

# MINERALOGÍA Y MÉTODOS DE SEPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN PARA ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS

Basáñez Raúl; Ciribeni Víctor; Castro Graciela y Negrelli M. Mariel

Instituto de Investigaciones Mineras, Departamento de Ingeniería de Minas, FI, Universidad Nacional de San Juan, ARGENTINA

[raulbasanez@yahoo.com.ar](mailto:raulbasanez@yahoo.com.ar)

## INTRODUCCIÓN

Los elementos de las tierras raras (ETR) se hallan en una gran variedad de minerales, siendo los principales tales como la bastnaesita, loparita, monacita y la xenotima.

Estos depósitos están asociados con procesos magmáticos relacionados con rocas ígneas alcalinas y carbonatitas, siendo estas últimas las principales proveedoras de tierras raras.

Las tierras raras se usan como elementos de defensa militar (aviones, submarinos, radares), en desarrollo de energías limpias (paneles fotovoltaicos, mareomotriz), tecnologías diarias (celulares, televisores, refrigeradores, etc.), vehículos híbridos y eléctricos, imanes de alto poder y tecnología espacial. Se prevé que el consumo crezca un 4% anual durante 10 años hasta 2030, y que la producción de imanes que contienen ETR crezca un 6,2% anual, impulsada por la fuerte adopción de tecnologías de bajas emisiones de carbono. El reciclaje de dichos elementos (menor al 1%) actualmente es muy limitado; se destinan principalmente a imanes permanentes y compuestos de pulido, así como a cantidades más pequeñas de baterías y lámparas.

## OBJETIVO

Obtener un preconcentrado de minerales portadores de elementos de tierras raras, teniendo en cuenta las propiedades física de una muestra compósito, apoyado con la caracterización mineralógica.

## METODOLOGÍA

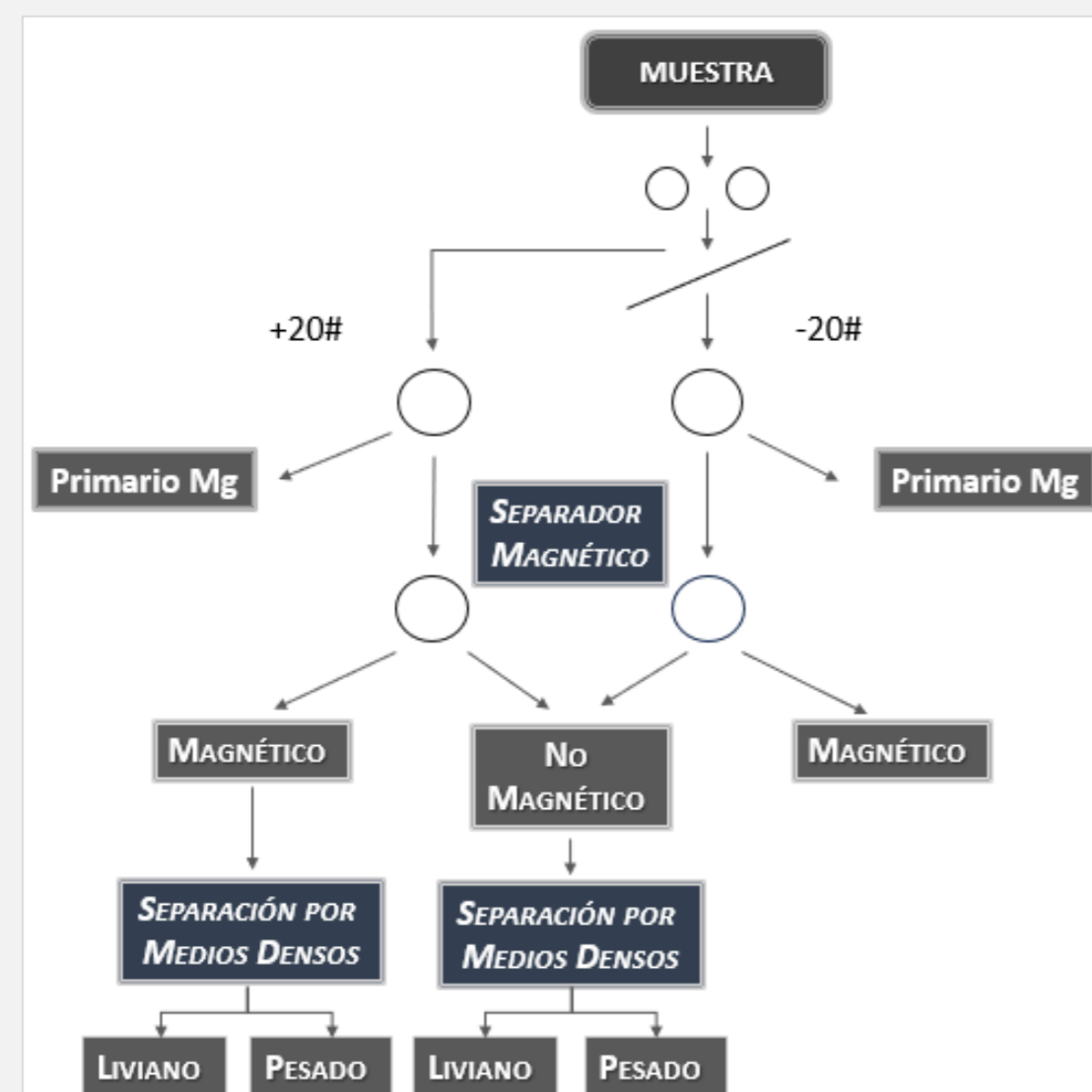
En función a las propiedades magnéticas y el peso específico de la muestra, se decidió aplicar una *separación magnética* y una concentración por *separación de medios densos*.

