

BENTONITAS

Agnes Impiccini¹ y Jorge M. Vallés¹⁻²

1. Universidad Nacional del Comahue, Departamento de Geología y Petróleo, CIMAR, Neuquén aimpicc@uncoma.edu.ar
2. CONICET – jvalles@uncoma.edu.ar

RESUMEN

En la zona central y oriental de la Cuenca sedimentaria Neuquina, se han desarrollado numerosos yacimientos de bentonita. Pueden ser agrupados en dos principales distritos mineralogénicos caracterizados por sus características geológicas, geográficas y estratigráficas, a saber: un distrito de bentonitas terciarias (del Oligoceno-Mioceno) localizadas en el Departamento Zapala y b) un distrito de bentonitas del Cretácico Superior (Maastrichtiano) que se extiende en el Este del Departamento Añelo. Además afloramientos menores de bentonitas pertenecientes al Oligoceno continental, se encuentran también en el Departamento Añelo. Los de Zapala constituyen los depósitos más importantes de bentonita de la Provincia del Neuquén. Son capas lenticulares casi horizontales, de 2 a 15 m de espesor y la mayoría de ellos afloran. Están incluidas en la Fm. Cerro Bandera, una secuencia continental del Oligoceno Superior-Mioceno donde alternan tobos y areniscas. Los cuerpos mineralizados son productos de alteración de materiales piroclásticos vítreos en ambientes húmedos confinados, tales como cuerpos de agua someros. Los análisis de DRX muestran que predomina una esmectita dioctaédrica – montmorillonita – y que es el único mineral arcilloso que aparece en la mayoría de los depósitos. Los minerales accesorios son cuarzo, feldspato potásico, plagioclasa y cristobalita (ópalo-CT) y en menor extensión ceolitas y yeso. El Na⁺ es el ión intercambiable dominante, junto con Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y K⁺. El contenido en Fe₂O₃ es muy alto. Son muy buenos agentes ligantes en arenas de molde para fundición y aunque sus propiedades reológicas y test de filtración no cumplen exactamente con las normas API para lodos de perforación, mezclándolas con otras bentonitas son también muy utilizadas para este fin.

Palabras clave: Bentonita, Departamento Zapala, Añelo, minerales arcillosos, Neuquén

ABSTRACT

Bentonites. - In the central and eastern region of the Neuquén sedimentary basin, Neuquén Province, several bentonite deposits are found. They can be grouped in two main mineralogical districts characterized by their geological, geographical, and stratigraphical characteristics as follows: a) a district of Tertiary (Oligocene-Miocene) bentonites, located in Zapala Department and b) a district of Upper Cretaceous (Maastrichtian) bentonites extending on the east of Añelo Department. In addition, minor outcrops of bentonites belonging to continental Oligocene are also found in Añelo Department. Those of Zapala, constitute the most important bentonite deposits in the province. Are nearly horizontal lenticular beds, 2 to 15 m in thickness and most of them outcrop. They are included in the Cerro Bandera Fm., an upper Oligocene-Miocene continental sequence where tuffs and sandstones alternate. The clay bodies are alteration products of pyroclastic glassy materials in confined wet environments, like shallow-water bodies. XRD analysis show 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), and to a lesser extent, 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. Although their rheological properties and leaking tests do not match exactly with API regulations for oil-drilling mud, are often used for this purpose mix in with other bentonites.

Key words: Bentonite, Zapala Department, Añelo, clay minerals, Neuquén

INTRODUCCIÓN

La principal zona de producción de bentonita de la provincia del Neuquén corresponde a los yacimientos del departamento Zapala, en cercanías de la meseta de la Barda Negra y de los cerros del Portezuelo y Bandera. Los depósitos cretácicos del Departamento Añelo, se han explotado en mucha menor proporción y en forma discontinua, permaneciendo prácticamente inactivos desde 1993. En años más recientes, fueron descubiertos depósitos de bentonita en el área de Bajada La Tordilla, pertenecientes a secuencias continentales terciarias, que han sido incipientemente exploradas y sus materiales probados en carácter experimental.

La producción total de la provincia fue de 48.600 t en el año 2009, lo que representa más del 25 % del total de producción de minerales no metalíferos. En los últimos 5

años (2005-2009) se obtuvieron 195.548 t, aunque hasta el año 2007 la producción anual no superaba las 29.000 t. El mayor salto en la extracción y venta de bentonita se registra a partir del 2008 con la explotación de 9 yacimientos y la instalación de nuevas plantas de molienda y tratamiento. De esta producción, un 50 % se utiliza en la perforación petrolera, un 30 % en la industria metalúrgica y el 20 % en cerámica y otras actividades. Los productos se comercializan principalmente en el país y menos del un 5 % es exportado a Brasil y esporádicamente a Chile y Bolivia.

