

Los depósitos de bentonita de Barda Negra y cerro Bandera, departamento Zapala, provincia del Neuquén, Argentina

Agnes, IMPICCINI¹ y Jorge M. VALLÉS^{1,2}

¹ Universidad Nacional del Comahue, Departamento de Geología y Petróleo, CIMAR.
Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén. E-mail: aimpicc@uncoma.edu.ar

² CONICET. E-mail: jvalles@uncoma.edu.ar

RESUMEN. Las bentonitas de la región nordpatagónica pueden ser agrupadas en dos distritos mineralogénicos caracterizados desde el punto de vista geológico, geográfico y estratigráfico. En este trabajo se considera a las bentonitas terciarias localizadas en la región occidental, en el departamento Zapala, provincia del Neuquén. Los depósitos consisten en estratos lenticulares, subhorizontales, de 2 a 15 metros de espesor, la mayoría de ellos aflorantes. Están incluidos en la Formación Collón Curá, una secuencia miocena continental donde alternan tobos y areniscas. Los cuerpos de arcilla son productos de alteración de materiales piroclásticos vítreos en ambientes húmedos confinados, tales como cuerpos de agua someros. Los análisis por difracción de rayos X muestran que prevalece una esmectita dioctaédrica – montmorillonita – como único mineral arcilloso en la mayoría de los depósitos. Los minerales accesorios son cuarzo, feldespato, plagioclasa y cristobalita (ópalo-CT), y en menor proporción, ceolitas y yeso. El Na⁺ es el ión intercambiable dominante, junto con Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y K⁺. El contenido en Fe₂O₃ es muy alto. Estas bentonitas son buenos agentes ligantes en arenas de moldeo para fundición, pero sus propiedades reológicas y el test de filtrado no cumplen exactamente con las normas API para lodos de perforación de petróleo.

Palabras clave: *Bentonita, Minerales arcillosos, Neuquén*

ABSTRACT. *Bentonite deposits of Barda Negra and Cerro Bandera, Zapala Department, Neuquén Province, Argentina.* Bentonites from the North Patagonia region can be grouped in two mineralogenic districts distinguishable on geological, geographical, and stratigraphical criteria. In this paper, we consider the Tertiary bentonites located in the western region, Zapala Department, Neuquén Province. The deposits occur in sub-horizontal lenticular beds, 2 to 15 m in thickness, most of which crop out at the surface. They lie within the Collón Curá Formation, a Miocene continental sequence of alternating tuffs and sandstones. The clay bodies are alteration products of pyroclastic glassy materials in confined wet environments, like shallow-water bodies. XRD analysis shows that a dioctahedral smectite -montmorillonite- prevails and is the only clay mineral occurring in the majority of the deposits. Accessory minerals are quartz, feldspar, plagioclase and cristobalite (opal-CT), with lesser amounts of zeolites and gypsum. Na⁺ is the dominant exchangeable ion, along with Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ and K⁺. The Fe₂O₃ content is very high. The bentonites are good bonding agents in foundry molding sands, but their rheological and leak test properties do not match exactly with API regulations for oil-drilling muds.

Key words: *Bentonite, Clay minerals, Neuquén*

Introducción

En la provincia del Neuquén, la principal zona productora de bentonita se ubica en el departamento Zapala, en cercanías de la meseta de la Barda Negra y de los cerros del Portezuelo y Bandera. El área se encuentra entre las de mayor producción del país habiendo sido objeto de intensa explotación en las últimas décadas. Algunos de estos yacimientos en particular, han sido descriptos por distintos autores, aunque no se han dado a difusión estudios del distrito en su conjunto, referidos a la génesis de las bentonitas, a su mineralogía, a sus características físico-químicas y propiedades tecnológicas. Por tal motivo los autores,

en el marco de un proyecto de investigación de la Universidad Nacional del Comahue, realizaron nuevas observaciones sobre los aspectos citados, cuyos resultados son el objeto de este trabajo.

Ubicación geográfica

La región estudiada se encuentra ubicada en el departamento Zapala, provincia del Neuquén, entre las coordenadas 38°45' y 39°15' de latitud sur y 69°30' y 69°40' de longitud oeste, distante 25 km de la ciudad de Zapala.

Los niveles con bentonitas están expuestos en las

siguientes áreas:

- Sector oeste de la sierra del Portezuelo y zona del cerro Bandera.

- Área nornordeste de la meseta de la Barda Negra.

Se accede a la zona desde la ciudad de Neuquén, recorriendo 130 km por la ruta nacional 22 hacia el oeste. La primera zona está localizada a 2 km al norte de la ruta y para arribar a la segunda zona - meseta de la Barda Negra - se toma la ruta provincial 34 recorriendo 10 a 12 km hacia el sur (ver Fig.1).

Los yacimientos se hallan emplazados en una franja orientada en sentido nornordeste-sudsudoeste de 20 km de largo. En la zona del cerro Bandera se ubican las minas Petrel, Cerro Bandera y Olascoaga II mientras que entre las principales situadas al sudsudoeste, que corresponden al área de la meseta de Barda Negra y cerro Guanaco, se encuentran Don Jaime, Julio René, El Catalán, Júpiter, La Victoria, Soledad y 7 de Mayo.

Antecedentes

El nombre de Formación Collón Curá, que incluye a los yacimientos, fue creado por Kraglievich (1930), para una secuencia sedimentaria continental, clástica, piroclástica e ignimbrítica, que contiene fósiles de edad Friasense, cuya localidad tipo se localiza en la depresión del río Collón Curá. Suero (1951) en la Hoja Geológica Cerro Lotena describe las tobas, areniscas y arcillas aflorantes en el flanco occidental de la Barda Negra y les asigna, sobre la base de los fósiles encontrados, una edad Santacrucense-Colloncurensis (Edad Mamífero). Gentili (1950) en la Hoja Ramón Castro, encuentra también en las tobas aflorantes en Barda Negra y en el cerro Bandera, restos más antiguos, por lo cual las atribuye al Mioceno en sentido amplio. En lo que se refiere específicamente a esta formación, dataciones realizadas sobre la Ignimbrita Pilcaniyeu y otras piroclastitas colloncurenses, dan edades de 13,8 – 15,9 Ma (Rabassa 1974) y de 14,2 Ma (Mazzoni y Benvenuto 1990). Nullo (1979) y Vucetich *et al.* (1993) ubican a la secuencia en el Mioceno medio y consideran que el período tuvo un clima cálido y húmedo, en parte tropical.

