

CARACTERIZACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE MINERALES PESADOS DE ARENAS DESERTICAS

VALDERRAMA, L.¹, POP, N.², CHAMORRO, J.¹, SANTANDER, M.¹, LÓPEZ, I.¹

¹Departamento de Metalurgia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama. Avenida Copayapu 485, Copiapó – Chile. luis.valderrama@uda.cl

²Departamento de Geología - Sociedad Contractual Minera Carola. Copiapó – Chile.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización y concentración de minerales pesados contenidos en arenas del desierto de la Región de Atacama. Desde la muestra inicial se descartaron las fracciones gruesa (+ 0,595 mm) y fina (- 0,074 mm). La caracterización fue realizada mediante análisis químico en húmedo y espectrometría de fluorescencia de rayos X, lo que permitió identificar y cuantificar los elementos contenidos en la muestra. De igual manera, la difracción de rayos X permitió la identificación y cuantificación los minerales contenidos en las arenas. De acuerdo a los resultados obtenidos, los principales minerales de interés económico son: magnetita y hematita (minerales de hierro), ilmenita, rutilo y titanio magnetita (minerales de titanio), apatita (mineral de fosfato) y circón (mineral de circonio). Los minerales pesados contenidos en las arenas corresponden al 28,8 % de la masa, el que contiene 34,3 % de magnetita, 13,4 % de TiO₂, 8,6 % de hematita, 6,4 % de apatita y 0,8 % de circón. La muestra se sometió a una concentración magnética de baja intensidad, obteniéndose un concentrado de 48,6 % de hierro. Al material no magnético se le realizó una separación electrostática y luego una separación magnética en alta intensidad, obteniéndose un concentrado con 37,6 % de óxido de titanio. Se continúa investigando la presencia de otros minerales, lo que aumentará el interés en el beneficio y negocio minero de estas arenas.

PALABRAS-CLAVE: caracterización; separación; minerales; arenas desérticas.

ABSTRACT

The present study aims to characterize and concentration of heavy minerals contained in the desert sands of the Atacama Region. From the initial sample were discarded coarse fractions (+ 0.595 mm) and thin (- 0.074 mm). The characterization was performed by wet chemical analysis and fluorescence spectrometry of X rays, which allowed to identify and quantify the elements contained in the sample. Similarly, the X-ray diffraction allowed the identification and quantification of the minerals contained in the sands. According to the results, the main mineral of economic interest include: magnetite and hematite (iron ore), ilmenite, magnetite and titanium rutile (titanium minerals), apatite (phosphate mineral) and zircon (zirconium ore). The heavy mineral sands content corresponds to 28.8 % of the mass, containing 34.3 % magnetite, 13.4 % TiO₂, 8.6% hematite, 6.4 % apatite and 0.8 % of zircon. The sample was subjected to a low intensity magnetic concentration, obtaining a concentrate of 48.6 % iron. Nonmagnetic material underwent an electrostatic separation and then a high intensity magnetic separation, obtaining a concentrate with 37.6 % titanium oxide. It continues to investigate the presence of other minerals, which will increase the interest in the mining business and benefit from these sands.

KEYWORDS: characterization; separation; minerals; desert sands.

1. INTRODUCCIÓN

El desierto de Atacama, el más árido del planeta, se ubica entre las regiones de Arica y Parinacota y la Región de Atacama. Este desierto está enmarcado por la cordillera de los Andes y la costa, cubriendo aproximadamente 105.000 km². Es un desierto rico en recursos minerales como cobre, oro, litio, hierro, plata, titanio y minerales industriales. Aunque algunos de dichos recursos son explotados por varias empresas mineras, no existen antecedentes sobre el beneficio de las arenas de este desierto.

Debido a las bajas concentraciones de titanio, zircón y otros minerales de elevada densidad en las rocas primarias, estos se encuentran en rocas sedimentarias, con contenidos adecuados para su concentración, según Baltar, *et al.*, (2008). Tales depósitos son generados por la erosión de las rocas, en las cuales los minerales alcanzan concentraciones a nivel de trazas. Dadas las características de durezas y resistencia química de las rocas, son transportadas largas distancias, concentrándose de manera fluvial, eólica y marina, lo que permite generar depósitos de valor económico, según Muijen y Massee (1998).

