,9  | 88,1              |
| 7        | 17,2           | 91,4  | 91,2  | 88,3  | 88,1  | 85,5  | 84,8  | 98,0  | 89,6              |
| 8        | 6,5            | 82,9  | 94,8  | 95,6  | 88,4  | 81,5  | 92,4  | 80,6  | 88,0              |

de 50 mL sin enrasar. Si quedó residuo en el filtro, calcine el papel con el residuo en cápsula de platino en el horno mufla a 950 °C. Funda el residuo con 0,4 g de metaborato de litio en la mufla a 1100 °C por 30 minutos. Lixivie con HNO<sub>3</sub> 1 M e incorpore al volumétrico de 50 mL que contenía la parte ya disuelta de la muestra y enrase con este mismo ácido.

### Separación de elementos mayores por cromatografía de intercambio catiónico

Cargue la columna de vidrio 20 cm de alto por 1 cm de diámetro con 10 g de la resina DOWEX 50W 8X y ambiéntela con HNO<sub>3</sub> 5 M.

Pase todo el volumen de muestra (50 mL) a la columna y añada 125 mL de HNO<sub>3</sub> 1 M, 20 mL de agua desionizada, 300 mL de HNO<sub>3</sub> 2 M y 20 mL más de agua desionizada con un flujo de 2 mL/min y descarte el eluato.

### Elución de las Tierras Raras

Adicione a la columna 200 mL HNO<sub>3</sub> 5 M y colecte el eluato en un vaso precipitado de 250 mL de capacidad, lleve a casi sequedad, y se redisuelva el residuo con HNO<sub>3</sub> 0.35 M y trasvase a volumétrico de 25 mL y enrase con este mismo ácido.

### Lectura por ICP-OES

Para la evaluación fina de los contenidos de las TR se empleó el ICP-OES secuencial de la firma SPECTRO, para lo que inicialmente se optimizaron las condiciones instrumentales, que quedaron establecidas como se muestra en la [Tabla 4](#).

Los gráficos de calibración fueron preparados a partir de soluciones de calibración certificadas de los elementos a determinar, empleándose 5 soluciones de calibración en el rango de 0,05 a 5 µg/mL (1,25 a 125 g/t) y un blanco.

Con estas soluciones se obtuvieron los parámetros de regresión para las líneas seleccionadas, después de un cuidadoso estudio para eliminar la posible presencia de interferencias espectrales. Las líneas seleccionadas y los parámetros de la regresión se muestran a continuación en [Tabla 5](#).

Las soluciones de calibración y las muestras se leen en las condiciones antes descritas.

### CONCLUSIONES

1. Se obtuvo un procedimiento para la determinación de los ETR en muestras de minerales de cromo que superó al

**Tabla 4.** Parámetros de operación del ICP-OES de Spretro

| Parámetro               | Valor utilizado            |
|-------------------------|----------------------------|
| Potencia                | 1200 W                     |
| Flujo de nebulización   | 1,2 L/min Ar               |
| Presión de nebulización | 3,8 bar                    |
| Flujo auxiliar          | 1,2 L/min Ar               |
| Flujo de enfriamiento   | 18,8 L/min Ar              |
| Altura de observación   | m con respecto a la bobina |

**Tabla 5.** Valores de los parámetros de regresión de los ajustes para la calibración del ICP-OES

| Elemento | Ecuación de la recta (ICP/OES) | Coefficiente de Correlación | LDI = 2σBK | λ (nm)  |
|----------|--------------------------------|-----------------------------|------------|---------|
| Sc       | IE = 194206x - 123.67          | 0.9999                      | 0.0082     | 358.094 |
| Y        | IE = 37940x + 96.692           | 0.9999                      | 0.0010     | 324.228 |
| La       | IE = 14719x + 93.45            | 0.9999                      | 0.0160     | 398.852 |
| Eu       | IE = 96580x - 283.88           | 0.9999                      | 0.0007     | 381.970 |
| Nd       | IE = 6917x + 181.32            | 0.9992                      | 0.0190     | 430.358 |
| Gd       | IE = 12331x + 313.14           | 0.9999                      | 0,0320     | 310.050 |
| Yb       | IE = 43430x - 83,796           | 1.0000                      | 0.0003     | 328.937 |
| Ce       | IE = 6439,5x - 459,26          | 1.0000                      | 0.0140     | 418.660 |