En una primera etapa, se realizó una preconcentración, donde se obtuvieron dos productos: uno magnético y otro producto no magnético.

El magnético, fue separado por una concentración de medios densos, obteniendo dos subproductos: liviano y pesado. De igual manera, se utilizó el mismo procedimiento para el no magnético.

Los ensayos de separación magnética, se realizaron variando la intensidad del campo magnético y la velocidad del tambor, manteniendo fijo la luz de separación entre el tambor de alimentación y el campo magnético, como así también la fijación de la raqueta, que separa el material magnético del no magnético.

Esquema:



A la muestra Cabeza se le realizó análisis químico, que sirvió de apoyo a la caracterización mineralógica.

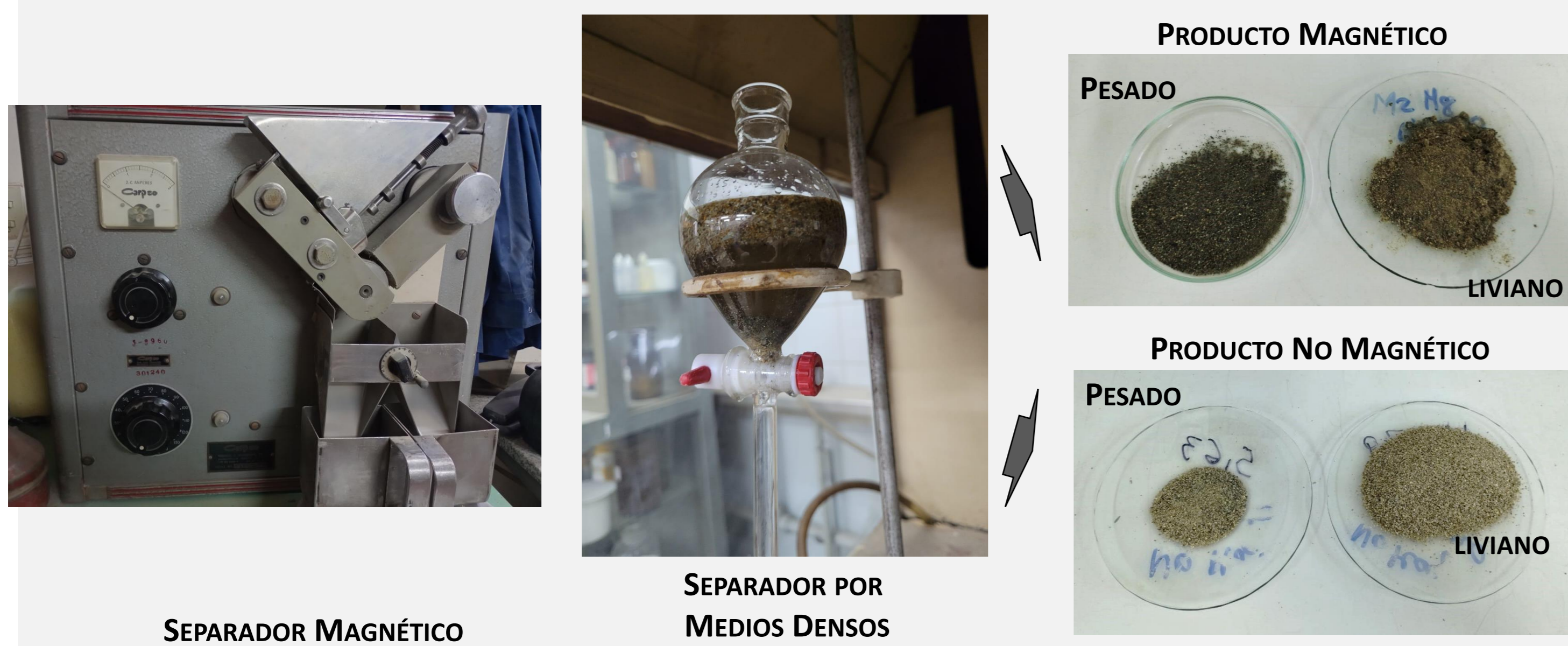
Los análisis por elementos de tierras raras se realizaron mediante el método de ESPECTROMETRÍA DE MASAS (ICP-MS), para determinar su contenido.

Los estudios mineralógicos fueron llevados a cabo en etapas sucesivas:

- Observaciones a la LUPA BINOCULAR, marca Leica S6D Stereo Microscope (10x-64 x);
- MICROSCOPIO ÓPTICO DE POLARIZACIÓN Leica DM 2700 P con luz reflejada y objetivos 20X, 40X y 60X. Provisto de una cámara de video Leica DFC 295 incorporada y monitor de alta resolución, con su correspondiente programa computarizado para tratamiento de imágenes.
- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA (SEM-EDS) modelo EVO MA10W, original Carl Zeiss, con sistema de micro análisis por dispersión de energía de rayos X (EDS) marca Bruker, modelo Quantax 200 con detector analítico tipo SDD XFlash 6|30.

Los ensayos de separación magnética fueron realizados por un SEPARADOR MAGNÉTICO marca Carpc modelo MIH (13)221-100.

La separación por medios densos, fue realizada con un reactivo "BROMOFORMO" con un peso específico 2,80



## RESULTADOS

La combinación de los métodos por separación magnética y concentración por medios densos, permitieron concentrar a los minerales según sus propiedades, considerando su magnetismo y peso específico.

Se obtuvo un **Producto Magnético** rico en hierro (separador de baja intensidad), constituido mayoritariamente por magnetita, mientras que el otro, **Producto No Magnético** estuvo constituido por minerales que tienen menor contenido de hierro.

