



**LIBRO DE LAS  
XIII JORNADAS ARGENTINAS  
DE TRATAMIENTO DE  
MINERALES**

**5, 6 y 7 de Octubre de 2016**

**Mendoza, Argentina**

Editado por:

Daniela Suarez

Mario Rodriguez

Marcelo Esquivel



LIBRO DE LAS  
XIII JORNADAS ARGENTINAS DE  
TRATAMIENTO DE MINERALES (XIII JATRAMI)

5, 6 Y 7 DE OCTUBRE DE 2016

MENDOZA, ARGENTINA

Editado por:

Daniela Suarez

Mario Rodriguez

Marcelo Esquivel.

Suárez, Daniela Silvana

XIII Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales / Daniela Silvana Suárez ;  
Mario Humberto Rodríguez ; Marcelo Esquivel. - 1a ed. ilustrada. - Mendoza :  
Universidad Nacional de Cuyo. Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado, 2016.  
378 p. ; 31 x 22 cm.

ISBN 978-987-575-147-7

1. Minería. 2. Industria Minera. 3. Actas de Congresos. I. Rodríguez, Mario  
Humberto II. Esquivel, Marcelo III. Título  
CDD 622

ISBN 978-987-575-147-7



## **COMITÉ CONSULTIVO**

Horacio Flores. INBEMI-UNSa

Eduardo L. Tavani. CETMIC-CIC

Fernando Torres. UNCa

## **COMITÉ ORGANIZADOR**

### **Presidente:**

Marcelo R. Esquivel

### **Vice-presidente:**

Mario H. Rodriguez

### **Secretaria:**

Daniela S. Suarez

### **Vocales:**

Jorge A. González

Norma G. Valente

Gustavo D. Rosales

Fernando Túnez

Diego S. Drajlín Gordón

Eliana G. Pinna

### **Colaboradores:**

Claudio S. Godoy

Miriam D. Fraile

Alexander Resentera

Alejandra Barufaldi

Solange Muñoz

María L. Grasso

Lucas S. Flores

## **COMITÉ CIENTÍFICO**

**Coordinador:** Mario Rodriguez. UNCuyo. CONICET

Pablo Arnal. CETMIC, UNLP. CONICET

Alejandra Giaveno. UNCo. CONICET

Roberto Meissl. UNSJ.

María del C. Ruiz. UNSL. CONICET

Pedro Sarquís. UNSJ. CONICET

Fernando Torres. UNCa.

Patricia Chiacchiarini. UNCo. CONICET

Ana María Celeda. CIPROMIN-INTEMIN

Juan M. Menéndez Aguado. UNIOVI. España

Ana Bohé. CNEA-CONICET

Edgardo Donati. CINDEFI. UNLP-CONICET

Liliana Garrido. CETMIC. UNLP.CONICET

Gustavo Curutchet. Univ. de San Martín. CONICET

Graciela del Valle Morales. UNSa.CONICET

Silvana Valdez. UNSa. CONICET

Paulo Braga. CETEM. Brasil

Silvia C. Alves França. CETEM. Brasil

Natalia Marchevsky. UNSL. CONICET

Vanesa Bazán. UNSJ.CONICET

Ana M. Vidales. UNSL

Lucía Barbosa. UNSL. CONICET

Daniel Rosales. UNCuyo. CONICET

Fernando Túnez. UNSL

Andrea N. Merino. INTEQUI. UNSL.

Graciela Valente. UNCuyo

Jorge González. UNCuyo. CONICET

**AUSPICIOS:**



**MENDOZA  
GOBIERNO**



Ministerio de Economía,  
Infraestructura y Energía  
Subsecretaría de Energía y Minería



**Minera  
San Jorge S.A.**



## **PRÓLOGO**

El tratamiento de minerales es un proceso global que transforma recursos naturales no renovables en innumerables insumos y aplicaciones tecnológicas utilizadas en las diversas facetas económicas, antropogénicas y sociales de la civilización actual.

Dentro de este marco, las Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales (JATRAMI) han sido, desde su primera edición en el año 1988, la reunión de los más prestigiosos especialistas, nacionales y extranjeros, quienes han expuesto sus desarrollos, ideas y pensamientos sobre el quehacer en las distintas disciplinas de la temática.

Las XIII JATRAMI se realizaron en la Ciudad de Mendoza, los días 5, 6 y 7 de Octubre de 2016, con la presencia de investigadores e investigadoras de nuestro país, como así también de Brasil, Colombia, España, Perú y Chile.

Los tópicos presentados en estas Jornadas fueron:

Caracterización y procesamiento de minerales.

- Hidrometalurgia.
- Pirometalurgia.
- Biohidrometalurgia.
- Reciclado de materiales que contengan metales.
- Control y tratamiento de efluentes generados por la industria minera y relacionadas.
- Remediación de suelos contaminados con metales y minerales radiactivos.
- Temas de interés dentro de la industria metalúrgica, su relación con la preservación del ambiente y el control del cambio climático.

Conscientes de la importancia actual del cuidado ambiental y del objetivo fundamental de la sociedad mendocina en cuanto a la protección de las fuentes de agua y de la naturaleza virgen de la provincia, fueron el marco óptimo para unir esfuerzos y aunar criterios en cuanto a las prácticas mineras amigables con el ambiente y su importancia en la vida cotidiana de la sociedad en general.

Este libro contiene los Trabajos Completos presentados en las XIII JATRAMI, editados y ordenados de acuerdo a los tópicos mencionados.

