

CARACTERIZACIÓN DE MINERALES PESADOS EN ARENAS DESÉRTICAS

L. Valderrama¹, J. Chamorro¹, B. Zazzali¹, A. Gonzalez²

(1) Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.

(2) Sociedad Atacama Desert Minerals S. A.

* e-mail de autor de correspondencia: luis.valderrama@uda.cl

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo principal identificar los minerales densos presentes en una muestra de arenas del desierto de Atacama, estudiando su caracterización granulométrica, química y mineralógica. El análisis químico indicó que la muestra está constituida por: 40,0 % SiO₂, 7,56 % Al₂O₃, 18,9 % Fe₂O₃, 15,18 % CaO, 8,14 % MgO, 3,15 % TiO₂, 1,81% P₂O₅, 1,17% Na₂O y 0,49 % K₂O. Los minerales pesados obtenidos por separación en medios líquidos densos corresponden al 10,8 % del mineral alimentado. Posteriormente los minerales pesados fueron separados magnéticamente en seco para extraer la magnetita. El producto no magnético analizado contiene principalmente magnetita (3,9 %), ilmenita (2,65 %), rutilo (1,49 %), titanio magnetita (0,24 %), circón (0,46 %) y pequeñas concentraciones de monacita (mineral de fosfato que contiene tierras raras).

Palabras claves: arenas, caracterización, minerales pesados

ABSTRACT

This study aims to identify the main dense minerals present in a sample of sands from the Atacama Desert, addressing size analysis, chemical and mineralogical characterization. Chemical analysis indicated that the sample consisted of: 40.0 % SiO₂, 7.56 % Al₂O₃, 18.9 % Fe₂O₃, 15.18% CaO, 8.14% MgO, 3.15% TiO₂, 1.81 % P₂O₅, 1.17 % Na₂O and 0.49% K₂O. The heavy minerals fraction obtained by separation in dense liquid represents 10.8% of the feed. Then the heavy minerals were submitted to dry low intensity magnetic separation to remove magnetite. The nonmagnetic product analyzed contains mainly magnetite (3.9 %), ilmenite (2.65 %), rutile (1.49%), titanium magnetite (0.24%), zircon (0.46%) and low concentrations of monazite (phosphate mineral containing rare earths).

Key Words: sand, characterization, heavy minerals

1. INTRODUCCIÓN

Chile posee una gran variedad de minerales con valor económico, de los cuales históricamente solo se ha comercializado cobre, oro, plata, hierro, molibdeno y, en menor proporción, minerales industriales tales como yodo, litio, nitrato y cloruro de sodio [1].

La Región de Atacama se caracteriza por poseer un ecosistema desértico reconocido por su singularidad paisajística y turística, que lo ha llevado a posicionarse como el desierto florido del mundo. Por ello, es absolutamente relevante conservar este ecosistema frágil, con un uso racional de los recursos naturales que contiene. La sub región del desierto florido se extiende desde el norte de La Serena hasta el valle del Río Copiapó, y su carácter esencial está determinado por la influencia de precipitaciones periódicas, suficientes para provocar el florecimiento de innumerables especies efímeras que participan en su composición [2].

Los yacimientos de hierro más importantes de Chile se encuentran en la Cordillera de la Costa de las regiones de Atacama y Coquimbo, constituyendo la denominada franja ferrífera de la Cordillera de la Costa. Esta es una franja longitudinal de depósitos ferríferos que se extiende por más de 600 km., entre las latitudes de 26° y 32°S y que coincide con la posición de una faja de intrusivos del Albiano y con la posición de la zona de falla de Atacama en su extremo sur.

Las minas de hierro más importantes entre estas regiones son Los Colorados y El Algarrobo, ubicadas en la Región de Atacama, y El Romeral, ubicada en la Región de Coquimbo, las que son explotadas y beneficiadas por la Compañía Minera del Pacífico, filial de la empresa CAP.

Además de los yacimientos de hierro anteriormente mencionados, es posible explotar recursos ferríferos del tipo aluvial, asociados a extensos depósitos aluviales no consolidados de edad Cuaternario. Su origen es el resultado de la intemperización – meteorización - erosión de las Dioritas, liberación natural de los minerales

formadores de rocas y subsecuente acumulación gravitacional de las especies densas tales como ferro-magnesianos (anfíboles, biotitas) y óxidos de hierro (magnetita, hematita, ilmenita).