En la naturaleza la concentración de los minerales pesados se produce por la pérdida de la energía de la corriente que transporta (rio, mar, viento), lo que permite el depósito de minerales pesados en los sitios más propicios, de acuerdo con Machado (2011).

Se define como minerales densos a los granos minerales que se encuentran normalmente como accesorios en rocas ígneas y metamórficas, cuya densidad es superior a 2,85 kg/L, mayor que la del cuarzo (2,65 kg/L) y la de los feldespatos (2,56 kg/L a 2,76 kg/L).

En este tipo de depósitos de *placers*, al encontrarse el mineral en forma de arena no requiere de etapas de conminución. El mineral contiene ilmenita, rutilo y otros minerales pesados tales como circón, monacita, siendo cuarzo el principal constituyente de la ganga. El contenido de minerales pesado puede variar entre 3 a 15 %, según Johnsson, *et al.*, (1991).

El proceso de concentración para este tipo de depósitos se inicia con la remoción del material grueso, de acuerdo con Valderrama *et al.*, (2007). La concentración gravitacional es realizada en espirales y/o conos Reichert, para la eliminación del cuarzo y otros constituyentes livianos. El concentrado colectivo de minerales pesados es secado y sometido a separación magnética. Un concentrado de ilmenita es obtenido en la separación magnética. La fracción no magnética es procesada en un separador electrostático para la remoción de rutilo. La recuperación depende de la granulometría del mineral.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para la realización de este trabajo se colectaron 54 muestras de arenas del desierto de Atacama, las cuales fueron secadas, homogenizadas y mezcladas, obteniéndose un compuesto representativo. Luego por cuarteos sucesivos se generaron muestras para realizar análisis químicos, granulométricos y mineralógicos. El análisis granulométrico se realizó en húmedo mediante una batería de tamices que incluyó las mallas 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140 y 200.

El esquema general usado para desarrollar esta investigación se muestra en la Figura 1. Se puede observar una etapa de separación mediante líquidos densos, una concentración magnética en baja intensidad, una separación electrostática y por último una etapa de concentración magnética de alta intensidad.

Para la separación de los minerales pesados de los livianos se utilizó bromoformo, líquido denso cuya densidad es de 2,89 kg/L, de acuerdo a la metodología descrita por Mange and Maurer (1992). Este método está basado en la separación de los minerales de diferentes densidades por medio de la inmersión de ellos en un líquido, cuya densidad efectiva está entre un valor intermedio entre los minerales livianos y los pesados, de tal manera que unos quedaran flotando (float), que tienen una densidad menor que la del medio y la otra que se hunde (sink), cuya densidad es mayor que la del medio.

Las pruebas de concentración magnética, para separar la magnetita, fueron realizadas en un separador magnético de tambor en húmedo de baja intensidad de laboratorio WLIMS WD (20)111-15 de Outotec.

Los ensayos de separación electrostática fueron realizada en un “High Tension Electrostatic Separator” eForce® Outotec, con un tambor de 10” x 6”, una velocidad entre 0 – 400 rpm y una capacidad de 3 toneladas/hora/metro.

Los análisis químico y de fluorescencia de rayos X permitieron determinar los diferentes elementos que conformaban la muestra de arena. El análisis mineralógico semi-cuantitativo hizo posible la identificación de los diferentes minerales contenidos en la arena.