En lo que concierne a los depósitos de bentonita ubicados en el departamento Zapala, sólo han sido citados en forma muy general por Angelelli *et al.* (1976) y específicamente por Peineman *et al.* (1972), Domínguez (1981) y Pelz (1988). Domínguez (1981) estudia las bentonitas de la mina Don Jaime y las caracteriza como del tipo montmorillonita-beidellita, con sodio como principal catión intercambiable y concluye que se formaron en un ambiente continental, de clima cálido a partir de una toba de composición andesítica.

Trabajos de Vallés *et al.* (1992) y Vallés y Giaveno (1993), muestran datos de la mineralogía, del compor-

tamiento reológico y térmico y de las características físico-químicas de las bentonitas de edad terciaria del departamento Zapala y relacionan estadísticamente esos parámetros con otras bentonitas de edad cretácica de la región Nordpatagónica.

Posteriormente la Dirección de Minería de la provincia del Neuquén realizó la carta geológica y la carta de Recursos Minerales del departamento Zapala (1997), definiendo a la zona del cerro Bandera y de Barda Negra como de alta potencialidad para la explotación de bentonita.

Métodos de estudio

Las tareas de campo consistieron en la construcción de los perfiles geológicos de detalle a escala 1:100 y en el muestreo litológico que se llevó a cabo en forma sistemática en cada unidad sedimentaria y en los frentes de explotación de los yacimientos.

Los estudios composicionales de las bentonitas y sedimentitas de la Formación Collón Curá, se realizaron por microscopía óptica y por difracción de Rayos X. Estos últimos fueron efectuados sobre la muestra total y, previa separación por sedimentación, sobre la fracción menor de 2 micrones en los siguientes estados: natural orientada sobre lámina de vidrio, glicolada, calcinada a 550°C, homoionizada con Li⁺ (test de Greene-Kelly 1953) y con MgCl. El equipo utilizado fue un Rigaku D-Max IIC, con radiación Cu (K α = 1,5405 Å).

El análisis semicuantitativo por difracción de Rayos X, se calculó sobre la muestra total aplicándose el método de Schultz (1964), mientras que la estimación de los argilominerales presentes en las muestras se basó en los métodos propuestos por Moore y Reynolds (1997). La fracción granulométrica arena fue estudiada con microscopio óptico, en grano suelto y en cortes petrográficos.

Los análisis granulométricos fueron realizados por tamizado en húmedo y las fracciones limo y arcilla, ensayadas por el método del pipeteo.

Los ensayos reológicos y de filtrado siguieron las normativas API (1993). Los análisis para establecer el uso de estas bentonitas como aglomerantes en arenas de moldeo se efectuaron de acuerdo a las normas CEMP (1990), sobre probetas cilíndricas con 5 % de la muestra a ensayar y arena AFS 50-55, con humedad variable hasta lograr una compactabilidad del 45 %. Las determinaciones de adsorción de azul de metileno y estabilidad térmica a 550°C, se llevaron a cabo según test de la AFS, American Foundrymen's Society. El hinchamiento se midió sobre 2 g de bentonita dispersos en agua destilada.

La composición química de las bentonitas en conjunto y de fracciones menores de 2 micrones, se hicieron por LiBO₂ fusión e ICP-ES en ACME Analytical Laboratories, Canadá.

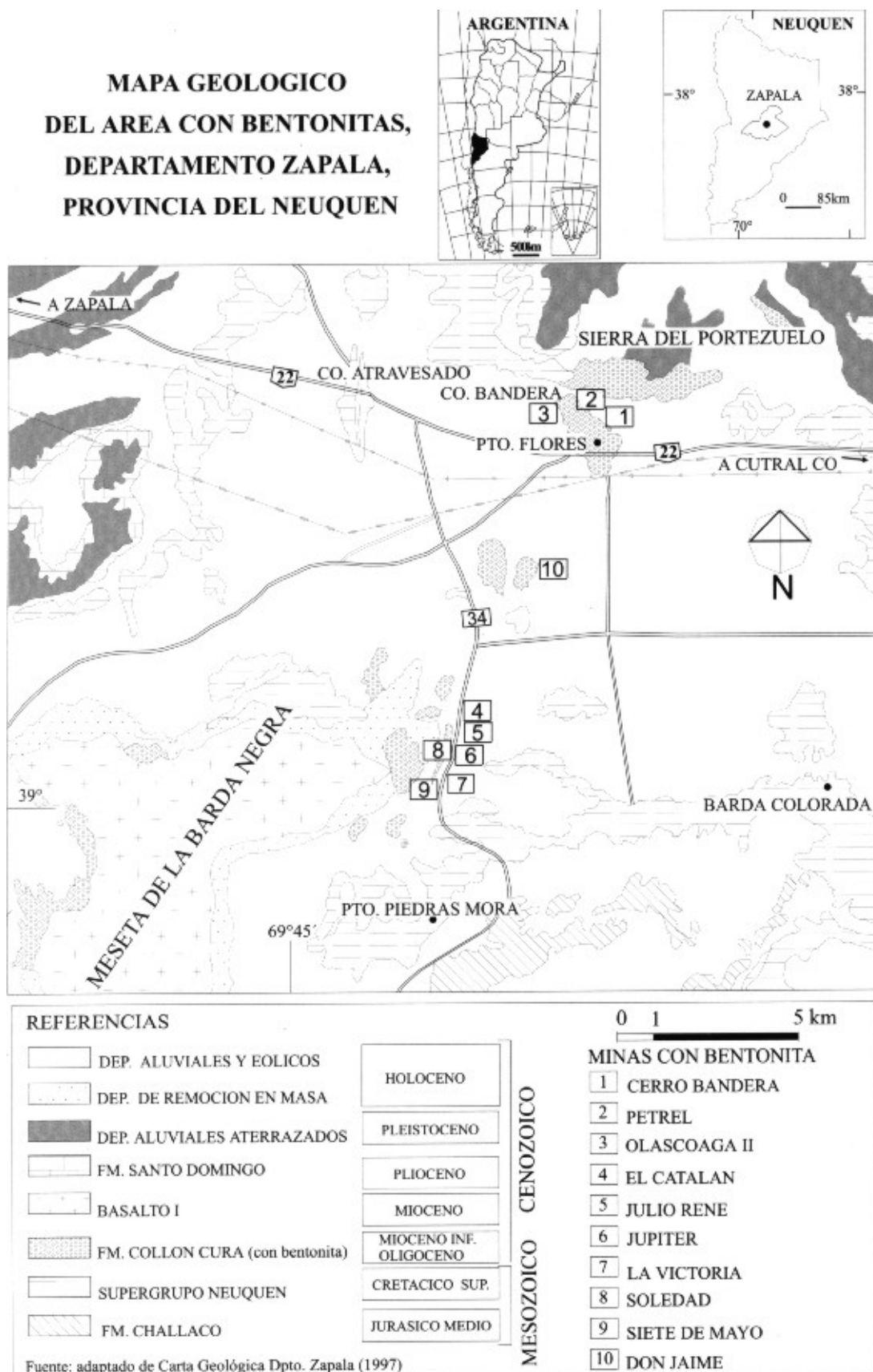


Figura 1: Mapa geológico y ubicación de las minas del departamento Zapala, provincia del Neuquén..

