



Universidad Nacional del Comahue
Facultad de Ingeniería
Departamento de Geología y Petróleo

*Trabajo final de Licenciatura en
Ciencias Geológicas*

Niveles bentoníticos de la
Fm. Cerro Bandera: su distribución y
caracterización en la comarca de
Barda Negra. Dpto. Zapala. Neuquén

Alumno: Torres Francisco Javier

D.N.I.: 33041737

Legajo: 111213

E-mail: francis_jt@outlook.com

Celular: 0299-154615634

Director: Lic. Danieli Juan Carlos

Co-Directora: Dra. Impiccini Agnes

Lugar de trabajo: Departamento de Geología y Petróleo. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue

RESUMEN

Este trabajo tiene por objeto realizar una caracterización geológica, mineralógica y tecnológica sobre 7 yacimientos de bentonita que pertenecen a la empresa Minera José Cholino e hijos S.R.L, ubicados estratigráficamente en la Fm. Cerro Bandera (Oligoceno superior – Mioceno inferior).

Se confeccionaron 7 perfiles geológicos de detalle tipo *Selley* en escala 1:100 y 1:1000 localizados en el área norte, centro y sur de la cubeta; cinco de ellos se ubican al sudoeste de la Meseta de la Barda Negra y los dos restantes en el sector norte, al oeste del Cerro Bandera. En base a los perfiles obtenidos se desarrollaron dos correlaciones esquemáticas secuenciales sobre dicha formación. Los niveles portadores de bentonita están depositados sobre una angosta cubeta con dimensiones que van de 1 a 3 km de ancho y de 20 a 23 km de largo, alineada en sentido NE-SO entre el Cerro Bandera y la extremidad nororiental de la Meseta de la Barda Negra, en el Departamento Zapala, provincia del Neuquén.

Las bentonitas se ubican estratigráficamente en la Fm. Cerro Bandera, formando parte de una secuencia epi y piroclásticas, depositadas en cuerpos lenticulares, subhorizontales. Constituidas por minerales arcillosos más mica con variaciones entre un 66 y 94 % (valor promedio 79%). El argilomineral es una esmectita dioctaédrica de tipo montmorillonita férrica, de buena cristalinidad. Como minerales accesorios se encuentra la cristobalita alcanzando valores del 30% en algunos yacimientos, siendo también abundante el feldespato potásico y en escasa cantidad se identificó cuarzo, ceolitas del tipo heulandita - clinoptilolita, yeso y calcita.

Las bentonitas ubicadas en el sector norte, Yac. Cerro Bandera y otras en el flanco sur Pati I Sur y Norte, Martín Fierro y Mama presentan en líneas generales mejores aptitudes para las industrias de la perforación, fundición, cerámica, captita de micotoxinas, electroben y alimento balanceado para animales, a diferencia de las que se encuentran en el sector central, Yac. 20 de Febrero y Mina 7 de Mayo que poseen menor calidad y deben ser mezcladas con otras bentonitas para alcanzar las especificaciones técnicas requeridas por las normativas de uso industrial.

Palabras claves

Bentonita - Fm. Cerro Bandera - Meseta de la Barda Negra – Montmorillonita – Caracterización tecnológica.

ABSTRACT

This work has as an objective to perform a geological, mineralogical and technological characterization of seven bentonite deposits belonging to the José Cholino and sons S.R.L mining company, which are stratigraphically located in the Cerro Bandera formation (Upper Oligocene – Lower Miocene).

Seven detailed Selley type geological profiles were made in 1:100 and 1:1000 scales, located in the north, center and south area of the basin; five of the are located in the southwest of Meseta de la Barda Negra and the other two in the northern section, west of Cerro Bandera. Based on the obtained profiles, two schematic sequential correlations were developed on that formation. The bentonite bearing levels are deposited on a narrow bucket with dimensions ranging from 1 to 3 km wide and 20 to 23 km long, aligned NE-SW between Cerro Bandera and the northeastern extremity of Meseta de la Barda Negra, in the Zapala Department of Neuquén Province.