Este recurso ferrífero comprende los cordones latitudinales y transversales, que se desprenden de las primeras estribaciones de los macizos pre andinos y que se continúan por el valle de Copiapó, formando incluso sierras notables, desde un punto de vista ecológico, como es el caso de la Sierra Fritis hacia el sur oeste de Copiapó, y por el norte campos dunarios remanentes [3, 4], que son extensas manifestaciones arenosas de arrastre eólico, cuyos verdaderos orígenes aún no están bien dilucidados. La especie mineralógica económica es la magnetita, la que de acuerdo a los análisis previos podría alcanzar una ley media de 8 % en las arenas.

Del volumen total de minerales presentes en la tierra, los de hierro son aquellos que mayoritariamente han sido explotados. En el año 2011 la producción mundial de mineral de hierro fue de 2.800 millones de toneladas, siendo China el mayor productor (42,9 % del total), seguida por Australia (17,1 %), Brasil (13,9 %), India (8,6 %) y Rusia (3,6 %). En América del Sur, además de Brasil, solo aparece Venezuela con una producción de 16 millones de toneladas [5].

La minería del futuro exigirá buscar nuevas soluciones, especialmente en el tratamiento de minerales con menores leyes, desmontes, relaves, ripios, y con mayores dificultades en su tratamiento.

Por este motivo, a fin de independizar la economía nacional de los recursos actualmente explotados, es de vital importancia maximizar los esfuerzos para concretizar nuevas prospecciones mineras, cuantificando las reservas y el desarrollo de nuevas capacidades, necesarias para el beneficio de minerales contenidos en estas arenas [6].

De acuerdo a las consideraciones anteriores, surge la necesidad de investigar estos arenales, principalmente aquellos que se encuentran cerca de las costas de nuestra región, con el fin de determinar la presencia

de minerales pesados para responder a la inquietud planteada anteriormente.

Los minerales pesados, llamados así porque presentan un peso específico mayor a $2,85 \text{ kL}^{-1}$, incluyen varios silicatos y óxidos; magnetita, turmalina, circón, rutilo, esfeno y olivino, encontrados en pequeñas cantidades en las areniscas [7].

Se busca establecer las bases tecnológicas para desarrollar las capacidades necesarias para la cuantificación de las reservas y beneficio de estas arenas, no solo para la obtención de concentrados de hierro sino además, de otros minerales atractivos presentes que pudiesen tener factibilidad técnico-económica de explotación y comercialización.

El posible beneficio de las arenas de la Región de Atacama ha sido parcialmente estudiado, pues solo se ha recuperado hierro magnético mediante concentración magnética en seco. Si además se considera la presencia de minerales densos, tales como minerales de titanio, circonio y tierras raras, en concentraciones apreciables, dichas arenas pasan a constituir un gran potencial estratégico [8, 9].

Este trabajo presenta las potencialidades que existen en la Región de Atacama, en lo concerniente a la existencia de depósitos de arenas desérticas, que podrían tener un significado económico fundamental en apoyo a la diversificación de la mediana y pequeña minería convencional.

2. MATERIALES Y METODO

Las muestras fueron tomadas a una distancia aproximada de 60 km desde Copiapó, tomando la ruta C-324 y siguiendo luego un camino al sureste. La localidad más cercana corresponde a la Caleta Barranquilla, ubicada a 15 kilómetros, lugar en el que se extrajo 180 kilogramos de arena fina de los diferentes estratos de tres calicatas cuya profundidad fue de 8 metros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Análisis químico

Las diferentes etapas de preparación de las muestra tales como secado, homogenización, cuarteo y preparación de los paquetes para las diferentes pruebas, fueron realizadas en los Laboratorios del Departamento de Metalurgia de la Universidad de Atacama.

La fracción de tamaño mayor fue retirada en terreno mediante un harnero malla 20 Tyler (0,841 mm), obteniéndose una muestra de 180 kilogramos.

Una fracción de esta muestra fue utilizada para realizar el análisis granulométrico de la arena. La serie Tyler de tamices utilizada para este análisis fueron: 0,841 mm, 0,297 mm, 0,210 mm, 0,149 mm, 0,105 mm 0,074 mm.