Comisión Organizadora XIII JATRAMI

## ÍNDICE DE TRABAJOS

<b>Bioprecipitación mineral de hierro en perforaciones de agua en La Rioja.</b>	1
Iron mineral bioprecipitation in water wells in La Rioja. V. Calbo, O. Furlong, M. Torres Deluigi	
<b>Estudios preliminares de la biolixiviación de uranio en colas de mineral de un yacimiento argentino.</b>	7
Preliminary studies of uranium bioleaching from mineral dumps of argentine ores. D.E. Camporotondi, M. Arias, P. Silva Paulo, R. Pizarro, M. Chocrón, M. Venturini	
<b>Evolución de consorcios microbianos acidófilos nativos de la mina Toquepala, Tacna-Perú.</b>	13
Evolution of growth in microbial consortium natives in the mine of toquepala from Tacna-Perú. D. Castillo, C. Clavijo, V. Chipana, J. Centeno, P. Eyzaguirre, S. Delgado, L. De la Vega	
<b>Biolixiviación de un mineral sulfurado de Altar (Argentina).</b>	19
<b>Bioleaching of a sulfide ore from Altar (Argentina).</b> P. Chiacchiarini, C. Nolasco, A. Ferrando, L. Surin, A. Giaveno	
<b>Estudio comparativo del desempeño de una bentonita y un desecante comercial en la adsorción de vapor de agua.</b>	25
Comparative study of the performance of a bentonite and a commercial desiccant in the adsorption of water vapor. N. Castrillo, A. Mercado, C. Volzone	
<b>Optimización multiobjetivo de planificación de mina con criterios técnicos y económicos.</b>	31
Multiobjective optimization of mine planning with technical and economic objectives. O. D. Chuk,, C. G. Rodríguez Medina, L.V. Gutiérrez, J.P. Gil, E. A. Núñez	
<b>Estudio de relaves mineros de hierro para ser utilizado en la industria de fertilizantes.</b>	37
Mining tailings study for use in fertilizer industry. A. Díaz, G. Castro, C. Murúa, E. Muñoz	
<b>Adsorción de Cu<sup>2+</sup> en organoarcilla: efecto del surfactante</b>	43
Adsorption of Cu <sup>2+</sup> on organoclays: surfactant's effect C. Fernández Morantes, A.M.Fernández Solarte, G. Curutchet, R.M. Torres Sánchez	
<b>Desorción, floculación y filtración en columna de metil-tiofanato adsorbido en nanomontmorillonitas.</b>	49
Desorption, flocculation and column filtration of adsorbed thiophanate methyl on nanomontmorillonites. M. Flores, T. Undabeytia, E. Morillo, R. M. Torres Sánchez	
<b>Mineralogical and chemical characterization of heavy minerals from Luis Correia beach sand, Piauí, Brazil.</b>	55
Caracterización mineralógica y química de los minerales pesados de las arenas de Luis Correia, Piauí, Brasil. C.C. Gonçalves, P.F.A. Braga	
<b>Caracterización y evaluación de la calidad de bentonitas provenientes de las provincias de San Juan y Río Negro (Argentina) para uso en industria petrolera y cerámica.</b>	61
Quality characterization and evaluation of bentonites from the provinces of San Juan and Rio Negro (Argentina) for their use in the oil and ceramics industries. N. Hidalgo, A. Senese, E. Cano, M. Matar	

<b>Identificación de impurezas asociadas a un mineral de uranio para su posterior tratamiento metalúrgico.</b>	67
Identification of impurities associated with an uranium ore for further metallurgical treatment. R. Lara, A. Díaz, E. Espín, I. Orozco, I. Colque	
<b>Avaliação de uma rota de concentração magnética para um itabirito minério de ferro.</b>	73
Evaluation of a magnetic concentration route for an itabiritic iron ore. M. F. da Silva Lima, R. Magriotis Papini, P. R. de Magalhães Viana	
<b>Caracterización química y mineralógica de yacimientos auríferos beneficiados artesanalmente con mercurio en el nordeste del departamento de Antioquia – Colombia.</b>	79
Chemical and mineralogical characterization of gold deposits artisanally processed using mercury in northeast of the Antioquia region – Colombia. L. Echeverry, J. Cataño, N. Rojas	
<b>Spatial distribution of layer charge in a bentonite deposit, a powerful tool for mine planning.</b>	85
Distribución espacial de la carga foliar en un depósito de bentonitas, una herramienta poderosa para planificación de minas. G. Machado, G. Christidis, N. Dani, A. Mexias, H. Kahn	
<b>Flotação de amfibólios com amina primária e sal quaternário de amônio</b>	91
Amphibole flotation with primary amine and ammonium quaternary salts P. R. de Magalhães Viana, R. Magriótis Papini	
<b>Modificaciones de una bentonita con especies de OH-Al: tratamiento térmico y caracterización.</b>	97
Modifications on a bentonite with OH-Al species: thermal treatment and characterization. J. M. Martinez, L. B. Garrido, C. Volzone	
<b>Modelización mediante la función de Swrebec de las curvas granulométricas en hidrociclones.</b>	103
Particle size distribution modeling with the Swrebec function in hydrocyclons. L.D. Menéndez Aguado, G. Gonzalez García, J. M. Menéndez Aguado	
<b>Variación del índice de trabajo en molino de bolas según el grado de molienda para varias menas de tungsteno.</b>	109
Ball mill work index study as a function of grinding size in different tungsten ores. G. González García, J.M. Menéndez Aguado.	
<b>Liga fosfórica a alta temperatura en arcilla caolinítica.</b>	115
High temperature phosphate-bonded kaolinitic. A. Mocciaro, M. B. Lombardi, A. N. Scian	
<b>Estudio de caracterización de las arenas del corredor bioceánico, departamento Jáchal, provincia de San Juan como recurso minero susceptible de ser explotado como materia prima industrial.</b>	121
Characterization study of corridor bioceanic sands, Jáchal department, province of San Juan, as a mineral resource susceptible to be operated as raw industrial material. M. Negrelli, M. Romero, A. Arroqui, M. V. Soria	
<b>Interação entre amido e hematita e sua influência na flotação de minério de ferro.</b>	127
The interaction of starch and hematite and its influence on iron ore flotation. E. R. Peçanha, C. L. Schneider, M. B. M. Monte	
<b>Procesamiento de arenas silíceas para su uso como agentes de fracturación.</b>	133
Siliceous sand processing for being used as fracturing agents. P. E. Sarquís, H. Cevinelli, G. Castro, L. García, C. Salem, M. Gonzalez	