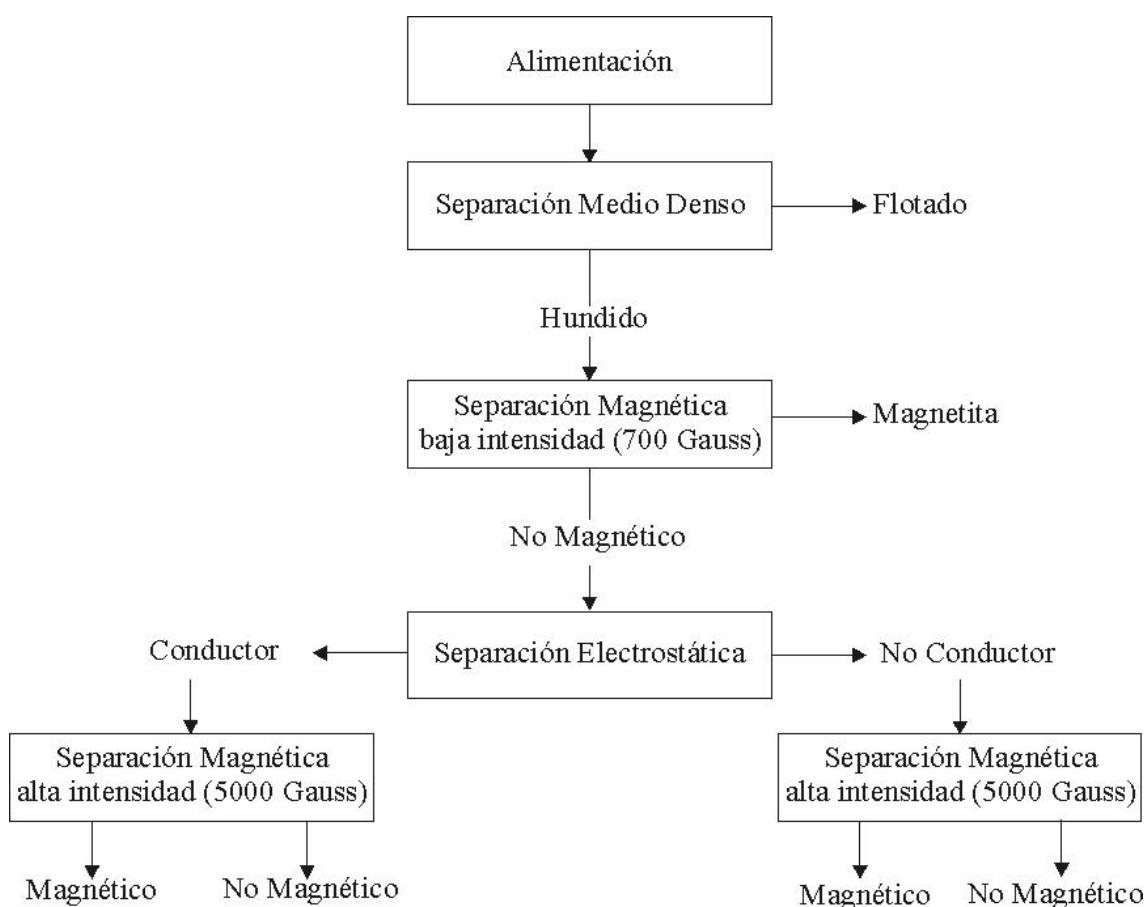


Figura 1. Esquema general aplicado a la arena.

Las leyes y los análisis mineralógicos permitieron realizar un balance de masas en cada prueba, lo que hizo posible analizar la distribución de cada mineral en la prueba.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis químico

Los resultados de la caracterización química de la mezcla de arenas son presentados en la Tabla I. En ella se puede observar que la muestra presenta un alto contenido de hierro total, hierro magnético, titanio y fósforo.

Tabla I. Caracterización química del compuesto de arenas.

Muestra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe _T (%)	Fe _{Mag} (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	H ₂ O (%)
Mezcla	44,34	6,56	12,40	7,91	14,18	8,14	0,49	1,17	4,03	1,81	0,43	0,27

La distribución granulométrica de la muestra, en porcentaje de masa retenida y pasante en cada tamiz, es presentada en la Tabla II. De acuerdo a dicha distribución, se observa que sobre la malla 30 (0,585 mm) se encuentra el 14,0 % de la masa de arena, mientras que el porcentaje de masa fina, bajo la malla 200 (0,074 mm) es de 8,2 % (este es el porcentaje de la masa de arena que fue descartada de la muestra inicial).