Los diversos yacimientos, son trabajados en canteras a cielo abierto que proveen a varias plantas de procesamiento instaladas en la región norpatagónica, donde las bentonitas se muelen, mezclan y embolsan, obteniéndose productos - algunos de ellos tipificados - que abastecen mercados nacionales y latinoamericanos. Al tratarse de

bentonitas sódicas naturales, por sus propiedades reológicas, ligantes y de sorción tanto como por sus elevados hinchamientos y superficies específicas, son adecuadas para la preparación de fluidos de inyección de pozos de petróleo, de arenas de moldeo para fundición, de pelets de minerales de hierro así como usadas en la impermeabilización de obras hidráulicas, en la industria cerámica y numerosas otras aplicaciones.

Se distinguen dos tipos de yacimientos, uno de ellos perteneciente a la subregión de bentonitas terciarias, con especial desarrollo en el departamento Zapala, incluido dentro de la Fm. Cerro Bandera y otra menor expresión en el departamento Añelo. El otro tipo de yacimiento corresponde a la subregión de las bentonitas cretácicas, incluidas en la Fm. Allen, que aflora en el este de la provincia.

BENTONITAS TERCIARIAS DEL DEPARTAMENTO ZAPALA

Ubicación geográfica y geología regional

La región 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 al oeste de la sierra del Portezuelo y zona del cerro Bandera y al nornordeste de la meseta de la Barda Negra. Se accede a la zona desde Neuquén, recorriendo 130 km por la ruta nacional 22 hacia el oeste; la primera zona se encuentra a 2 km al norte de la ruta y para arribar a la segunda zona - Meseta de la Barda Negra - se accede por la ruta provincial 34 recorriendo 10 a 12 km hacia el sur (Fig. 1).

Los yacimientos de bentonita se hallan emplazados en una franja alargada, orientada en sentido nornordeste-sudsudeste de aproximadamente 20 km de largo y estratigráficamente se encuentran ubicados en la Fm. Cerro Bandera (Leanza & Hugo 1997, Leanza *et al.* 2001), de edad oligocena superior a miocena inferior, formando parte de la denominada Cuenca Neuquina. Componen la unidad sedimentitas continentales epi y piroclásticas que afloran en asomos aislados y son puestas de manifiesto merced a labores a cielo abierto o perforaciones producto de la explotación de bentonitas. La secuencia sedimentaria se integra con tobas, tobas arenosas, arcilitas, areniscas y areniscas conglomerádicas, de coloración variable en la que predominan los tonos amarillentos y blancos grisáceos. Las limolitas y arcilitas que dominan en esta unidad se estima que se han depositado en un ambiente lacustre, posiblemente coincidente en su diseño con la angosta cubeta que se extiende en sentido nornordeste desde la meseta de la Barda Negra hasta el cerro Bandera.

La Fm. Cerro Bandera en la zona presenta afloramientos muy reducidos, cubriendo las partes más elevadas de los cerros y mesetas y se apoya en discordancia erosiva sobre los términos basales del Grupo Neuquén (Fm. Huinul). Suprayacen a los sedimentos de esta unidad cineritas blanquecinas de la Fm. Collón Cura.

La unidad que contiene las capas con bentonita está integrada por 33 m de arcilitas, areniscas epiclásticas, 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 en la zona del cerro Bandera (Fig. 2). Presenta lentes de diatomeas de color blanco y entre los fósiles se citan fragmentos de huesos y dientes de mamíferos. Es común la presencia de troncos silicificados y restos vegetales.

Descripción de los depósitos

En la zona del 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 mina 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. Las minas Martín Fierro, Mama y 7 de Mayo 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 m, 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).