<b>Estudio de recuperación y modelo cinético de flotación en un mineral de cobre para obtener un producto comercializable.</b>	139
Recovery study and kinetic flotation modelling in a copper ore to get a saleable product.	
M. I. Ulla, F. Torres	
<b>Correlación entre las zonas de alteración y la geoquímica de un sistema de pórfido cuprífero: depósito de Taca Taca, provincia de Salta.</b>	145
Interrelation between alteration zones and geochemistry of a porphyry copper system: Taca Taca deposit, Salta province.	
G. Valente, L. Fernández Robbio, M. Fraile, M. Godoy, J. González, G. Almandoz	
<b>Estudos de potencial zeta dos principais minerais de um minério de espodumênio.</b>	151
Zeta potencial studies of the main minerals of a spodumene ore.	
A. Correa de Araujo, P. R. de Magalhães Viana, R. Magriótis Papini	
<b>Organo-montmorillonita con cloruro de cetilpiridinio: sitios superficiales involucrados.</b>	157
Organo-montmorillonite exchanged with cetylpyridinium chloride: surface sites involved.	
F. Yarza, R. M. Torres Sánchez	
<b>Recuperación de sales en plantas de ósmosis inversa en La Rioja.</b>	163
Recovery of salts in reverse osmosis plants in La Rioja.	
V. Calbo, R. Soule, M. Alitta, C. Baldo, C. Munuce, M. Mercado, E. Díaz, J. Carrizo	
<b>Application of flocculants for improving dewatering and filtration properties.</b>	169
Aplicación de floculantes para mejorar las propiedades de deshidratación y filtración.	
T. S. Gadelha, A. A. G. Gonçalves, S. C. A. França	
<b>Inorganic waste recuperation for construction material.</b>	175
Residuo inorgánico recuperado como material de construcción.	
M. Gamarra Lefter, L. González, L. Almazán	
<b>Caracterización fisicoquímica y textural de una bentonita y su aplicación como adsorbente.</b>	181
Physicochemical and textural characterization of a bentonite and its application as adsorbent.	
L. Garay Romero, J. Vidal Treber, G. Amaya, E. Marchevsky, N. Marchevsky, M. M. Barroso Quiroga.	
<b>Cerámico como producto de residuo reciclado.</b>	187
Clay as product recycled waste.	
L. Gonzalez, M. Gamarra Lefter, L. Almazan	
<b>Xanthate removal on caulinite.</b>	193
Utilização da caulinita na remoção do xantato.	
M. P. Sepúlveda, R. M. Papini, Z. M. Magriotis, M. S. F. Pimentel, P. R. M. Viana	
<b>Remoción de arsénico de aguas sintéticas usando un material de bajo costo (lana de acero).</b>	199
Arsenic removal from synthetic water using a low cost material (steel wool).	
J. Vidal Treber, L. Garay Romero, V. Acuña, E. Marchevsky, N. J. Marchevsky, M. M. Barroso Quiroga	
<b>Reextracción selectiva de uranio en presencia de molibdeno.</b>	205
Selective uranium stripping from solution bearing molybdenum.	
M. J. Arias, V.A. Díaz, M. Chocrón	
<b>Estudio de la precipitación de oro con polvo de zinc y de aluminio desde soluciones con tiosulfato de amonio.</b>	211
Study of gold precipitation from ammonium thiosulfate solution by zinc and aluminium powders	
M. Caroprese, R. Meissl, R. Lara	