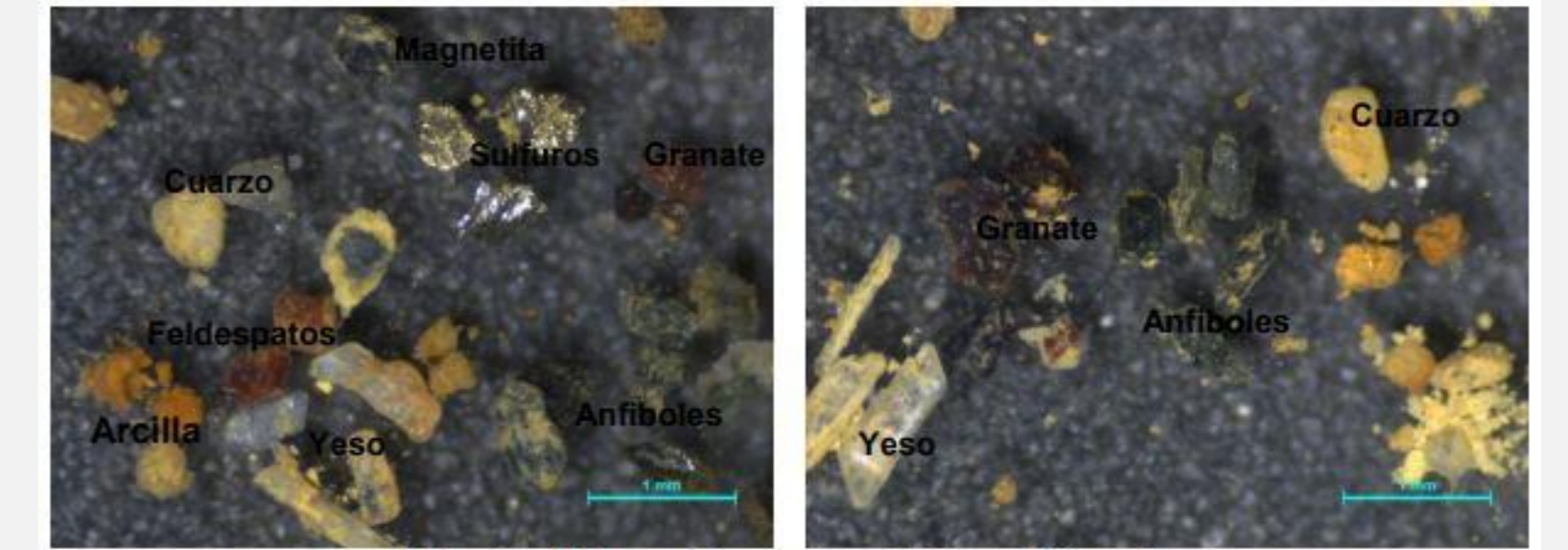
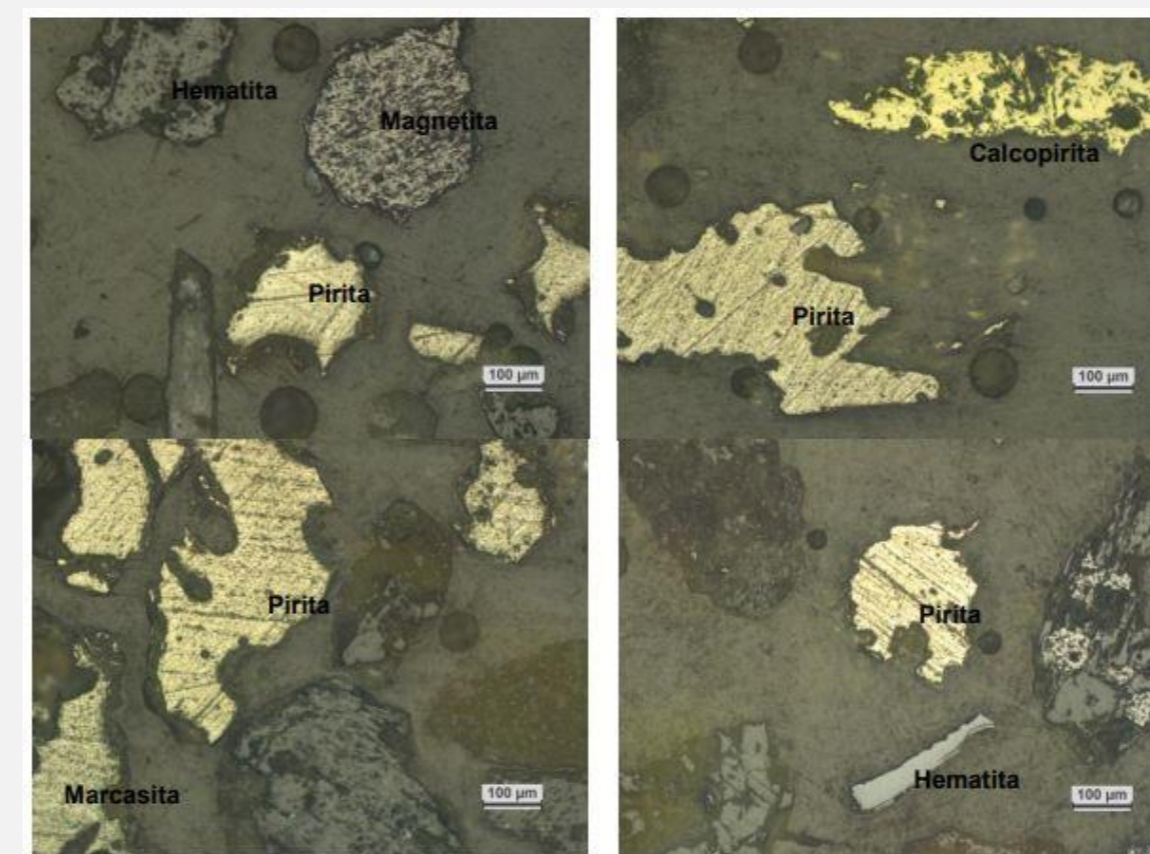
La posterior separación del **Producto Magnético** y **No Magnético** en subproductos **liviano** y **pesado** resultó un paso clave, para una preconcentración mineral.