Bentonites are stratigraphically located in the Cerro Bandera formation as part of an epi and pyroclastic sequence, deposited in lenticular, sub-horizontal bodies. Constituted by clay minerals plus mica with variations between 66 and 94% (average value 79%). The clay mineral is a dioctahedral smectite, ferric montmorillonite type, of good crystallinity. As accessory minerals there is cristobalite reaching values of 30% in some deposits, potassium feldspar is also important and, in scarce quantity, quartz, zeolites of heulandite-clinoptilolite type, gypsum and calcite were found.

Bentonites located in the northern sector, Cerro Bandera Deposits, and in the southern flank, Pati I south and north, Martín Fierro and Mama deposits, generally present better aptitude for the drilling, smelting, ceramic, mycotoxin capture, electroben and animal balanced food industries, unlike those located in the central sector, 20 de Febrero and 7 de Mayo Deposits, that have lower quality and must be mixed with other bentonites to reach the technical specifications required by the regulations of industrial use.

Keywords

Bentonite - Fm. Cerro Bandera - Meseta de la Barda Negra - Montmorillonite - Technological characterization.

INDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
INDICE.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	1
1.2. Antecedentes de la zona de estudio.....	2
1.3. Fundamentos teóricos.....	3
1.3.1. Arcillas.....	3
1.3.2. Bentonita.....	4
1.3.3. Estructura cristalina de los minerales arcillosos tipo 2:1.....	4
1.3.4. Propiedades fisicoquímicas.....	7
1.4. Usos.....	8
2. MARCO GEOLÓGICO LOCAL.....	11
2.1. Descripción de la formación Cerro Bandera.....	12
2.2. Descripción de la cubeta de depositación.....	13
3. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Trabajo de campo.....	15
3.1.1. Mapeo de los afloramientos.....	15
3.2. Trabajo de laboratorio.....	15
3.2.1. Lupa binocular.....	15
3.2.2. Difracción de rayos X (DRX) sobre muestra total y fracción <2 µm.....	16
3.2.3. Cristalinidad de las esmectitas.....	16
3.2.4. Análisis químico.....	17
3.2.5 Preparación de las muestras para análisis físicos-químicos y tecnológicos.....	17
3.2.6. Cuarteo.....	17
3.2.7. Humedad original.....	18
3.2.8. Reología y tixotropía.....	18
3.2.9. Viscosidad plástica (Vp).....	19
3.2.10. Filtrado.....	19
3.2.11. Hinchamiento.....	20
3.2.12. Impurezas.....	20
3.2.13. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de adsorción del azul de metileno.....	20
3.2.14. Resistencia a la compresión en verde (RCV) y en seco (RCS).....	21
3.2.15. Determinación de pH.....	21
4. RESULTADOS.....	22
4.1. Descripción de los perfiles geológicos.....	22
4.1.1. Perfil A.....	22
4.1.2. Perfil C.....	24
4.1.3. Perfil D.....	25
4.1.4. Perfil E.....	26
4.1.5. Perfil F.....	27
4.1.6. Perfil G.....	28
4.1.7. Perfil B.....	29