Con el fin de cuantificar el contenido de hierro total y de hierro magnético se utilizó otra fracción de la muestra de arena, la que se sometió a una prueba de separación magnética en seco con la granulometría que presentaba. Dicha prueba se realizó en un tubo Davis y en un separador magnético en seco, usando una velocidad del tambor de 100 rpm, una intensidad del campo de 1.000 Gauss y un flujo de alimentación de 80 g/min.

Otra fracción de la muestra fue usada en la separación por medio líquido denso, utilizando bromoformo (CClBr_3), cuya densidad es de $2,89 \text{ kg/L}$, para cuantificar los metales pesados (alta densidad) y livianos (baja densidad) existentes en la muestra.

Los productos obtenidos en esta prueba fueron lavados, secados, pesados y cuarteados; luego fueron disgregados y refinados para realizar el análisis químico que permite efectuar el balance metalúrgico de la prueba.

A la porción de minerales pesados se les realizó una separación magnética, con el objetivo de retirar la magnetita de la muestra. El producto no magnético fue enviado a análisis químico.

La tabla 1 presenta la composición química de la muestra de arenas. En ella se puede observar que la muestra presenta una alta ley en óxido de silicio, óxido de aluminio, óxidos de hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de titanio, óxido de fósforo y

óxido de sodio, los cuales corresponden al 96,42 % de la muestra. Es importante destacar el alto porcentaje de hierro y de titanio en la muestra. Los elementos que se encuentran en menor porcentaje son circonio, tungsteno, estroncio e itrio.

Tabla 1. Composición química de la arena desértica

Comp	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	Zr ppm	W ppm	Y ppm
(%)	40,0	18,9	15,2	8,14	7,56	3,15	1,81	1,17	0,49	0,43	1850	851	124

3.2. Análisis granulométrico

En la tabla 2 se presentan los resultados del análisis granulométrico de la muestra en estudio y sus respectivas leyes de hierro por fracción granulométrica.

Tabla 2. Análisis granulométrico de muestra de arenas

Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	Peso (%)	FeT (%)	Retenido (%)	Pasante (%)
20	0,841	30,9	7,7	1,2	7,7	92,3
48	0,297	110,6	27,5	2,2	35,2	64,8
65	0,210	48,3	12,0	7,3	47,2	52,8
100	0,149	68,8	17,1	5,3	64,3	35,7
150	0,105	55,3	13,7	5,2	78,0	22,0
200	0,074	30,4	7,5	8,1	85,5	14,5
-200	-0,074	58,2	14,5	4,8	100,0	0

Tal como se deduce de la tabla 2, al relacionar la distribución granulométrica con el análisis químico de hierro, se aprecia una disminución en la ley de hierro, tanto en las mallas gruesas (1,2 % y 2,2 %) como en la más fina (4,8 %).

El análisis granulométrico del material indica que el 64,8 % de la masa se encuentra bajo la malla 48 (0,297 mm), de manera tal que si se elimina el material contenido en las mallas 20 y 48, se eliminaría el 35,2 % de la masa alimentada. Esto implica que estaría eliminando el 15,2 % del total de hierro contenido en las arenas. El material de tamaño comprendido entre 0,210 mm y 0,074 mm representa el 84,8 % del hierro de la muestra.

Al retirar el material sobre la malla 48, la ley de hierro en la alimentación aumenta de 4,5 % a 7,0 % hierro, con una pérdida de 15,2 % de hierro alimentado. Así, la capacidad de la planta de tratamiento de estas arenas aumentaría en un 35,2% con una mayor ley de hierro en la alimentación.

3.3. Concentración magnética

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de concentración magnética en seco a la muestra de arena, en la que se observa que la ley de hierro magnético en la alimentación es de 2,65 %, razón por la cual la diferencia de hierro puede estar formando otros minerales de hierro o ser parte de la ganga. El porcentaje de hierro magnético el concentrado alcanzó

un valor de 11,74 %, con una recuperación de 74,2 %.

Este concentrado magnético obtenido puede ser reducido de tamaño para producir la liberación de la magnetita contenida, con el objetivo de producir en una segunda etapa de concentración magnética, aumentando así la ley de hierro en el concentrado.

El material no magnético, correspondiente al relave de la concentración magnética, contiene los otros minerales pesados que podrían ser recuperados, tales como ilmenita, rutilo, circón, monacita etc.