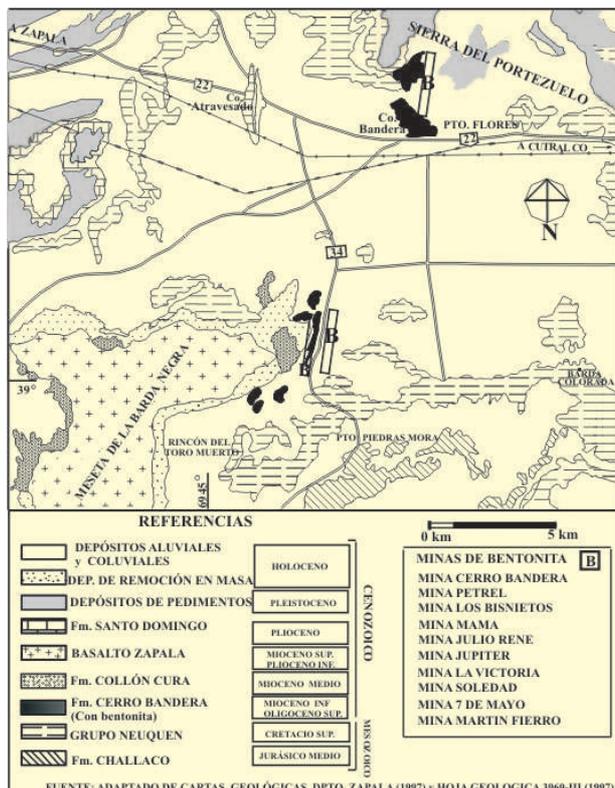


Figura 1: Mapa geológico y ubicación de las minas de bentonita del departamento Zapala, provincia del Neuquén.

Las minas La Victoria y Júpiter, ubicadas al este de la ruta 34, presentan estratos de bentonita de formas lenticulares o en algunos casos conformando bolsones, 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 presentan 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 m, 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.

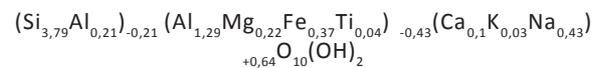
Mineralogía, análisis químicos, CIC y cationes de intercambio

Las bentonitas están compuestas por 78 a 85 % de minerales arcillosos y como impurezas (entre 15 % a 22 %) se observa: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, ópalo C-T, cristobalita, ceolitas, yeso y calcita. La plagioclasa es el mineral accesorio más abundante; tiene forma de tablillas subredondeadas a redondeadas; cristales zonados, con rebordes de material vítreo y su composición es del tipo oligoclasa-andesina. Los cristales de cuarzo son subredondeados algunos presentan engolfamientos y también aparece cuarzo microcristalino y calcedonia.

Es relativamente abundante dentro de los accesorios la sílice microcristalina desordenada del tipo ópalo-CT, en particular en las fracciones más gruesas (53 a 125 micrones) donde se observa una mayor agudeza de las reflexiones características de esta fase cristalina, lo que indicaría un proceso de cristalización del ópalo-CT y formación de cristobalita «low». Esta variedad de sílice se encuentra en cantidades importantes en la bentonita, llegando al 14 % en algunas muestras de la mina 7 de Mayo.

Una esmectita dioctaédrica clasificada como montmorillonita es el principal componente de la fracción menor de 2 micrones, la cual presenta un moderado a alto grado de cristalinidad. Además de la montmorillonita, en muestras aisladas se identificaron proporciones menores de un interstratificado illita/esmectita con predominio del primer componente. En baja proporción la bentonita contiene litoclastos de rocas piroclásticas, volcánicas y sedimentarias. Los vitroclastos son escasos, incoloros, con índice de refracción $n=1,47$, de tipo pared de burbuja y formas semilunares. Las micas 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.

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. La fórmula se desarrolló normalizada para media celda unitaria referida a $O_{10}(OH)_2$:



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, por lo que se clasifica como una esmectita dioctaédrica de la variedad montmorillonita aluminica.

La composición química es propia para este tipo de materiales (Tabla 1) y se destacan los elevados contenidos en Fe_2O_3 , que le confieren 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.

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 utilización en lodos de perforación (Tabla 2). Estas normas exigen lectura mínima de viscosímetro a 600 rpm de 30 y volumen de filtrado máximo de 15 cm^3 . No obstante, las bajas viscosidades plásticas medidas, entre 5 y 7, 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.

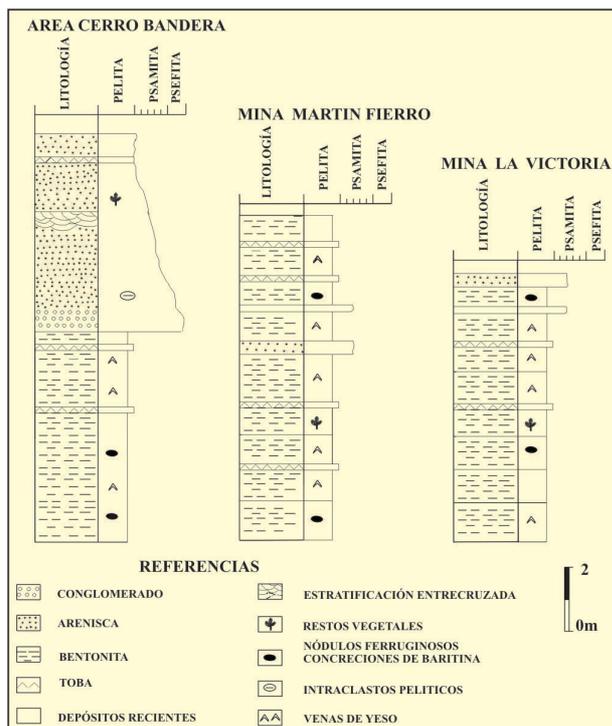


Figura 2: Perfiles geológicos de la Fm. Cerro Bandera, que contienen los estratos de bentonita.