4.2. Correlación geológica de los perfiles.....	31
4.2.1. Correlación C-D-E.....	32
4.2.1.1. Ubicación estratigráfica de las bentonitas en la localidad tipo de la Fm. Cerro Bandera. Sector norte de la cubeta.....	32
4.2.2. Correlación G-B.....	34
4.3. Descripción geológica de los yacimientos de bentonita.....	36
4.3.1. Yacimiento Mama.....	36
4.3.2. Yacimiento El Trono del Rey Salomón.....	36
4.3.3. Yacimiento Martin Fierro.....	37
4.3.4. Yacimiento Mina Pati I.....	37
4.3.5. Yacimiento Reuque.....	37
4.3.6. Yacimiento 20 de Febrero.....	37
4.3.7. Yacimiento Mina 7 de Mayo.....	38
4.3.8. Yacimiento Cerro Bandera.....	38
4.4. Yacimiento Mama (352).....	41
4.4.1. Lupa binocular.....	41
4.4.2. Difracción de rayos X.....	41
4.4.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	41
4.4.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	41
4.4.3. Análisis químico.....	41
4.4.4. Usos en perforación.....	42
4.4.5. Usos en fundición.....	42
4.4.6. Uso en cerámica.....	42
4.4.7. Uso en captita de micotoxinas.....	42
4.4.8. Uso en electroben.....	42
4.4.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	42
4.5. Yacimiento El Trono del Rey Salomón (504).....	43
4.5.1. Lupa binocular.....	43
4.5.2. Difracción de rayos X.....	43
4.5.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	43
4.5.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	43
4.5.3. Análisis químico.....	44
4.5.4. Usos en perforación.....	44
4.5.5. Uso en fundición.....	44
4.5.6. Uso en cerámica.....	44
4.5.7. Uso en captita de micotoxinas.....	44
4.5.8. Uso en electroben.....	44
4.5.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	44
4.6. Yacimiento Mina Pati I	45
4.6.1. Muestra extraída en el sector sur (072).....	45
4.6.1.1. Lupa binocular.....	45
4.6.1.2. Difracción de rayos X.....	45
4.6.1.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	45
4.6.1.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	45
4.6.1.3. Análisis químico.....	46
4.6.1.4. Usos en perforación.....	46
4.6.1.5. Uso en fundición.....	46
4.6.1.6. Uso en cerámica.....	46

4.6.1.7. Uso en captita de micotoxinas.....	46
4.6.1.8. Uso en electroben.....	46
4.6.1.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	46
4.6.2. Muestra extraída en el sector norte (076).....	46
4.6.2.1. Lupa binocular.....	47
4.6.2.2. Difracción de rayos X.....	47
4.6.2.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	47
4.6.2.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	47
4.6.2.3. Análisis químico.....	47
4.6.2.4. Usos en perforación.....	47
4.6.2.5. Uso en fundición.....	48
4.6.2.6. Uso en cerámica.....	48
4.6.2.7. Uso en captita de micotoxinas.....	48
4.6.2.8. Uso en electroben.....	48
4.6.2.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	48
4.7. Yacimiento Reuque.....	48
4.7.1. Muestra extraída en el sector norte (029).....	48
4.7.1.1. Lupa binocular.....	48
4.7.1.2. Difracción de rayos X.....	49
4.7.1.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	49
4.7.1.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	49
4.7.1.3. Análisis químico.....	49
4.7.1.4. Usos en perforación.....	49
4.7.1.5. Uso en fundición.....	49
4.7.1.6. Uso en cerámica.....	50
4.7.1.7. Uso en captita de micotoxinas.....	50
4.7.1.8. Uso en electroben.....	50
4.7.1.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	50
4.7.2. Muestra extraída en el sector sur (030).....	50
4.7.2.1. Lupa binocular.....	50
4.7.2.2. Difracción de rayos X.....	51
4.7.2.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	51
4.7.2.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	51
4.7.2.3. Análisis químico.....	51
4.7.2.4. Usos en perforación.....	52
4.7.2.5. Uso en fundición.....	52
4.7.2.6. Uso en cerámica.....	52
4.7.2.7. Uso en captita de micotoxinas.....	52
4.7.2.8. Uso en electroben.....	52
4.7.2.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	52
4.8. Yacimiento 20 de Febrero (092).....	52
4.8.1. Lupa binocular.....	52
4.8.2. Difracción de rayos X.....	53
4.8.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	53
4.8.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	53
4.8.3. Análisis químico.....	53
4.8.4. Usos en perforación.....	53