Tabla 3. Análisis químico de los productos de la concentración magnética

Productos	Rec. peso (%)	Ley de Fe (%)	Rec. Fe (%)
Magnético	16,7	11,74	74,2
No Magnético	83,3	0,82	25,8
Alimentación	100,0	2,65	100,0

3.4. Separación mediante líquido denso

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos en la prueba realizada con bromoformo para separar los minerales pesados en la muestra

de arena. En ella se observa que el 10,8 % de los minerales alimentados son minerales densos, cuya densidad es superior a 2,89 kg/L. El porcentaje de minerales que flotan (minerales livianos) corresponde a 89,2%.

Tabla 4. Resultados de la prueba de medio denso

Productos	Rec. Peso (%)	Ley de Fe (%)	Rec. Fe (%)
Hundido	10,8	18,37	75,1
Flotado	89,2	0,74	24,9
Alimentación	100,0	2,65	100,0

La ley de hierro en el material hundido corresponde a 18,37 % mientras que el contenido de hierro en el material flotado alcanzó a un valor de 0,74 %. Este elevado porcentaje de hierro puede estar formando la magnetita y la ilmenita.

Los minerales hundidos o pesados obtenidos en la prueba anterior fueron separados magnéticamente en seco, para eliminar la magnetita. En la tabla 4 se presenta los resultados de dicha prueba junto con los análisis químicos.

Tabla 4. Resultados de la separación magnética manual

Productos	Rec. Peso (%)	Ley de Fe (%)	Rec. Fe (%)
No magnético	69,3	7,7	29,1
Magnético	30,7	42,4	70,9
Alimentación	100,0	18,4	100,0

La tabla anterior muestra que es posible obtener un concentrado de hierro de 42,4 %, con un contenido de magnetita que se encuentra parcialmente asociada a la ganga; razón por la cual, para incrementar la ley de hierro es necesario moler el material para liberar la magnetita.

El análisis químico al producto no magnético fue realizado por espectrometría de fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X y espectrometría de emisión atómica. Estos análisis indicaron que la muestra contiene titanio, estroncio, cromo, vanadio, níquel, cobalto, cobre, zirconio, itrio y tungsteno.

Estos elementos se encuentran formando mineral de ilmenita FeTiO_3 (2,65 %), rutilo TiO_2 (1,49 %) y titanio magnetita $\text{Fe}_{2.75}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_4$ (0,24 %). El zirconio se encuentra como circón ZrSiO_4 (0,46 %). Los análisis químicos indican además que existen pequeñas concentraciones de fosfato que contiene tierras raras, que podría encontrarse en la forma de un mineral del tipo monacita XPO_4 .

4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos con las muestras de arenas desérticas se puede concluir lo siguiente:

- La muestra de arena presenta leyes de 40,0 % SiO_2 , 7,56 % Al_2O_3 , 18,9 % Fe_2O_3 , 15,18 % CaO , 8,14 % MgO , 3,15 % TiO_2 , 1,81 % P_2O_5 , 1,17 % Na_2O y 0,49 % K_2O .
- La arena sometida a separación en medios líquidos densos y la posterior separación de la magnetita indican que el producto magnético puede alcanzar una ley de hierro de 42,4 %. El producto no magnético analizado contiene ilmenita (2,65 %), rutilo (1,49 %), titanio magnetita (0,24 %), circón (0,46%) y fosfatos que contienen tierras raras en pequeñas concentraciones.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] SERNAGEOMIN. Anuario de la Minería de Chile 2011.
- [2] Gajardo, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Edit. Universitaria, Santiago, 166 pp.
- [3] Oyarzo, H. 2002. Evaluación Ecológica del Sector, Pampa Caracoles, Dunas Remanentes de Atacama. Informe Téc, CONAF, 27 pp.
- [4] <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/YACIMIENTOS%20DE%20HIERRO%20CHILE%20NOS.pdf>
- [5] <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>
- [6] Poblete, R. Concentración de Titanio de Arenas de Playa de la Región de Atacama. Trabajo de Titulación, Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, 2006.
- [7] Guerra, B. Caracterización y concentración de monacita y circón desde concentrados de Ilmenita. Trabajo de Titulación, Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, 2007.
- [8] Valderrama, L.; Poblete, R.; Contreras, C. Caracterización y Concentración de muestras de arenas de Caldera, Región de Atacama. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama, N° 19. 2005.
- [9] L. Valderrama; M. Santander; M. Guevara, B. Zazzali. Caracterización de circón contenido en las arenas de playa de la Región de Atacama. XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química, 2009.