<b>Modelación de ensayos de mineral en columnas de lixiviación.</b>	217
Modeling test of mineral in column leach. C. H. Delahaye, T. A. Berenguer, M. A. Bilbao, G. Gatica	
<b>Estudio cinético preliminar de la lixiviación del LiCoO<sub>2</sub> con HNO<sub>3</sub></b>	223
Preliminary kinetic study of the leaching of LiCoO <sub>2</sub> with HNO <sub>3</sub> M. L. Grasso, E. G. Pinna, J. A. González, M. H. Rodriguez	
<b>Lixiviación de minerales auríferos doblemente refractarios.</b>	229
Leaching of double refractory gold ores. R. J. Meissl, V. A. Quinzano, E. M. Barrera	
<b>Efecto del ion cloruro sobre la extracción de cobre con solventes.</b>	235
Effect of chlorine ion on copper solvent extraction. P. Navarro, C. Vargas, D. Espinoza, M. Duk	
<b>Obtención de uranio a partir de licores lixiviados, producidos por el método alcalino.</b>	241
Obtaining uranium from liquors leachate produced by the alkaline method. I. Orozco, M. Romero, R. Lara, E. Caroprece	
<b>Procesos alternativos al cianuro para la disolución de oro.</b>	247
Alternatives process to cyanide for gold dissolution. C. Perea, O. J. Restrepo Baena	
<b>Extracción de Li y Co de los cátodos de las baterías ion-Li agotadas empleando ácido fosfórico.</b>	253
Extraction of the Li and Co of the cathodes spent battery li-ion with phosphoric acid. E. Pinna, M. C. Ruiz, D. S. Drajlín, M. W. Ojeda, M. H. Rodriguez	
<b>Análisis univariable de la disolución de LiCoO<sub>2</sub> en medio acuoso y reductor empleando HF.</b>	259
Analysis univariable of the dissolution of LiCoO <sub>2</sub> reducing and aqueous medium using HF. E. G. Pinna, M. C. Ruiz, A. A. Martínez, M. W. Ojeda, M. H. Rodriguez	
<b>Influencia de la granulometría en la lixiviación de compósitos auríferos.</b>	265
Influence of particle size in gold composite leaching. V. A. Quinzano, R. J. Meissl, E. M. Barrera	
<b>Obtención de ácido bórico mediante lixiviación de hidrobóracita.</b>	271
Boric acid obtained from hydroboracite. A. Riveros, L. Kwok, H. Flores	
<b>Estudio cinético de la disolución del LiCoO<sub>2</sub> de LiBs con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	277
Kinetic study of the dissolution of LiCoO <sub>2</sub> from LiBs with H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> D. Suarez, A. Resentera, L. Flores, S. Drajlín, M. Rodriguez	
<b>Estimación de parámetros cinéticos de la reacción boro-trimetilpentanediol.</b>	283
Kinetic parameters estimate for the boric acid-trimethylpentanediol reaction. S. Valdez, A. Orce, H. Flores	
<b>Comportamiento disolutivo del oro en medio alcalino utilizando tiourea.</b>	289
Dissolution behavior of gold in alkaline media using thiourea. C. Vargas, P. Navarro, R. Reyes, V. Pavez-Giani.	
<b>Extracción de Potasio a partir de muscovita mediante cloración con CaCl<sub>2</sub></b>	295
Potassium extraction from muscovite using chlorination roasting with CaCl <sub>2</sub> L. Barbosa, P. Orosco, M. Ruiz, J. González, M. Ojeda	
<b>Proceso alternativo de extracción de litio a partir <math>\alpha</math>-espodumeno con CaO</b>	301
Alternative extraction process of lithium from $\alpha$ -spodumene with CaO P. A. Braga, S. França, M. H. Rodriguez y G. D. Rosales	

<b>Procesos de cloración y carbocloración de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> con Cl<sub>2</sub>(g).</b>	307
Chlorination and carboclorination process of U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> with Cl <sub>2</sub> (g).	
C. N. Guibaldo, G. De Micco, A. E. Bohé	
<b>Obtención de renio a partir de minerales sulfurados por reducción carbotérmica.</b>	313
Rhenium obtaining from sulphur minerals by carbothermic reduction.	
I. Orozco, V. Bazan, E. Brandaleze	
<b>Desarrollo de materiales para aplicaciones ambientales y energéticas a partir de aleaciones agotadas.</b>	319
Material development for energy and environmental applications from exhausted alloys.	
A. Carnicero, A. A. Quiroga, M.R. Esquivel	
<b>Recuperación de zinc de catalizadores usados</b>	325
Zinc recovery from spent catalysts	
G. De Micco, F. J. Pomiro, J. M. Grau, G. Fernandez, M. Baroni, A. E. Bohé	
<b>Diseño básico de una planta de procesamiento para recuperación de oro a partir de escorias de fundición.</b>	331
Fundamental design of a processing plant for slag gold recovery.	
C. Mamani, R. Meissl	
<b>Reciclado de aleaciones para desarrollo de materiales de alto valor agregado.</b>	337
Alloys recycling for the development of high value added materials.	
S.A. Obregón, M.R. Esquivel	
<b>Resuspensión de suelos mineros: estudio por vibración.</b>	343
Resuspension of mineral soils: a study by vibration.	
F, Balladore, O. A. Benegas, R. O. Uñac, A. M. Vidales	
<b>Uso de resíduos da mineração na fertilização de solos no Brasil – Estado da arte de projetos desenvolvidos no centro de tecnologia mineral (CETEM).</b>	349
The use of mineral residues as agrominerals to soil fertilization in Brazil – State of art of projects developed at centre for mineral technology (CETEM).	
S. C. A. França, A. C. Rizzo, C.D. Cunha, A. B. Luz, R.C.C. Ribeiro	
<b>Surface tension estimation through analytical geometry.</b>	355
Estimación de tensión superficial por geometría analítica	
V. Barcelos, J. A. M. da Luz	
<b>Microflotación de minerales de itabiritos.</b>	361
Microflotation of minerals from itabirites.	
A. S. Campos, , J. A. M. da Luz	
<b>Estudio de materiales como adsorbentes de efluentes contaminantes.</b>	367
Study of materials as adsorbents of polluted effluents.	
N. A. Merino, M. Ponce, V. García, M. Ponzi, N. A. Comelli	
<b>Arcillas tratadas para la remoción de azul de metileno</b>	373
Treated clays to remove methylene blue	
L. Rojas Salazar, M. C. Avila, N. Comelli	

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y TEXTURAL DE UNA BENTONITA Y SU APLICACIÓN COMO ADSORBENTE PHYSICOCHEMICAL AND TEXTURAL CHARACTERIZATION OF A BENTONITE AND ITS APPLICATION AS ADSORBENT

Garay Romero, L.<sup>1</sup>, Vidal Treber, J.<sup>1</sup>, Amaya, G.<sup>1</sup>, Marchevsky, E.<sup>1/2</sup>, Marchevsky, N.<sup>1/2</sup>, Barroso Quiroga, M.M.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Minería, FCFMyN, Universidad Nacional de San Luis. Chacabuco y Pedernera, (5700), San Luis, Argentina.

<sup>2</sup>INQUISAL-CONICET. Chacabuco y Pedernera, (5700), San Luis, Argentina.

Tel. +54 266 4423370 int. 6131.