4.8.5. Uso en fundición.....	53
4.8.6. Uso en cerámica.....	53
4.8.7. Uso en captita de micotoxinas.....	54
4.8.8. Uso en electroben.....	54
4.8.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	54
4.9. Yacimiento Mina 7 de Mayo (100).....	54
4.9.1. Lupa binocular.....	54
4.9.2. Difracción de rayos X.....	55
4.9.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	55
4.9.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	55
4.9.3. Análisis químico de la muestra total y la fracción <2µ.....	55
4.9.4. Usos en perforación.....	56
4.9.5. Uso en fundición.....	56
4.9.6. Uso en cerámica.....	56
4.9.7. Uso en captita de micotoxinas.....	56
4.9.8. Uso en electroben.....	56
4.9.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	56
4.10. Yacimiento Cerro Bandera (053).....	56
4.10.1. Lupa binocular.....	56
4.10.2. Difracción de rayos X.....	57
4.10.2.1. Mineralogía sobre la muestra total.....	57
4.10.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm).....	57
4.10.3. Análisis químico.....	57
4.10.4. Usos en perforación.....	58
4.10.5. Uso en fundición.....	58
4.10.6. Uso en cerámica.....	58
4.10.7. Uso en captita de micotoxinas.....	58
4.10.8. Uso en electroben.....	58
4.10.9. Uso en alimentos balanceados para animales.....	58
5. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN.....	59
5.1. Ambiente de depositación de la Fm. Cerro Bandera.....	59
5.2. Clasificación mineralógica, geoquímica y grado de meteorización de las bentonitas.....	60
5.3. Génesis de las bentonitas.....	63
5.4. Proyecciones futuras para exploración.....	64
5.4.1. Uso en Perforación.....	64
5.4.2. Uso en fundición.....	64
5.4.3. Uso en cerámica.....	64
5.4.4. Uso en captita de micotoxinas.....	65
5.4.5. Uso en electroben.....	65
5.4.6. Uso en alimento balanceado para animales.....	65
5.5. Tablas de resultados.....	66
5.5.1. Tablas de análisis químicos sobre muestra total y fracción <2 µm para las 9 muestras estudiadas en los 7 yacimientos.....	66
5.5.2. Tablas de análisis químicos sobre muestra total y fracción <2µm para las 9 muestras estudiadas en los 7 yacimientos.....	67
5.5.3. Tabla de rayos X.....	68
5.5.4. Aptitud de uso.....	69
5.5.4.1. Ensayos para uso en perforación.....	69

5.5.4.2. Ensayos para uso en fundición.....	70
5.5.4.3. Ensayo para uso en cerámica.....	71
5.5.4.4. Bentonitas para uso en captita de micotoxinas.....	72
5.5.4.5. Bentonitas para uso en puesta a Tierra – tipo Electroben.....	73
5.5.4.6. Bentonitas para uso en alimento balanceados para animales.....	74
6. CONCLUSIONES.....	77
7. BIBLIOGRAFÍA.....	79
8. ANEXO.....	83
8.1. Humedad original.....	83
8.1.1. Equipamiento.....	83
8.1.2. Procedimiento.....	83
8.1.3. Cálculo de la humedad.....	83
8.2. Reología y tixotropía.....	83
8.2.1. Preparación de la suspensión (geles).....	83
8.2.2. Procedimiento.....	83
8.2.3. Equipamiento.....	83
8.3. Viscosidad Plástica.....	83
8.3.1. Equipamiento.....	83
8.3.2. Procedimiento.....	83
8.4. Volumen del filtrado.....	84
8.4.1. Equipamiento.....	84
8.4.2. Procedimiento.....	84
8.4.3. Cálculo del volumen de filtrado.....	84
8.5. Hinchamiento.....	84
8.5.1. Equipamiento.....	84
8.5.2. Procedimiento.....	84
8.6. Impurezas.....	84
8.6.1. Equipamiento.....	84
8.6.2. Procedimiento.....	85
8.6.3. Cálculo de las impurezas.....	85
8.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de adsorción de azul de metileno.....	85
8.7.1. Equipamiento.....	85
8.7.2. Procedimiento.....	85
8.8. Determinación del pH.....	86
8.8.1. Equipamiento.....	86
8.8.2. Procedimiento.....	86

AGRADECIMIENTOS

Desde el comienzo se persigue un sueño que es lograr el título universitario deseado, pero esto va más allá, en el medio ocurren muchas cosas que son propias de las enseñanzas de la vida, como lo es, el crecimiento profesional y más que nada el aprendizaje personal. Los buenos resultados siempre están acompañados de los pilares fundamentales de la vida que nos llevan a lograr nuestros objetivos y nos motivan para nunca bajar los brazos.