Geología del área

Los yacimientos de bentonita aquí considerados, estratigráficamente están ubicados en la Formación Collón Curá, una secuencia sedimentaria de edad terciaria, con elevado contenido de elementos piroclásticos. Las rocas más antiguas que afloran en cercanías del área de estudio pertenecen al ciclo sedimentario Cuyo del Jurásico medio y corresponden a las facies de areniscas deltaicas y costeras de las Formaciones Lajas y Challacó (ver Fig. 1). En discordancia (intersenoniana) sobre el Grupo Cuyo, se superponen parcialmente amplios afloramientos correspondientes a la pila sedimentaria continental denominada Megasecuencia Neuquina (Legarreta y Gulisano 1989) con sus Formaciones Candeleros, Huincol, Lisandro y Portezuelo incluidas en el Supergrupo Neuquén. Litológicamente están compuestas por areniscas, limolitas y arcilitas predominantemente rojizas.

La Formación Collón Curá, portadora de los horizontes de bentonita, presenta en la zona afloramientos aislados situados en las partes más elevadas de los cerros y mesetas. En el sector sudoeste de la sierra del Portezuelo se apoya en discordancia erosiva sobre las sedimentitas del Supergrupo Neuquén (Formación Lisandro). No se han encontrado indicios que permitan suponer en esta zona la existencia de una discordancia angular entre ambas secuencias, como sucede en las regiones vecinas.

Suprayacen a los sedimentos de la Formación Collón Curá depósitos eólicos y aluviales aterrazados. Coronando la meseta de la Barda Negra se ubican las coladas basálticas que Suero (1951) atribuye al Basalto I de Groeber (1929) del Mioceno superior. Las coladas, derramadas en posiciones topográficas deprimidas del relieve, llegaron posteriormente a constituirse en áreas sobreelevadas debido al proceso de inversión del relieve. El sustrato de tobas arcillosas colloncurenses, es friable y en consecuencia, la acción hídrica favorece la inestabilidad de las pendientes y su desmoronamiento observándose procesos de remoción en masa de las vulcanitas. Algunos de los mantos de bentonita que se encuentran al pie de la meseta han sido afectados por deslizamientos y cubiertos parcialmente por bloques desmoronados de las laderas del escorial.

Con referencia a la Formación Collón Curá, las evidencias de campo permitieron diferenciar dos facies en el área de estudio: una inferior de tipo clástica que contiene los estratos con bentonita y otra superior de composición piroclástica.

La facies clástica inferior está integrada por 33 m de areniscas epiclásticas, tufopelitas o areniscas tobáceas, bentonitas y lentes de tobas. Las areniscas son de color gris verdoso a gris amarillento, grano medio a muy grueso. Hacia la base, la arenisca se hace conglomerádica. Presenta estratificación entrecruzada, de bajo ángulo, siendo comunes los paleocanales. Se intercalan

en la secuencia clástica bancos de bentonita, con espesores variables según los yacimientos. Los bancos de tufopelitas se hacen más abundantes hacia la parte superior de la secuencia. Son de coloración grisácea con tintes castaños y se observan algunos clastos pequeños de pómez de coloraciones más claras. También se intercalan delgadas lentes de diatomitas de color blanco.

En la base se encuentran los bancos de bentonita, de color verde claro a gris verdoso, con espesor variable entre 3 y 15 metros, muy teñida con óxidos de hierro y con intercalaciones de yeso de hábito fibroso.

La facies piroclástica se compone de 42 m de toba de color blanco a blanco grisáceo, masiva, con grietas rellenas de yeso. Hacia la base pasa a una toba con altos contenidos de limo y arena, con tonos verdosos. En su parte inferior se observan estratos de areniscas de color gris claro, de pocos centímetros de espesor, grano medio a muy grueso, con estratificación entrecruzada.

Descripción de los depósitos

En la zona de cerro Bandera, la sucesión sedimentaria expuesta en los frentes de cantera, se compone de areniscas de color gris verdoso a gris amarillento, con grano medio a muy grueso y estratificación entrecruzada. Los bancos de bentonita se ubican en los sectores basales, con espesores variables (Fig. 2). En la mina Petrel poseen 4 a 7 m, en Cerro Bandera 6 a 8 m y en Olascoaga II, 2 a 6 metros. El encape también varía entre 2 y 8 m en los distintos frentes de explotación. Se intercalan en la secuencia, lentes de toba de color blanco, láminas de yeso de hábito fibroso que cortan a la secuencia en todas direcciones, concreciones de baritina, nódulos ferruginosos, restos de troncos y vegetales carbonizados.

En la zona de la meseta de Barda Negra se ubica un conjunto de 11 minas actualmente en producción o que han sido explotadas con anterioridad. Ocupan una franja elongada en sentido nornordeste a sudoeste (ver Fig. 1).

Las minas 7 de Mayo y Soledad están situadas al oeste de la ruta provincial 34. El material bentonítico es de color verde oliva, con potencias que varían de 3 a 15 metros, con intercalaciones de lentes u "ojos" de areniscas y tobas, de color blanco, de grano fino. Es frecuente la presencia de capas delgadas de yeso de hábito fibroso que atraviesan la secuencia en todas direcciones. En algunos sectores aparecen nódulos ferruginosos y concreciones de baritina (Fig. 2).

La minas La Victoria y Júpiter, ubicadas al este de la ruta 34, muestran estratos de bentonita de formas lenticulares o en algunos casos conformando bolsosnes, siguiendo las geoformas del relieve. La disposición es horizontal a subhorizontal, con espesores que varían desde 3 a 8 metros. La bentonita es masiva, de

color verde oliva a gris verdosa y ocre en algunos sectores, muy teñida de óxidos de hierro, con intercalaciones de lentes u "ojos" compuestos de toba de color blanco, bastante alterada a arcilla (Fig. 2).

Las capas de bentonita no mantienen una gran continuidad lateral, ya que en algunos sectores los horizontes o bien se acuñan o se cortan abruptamente al pasar lateralmente a facies de cenoglomeradita originadas por fenómenos de remoción en masa.