MINA	CERRO BANDERA	PETREL	OLASCOAGA II	LA VICTORIA	SOLEDAD	7 DE MAYO	7 DE MAYO (<2μ)
PPC	4,7	4,90	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	

Tabla 1: Análisis químico, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes de cambio de muestras de bentonita del departamento Zapala. Composición, calidad y propiedades tecnológicas

Mina	L600 r.p.m.	L300 r.p.m.	VP Cps	PF lb/100pies ²	Filtrado (ml)
Petrel	51	45	6	39	13,4
Co. Bandera	51	46	5	41	13,0
La Victoria	35	30	5	25	15,0
Soledad	25	20	5	15	13,8
7 de Mayo	49	43	6	37	14,5
El Catalán	27	21	6	15	13,8
Martín Fierro, Manto superior	77	70	7	63	14,0
Martín Fierro	49	42	7	35	14,0

Tabla 2: Ensayos de bentonitas para lodos de perforación (según Normas API, 1993). L600: lectura Fann a 600 rpm, L300: lectura Fann a 300 rpm, VP: Viscosidad plástica, PF: Punto de fluencia.

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	8,30	2,60	27	1,36	2,65		48,4	55,3
La Victoria	8,40	2,50	24	1,36	2,65	36,2	48,4	25,5
Soledad	8,70	2,60	28	1,13	2,09	29,9	46,3	22,0
7 de Mayo	8,40	2,40	28	1,25	2,34	28,9	45,8	40,4
Martín Fierro	8,30	2,40	32					

Tabla 3: Ensayos de bentonitas utilizadas en la industria metalúrgica (Norma CEMP, 1990). H: Hinchamiento, RCV y RCS: Resistencia compresión en verde y 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.

Ensayos para fundición: se considera 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, lo cual indica que son materiales que poseen de moderado a alto grado de pureza. El volumen de hinchamiento varía entre 24 y 32.

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 (Tabla 2).

Empresas, minas en producción y sistemas de explotación

Numerosas empresas han realizado explotaciones en este distrito desde 1964. Algunas de ellas permanecen

activas. Pueden mencionarse Minera Shamballa SCA., Geberovich Hnos, Caicayén S.A., Julio López Osornio y Julio Álvarez, Sudametal SA, Talcomín Sur Minerales SA y recientemente Minerales Patagónicos SA En la actualidad, las principales empresas productoras de bentonita del distrito y también de la provincia de Neuquén son Minarmco SA y Minera José Cholino e Hijos y que explotan o han explotado las minas: 7 de Mayo, La Victoria, La Reservada, Júpiter, Soledad, La Mama y Martín Fierro, en el área de Barda Negra. El mineral es procesado en plantas de molienda, ubicadas en la zona de los yacimientos de Barda Negra, la primera empresa mencionada, y la segunda en una planta en la localidad de Cutral Co, a 45 km de los yacimientos. Ambas realizan cortes tipificados con bentonitas de yacimientos del lago Pellegrini y La Pampa.

Las canteras del departamento Zapala, al disponer de estratos de varios metros de espesor en posición subhorizontal y con escaso encape de estéril, se explotan a cielo abierto, por métodos mecanizados, mediante el uso de



palas cargadoras frontales en bancos superpuestos seleccionados por calidad. El material es acopiado en playas extensas, donde luego de secado se transporta a las plantas de molienda para su procesamiento y mezclado.

Reservas

Las reservas comprobadas e inferidas para la región fueron obtenidas de distintas fuentes. Para el yacimiento Cerro Bandera y otros ubicados en las cercanías han sido estimadas en 2.240.000 t (CFI - Sudamconsult y Asociados 1973). 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 m, totalizando un total de reservas de 4.430.000 t. Los datos fueron proporcionados por el profesional de la empresa productora (Medeot, 1986, Medeot, H., 2010, com. verbal). En el Tabla 4 se resumen las cifras disponibles.