- Análisis Químico Muestra Cabeza

Method	ME-MSI	ME-MSII	ME-MSIII	ME-MSIV	ME-MSV	ME-MSVI	ME-MSVII	ME-MSVIII	ME-MSIX	ME-MSX	ME-MSXI	ME-MSXII	ME-MSXIII	ME-MSXIV	ME-MSXV	ME-MSXVI	ME-MSXVII	ME-MSXVIII	ME-MSXIX	ME-MSXX	
Analyte	La	Lu	Nb	Nd	Pr	Rb	Sm	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V							
Units	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm							
Sample Description	LOD	0.1	0.01	0.1	0.1	0.02	0.2	0.03	1	0.1	0.01	0.05	0.01	0.05	5						
ME-MSI	0.5	0.29	6.5	18.3	4.19	17.1	3.99	2	356	0.6	0.55	5.22	0.33	2.02	183						

Rb 67,1 ppm; Ce 35,7ppm; Nd 18,2 ppm; Ga 18,1ppm; Y16,8 ppm; La 16,1ppm

Los minerales observados en LA MUESTRA CABEZA, se corresponden en líneas generales a: Minerales opacos, constituidos por sulfuros, tales como pirita, calcopirita, marcasita y minerales oxidados (magnetita, hematita, y óxidos de hierro en general); acompañados por minerales silicatados como cuarzo, feldspatos, minerales micáceos (biotitas/muscovitas), anfíboles, epidotos, granate, y por minerales sulfatados como yeso y jarosita. Los granos minerales están mayoritariamente recubiertos por estos últimos y por material arcilloso.