Tabla II. Análisis granulométrico del compuesto.

Malla	Abertura (mm)	Peso (%)	Retenido (%)	Pasante (%)
20	0,841	0	0	100
30	0,595	14,0	14,0	86,0
40	0,420	25,0	29,0	61,0
50	0,297	19,3	58,3	41,7
70	0,210	16,5	74,8	25,2
100	0,149	9,7	84,5	15,5
140	0,105	5,8	90,3	9,7
200	0,074	1,5	91,8	8,2
-200	-0,074	8,2	100	0

La Tabla III muestra las masas de los minerales pesados y livianos obtenidas en las pruebas de separación con líquidos densos. La masa del material flotado fue de 7.120 gramos y la del material hundido de 2.880 gramos. El material hundido fue sometido a concentración magnética y el material flotado fue descartado.

Tabla III. Separación mediante líquidos densos.

Flujo	Peso (%)	Ley Fe _T (%)	Ley TiO ₂ (%)	Rec. Fe _T (%)	Rec. TiO ₂ (%)
Hundido	28,8	34,3	13,4	79,4	95,4
Flotado	71,2	3,6	0,26	20,6	4,6
Alimentación	100,0	12,4	4,03	100,0	100,0

En la Tabla IV se presentan los resultados obtenidos en la prueba de concentración magnética del material hundido. En ella se observa que la ley de hierro en el material magnético alcanza un valor de 48,6 % con una recuperación de 96,4 %. El material no magnético presenta una ley de óxido de titanio de 28,7 % con una recuperación de 68,9 %.

Tabla IV. Separación magnética del material hundido.

Flujo	Peso (%)	Ley Fe _T (%)	Ley TiO ₂ (%)	Rec. Fe _T (%)	Rec. TiO ₂ (%)
No magnético	32,0	3,9	28,7	3,6	68,9
Magnético	68,0	48,6	6,1	96,4	31,1
Alimentación	100,0	34,3	13,4	100,0	100,0

La obtención de un concentrado de hierro de calidad comercial, con niveles de impurezas aceptables (SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃, P₂O₅, etc), tal como lo muestra la Tabla V, requiere de una etapa de remolienda, que permita la liberación de los minerales para su posterior concentración magnética de limpieza; pero estos resultados quedan fuera del objetivo de este trabajo.

Tabla V. Caracterización química de los productos de la concentración magnética.

Muestra	Fe _T (%)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)
No magnético	3,9	30,01	28,7	11,81	8,53	4,02	4,05	0,74
Magnético	48,6	7,1	6,1	1,62	1,98	2,29	0,70	0,61
Alimentación	34,3	14,40	13,4	4,90	4,06	3,15	1,77	0,63

El material no magnético obtenido en la etapa anterior fue sometido a pruebas de separación electrostática. De acuerdo a los resultados obtenidos, presentados en la Tabla VI, se observa que la masa del material conductor corresponde al 31% de la masa alimentada. La ley de SiO₂ se incrementa a 36,72 % y la de TiO₂ a 37,2 %, con una recuperación de 40,8 %. Es importante destacar que el material no conductor contiene una ley de TiO₂ bastante elevada, y de acuerdo a Viera y Lins (1998), no sería posible encontrar óxido de titanio en la forma de ilmenita o rutilo en este tipo de material. De acuerdo a las consideraciones anteriores, no existe separación de los minerales porque no están liberados de la ganga, porque se encuentran recubiertos por una película de arcilla o porque presentan de inclusiones dentro de estos minerales.

Tabla VI. Balance de masa de la separación electrostática.