\*e-mail: [mbquiroga@unsl.edu.ar](mailto:mbquiroga@unsl.edu.ar)

### RESUMEN

La bentonita es una arcilla compuesta fundamentalmente por minerales del grupo de las esmectitas. Posee alta capacidad de intercambio iónico, y numerosos estudios demuestran su eficiencia como adsorbente de especies metálicas. La adsorción aplicada a la remoción de metales pesados de aguas contaminadas es una tecnología prometedora, aunque es condición *sine qua non* poder contar con una completa caracterización del material adsorbente, y así, relacionar las características fisicoquímicas-texturales con el desempeño en la adsorción del catión de interés.

En este trabajo se realizó la caracterización fisicoquímica de una muestra de arcilla bentonítica. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos en *batch* para evaluar su capacidad para la remoción de As a partir de soluciones sintéticas. La variable estudiada fue la concentración inicial de As (0,45; 2,7; 4,5; 45 y 90 ppm), para un tiempo de contacto de 24 horas. El análisis químico efectuado a la bentonita reportó concentraciones similares a las informadas para arcillas esmectíticas. El estudio de su estructura cristalina por DRX permitió determinar que la fase mayoritaria estaba compuesta por montmorillonita. Los espectros de FTIR presentaron bandas características de una esmectita con alto contenido de Al en la capa octaédrica. Se analizó la evolución de la estructura con la temperatura por TG-DTG, y se calculó su área superficial específica por el método BET (8,81 m<sup>2</sup>/g). En los ensayos de adsorción, todos los sistemas evaluados alcanzaron remociones por encima del 66%, sugiriendo que la bentonita podría ser usada como adsorbente en los procesos de remoción de As de aguas contaminadas.

Palabras Clave: bentonita, caracterización, adsorción, arsénico

### ABSTRACT

Bentonite is clay composed mainly by the smectite group minerals. It has high ion exchange capacity, and numerous studies have shown its efficiency as metal adsorbent. Adsorption applied to the removal of heavy metals from contaminated water is a promising technology, but it is *sine qua non* to have a complete characterization of the adsorbent material, and thus relating the physicochemical and textural characteristics with the performance on the adsorption of the cation of interest.

In this paper the characterization of bentonite clay was done. *Batch* adsorption tests were performed to evaluate arsenic removal capability at different initial concentrations of As in synthetic solution. Arsenic initial concentration was studied (0.45; 2.7; 4.5; 45 and 90 ppm)

for a contact time of 24 hours. The chemical analysis reported similar concentrations as those reported for smectite clays. The crystalline structure was studied by XRD, and montmorillonite was the principal phase. FTIR spectra showed bands characteristic of a smectite with high Al-content in the octahedral layer. The evolution of the structure with temperature was analyzed by TGA-DTA, and BET specific surface area was calculated (8.81 m<sup>2</sup>/g). In adsorption tests, all systems reached above 66% arsenic removal suggesting that the bentonite could be used as adsorbent in the process of removal of As contaminated water.

Keywords: bentonite, characterization, adsorption, arsenic

## INTRODUCCIÓN

Las arcillas naturales son rocas sedimentarias compuestas por un número limitado de minerales. Desde el punto de vista químico, están formadas mayoritariamente por aluminosilicatos, hierro y magnesio; aunque también contienen un cierto porcentaje de elementos alcalinos y alcalinos térreos [1]. Una arcilla puede estar formada por un tipo de mineral (como los filosilicatos) o por una mezcla de éstos. Las esmectitas son un tipo de filosilicato, cuya unidad estructural se denomina 2:1; lo cual significa que posee dos capas tetraédricas (una de ellas invertida) y una octaédrica. El nombre mineralógico de la roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas es bentonita [1,2].

Las arcillas encuentran aplicación en el tratamiento de aguas contaminadas. Numerosos estudios demuestran la eficiencia de los minerales arcillosos 2:1 como adsorbente de especies metálicas y metaloides tales como cromo, plomo, zinc, arsénico, entre otros. La eficacia de estos minerales para la remoción yace en lograr el equilibrio entre los iones en solución y sus sitios intercambiables [1].

La adsorción aplicada a la remoción de metales pesados de aguas contaminadas es una tecnología atractiva y prometedora por su simplicidad, economía, fácil manejo y operación, y capacidad de regeneración, con respecto a otros métodos [3]. La utilización de un adsorbente barato y fácilmente disponible en el proceso de adsorción posibilitaría que la eliminación de metales pesados de las aguas residuales sea una alternativa económicamente viable.

La completa caracterización del material adsorbente permitiría profundizar el estudio en los mecanismos involucrados en el proceso de adsorción de cationes metálicos en solución, en este caso usando un material abundante como lo son las arcillas bentoníticas. En este trabajo se realizó la caracterización química y estructural de una bentonita; posteriormente se efectuaron ensayos de adsorción en *batch* para evaluar su capacidad de remoción de arsénico en aguas sintéticas.

## EXPERIMENTAL

La muestra de bentonita utilizada en este trabajo proviene de un yacimiento ubicado al norte de Potosí, Bolivia, y fue gentilmente cedida por el Laboratorio de Sólidos Porosos (INFAP, UNSL-CONICET).

Los espectros de difracción de rayos X (DRX) fueron obtenidos con un difractómetro Rigaku Geigerflex operado a 30 kV y 20 mA, utilizando una radiación Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5405$  nm), y NaCl y cuarzo como estándares de calibración externos, con una velocidad de 5°/min en el rango comprendido entre 5-80°. Los patrones (PDF) de los espectros de DRX se adquirieron de la base de datos JCPDS.