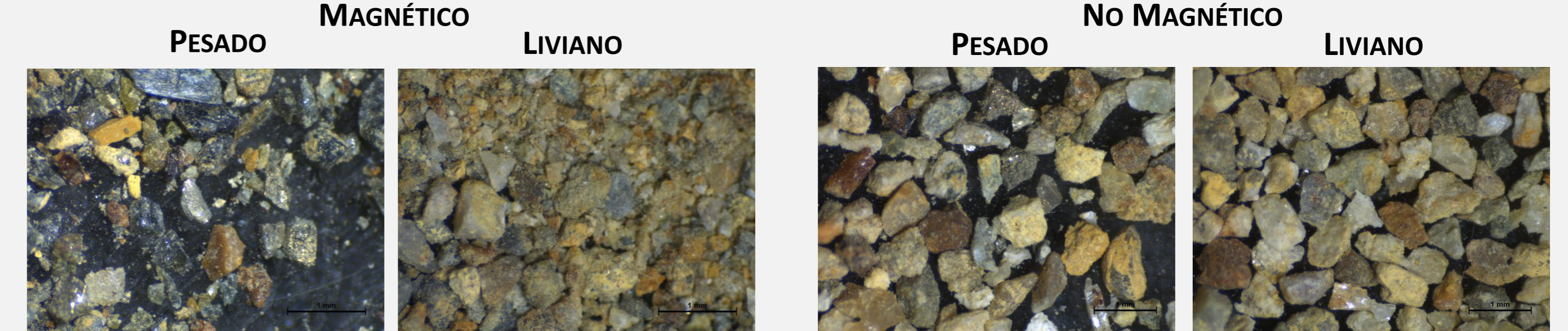
Muestra Cabeza observada en la Lupa Binocular

Muestra Cabeza observada en el microscopio por reflexión para la identificación de opacos

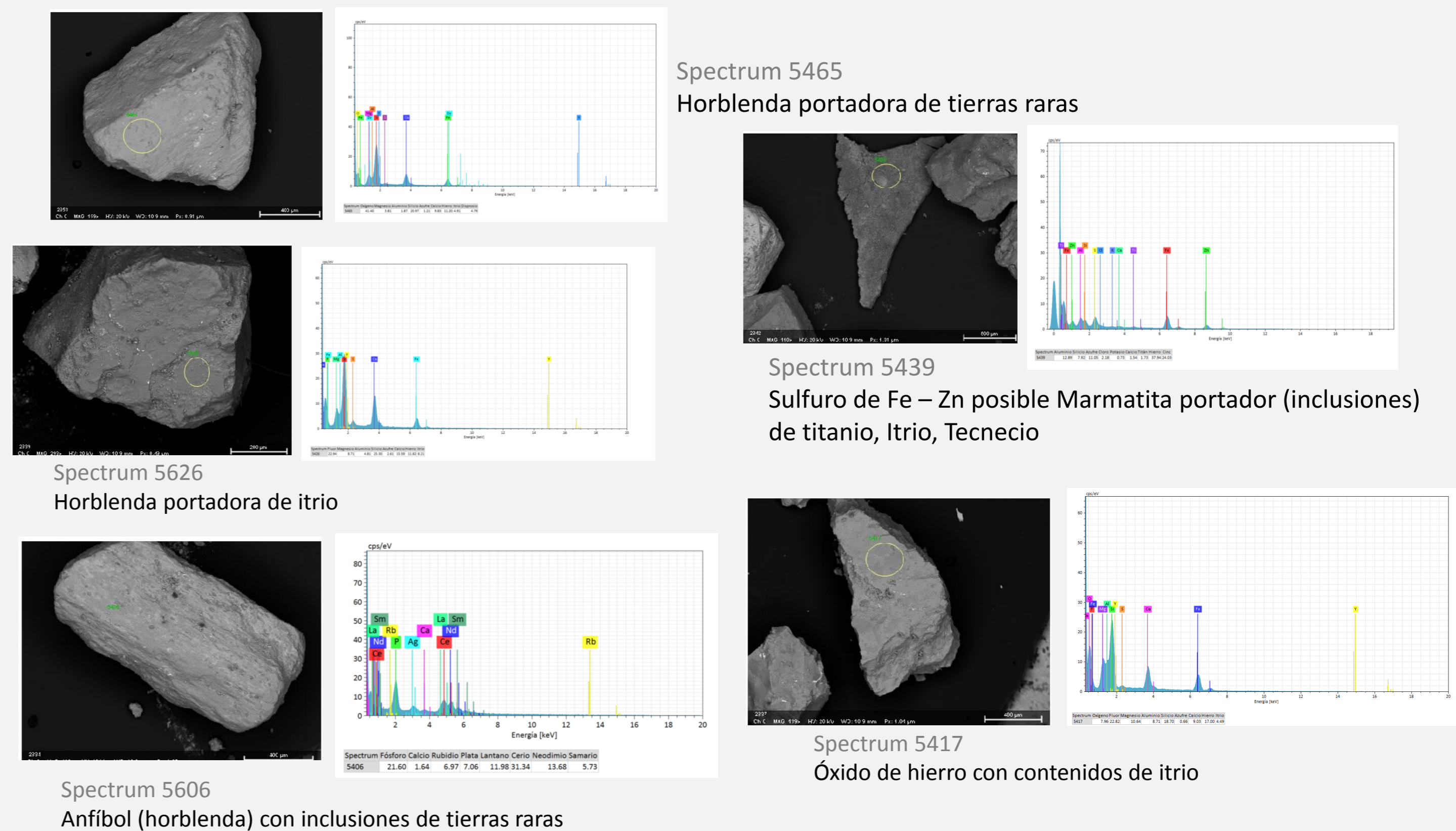
- Caracterización mineralógica de la SEPARACIÓN MAGNÉTICA de la Cabeza.