Las minas El Catalán y Julio René tienen características similares, los espesores de los mantos varían de 4 a 10 metros, la bentonita es de color gris verdoso y en partes está teñida por óxidos de hierro e impurificada por venas de yeso. La sobrecarga es de poco espesor, menos de un metro, y está constituida por rodados y suelo. El frente expuesto es de 40 m de longitud en la mina El Catalán y de 60 m en Julio René.

Mineralogía

Las bentonitas están compuestas por 78 a 85 % de minerales arcillosos, según surge de estimaciones semicuantitativas a través de difracción de rayos X. Están acompañados predominantemente por proporciones variables de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, ópalo C-T, cristobalita, ceolitas, yeso y calcita.

En el cuadro 1 se expone la composición mineralógica de muestras características de algunos yacimientos.

Mineralogía de la fracción arcillosa

Una esmectita dioctaédrica clasificada como montmorillonita es el principal componente de la fracción

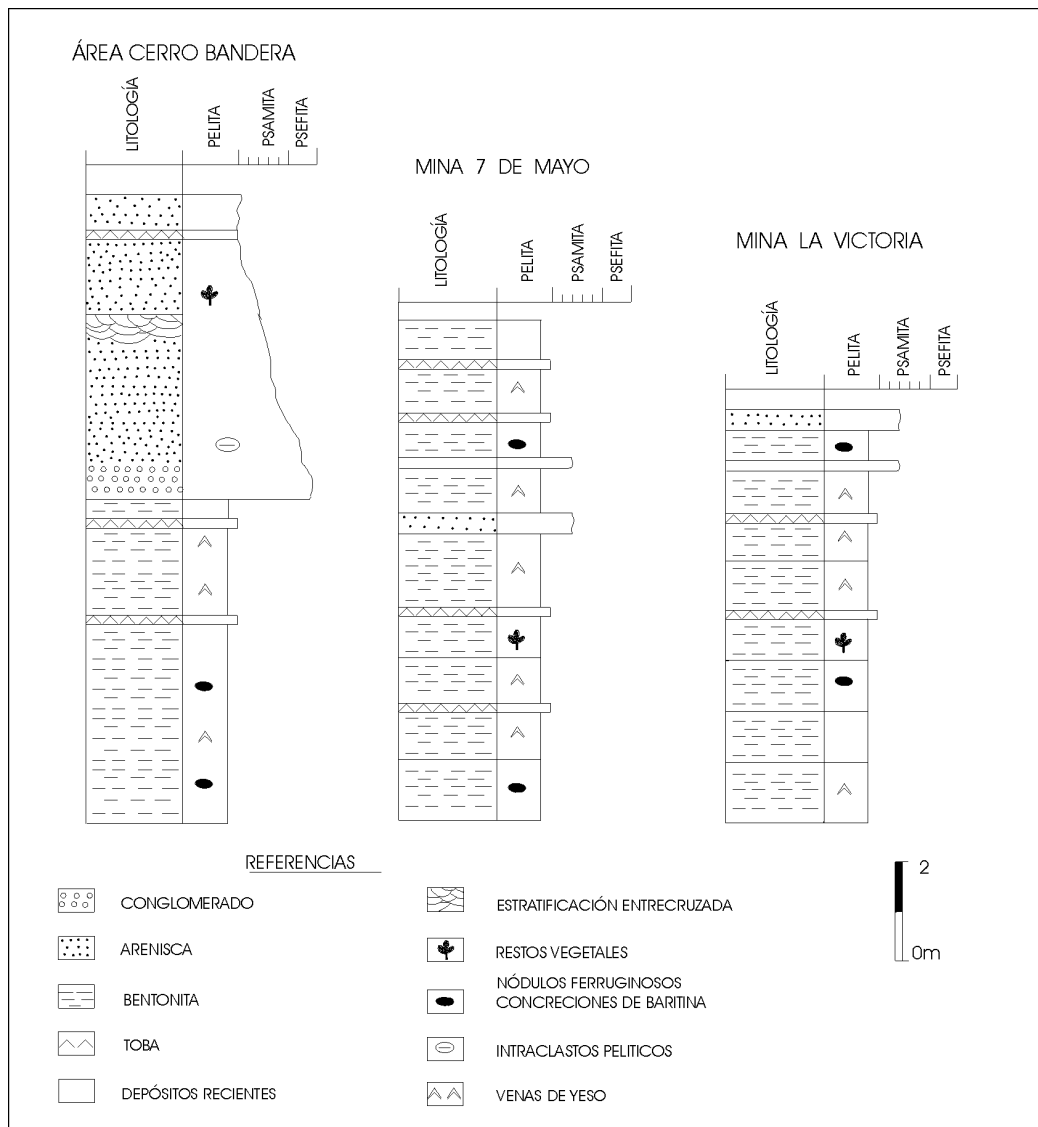
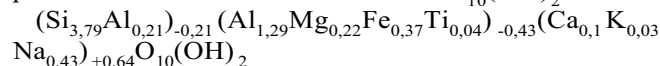


Figura 2: Perfiles geológicos de la facies clástica inferior de la Formación Collón Curá, que contienen los estratos de bentonita.

menor de 2 micrones. Los patrones de difracción de preparados orientados y secos al aire, mostraron una reflexión muy fuerte en $7,0^\circ$ a $7,2^\circ$ 2θ ($d = 12,59$ a $12,4 \text{ \AA}$) en estado natural, que se desplazó a $5,9^\circ$ 2θ ($15,2 \text{ \AA}$) cuando se saturó con Mg (ver Fig.3). En ambos casos, cuando se solvata con etilenglicol, expande a $5,2^\circ$ 2θ ($17,10 \text{ \AA}$). La reflexión 001 es estrecha y aguda, con un ancho a media altura que varía entre $0,45$ y $1,0^\circ$ 2θ , lo que indica que se trata de una esmectita con un moderado a alto grado de cristalinidad. La aplicación del test de Greene-Kelly (1953) mediante saturación con Li^+ , no acusó la existencia de beidellita en las bentonitas analizadas.

Además de la montmorillonita, en muestras aisladas se identificaron proporciones menores de un interestratificado illita/esmectita con predominio del primer componente.

Se calculó la fórmula estructural para una montmorillonita típica de la mina 7 de Mayo, a partir del análisis químico de la fracción menor de 2 micrones expresado como óxidos, que se incluye en el cuadro 3. A continuación se desarrolla la misma normalizada para media celda unitaria referida a $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$:



Para el cálculo se consideró el hierro total como Fe^{+3} . Se observa que la carga de la capa es de 0,64 y que la mayor parte de esta carga proviene de sustituciones en la hoja octaédrica. Corresponde en consecuencia a una esmectita dioctaédrica de la variedad aluminica - montmorillonita - (Newman y Brown 1987).