La determinación del área superficial se realizó por fisisorción de N<sub>2</sub> a -196 °C utilizando un equipo Chembet 3000 (Quantachrome). 40 mg de muestra se desgasificaron en flujo de N<sub>2</sub> por 12 horas a 90 °C. Al finalizar el análisis, el área superficial específica fue calculada por el método BET.

La espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR) se realizó en un espectrómetro Perkin-Elmer Spectrum RX1 en el rango de  $4000\text{-}250\text{ cm}^{-1}$ , con una resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$ , por la técnica de pastilla de KBr.

Se utilizó un equipo termogravimétrico Shimadzu TGA-51, para obtener las curvas de TGA-DTA. Las condiciones de medición fueron: velocidad de calentamiento de  $10\text{ °C/min}$ , de temperatura ambiente a  $1000\text{ °C}$  y en atmósfera de aire utilizando un flujo de  $50\text{ ml/min}$ .

Los ensayos en *batch* fueron realizados en frascos Erlenmeyers de  $250\text{ ml}$  conteniendo  $100\text{ ml}$  de una solución de arsénico de concentración conocida y  $0,15\text{ g}$  de bentonita. Las variables estudiadas fueron la concentración inicial de arsénico ( $0,45$ ;  $2,7$ ;  $4,5$ ;  $45$  y  $90\text{ ppm}$  de As) y tiempo de contacto de  $24$  horas. Los frascos fueron mantenidos en agitación a  $150\text{ rpm}$  en un agitador orbital a temperatura ambiente. Todos los sistemas se llevaron a cabo por duplicado. Las soluciones de As fueron preparadas a partir de arseniato de sodio dibásico heptahidratado ( $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). El pH se midió en cada frasco al inicio y al final del ensayo. Al término del mismo, los sistemas fueron filtrados a través de papel de filtro banda negra y sobre los líquidos se realizó la determinación de As mediante espectrofotometría ultravioleta-visible (Método Vasak-Sedivek).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química elemental de esta bentonita [4] determinada por fluorescencia de rayos X posee valores dentro de los rangos reportados en la literatura para minerales del tipo de las esmectitas ( $16,16\%$  Al;  $3,53\%$  Ca;  $2,28\%$  Fe;  $0,34\%$  K;  $1,45\%$  Mg;  $0,12\%$  Mn;  $3,61\%$  Na;  $0,05\%$  P;  $62,54\%$  Si;  $0,22\%$  Ti; pérdidas por calcinación por gravimetría  $15,42\%$ ) [5]. El área superficial específica BET de la bentonita es de  $8,82 \pm 0,05\text{ m}^2/\text{g}$ .

El análisis del difractograma de DRX, Figura 1, correspondiente a la bentonita permite identificar las siguientes fases: montmorillonita (PDF 29-1498), saponita (PDF 29-1491), cuarzo (PDF 01-089-8935), illita (PDF 29-0911), alúmina (PDF 01-088-0107), óxido de calcio (01-085-0514) y óxido de potasio (PDF 10-0235). Las fases predominantes son montmorillonita y cuarzo.

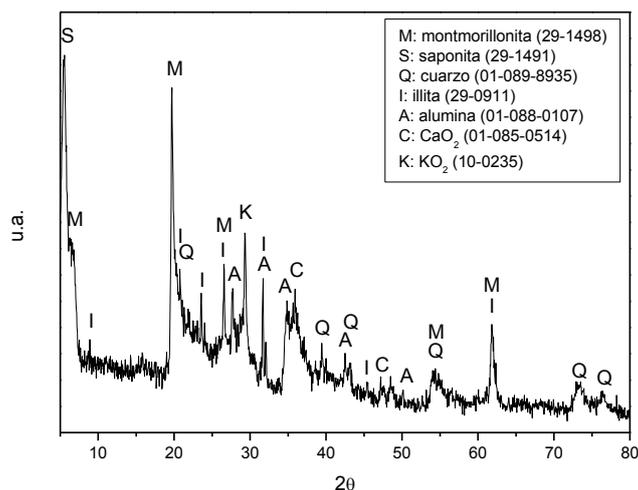


Figura 1. Difractograma de rayos X obtenido para la muestra de bentonita

El espectrograma de FTIR (Figura 2) presenta una primera zona de bandas entre  $3750$  y  $3100\text{ cm}^{-1}$ , región característica de estiramientos del enlace O-H, donde la señal a  $3628\text{ cm}^{-1}$  pertenece al estiramiento del enlace O-H estructural, en sitios  $\text{Al}_2\text{OH}$  estructurales de esmectitas dioctaédricas [6-8], es decir, de esmectitas o montmorillonitas ricas en aluminio.

La banda alrededor de  $3448\text{ cm}^{-1}$  se atribuye al estiramiento del enlace O-H en moléculas de agua adsorbidas, las cuales forman puentes de hidrógeno entre sí y con la superficie del sólido proporcionando un ensanchamiento de esta banda; mientras que en  $1635\text{ cm}^{-1}$ , aparecen las flexiones de dicho enlace del agua [6,8]. Existe una segunda zona de bandas que corresponde al intervalo entre  $1750\text{ cm}^{-1}$  y  $250\text{ cm}^{-1}$ , en la cual se aprecia una señal a  $1636\text{ cm}^{-1}$  característica de las deformaciones del enlace O-H del agua adsorbida. Las bandas a  $1105$  y  $796\text{ cm}^{-1}$  se atribuyen a las vibraciones derivadas del estiramiento del enlace Si-O en la estructura del cuarzo. La intensa señal a  $1026\text{ cm}^{-1}$  corresponde a vibraciones de estiramientos del enlace Si-O en la estructura del mineral de arcilla. La deformación del enlace AlAlOH en la estructura del mineral de arcilla aparece en  $923\text{ cm}^{-1}$  [6]. A  $874\text{ cm}^{-1}$  se encuentra la vibración correspondiente a la deformación AlFeOH producto de las sustituciones isomórficas de Fe en la capa octaédrica del mineral arcilloso en estudio; mientras que, a  $843\text{ cm}^{-1}$  se encuentra la vibración asociada a la flexión del grupo OH para AlMgOH [6]. Las vibraciones de deformación de los enlaces Si-O-Si y Al-O-Si se observan a  $463$  y  $517\text{ cm}^{-1}$ , respectivamente [6]. La banda a  $3628\text{ cm}^{-1}$  proporciona información valiosa sobre la naturaleza de los cationes predominantemente presentes en la capa octaédrica, y es típica de esmectitas con un alto contenido de Al en la capa octaédrica.