Génesis de las bentonitas

Se considera que las bentonitas se generaron por desvitrificación in situ de los componentes piroclásticos contenidos en la Fm. Cerro Bandera. Que el material original era de origen volcánico, lo señala la abundancia de material piroclástico en otras secciones de la secuencia, la inclusión en la bentonita de escasas trizas de vidrio relicto, 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 desferrización. El tipo de plagioclasa, así como la asociación de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y feldespato potásico, señalaría una composición de tipo dacítica de la roca piroclástica original (Vallés & Impicini 1999; Impicini & Vallés 2002). 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 Grupo 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 pirita 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.

BENTONITAS CRETÁICAS DEL DEPARTAMENTO AÑELO

Ubicación y geología de los depósitos

Estos depósitos localizados en la sección media de la Fm. Allen, conforman junto con esta unidad sedimentaria una franja elongada en sentido norte-sur, expuesta en las laderas que bajan hacia el oeste y en forma discontinua a lo largo de 25 km, desde el sitio denominado Bajada del Palo hasta el sector denominado El Caracol. Los afloramientos guardan cierto paralelismo con la ruta provincial 8, que los acompaña por el este. Las mejores exposiciones se hallan en Puesto Rebolledo y El Caracol.

Los afloramientos tienen una disposición subhorizontal a horizontal. Los horizontes de bentonita son fácilmente diferenciables del contorno por sus colores más claros: verde claro, gris verdoso y blanco, en sectores rojizo

Mina o área	Reservas comprobadas (t)	Reservas inferidas (t)	Total general de Reservas (t)
Martín Fierro	205.000	150.000	355.000
Julio René	260.000	300.000	560.000
La Victoria	300.000	1.000.000	1.300.000
7 de Mayo	1.100.000	2.600.000	3.700.000
Júpiter	590.000	320.000	910.000
Soledad	425.000	360.000	785.000
Mama	85.000	50.000	135.000
El Trono del Rey Salomón	105.000	50.000	155.000
20 de Febrero	75.000	30.000	105.000
La Blanqueada		25.000	125.000*
Cerro Bandera		1.336.000	1.336.000
Los Bisnietos			215.500
Julio Saúl	109.500	106.000	181.500
Don Manuel y Constantina	110.500	71.000	198.700
Petrel	116.700	82.000	140.000*
Lili		110.000	90.000*
Vilma		70.000	80.000

Tabla 4: Reservas comprobadas e inferidas de las minas de bentonita de la meseta de la Barda Negra y Cerro Bandera. * (Reservas inferidas más supuestas).

a ocre oscuro debido a la presencia de óxidos de hierro. El material tiene aspecto ceroso y fractura concoidea. Los espesores de los horizontes de bentonita varían entre 0,20 y 0,70 m en la zona de Puesto Rebolledo y mina Arturo y 0,20 a 0,30 m. en El Caracol. Los estratos más potentes presentan formas tabulares, de gran extensión areal, en cambio los de menor espesor son lenticulares. Cada capa está separada de las unidades supra e infrayacentes por una discontinuidad distintiva en el tamaño granulométrico, ya que se torna más arenosa hacia la base y presenta mayor contenido en cristales de yeso. Algunas capas presentan pequeñas lentes u «ojos» de rocas piroclásticas inalteradas.

Los afloramientos de la Fm. Allen conforman barrancas profundamente disectadas por la erosión y el espesor de la sobrecarga es grande - hasta 40 m - motivo que limita la explotación del material. Fuera del área de las barrancas, las fangolitas aparecen en un conjunto de lomadas redondeadas, cubiertas por una capa meteorizada de gran espesor, lo que dificulta la búsqueda de los horizontes bentoníticos.

Mineralogía, composición química, CIC

La única arcilla presente con un valor promedio del 95 % es una esmectita de la serie montmorillonita-beidellita, con predominio de la primera y un grado de cristalinidad intermedio. Los minerales presentes en la fracción granulométrica arena son: plagioclasas de composición oligoclasa-andesina, litoclastos y cristales de cuarzo. Son frecuentes las ceolitas, trizas de vidrio y en cantidades subordinadas, cristobalita, sanidina, calcita, yeso y frústulos de diatomeas.

La composición química de las bentonitas se muestra en la Tabla 5 y se observa un elevado contenido en sodio, en parte como cationes de intercambio y en parte constituyendo sales solubles. Proporciones de óxidos de hierro entre 4 y 5 % les otorgan tonalidades amarillentas.

Su capacidad de intercambio catiónico es alta, variando entre 83 y 132 meq/100 g. El catión predominante es el Na^+ que en muchos casos triplica a la sumatoria de Ca^{++} y Mg^{++} . Esto la caracteriza como bentonita sódica natural.