Nada de esto hubiese sido posible sin la ayuda de mi familia (en especial a mi mamá Basly Miriam que me apoyo en todo momento), mi novia Eliana Ávila que nunca me dejó caer y siempre me animo a seguir adelante, mis amigos de la vida, de mi carrera universitaria, pero nunca me voy a olvidar de mis compañeros y hermanos de biblioteca.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Pública, Gratuita y Laica (Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ingeniería) que posibilitó mi formación como Geólogo y logro que “un hijo de un obrero” tenga la posibilidad de ser un profesional.

Agradecer de corazón al laboratorio C.I.M.A.R (Centro de Investigaciones de Minerales Arcillosos), por la oportunidad de realizar gran parte de mis ensayos y a las profes que siempre me dieron una mano, como también al Asentamiento Universitario de Zapala donde realice los análisis químicos.

De manera especial deseo expresar mi enorme gratitud a la Dr. Impiccini Agnes y al Lic. Danieli Juan quienes me guiaron y dirigieron mi trabajo final, transmitiendo sus conocimientos, su tiempo y su experiencia para alcanzar el objetivo que tanto he anhelado. La supervisión de mis directores fue sumamente valiosa, todas las observaciones, sugerencias y explicaciones me ayudaron a aprender y conocer un camino del que nunca me voy a olvidar. Gracias por “*creer en mí*” y por todo el aprendizaje que adquirí de excelentes profesionales y sobre todo personas.

También quiero agradecer a la empresa Minera Cholino que explota el recurso estudiado y que me dio la oportunidad de realizar mis tareas de campo, de laboratorio y me permitió efectuar las tareas de muestreo para poder desarrollar las experiencias descriptas en este trabajo final.

Agradecer al tribunal designado por la comisión de seguimiento de carrera, que está conformado por la Dra. Gisela Pettinari, Dra. Telma Musso y al Lic. Medeot Hugo, por su tiempo, dedicación y las correcciones realizadas.

Gracias a todas las personas que me ayudaron en cada momento de mi vida, no me alcanzarían las hojas para enumerarlas, todas y cada una ellas siempre me dieron un aliento positivo y lograron que mi sueño se haga realidad.

1. INTRODUCCIÓN

Conocida es la importancia y posibilidades de diversificación industrial que presentan estas arcillas expansivas en la región Nordpatagónica, como también las variadas aplicaciones que tienen actualmente en la industria y usos comerciales diversos. El presente trabajo de investigación tiene por objeto caracterizar los niveles bentoníticos de manera geológica, mineralógica y tecnológica sobre 7 yacimientos de bentonita que pertenecen a la empresa Minera José Cholino e hijos S.R.L, localizados en el flanco oriental de la Meseta de la Barda Negra, describiendo las variaciones litofaciales que presentan en dicho sector y su posible incidencia en el comportamiento reológico de las bentonitas identificadas en el área. Estos niveles en estudio se encuentran ubicados estratigráficamente en la Fm. Cerro Bandera (Oligoceno superior – Mioceno inferior).