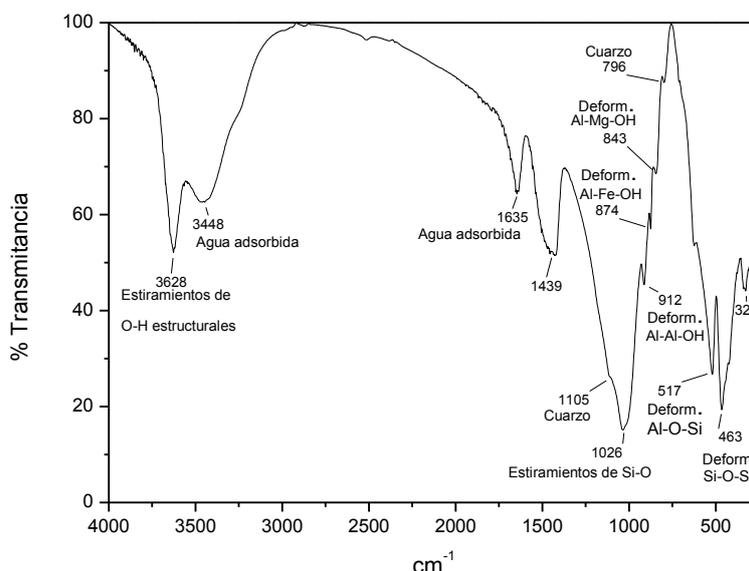


Figura 2. Espectrograma FTIR de la bentonita

Las curvas experimentales de los análisis termogravimétrico (TGA) y de diferencial termogravimétrico (DTA) de la bentonita para el intervalo de  $24$  a  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  se representan en la Figura 3. Analizando la curva de DTA se deducen dos reacciones endotérmicas, la primera a aproximadamente  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una pérdida del  $7,15\%$  en peso, debida al agua que se encuentra adsorbida en la superficie de la arcilla. La segunda reacción se manifiesta en la gráfica a los  $276\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una pérdida de peso de  $0,70\%$  ocasionada por la eliminación de agua de los espacios interlaminares [9]. Existe una tercera reacción asociada a la deshidroxilación de la capa, que se lleva a cabo en dos etapas, correspondientes a  $589$  y  $653\text{ }^{\circ}\text{C}$ , haciéndose evidente una pérdida del  $5,42\%$  en peso del material. El comportamiento observado se condice con los reportados para bentonitas en literatura [5,10].

Los resultados obtenidos en los ensayos en *batch* muestran que los sistemas con concentraciones iniciales menores o iguales a  $4,5\text{ ppm}$  de As alcanzaron valores de remoción entre  $66-69\%$ . Mientras que para los sistemas que fueron ensayados con concentraciones

iniciales superiores a 4,5 ppm de As se obtuvieron remociones mayores al 80%. La Figura 4 muestra los resultados obtenidos para los ensayos con diferentes concentraciones iniciales de As. Se ha estudiado la remoción por adsorción para sistemas con Pb(II), Cd(II) y Zn(II) para esta misma bentonita, con resultados igualmente satisfactorios [4].

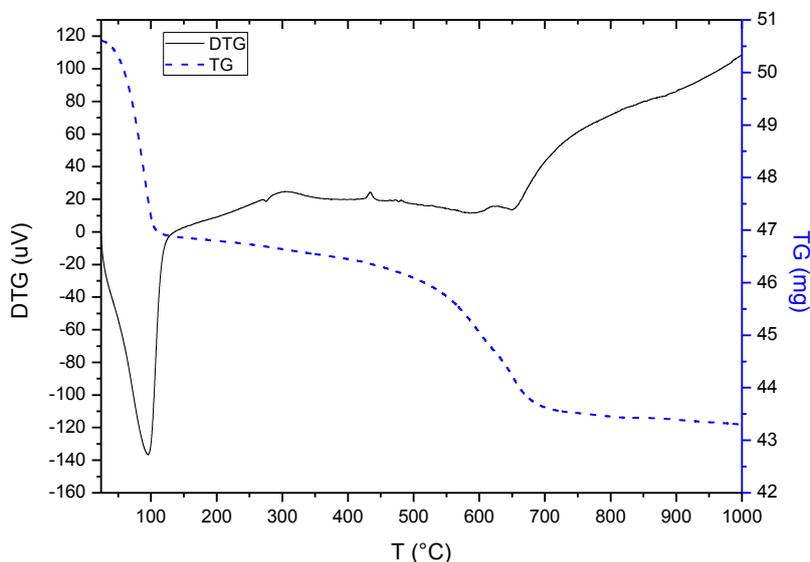


Figura 3. Curvas del análisis termogravimétrico TGA-DTA.