Las conductividades eléctricas específicas de las bentonitas indican la presencia de sales solubles, principalmente cloruros y sulfatos, con valores entre 0.17 y 0.28 ppmil. El pH que genera es ácido, con valores entre 4,7 y 4,9, lo que deriva en elevadas viscosidades de sus dispersiones acuosas.

Ensayos para lodos de perforación, fundición y producción

Estas bentonitas poseen un alto grado de tixotropía, formando geles muy rígidos y en contacto con el agua dan altos valores de hinchamiento, aumentando en casos hasta 77 veces su volumen. Por ser esmectitas casi puras, tener como catión intercambiable al Na^+ , poseer altos valores de CIC y constituir coloides muy viscosos y fácilmente dispersables, permiten utilizar a estas bentonitas como materia prima en usos industriales tales como: pinturas, aglomerante de pellets de minerales de hierro, como agente absorbente y desinfectante y como carga en las industrias de papel y jabón.

Son frecuentemente usadas como aglomerante en arenas de moldeo para fundición y los ensayos tecnológicos dan valores dentro de límites requeridos para tal uso: Resistencia a la compresión en verde: 0,70 a 0,94 Kg/cm^2 , Resistencia a la compresión en seco: 1,36 a 2,80 Kg/cm^2 , Resistencia a la tracción en húmedo: 0,28 a 0,29 N/cm^2 Adsorción de azul de metileno: 54 a 65 ml, Índice de Estabilidad Térmica: 65 a 70 %.

En cuanto a su empleo como fluido de inyección en la industria petrolera, la mayoría de las muestras no cumplen con los requisitos necesarios para tal fin. Los parámetros que limitan su uso son los altos valores de filtrado en algunas y en la mayoría la elevada viscosidad y punto de fluencia. Sin embargo, muestran aptitud para incorporarse a mezclas con otras bentonitas y lograr resultados satisfactorios (Tabla 5).

Son los depósitos de bentonita más antiguos explotados en la región en la que se registra producción desde la década de 1946 (Vallés 2004). En los años recientes las explotaciones han sido discontinuas. En la década del 90 se explotó esporádicamente la mina Alfíl. Las explotaciones se realizan a cielo abierto, removiendo las fangolitas suprayacentes con topadoras o palas de arrastre hasta destapar el o los mantos de bentonita avanzando hasta que el encape adquiere espesores que tornan antieconómica la extracción, no superando los 5 metros. No se dispone de datos publicados de reservas.

Génesis de las bentonitas

Existen evidencias que las bentonitas que se ubican estratigráficamente en la Fm. Allen se formaron por alteración de vidrio volcánico, sedimentados en ambientes ácuos, procedentes de la zona andina occidental que se trasladaron como cenizas hasta la zona de engolfamiento de la cuenca, provocando acumulaciones de gran extensión areal y de escaso espesor. Lo abrupto del comienzo y fin de los episodios podría ser explicado por acontecimientos piroclásticos de corta duración cuyo transporte eólico a través de cientos de kilómetros, provocó una segregación y concentración de los elementos más livianos tales como cenizas vítreas (Impiccini 1995, Vallés & Impiccini 1999).

La acumulación habría sido preservada únicamente en los cuerpos de agua sin oleajes ni corrientes y por el contrario, diseminados y contaminados aquellos que se acumularon en ambientes emergidos o marinos con mayor grado de energía. Existen pruebas de origen volcánico del material original tales como la presencia de trizas vítreas relicáticas, niveles de cineritas en el paquete sedimentario, texturas típicas en las plagioclasas y fragmentos líticos de vulcanitas muy alteradas. Hay asimismo evidencias de que la formación de las bentonitas por desvitrificación se produjo in situ, en un ambiente marino somero que aportó el agua suficiente para la hidratación del vidrio. Los elevados contenidos en sodio y magnesio como cationes intercambiables y sales solubles habrían sido captados de las aguas de mar en el proceso de alteración.

BENTONITAS TERCIARIAS DEL DEPARTAMENTO AÑELO

En el Departamento Añelo, han sido denunciados ciertos descubrimientos de bentonita que se ubican es-