**LDI: Límite de Detección Instrumental.**

procedimiento básico, demostrándose que la metodología propuesta mediante digestión con 4 ácidos, separación de la matriz y concentración de las TR con el empleo de columnas de intercambio iónico, con la resina Dowex 50W-X8 100-200 mesh y una determinación final por ICP-OES resulta apropiada para los fines previstos, con excepción de la determinación de Sc, con la que no se consiguen recobrados cuantitativos.

2. Para la determinación del Sc se recomienda el procedimiento de determinación directa por ICP-OES, después de la digestión con 4 ácidos y fusión del residuo con lo que se consigue una recuperación de alrededor de 80 % y que puede mejorarse con el empleo de adición de estándar, en caso necesario.

### RECOMENDACIONES

- Realizar la validación del procedimiento de acuerdo a las normas internacionales vigentes. ([Guía EURACHEM, 2016](#)).
- Aplicar el procedimiento a otros minerales para definir si se requieren modificaciones del procedimiento elaborado.

### BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez A., Alfonso T. & Jarrosay M. 2019. *Determinación de escandio en muestras de diversas matrices procedentes de posibles procesos para su recuperación*. Memorias VIII Convención de Ciencias de La Tierra, GEOCIENCIAS 2019, Cuba: Instituto de Geología y Paleontología, ISBN: 978-959-7117-87-2.
- Casañas X D, 2016. "Elementos de las tierras raras, elementos del grupo del platino y otros raros y dispersos: principales tipos genéticos de depósitos y posibles áreas de prospección en el territorio nacional. Parte 1". INFOMIN Vol.8 (No.2, Julio-Diciembre):85-105, ISSN: 1992-4194, DOI: <https://eqrcode.co/a/qbs8Ty>
- Casañas X D, 2017. Elementos de las tierras raras, elementos del grupo del platino y otros raros y dispersos: principales tipos genéticos de depósitos y posibles áreas de prospección en el territorio nacional. Parte 2, INFOMIN, Vol.9 (No.1 Enero-Junio), ISSN: 1992-4194, DOI: <https://eqrcode.co/a/qbs8Ty>.
- Guía EURACHEM. 2016. La adecuación al uso de los métodos analíticos - Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados, edición en español.
- Jarrosay, M.; Álvarez A.; Alfonso, T. y otros. 2019. Desarrollo de procedimientos analíticos para la determinación de elementos del grupo del platino, metales preciosos y elementos de las tierras raras en minerales cromíticos. Informe de Investigación, La Habana, Cuba: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM).
- Kiyoshi Iwasaki & Hhiroki Haraguchi.1988. "Determination of rare earth elements in Geological samples by Inductively-Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry after oxalate coprecipitation and cation-exchange column separation". Analytica Chimica Acta 208: 163-172
- Martínez Hernández J.L. 2009. Reseña sobre las metodologías de campo, analíticas y estadísticas empleadas en la determinación y manejo de datos de los elementos de tierras raras en el sistema suelo-planta, Rev. FCA UN Cuyo. Tomo XLI. N° 2, pp.153-189.
- Saturnina H & otros. 2010. "Las cromititas del Complejo Ofiolítico de Camagüey, Cuba: un ejemplo de cromititas ricas en Al". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 62 (1):173-185.
- Villalobos, J; Olave, S.; Núñez, C. & Escudero J. 2017. *Determinación de tierras raras en muestras minerales mediante ICP-OES previa separación con resina de intercambio catiónico y validación de la metodología*. REMETALLICA, Universidad de Santiago de Chile. Vol. 33 (N° 21): 3-10.
- Webster, J.R. & Gilstrap, M.S. 1990. Matrix-independent separation of rare-earth elements and yttrium from geological materials using constant calcium content-oxalate precipitation and cation exchange for determination by high-resolution inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Chemical Geology. 85: 287-294. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)