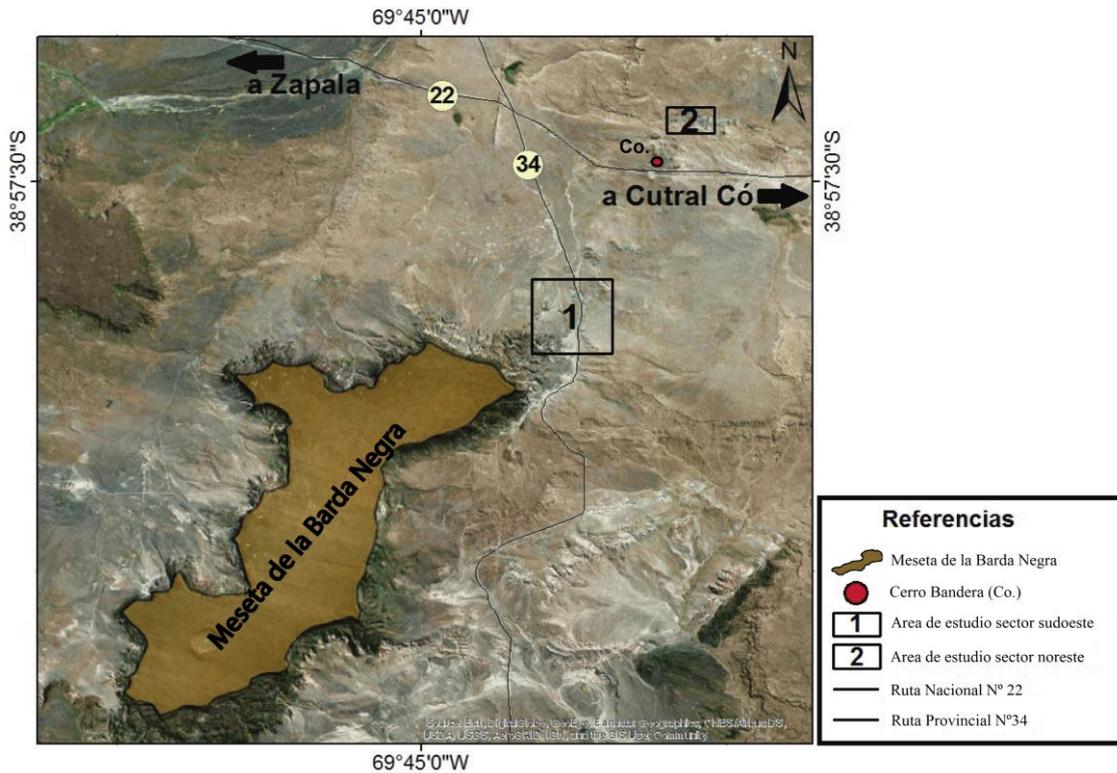
Entre las aplicaciones industriales más difundidas, por sus propiedades reológicas se las utiliza en fluidos de inyección en los pozos petroleros y como aglomerantes en arenas de moldeo para fundición. Nuevos desarrollos tecnológicos las han incorporado más recientemente como aditivos para alimentación animal, impermeabilizantes para el sellado de rellenos sanitarios, y como secuestrantes de micotoxinas y granulado sanitario, Impiccini, A. y Vallés, J. (2011); Musso, T *et al.* (2017); Hevia, R. 2007.

Las bentonitas en estudio pertenecen a la Fm. Cerro Bandera (de edad Oligoceno superior a Mioceno inferior), de limitada distribución en el sector extrandino de la Cuenca Neuquina. Presentan características litológicas únicas y son motivo de explotación casi ininterrumpida desde la década de 1960, fundamentalmente a raíz del auge de la exploración petrolera, Impiccini, A. y Vallés, J. (2011).

En este estudio se presenta un relevamiento y caracterización de las bentonitas que componen los yacimientos pertenecientes a la empresa Minera Cholino, en el sector sudoeste del área de depositación, incluyendo yacimientos colindantes y cercanos.

1.1. Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Departamento Zapala, provincia del Neuquén, entre las coordenadas 38°45' S - 39°15' S y 69°30' O - 69°40' O, distante 25 km de la ciudad de Zapala. Los niveles con bentonitas están expuestos mayormente en el flanco noreste de la Meseta de la Barda Negra y en la vertiente occidental del Cerro Bandera. Se accede a la zona desde la ciudad de Neuquén, recorriendo 130 km por la ruta nacional 22 hacia el oeste. La primera zona (área del Cerro Bandera) está localizada 2 km al norte de la ruta nacional N° 22 y para arribar a la segunda zona - Meseta de la Barda Negra - se toma la ruta provincial N° 34 recorriendo 10 a 12 km hacia el sur (Fig. 1).