PORCENTAJE EN PESO DE LA MINERALIZACIÓN	MAGNÉTICO		NO MAGNÉTICO	
	% EN PESO	MAGNÉTICO	NO MAGNÉTICO	
OPACOS	16,53		16,46	
HORBLENDA	18,21		6,43	
GANGA	62,73		75,55	
GRANATE	2,53		1,55	

- Caracterización mineralógica de los productos obtenidos: Magnético (Pesado y Liviano) – No Magnético (Pesado y Liviano)



- Caracterización de los productos por SEM-EDS



## CONCLUSIONES

Del ANÁLISIS QUÍMICO se concluye que la muestra está compuesta mayoritariamente por silicatos, sulfuros y en menor proporción carbonatos.

El porcentaje de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es de 0,19 % por lo que existe muy baja probabilidad de encontrar minerales de la clase de los Fosfatos tales como la monacita, Xenotima, Cheralita, Florencita, portadores de elementos de ETR. En orden decreciente se detallan los elementos ETR que se encontraron en la muestra en estudio: Rb 67,1ppm; Ce 35,7ppm; Nd 18,2ppm; Ga 18,1ppm; Y16,8 ppm; La 16,1ppm.

Del ANÁLISIS MINERALÓGICO se identifica al anfíbol (horblenda), granate y óxidos de hierro como las especies minerales contenedoras de tierras raras más probables. De la Cabeza (+20#) se trató con separador magnético de baja y de alta intensidad, obteniéndose dos productos Magnético y No Magnético. De las observaciones mineralógicas realizadas se concluye que el Magnético presenta mayores proporciones de minerales de hierro (sulfuros de hierro, silicatos en general). El No magnético se confirma su baja proporción en los minerales anteriormente mencionados.

Con el apoyo del SEM-EDS se corroboró la mineralización observada y se detectó la presencia de ETR en la horblenda y en óxidos de hierro.

La separación por medios densos permitió la separación de aquellos minerales mayores a 2,80 de peso específico.

Una vez realizada la pre-concentración con un separador magnético de baja intensidad, luego la separación magnética de alta intensidad, y posterior separación por medios densos, se logró observar que hubo una concentración (22 veces aprox.) de minerales portadores de ETR.

Esta metodología de estudio resultó ser aplicable a muestras portadoras de dichos elementos.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Cowie, P. A., and Scholz, C.H. Growth of faults by accumulation of seismic slip. J. Geophys. Res. 97 (B7), 11085-11095 (1992).
- Dawers, N. H., Anders, M. H. and Scholz, C. H. Growth of Normal Faults, Displacement-Length Scaling. Geology 21, 1107-1110 (1993).
- Kanninen, M. F. and Popelar, C. H., Advanced Fracture Mechanics, Univ. Press, Oxford, 1985.
- Vermilye, J. M. and Scholz, C. H. The process zone: A microstructural view of fault growth. J. Geophys. Res.-Solid Earth 103, 12223-12237 (1998).