Mineralogía de la fracción no arcillosa

Como minerales acompañantes de las arcillas, se encuentran principalmente feldespatos, cuarzo, ópalo C-T, cristobalita y yeso. La abundancia de los constituyentes no arcillosos varía desde 15 % hasta 22 %.

La plagioclasa es el mineral más abundante; tiene forma de tablillas subredondeadas a redondeadas; algunos cristales están zonados, otros muestran rebordes de material vítreo y su composición es del tipo oligoclasa-andesina (An_{26} - An_{40}). Pueden estar

fracturados y alterados a argilominerales. El feldespato potásico es ortosa y sólo está presente en algunas muestras.

Los cristales de cuarzo son subredondeados a redondeados. Los engolfamientos, las inclusiones y el crecimiento secundario son poco frecuentes. También se observa cuarzo microcristalino y calcedonia.

La existencia de una estructura de sílice microcristalina desordenada del tipo ópalo-CT (Brown, 1980, Jones *et al.* 1971 y Guthrie *et al.* 1995), es sugerida por la aparición en los difractogramas de rayos X de una reflexión ancha constituida por más de un pico no resuelto y con un máximo en $4,04$ - $4,05 \text{ \AA}$, junto con las otras reflexiones características de este mineral. En las fracciones gruesas de ciertas muestras, entre 53 y 125 micrones, esta especie es proporcionalmente más abundante. En difractogramas realizados sobre dichas fracciones, se observa una mayor agudeza de la reflexión referida, lo que indicaría un proceso de cristalización del ópalo-CT y formación de cristobalita *low*. Al microscopio, solo se distinguen agregados silíceos microcristalinos con las características ópticas de la cristobalita. Esta variedad de sílice se encuentra en cantidades importantes en la bentonita, llegando al 14 % en algunas muestras de la mina 7 de Mayo.

En baja proporción la bentonita contiene litoclastos de rocas piroclásticas, volcánicas y sedimentarias con formas subredondeadas a redondeadas. Los vitroclastos son escasos, incoloros, con índice de refracción $n=1,47$, de tipo pared de burbuja y formas semilunares. Algunos poseen formas angulosas. Es común la presencia de hornblenda, de trazas fósiles vegetales y cristales euhedrales de piritita y en ínfimas proporciones o como traza, ceolitas, calcita, micas, clorita y yeso. Las ceolitas son principalmente de la serie heulandita-clinoptilolita pero también se identificó analcima. Las micas (biotita y menos frecuentemente muscovita) presentan aberturas, flexuras y signos de abrasión en los bordes. La biotita está intensamente alterada, el hierro se ha lixiviado y ciertos individuos se alteraron a clorita.

Los cristales de yeso de hábito fibroso se encuentran en la fracción granulométrica mayor de 250 micrones.

Cuadro 1: Composición mineralógica de dos muestras de bentonita de cada yacimiento, estimada por difracción de Rayos X.

| Minerales (%) | Mina Co. Bandera | | Mina Petrel | | Mina Olascoaga II | | Mina La Victoria | | Mina Soledad | | Mina 7 de Mayo | |
|---------------------------|------------------|----|-------------|----|-------------------|----|------------------|----|--------------|----|----------------|----|
| Minerales arcillosos | 84 | 82 | 85 | 82 | 80 | 79 | 82 | 84 | 78 | 79 | 81 | 84 |
| Cuarzo | 7 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 | 3 | 6 | 2 | 6 | 2 | 4 |
| Feldespatos | 9 | 8 | 5 | 4 | 8 | 6 | 5 | 8 | 6 | 4 | 3 | 7 |
| Cristobalita y/u ópalo-CT | -- | 4 | 4 | 6 | 4 | 7 | 8 | 1 | 12 | 9 | 14 | 5 |
| Ceolita | T | T | T | T | T | T | 1 | 1 | 1 | 1 | T | T |
| Yeso | T | T | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -- | 1 | 1 | T | T |
| Calcita | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | T | -- | -- | T | T |