MUESTRAS	MA1	MA2	AÑ1	N9
Pérdida por calcinación	5.60	6.50	7.90	6.80
SiO ₂	57.00	58.00	57.50	57.50
Al ₂ O ₃	23.20	20.20	21.60	23.70
Fe ₂ O ₃	4.00	5.30	4.40	4.10
CaO	1.67	1.07	1.20	0.50
MgO	3.40	1.70	2.90	3.36
Na ₂ O	2.70	4.10	3.20	3.80
K ₂ O	0.60	0.57	0.80	0.60
TiO ₂	1.18	1.00	-----	-----
CIC (meq/100g)	98.00	---	83.00	90.00
Área Superficial (m ² /g)	628.00	667.00	675.00	740.00
% de Arcilla	94.00	95.00	96.00	95.00
L600 (r.p.m.)	254	100	32	74
L300 (r.p.m.)	240	84	27	67
VP (Cps)	14	16	5	7
PF (lb/100pies ²)	226	68	22	60
Filtrado (ml)	12	13	15	15
pH	4,9	4,7	4,9	4,7
% Impurezas (en # 200)	1,1	2,0	2,8	1,2
Hinchamiento (ml/2g)	77	51	30	42
RCV (Kg./cm ²)	0,88	0,7	0,94	0,83
RCS (Kg./cm ²)	2,09	1,36	2,80	1,52

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico, L600: lectura Fann a 600 rpm, L300: lectura Fann a 300 rpm, VP: Viscosidad plástica, PF: Punto de fluencia. RCV y RCS: Resistencia Compresión en Verde y en Seco.

Tabla 5: Características físico-químicas y tecnológicas de muestras de bentonitas cretácicas del departamento Añelo.

tratigráficamente en terrenos terciarios continentales, contrastando con aquellos ampliamente distribuidos en el Cretácico superior de dicho departamento depositados en condición marina litoral. Estos depósitos han sido escasamente explorados y su explotación ha sido incipiente.

Se encuentran a 14 km al sur de la intersección de las rutas provinciales 7 y 8, en el establecimiento de campo Pozo Cavado, a 25 km de la localidad de El Chañar, por la ruta 8, que conduce a Rincón de Los Sauces.

Descripción de los depósitos

Los depósitos bentoníticos están incluidos en la sección basal de la Fm. Chichinales, de edad Oligoceno Superior - Mioceno Superior. La secuencia apoya en discordancia angular sobre fangolitas arcillosas color ocre y verdosas de la Fm. Jagüel, con abundante megafauna de invertebrados marinos (Vallés & Impiccini 1994, 1996). Las acumulaciones bentoníticas potencialmente aprovechables, corresponden a los sectores de los niveles tobáceos cuya alteración a arcillas esmectítica es más intensa. El grado de argilitización es variable tal que los cuerpos bentoníticos son irregulares en extensión y espesor.

El sector denominado mina Don Alfredo es donde se observa el principal afloramiento, en una superficie de aproximadamente 35.000 m². En la labor L1, se midieron 7 m de potencia y en la L2 2,5 m. En ambos casos las calicatas no llegaron al piso del estrato.

Mineralogía, composición, calidad y propiedades tecnológicas

Los minerales arcillosos que componen la bentonita, constituyen entre el 71 y 83 % del total, el resto del material corresponde a limo, entre 15 y 22 % y en muy baja proporción arena. Los minerales arcillosos consisten en interstratificados esmectita-illita, con elevado contenido

en capas expansivas de un mineral de la serie montmorillonita-beidellita.

Las capacidades de intercambio catiónico (CIC) determinadas son elevadas, varían entre más de 100 y 130 meq/100g y corresponden a un rango característico para típicas bentonitas naturales. En la mayoría predomina el sodio como catión intercambiable (entre 60 y 80 %), sobre el calcio, magnesio y potasio. No obstante la sumatoria de cationes supera a la capacidad total de intercambio, lo que revela la presencia de sales solubles de los mismos cationes. El pH es neutro.

Con respecto al uso de estos materiales como lodo de perforación, solo en una muestra la viscosidad aparente a 600 r.p.m. supera el valor requerido de 30, como así también las viscosidades plásticas son menores a las exigidas por la Norma API (1993). Los valores de filtrado son en todas las muestras mayores a 21 ml, por lo cual se excede el valor máximo de 15 ml requerido. Por lo tanto, estos materiales podrían ser utilizados para tal fin solo como componentes de mezclas con otras bentonitas.

Como aglomerante en arenas de moldeo para fundición, las probetas ensayadas presentan valores aceptables de resistencia a la compresión en verde, con valores aproximados a 10 Kg/cm², pero no así en cuanto a la resistencia en seco, que es muy baja, menores a 14 Kg/cm². La adsorción de azul de metileno en estado natural indica alta superficie específica activa pero decae notablemente al calentar a 550 °C, señalando baja estabilidad térmica. El hinchamiento volumétrico entre 8 y 21, es un rango producido por bentonitas de calidad media a baja. El contenido de impurezas, entre 2 y 7 % es algo elevado para los requerimientos petroleros no así para fundición.