A medida que se incrementa la concentración inicial de As en solución, menor es el valor de pH inicial del sistema; este comportamiento está directamente relacionado con la disociación del arseniato dibásico que se utilizó para preparar la solución madre. En el rango de pH entre 7 y 11, la especie predominante en fase acuosa es el  $\text{HAsO}_4^-$ , es decir el arsénico pentavalente As(V) [13]. Asimismo, los sistemas mostraron un incremento en los valores de pH para las concentraciones iniciales de As estudiadas (Figura 5); a altas concentraciones iniciales (45 y 90 ppm) este aumento de pH se acentúa, lo que podría estar asociado a la retención de  $\text{H}^+$  por la fracción de arcilla, pudiendo causar la formación de complejos o precipitación del metal [11,12].

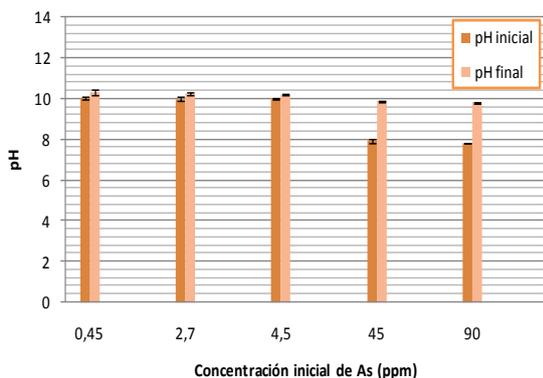


Figura 4. Porcentajes de remoción para diferentes concentraciones iniciales de As en las aguas sintéticas.

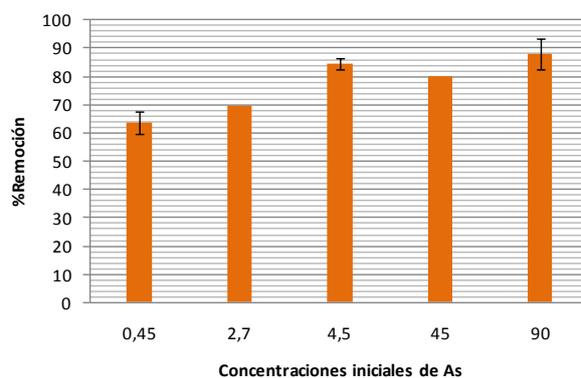


Figura 5. Variación de pH durante el proceso de adsorción.

## CONCLUSIÓN

La caracterización integral de la bentonita permitió establecer que se trata de una arcilla esmectítica dioctaédrica rica en aluminio, cuya fase cristalina mayoritaria es la montmorillonita. La evolución de la muestra sometida a un análisis de TGA-DTA, posibilitó identificar tres eventos en el intervalo de temperatura estudiado: una pérdida de agua adsorbida en superficie; posteriormente, una pérdida de agua interlaminar; y la ruptura de la estructura por deshidroxilación, respectivamente.

En los ensayos en *batch*, se observó un aumento de pH durante el proceso de adsorción, que puede estar asociado con la retención de protones por la arcilla, pudiendo causar la formación de complejos o precipitación del metal. Todos los sistemas evaluados en los ensayos de adsorción alcanzaron remociones de As por encima del 66%. Estos resultados sugieren que la bentonita podría ser un adsorbente promisorio en los procesos de remoción de As de aguas naturales y/o efluentes contaminados.

## REFERENCIAS

1. Velde, B. *Clay minerals: a physico-chemical explanation of their occurrence* (Vol. 40). Elsevier. 2000.
2. Pusch, R. *Bentonite clay. Environmental properties and applications*. CRC Press. 2015.
3. Salem, S., Salem, A., & Babaei, A. A. Application of Iranian nano-porous Ca-bentonite for recovery of waste lubricant oil by distillation and adsorption techniques. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 23, 154-162. 2015.
4. Villarroel-Rocha J. Desarrollo de adsorbentes basados en arcillas y fosfatos naturales para la remoción de Iones metálicos presentes en aguas. Tesis de Maestría en Ciencias de Superficies y Medios Porosos, Orientación Físicoquímica de Superficies. Universidad Nacional de San Luis. 2012.
5. Carriazo, J., Molina, R., & Moreno, S. Caracterización estructural y textural de una bentonita colombiana. *Revista Colombiana de Química* 36(2), 213. 2007.
6. Madejova, J., & Komadel, P. Baseline studies of the clay minerals society source clays: infrared methods. *Clays and clay minerals* 49(5), 410-432. 2001.
7. Madejová, J. FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational spectroscopy* 31(1), 1-10. 2003.
8. Yang, X., Zhu, H., Liu, J., Gao, X., Martens, W. N., Frost, R. L., & Yuan, Z. A mesoporous structure for efficient photocatalysts: Anatase nanocrystals attached to leached clay layers. *Microporous and Mesoporous Materials* 112(1), 32-44. 2008.
9. Sarikaya, Y., Önal, M., Baran, B., & Alemdaroğlu, T. The effect of thermal treatment on some of the physicochemical properties of a bentonite. *Clays and Clay Minerals* 48(5), 557-562. 2000.
10. Vargas-Rodríguez, Y. M., Gómez-Vidales, V., Vázquez-Labastida, E., García-Bórquez, A., Aguilar-Sahagún, G., Murrieta-Sánchez, H., & Salmón, M. Caracterización espectroscópica, química y morfológica y propiedades superficiales de una montmorillonita mexicana. *Revista mexicana de ciencias geológicas* 25(1), 135-144. 2008.
11. Vidal Treber, J. *Remoción de arsénico de efluentes líquidos mediante adsorción, empleando un material de bajo costo*. Tesina de grado, Ingeniería en Minas. Universidad Nacional de San Luis. 2016.
12. Ayari, F., Srasra, E., Trabelsi-Ayadi, M. Characterization of bentonitic clays and their use as adsorbent. *Desalination* 185(1), 391-397. 2005.
13. Henke, K. *Arsenic: environmental chemistry, health threats and waste treatment*. John Wiley & Sons. 2009.