T: traza

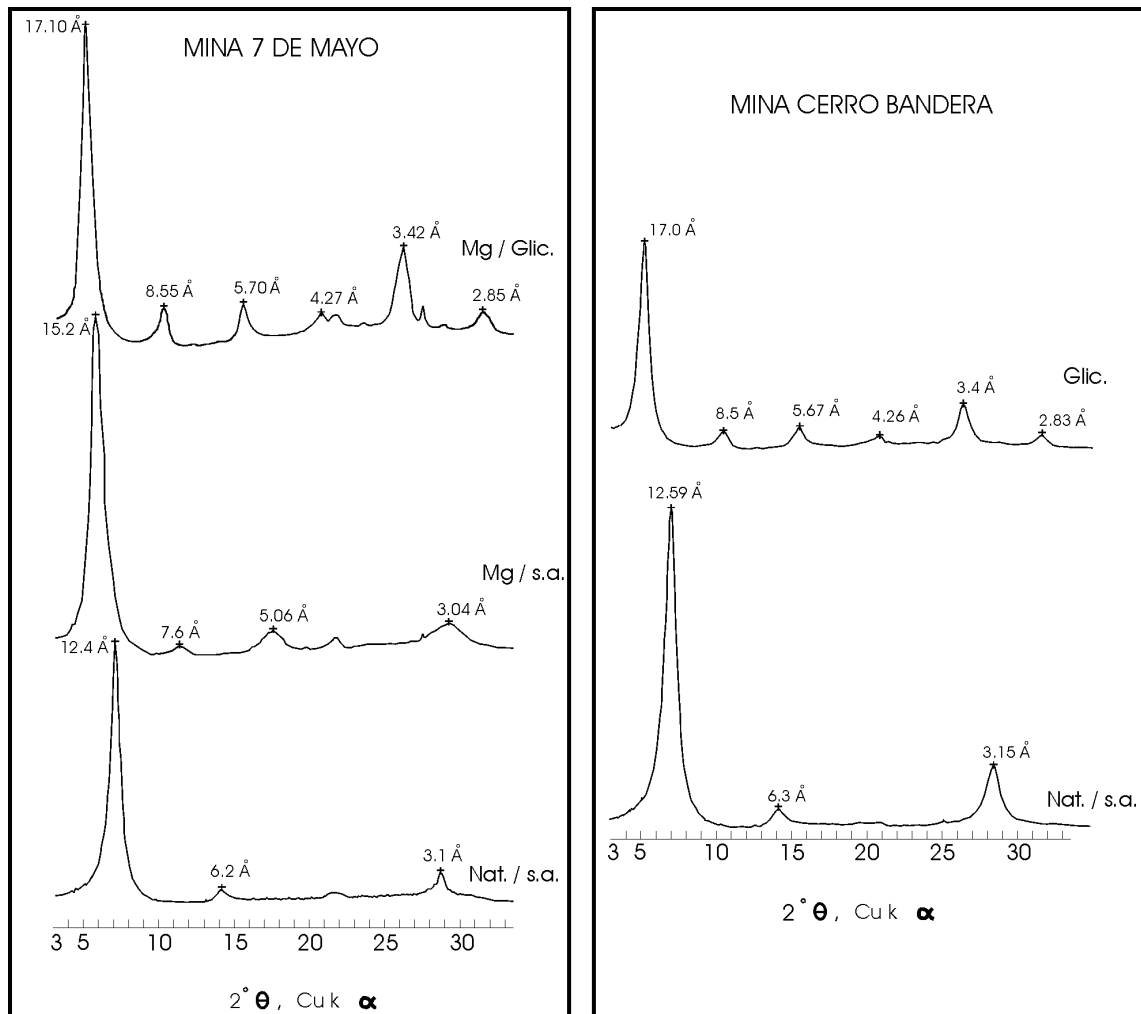


Figura 3: Diagramas de difracción de rayos X de muestras de bentonitas de las minas 7 de Mayo y Cerro Bandera. Nat./s.a.: natural, seca al aire. Mg/Glic. : homoionizada con magnesio, glicolada.

Composición, calidad y propiedades tecnológicas

Análisis granulométricos

En las curvas de distribución de tamaño de partículas se observa que la arcilla (fracción menor de 2 micrones) presente en estas bentonitas, varía entre 86 y 88 %, con un promedio de 87 %, lo cual indica que son materiales que poseen de moderado a alto grado de pureza. La proporción de limo (tamaño entre 2 y 62 micrones) varía entre 9,5 y 11,6 % y de arena (entre 62 micrones y 2 mm) entre 2,4 y 2,6 %, (Cuadro 2).

Análisis químicos, CIC y cationes de intercambio

La composición química de muestras características, se expone en el cuadro 3, así como la capacidad de intercambio catiónico y tipos de cationes intercambiables. Se destacan los elevados contenidos en Fe_2O_3 , que varían entre 4,90 y 7,30 %, lo que le confiere a la

roca colores relativamente oscuros y constituye un limitante para determinados usos (por ejemplo, cosmética, jabón, carga de pinturas). También el sodio predomina sobre el calcio, potasio y magnesio, formando parte de las sales solubles y de los cationes adsorbidos en la superficie de la arcilla. Las muestras poseen una capacidad de intercambio (CIC), entre 68 y 80 meq/100 g, siendo el sodio el principal catión, lo cual las define como bentonitas sódicas naturales y como tales se comportan. El catión Ca^{++} se encuentra en menor proporción y el K^+ y Mg^{++} en cantidades mínimas.

Características tecnológicas

Ensayos para lodos de perforación: Los ensayos reológicos y de filtrado que se realizaron sobre dispersiones acuosas indican que la mayoría de las muestras en su estado original cumplen con los principales requerimientos de las especificaciones API (1993) para su utili-

Cuadro 2: Análisis granulométricos en muestras de bentonita.

| Yacimiento | Cerro Bandera | Petrel | La Victoria | Soledad | 7 de Mayo | El Catalán |
|----------------------|------------------|--------|----------------|---------|--------------|---------------|
| Fracción arcilla (%) | 86,50 | 86,00 | 87,50 | 87,00 | 88,00 | 88,00 |
| Fracción limo (%) | 10,90 | 11,60 | 10,00 | 10,40 | 9,60 | 9,50 |
| Fracción arena (%) | 2,60 | 2,40 | 2,50 | 2,60 | 2,40 | 2,50 |

Cuadro 3: Análisis químico, Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes totales por elemento.

| Yacimiento | Cerro Bandera | Petrel | Olascoaga II | La Victoria | Soledad | 7 de Mayo | 7 de Mayo (< 2μ) |
|--------------------------------|------------------|--------|-----------------|----------------|---------|--------------|---------------------|
| PPC | 4,7 | 4,9 | 2,8 | 4,8 | 5,0 | 7,4 | 9,1 |
| SiO ₂ | 60,8 | 60,6 | 58,3 | 62,4 | 62,0 | 63,5 | 56,7 |
| Al ₂ O ₃ | 17,8 | 19,5 | 18,5 | 19,1 | 18,0 | 16,1 | 19,0 |
| Fe ₂ O ₃ | 7,1 | 6,5 | 7,3 | 5,8 | 4,9 | 5,5 | 7,3 |
| CaO | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,6 | 2,2 | 2,3 | 1,5 |
| MgO | 2,3 | 1,8 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 1,6 | 2,2 |
| Na ₂ O | 3,7 | 3,1 | 2,4 | 2,8 | 3,0 | 2,8 | 3,3 |
| K ₂ O | 1,6 | 0,6 | 0,5 | 1,8 | 1,1 | 0,3 | 0,0 |
| CIC (meq/100g) | 70,0 | 73,0 | | 68,0 | 80,0 | 78,0 | |
| Na ⁺ (meq/100g) | 88,0 | 70,0 | | 55,0 | 54,0 | 61,0 | |
| Ca ⁺⁺ (meq/100g) | 19,0 | 13,0 | | 9,0 | 22,0 | 8,0 | |
| K ⁺ (meq/100g) | 2,0 | 2,5 | | 0,6 | 1,0 | 3,0 | |
| Mg ⁺⁺ (meq/100g) | 1,0 | 4,0 | | 2,0 | 2,0 | 1,0 | |

zación en lodos de perforación (Cuadro 4). Estas normas exigen lectura mínima de viscosímetro a 600 rpm de 30 y volumen de filtrado máximo de 15 cm³. No obstante, las bajas viscosidades plásticas medidas, entre 5 y 6, no logran el cumplimiento de la norma que solicita una relación punto de fluencia /viscosidad plástica máxima de 3. Sin embargo, teniendo en cuenta su buen rendimiento en barrilaje por tonelada, estas bentonitas pueden ser mezcladas con otras que contribuyan a corregir las deficiencias apuntadas con el fin de mejorar sus propiedades.