Génesis de las bentonitas

Se postula que los minerales arcillosos se originaron por alteración de los componentes vitroclásticos de los niveles tobáceos. Las condiciones ambientales de

humedad favorables para la alteración de las piroclásticas, habrían sido provistas por los cuerpos de agua dulce y zonas húmedas pantanosas y por los elevados niveles freáticos, mantenidos durante largos períodos posible-mente sobre la superficie irregular poco permeable de las fangolitas de Fm Jagüel. Generalmente, el mayor grado de argilitización se encuentra en los niveles más bajos de la toba y decrece en los superiores.

Los pasajes transicionales de roca fresca a intensamente argilitizada demuestran que las arcillas son de neoformación, producto de la alteración in situ de la roca original. Ciertas características de los minerales que acompañan a las arcillas, como ser zonación de las plagioclasas, trizas vítreas relícticas similares a las que componen las tobas, índice de refracción del vidrio, presencia de cristobalita, prueban el origen de las bentonitas a partir de cenizas volcánicas de composición acida a intermedia. Una evidencia adicional de la alteración in situ es la presencia del nivel de chert, ya que la silificación de estratos subyacentes son indicadores de migración hacia abajo de sílice liberada durante el proceso de alteración, en condiciones de cierta lixiviación. La escasa presencia de ceolitas se debería al bajo contenido de álcalis del ambiente y cierto grado de lixiviación, que han sido más favorables para la generación de esmectitas que la de ceolitas.

Agradecimientos

Agradecemos al Lic. Hugo Medeot, por la información aportada sobre reservas de yacimientos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- API 1993. American Petroleum Institute. Specification for drilling fluid materials. 13A.
- CEM 1990. Comissão de Estudo de Materias Primas. Associação Brasileira de Fundicao. Brasil.
- CFI - Sudamconsult y Asociados 1973. Desarrollo Minero del Neuquén. Dirección de Minería del Neuquén. Inédito.
- Delpino, D., Giusiano, A. & Deza, M. 1997. Geología y Recursos Minerales del Departamento Zapala. Mapa Geológico del Departamento Zapala (escala 1:200.000). Cartas Geológicas y de Recursos Minerales de la Provincia del Neuquén. Dirección Provincial de Minería de la Provincia del Neuquén. Boletín 2. Zapala.
- Impiccini, A. 1995. Mineralogía de la fracción no arcillosa de las bentonitas del Cretácico superior de la región Norpatagonia. Tesis doctoral U. N. de La Plata. Inédito. La Plata.
- Impiccini, A. & Vallés, J. 2002. Los depósitos de bentonita de Barda Negra y Cerro Bandera, departamento Zapala, provincia del Neuquén, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57 (3): 305-314.
- Leanza, H.A. & Hugo, C.A. 1997. Hoja Geológica 3969-III, Picún Leufú, provincias del Neuquén y Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Boletín 218: 1-135.
- Leanza, H.A., Hugo, C.A. & Repol, D. 2001. Hoja Geológica 3969-I, Zapala, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Boletín 275: 1-132. (2005, versión impresa)
- Medeot, H. 1986. Informe geológico de yacimientos de bentonita en la meseta de la Barda Negra, Departamento Zapala, Neuquén. Conidier SA. Informe inédito.
- Vallés, J. 2004. Breve historia de las Bentonitas de la Norpatagonia. Historia de la Minería Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 40, 2: 301-304. Buenos Aires.
- Vallés, J. & Impiccini, A. 1994. Hallazgos de bentonita en los niveles basales de la Formación Chichinales, Dpto. Añelo, Neuquén. 2º Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1: 423-428.
- Vallés, J. & Impiccini, A. 1996. Geología; Mineralogía y propiedades tecnológicas de las bentonitas de Pozo Cavado, Dpto. Añelo, Neuquén. 6º Reunión Argentina de Sedimentología. 1º Simposio de Arcillas. Actas: 317-428. Bahía Blanca.
- Vallés, J. & Impiccini, A. 1996. Geología y Recursos Minerales del Departamento Añelo, Prov. del Neuquén, capítulo de bentonitas. Subsecretaría de Minería de la Nación y Dirección Provincial de Minería del Neuquén. Anales 25, Boletín 3. Buenos Aires.
- Vallés, J. & Impiccini, A. 1999. Bentonitas de la cuenca Neuquina, Río Negro Neuquén y La Pampa. En: Zappettini, E.O. (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1113-1125. Buenos Aires.
- Vallés, J. & Impiccini, A. 1999. Depósitos de Bentonitas Terciarias de Zapala y Añelo, Neuquén. Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1385-1390. Buenos Aires.