Muestra	Peso (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	P ₂ O ₅ (%)	Zr (%)	Ley TiO ₂ (%)	Rec. TiO ₂ (%)
Conductor	31,0	36,72	6,51	2,01	0,065	37,2	40,8
No conductor	69,0	28,4	14,19	4,94	1,39	24,2	59,2
Alimentación	100,0	30,01	11,81	4,05	0,171	28,7	100,0

El análisis de difracción de rayos X indicó que la magnetita es el mineral pesado más significativo, presente en la muestra. También fue posible identificar, en menor concentración, los siguientes minerales: ilmenita (FeTiO₃), rutilo (TiO₂), titanio magnetita (Fe_{2,50}Ti_{0,50}O₄), apatita

($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$), circón (ZrSiO_4). Los minerales formadores de ganga fueron augita, biotita, actinolita y albita.

Las masas del material conductor y no conductor, obtenidos en la prueba de separación electrostática, se sometieron a pruebas de separación magnética de alta intensidad (5.000 Gauss), con el objetivo de separar los diferentes minerales pasados.

Los resultados de los análisis químicos, fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X de los productos obtenidos no permitieron concluir que existe una separación de los minerales magnético y no magnético de los productos obtenidos de la separación electrostática, porque las leyes de estos minerales eran similares en ambos productos.

Tal como se indicó anteriormente, esto podría deberse a que los minerales no están liberados o están recubiertos por una película de arcilla, de acuerdo con Sabedot y Sampaio (2001). Para un estudio más profundo de dicho fenómeno, es necesario la molienda de estos materiales densos o realizar el acondicionamiento en alta intensidad para limpiar la superficie de la película que recubre a estas partículas minerales.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra que las arenas desérticas contienen diversos minerales pesados diseminados. La caracterización mineralógica permitió indicar que la magnetita (Fe_3O_4) es el principal mineral pesado, seguido por titanio magnetita ($\text{Fe}_{2,50}\text{Ti}_{0,50}\text{O}_4$), ilmenita (FeTiO_3), rutilo (TiO_2), apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ y circón (ZrSiO_4). Una vez caracterizada las arenas se realizaron pruebas de separación electrostática y magnética para obtener concentrados con los diferentes minerales pesados contenidos. Los resultados de estas pruebas no fueron los esperados, porque no se logró una separación nítida de estos minerales, lo que puede indicar que estos no se encuentran liberados y/o se encuentran recubierto por una película de arcilla que no permiten obtener un concentrado de alta ley, razón por lo cual se debe moler para liberar o realizar un proceso de atrición para eliminar el recubrimiento y someterlo nuevamente a la separación electrostática y/o magnética.

5. REFERENCIAS

MANGE M. A. AND MAURER, H. F. W. Heavy Mineral in Colour. London Chapman & Hall. 147p. 1992.

MACHADO, T. F. 2011. Proveniência das areias inconsolidadas do Rio Jacuí – RS. Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

BALTAR, C. A. M., SAMPAIO, J. A., DE ANDRADE, M. C., PINTO, D. DE CARVALHO. Minerais de Titânio. En Rochas & Minerais Industriais, Usos e Especificações. 2a Edição, CETEM-MCT, Rio de Janeiro. 2008.

VALDERRAMA, L.; POBLETE, R.; CONTRERAS C. Concentración de Minerales de Titanio contenidos en arenas de Playa de la Región de Atacama. VII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology y XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extractiva, Ouro Preto-Brasil, noviembre, p.91-98. 2007.

MUIJEN, H.V., MASSEE, R. A. Modern mineral sand mining an everview. In: National Meeting for Mineral Processing and Extrative Metallurgy, XVII, Água de São Pedro, SP 1998.

JOHNSSON, M. J., STALLARED, R. F., LONDBERG, N. Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering. *Sedimentary Geology*, 124; pag. 3 – 29; 1991.

SABEDOT, S., SAMPAIO, C: H. Aplicação de un processo de atrição para otimizar a recuperação de concentrados de zircão. Proceeding of VI Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology and XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Rio de Janeiro - Brasil. v.3, p. 79 – 82, 2001.

VIERA, V. E., Y LINS, F. F., Concentração de Minérios de Terras-raras: uma revisão. CETEM. *Série Tecnologia Mineral*, 73, 53p. 1998.