Ensayos para fundición

Se considera aquí la aptitud de estas bentonitas como aglomerante de arenas de moldeo utilizadas en la industria metalúrgica. Los valores obtenidos de resistencia a la compresión en verde y en seco, superan los 1,13 kg/cm² y 2,09 kg/cm² respectivamente, encontrándose dentro de los óptimos para ese uso. El contenido de impurezas es relativamente bajo. El volumen de hinchamiento varía entre 24 y 28 (Cuadro 5).

De acuerdo a los valores observados, estas bentonitas presentan buenas aptitudes para su utilización

en la industria metalúrgica con relación a los requerimientos de la industria nacional de acuerdo a norma CEMP, 1990.

Reservas

Las reservas del yacimiento cerro Bandera y de otros ubicados en las cercanías han sido estimadas en 1.336.000 toneladas inferidas (CFI - Sudamconsult y Asociados 1973). En el yacimiento La Reservada fueron estimadas 1.500.000 t como reservas inferidas (Gingins y Gil 1975). La cubicación de bentonita en las minas localizadas en el sector nor-nordeste de la meseta de la Barda Negra se basó en una exploración realizada con pozos cuya profundidad se limitó a los 4 metros. Los datos fueron proporcionados por el profesional de la empresa productora (Medeot 1986). En el cuadro 6 se resumen las cifras disponibles.

Discusión acerca de la génesis de las bentonitas

Se considera que las bentonitas se generaron por desvitrificación *in situ* de los componentes piroclásticos contenidos en la facies clástica inferior de la Formación Collón Curá. Que el material original era

Cuadro 4: Ensayos de bentonitas para lodos de perforación (según Normas API, 1993).

| Mina | L600 r.p.m. | | VP Cps | | PF lb/100pies ² | | Filtrado (ml) | |
|----------------|----------------|----|-----------|---|-------------------------------|----|------------------|------|
| Petrel | 51 | 50 | 6 | 5 | 39 | 40 | 13,4 | 13,0 |
| Co. Bandera | 51 | 48 | 5 | 5 | 41 | 38 | 13,0 | 13,1 |
| La Victoria | 35 | 36 | 5 | 5 | 25 | 26 | 15,8 | 15,0 |
| Mina Soledad | 25 | 16 | 5 | 5 | 15 | 6 | 13,8 | 20,0 |
| Mina 7 de Mayo | 49 | 48 | 6 | 6 | 37 | 36 | 14,6 | 14,5 |
| El Catalán | 25 | 27 | 5 | 6 | 15 | 15 | 13,8 | 13,6 |

L600: lectura Fann a 600 rpm, VP: Viscosidad plástica, PF: Punto de fluencia.

Cuadro 5: Ensayos de bentonitas utilizadas en la industria metalúrgica (Norma CEMP, 1990)

| Mina | PH | Impurezas (% # 200) | H (ml/2g) | RCV (kg/cm ²) | RCS (kg/cm ²) | RTH (N/m ²) | A.M. Nat. (ml) | E.T. a 550°C (%) |
|---------------|-----|------------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|
| Cerro Bandera | 8,3 | 2,6 | 27 | 1,36 | 2,65 | | 48,4 | 55,3 |
| La Victoria | 8,4 | 2,5 | 24 | 1,36 | 2,65 | 36,2 | 48,4 | 25,5 |
| Soledad | 8,7 | 2,6 | 28 | 1,13 | 2,09 | 29,9 | 46,3 | 22 |
| 7 de Mayo | 8,4 | 2,4 | 28 | 1,25 | 2,34 | 28,9 | 45,8 | 40,4 |

H: Hinchamiento, RCV: Resistencia compresión en verde, RCS: Resistencia compresión en seco, RTH: Resistencia a la tracción en húmedo, A.M. Nat.: Azul de metileno natural, E.T. a 550°C: Estabilidad térmica a 550°C.

Cuadro 6: Reservas comprobadas e inferidas de las minas de bentonita de la meseta de la Barda Negra y Cerro Bandera.

| Mina o área | Reservas comprobadas (Tm) | Reservas inferidas (Tm) |
|---------------|---------------------------|-------------------------|
| Julio René | 260.000 | 300.000 |
| La Victoria | 300.000 | 1.000.000 |
| 7 de Mayo | 1.100.000 | 2.600.000 |
| Júpiter | 590.000 | 320.000 |
| Soledad | 425.000 | 360.000 |
| Mama | 450.000 | 220.000 |
| La Reservada | | 1.500.000 |
| Cerro Bandera | | 1.336.000 |

de origen volcánico, lo señala la abundancia de material piroclástico en otras secciones de la secuencia colloncurensis, la inclusión en la bentonita de escasas trizas de vidrio relíctico, las características de algunos cristales de plagioclasa que presentan zonación y rebordes de material vítreo así como cristales de cuarzo con engolfamientos y biotita en estado de desferriización. El tipo de plagioclasa, así como la asociación de plagioclasa, cuarzo, hornblenda (fespato potásico), señalaría una composición de tipo dacítica de la roca piroclástica original.

Se infiere asimismo que los depósitos piroclásticos no se encontraban en su posición original, sino que fueron retransportados o reelaborados, proceso en el que incorporaron elementos epiclásticos. Como componentes detríticos pueden citarse clastos de cuarzo y líticos, cuyas características texturales así como las deformaciones de los cristales de mica, indicarían que al menos algunos de los constituyentes no arcillosos tuvieron un origen clástico.

El proceso de argilitización se habría producido *in situ*. La hidratación necesaria para el proceso, la habrían aportado cuerpos de agua más o menos discontinuos, someros, hasta parcialmente pantanosos, alojados en cubetas que se desarrollaron en las partes más profundas de un prerrelieve labrado sobre las sedimentitas del Supergrupo Neuquén. La sílice amorfa liberada durante la desvitrificación sufrió un proceso de maduración diagenética a baja temperatura, pasando a través de estructuras de ópalo C-T a cristobalita. Se infiere un medio neutro a ligeramente alcalino, confinado, tal que los vidrios evolucionaron hacia la formación de montmorillonita y en mucho menor grado a ceolitas – analcima y heulandita-clinoptilolita. No se encontró caolinita indicadora de procesos de lixiviación en medios ácidos, pero sí se observaron materia orgánica vegetal y cristales de piritita que sugieren un ambiente reductor.

La composición catiónica de las bentonitas, con predominio del sodio, habría sido desarrollada en el tiempo de formación de las arcillas y respondería a las condiciones geoquímicas imperantes en el sistema en aquel momento.

Conclusiones

1) Los depósitos de bentonita del departamento Zapala se formaron durante el Mioceno, a partir de ciertos materiales piroclásticos contenidos en una facies clástica inferior, de la Formación Collón Curá.

2) Los yacimientos consisten en mantos lenticulares subhorizontales con espesores variables entre 3 y 15 metros, distribuidos en una franja elongada en sentido nornordeste-sudsudoeste de 20 km de longitud.

3) El mineral arcilloso que constituye entre el 78 y 85 % de la bentonita, consiste en montmorillonita.

4) Estas bentonitas se habrían originado a través de la desvitrificación de tobas reelaboradas, en medios confinados, reductores, ligeramente alcalinos, tales como cuerpos de agua continentales someros a pantanosos, aislados entre sí.

5) Se trata de bentonitas sódicas naturales con buena aptitud para ser usadas como aglomerantes de arenas de moldeo para fundición y cuya aplicación en lodos de inyección está condicionada a la mezcla con otros productos que contribuyan a corregir ciertas deficiencias.

6) Las reservas comprobadas de bentonita para la región obtenidas de distintas fuentes, totalizan 3.125.000 toneladas, mientras que las inferidas son 7.636.000 toneladas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Nacional del Comahue mediante subsidios. Para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico se contó con la colaboración de la Ingeniera química María A. Giaveno. Agradecemos al Lic. Hugo Medeot, por la información aportada sobre reservas de algunos yacimientos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Angelelli, V., Schalamuk, I. y Arrospide, A., 1976. Yacimientos No Metalíferos y Rocas de Aplicación de la Región Patagonia-Comahue. Anales Secretaria de Estado y Minería, 17. Buenos Aires.
- API, 1993. American Petroleum Institute. Specification for dilling fluid materials. 13A.
- Brown, G., 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification. En: Brindley, G.W. y Brown, G. (Ed.): Mineralogical Society, monograph N° 5. London.
- CEMP, 1990. Comissao de Estudo de Materias Primas. Associacao Brasileira de Fundicao. Brasil.
- CFI - Sudamconsult y Asociados, 1973. Desarrollo Minero del Neuquén. Dirección de Minería del Neuquén. (Inédito).
- Dirección Provincial de Minería de la Provincia del Neuquén, 1997. Geología y Recursos Minerales del Departamento Zapala. Cartas Geológicas y de Recursos Minerales de la Provincia del Neuquén. Dirección Provincial de Minería de la Provincia del Neuquén. Boletín N° 2.

- Domínguez, E., 1981. Estudio Geológico de la mina de bentonita "Don Jaime". Cerro Bandera, provincia de Neuquén. Actas 8º Congreso Geológico Argentino, 2: 755-767. San Luis.
- Gentili, C.A., 1950. Descripción Geológica de la hoja 35c, Ramón Castro (Neuquén). Dirección Nacional de Minería. Boletín 72. Buenos Aires.
- Gingins, M.O. y Gil, J.C., 1975. Informe geológico-económico sobre yacimientos de bentonita "El Catalán", "Julio René" y "La Reservada", Neuquén. Dirección General de Minería. Zapala. Inédito.
- Greene-Kelly, R., 1953. The identification of montmorillonoides in clays. *Journal Soil Science*, 4:233-237.
- Groeber, P., 1929. Líneas fundamentales de la geología del neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección General de Minería, Geología e Hidrocarburos. Publicación 58:1-109. Buenos Aires.
- Guthrie, G.D., Bish, D.L. and Reynolds, R.C., 1995. Modeling the X-ray diffraction patterns of opal-CT. *American Mineralogist*, 80: 869-872.
- Jones, J.B. and Segnit, E.R., 1971. The nature of opal: I. Nomenclature and constituent phases. *Journal of the Geological Society of Australia*, 18:57-68.
- Kraglievich, L. 1930. La formación friasana del río Frías, río Fénix, Laguna Blanca (Patagonia) y su fauna de mamíferos. *Physis* 10, Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Gulisano, C.A., 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la cuenca Neuquina. *Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación, Geología*, 6: 221-244, Buenos Aires.
- Mazzoni, M. Y. and Benvenuto, A. 1990. Radiometric ages of tertiary ignimbrites and the Collón Curá Formation. *Northwestern Patagonia. Actas 9º Congreso Geológico Argentino*, 2:87-90. Buenos Aires.
- Medeot, H., 1986. Informe geológico de yacimientos de bentonita en la meseta de la Barda Negra, Departamento Zapala, Neuquén. Conidier S.A. Informe inédito.
- Moore, D.M and Reynolds, R., 1997. X-Ray Diffraction and the identification and analysis of Clay Minerals. Oxford University Press, 378 p., New York.
- Newman, A. and Brown, G., 1987. The chemical constitution of clays. En: *Chemistry of Clays and Clay Minerals*, Newman, A. (Ed.): Mineralogical Society. Monograph N° 6: 1-128. London.
- Nullo, F.E., 1979. Descripción Geológica de la Hoja 39c, Paso Flores, provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional, Boletín N° 167. Buenos Aires.
- Peinemann, N., Ferreiro, E.A. y Helmy, A.K., 1972. Estudio mineralógico de una montmorillonita de Cretácica Bandera (provincia de Neuquén, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 27 (4): 399-406.
- Pelz, P., 1988. Estudio de las bentonitas de la Barda Negra, Neuquén. Dirección de Minería Neuquén. (Inédito).
- Rabassa, J., 1974. Geología superficial en la región de Pilcaniyeu-Comallo, provincia de Río Negro. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata, 331. (Inédito).
- Schultz, L.G., 1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. *Geological Survey Professional Paper*, 361-C:1-31. Washington.
- Suero, T., 1951. Descripción geológica de la Hoja 36c, Cretácica Lotena (Neuquén). Dirección Nacional de Minería, Boletín 76. Buenos Aires.
- Vallés, J.M., Giaveno, M.A. y Chiachiarini, P., 1992. Resultados de los ensayos experimentales efectuados sobre bentonitas de la cuenca sedimentaria Neuquina. *Actas 4º Congreso Nacional y 1º Latinoamericano de Geología Económica*: 334-343. Córdoba.
- Vallés, J.M. y Giaveno, M.A., 1993. Efectos térmicos sobre bentonitas de la cuenca Neuquina. *12 Congreso Geológico Argentino, Actas 5*: 262-271, Mendoza.
- Vucetich, M.G., Mazzoni M.M. y Pardiñas, U.F.J., 1993. Los roedores de la formación Collón Cura (Mioceno medio), y la Ignimbrita Pilcaniyeu. Cañadon del Tordillo, Neuquén. *Ameghiniana*, 30 (4): 361-381.

Recibido: 2 de enero, 2001

Aceptado: 28 de junio, 2002