1.2. Antecedentes de la zona de estudio

Desde el punto de vista geotectónico se considera a la Cuenca Neuquina como una cuenca de retroarco (Digregorio *et al.* 1984) en las etapas finales de su relleno y asociada a un dominio andino en continuo plegamiento que aporta el material sedimentario que conjuntamente con el volcanismo asociado constituiría el relleno Cenozoico.

Las primeras menciones referidas a capas de bentonita en la Fm. Cerro Bandera, fueron realizadas por A. Roll (1939), para el extremo nororiental de la Meseta de la Barda Negra. Posteriormente, Gentili (1950) y Uliana (1978) efectuaron breves referencias de estos depósitos para las localidades de la Barda Negra y Cerro Bandera. Suero (1951) en la Hoja Geológica cerro Lotena describe las tobas, areniscas y arcillas aflorantes en el flanco occidental de la Barda Negra.

En lo que concierne a los niveles portadores de bentonita, solo han sido citados en forma general por Angelelli *et al.* (1976) y específicamente por Peineman *et al.* (1972), Dominguez (1981) y Pelz (1988). Medeot (1986) realiza un informe geológico de yacimientos de bentonita en la Meseta de la Barda Negra. Trabajos de Vallés *et al.* (1992), Vallés y Giaveno (1993) e Impiccini (1995) muestran datos de la mineralogía, del comportamiento reológico, térmico y de las características físico-químicas de las bentonitas.

Más recientemente Delpino *et al.* (1995) mapearon los distintos afloramientos de esta unidad (sedimentitas del Neógeno continental en el área de la Barda Negra) con el nombre de la Fm. La Beatriz que era una mina de arcilla que correspondía estratigráficamente a la Fm. Lajas (Gr. Cuyo), siendo finalmente redefinida por Leanza y Hugo (1997) bajo su actual denominación.

Vallés e Impiccini (1999) describen las bentonitas de la Cuenca Neuquina y los depósitos de bentonitas Terciarias de Zapala; por su parte Impiccini y Vallés (2002)

caracterizan tecnológicamente los depósitos de bentonita de Barda Negra y Cerro Bandera.

Vallés, (2004) realiza una breve historia de las bentonitas de la región Nordpatagónica. Siguiendo a Leanza y Hugo (2005) la Fm. Cerro Bandera, aflora también en el cerro Encaramado, al este de la ruta que conduce de Mariano Moreno a Paso de los Indios, y al pie del Cerro Bayo de Covunco. En la primera localidad se han reconocido metabentonitas dentro de los términos arcillosos que aloja la unidad (Rossi, 1988), mientras que en el área del Cerro Bayo los depósitos son mayormente epi y piroclásticos depositados en ambiente fluvial y continental.

Dicha unidad presenta afloramientos de colores blanquecinos a pardos amarillentos, dispuestos alineadamente a lo largo de antiguas depresiones y paleovalles labrados en sedimentitas del Cretácico tardío y del Paleoceno. El marcado relieve sobre el que se depositó esta unidad genera una fuerte variación en los espesores de la secuencia con rápidos acuñamientos laterales, registrando niveles potentes. La misma exhibe una secuencia granocreciente, con predominancia de niveles bentoníticos (origen lacustre) en la base, gradando paulatinamente hacia el techo a depósitos con mayor contenido epiclástico, donde dominan tobas, tufitas y areniscas fluviales con lentes conglomerádicos portadoras de troncos silicificados (Leanza y Hugo, 1997), el material piroclástico producto del aporte intermitente procedente del sector andino bajo la forma de lluvia de cenizas presenta una granulometría muy fina inferior a 0,062 mm (Teruggi *et al.*, 1978), que dio lugar al relleno y el correspondiente paleorelieve. Los afloramientos en estudio tienen un mismo intervalo temporal de depositación, y debido a esto se le asigna una misma unidad litoestratigráfica (Gentili, 1950; Delpino *et al.*, 1995; Leanza y Hugo, 1997).

Leanza y Hugo (1997) sugieren una génesis asociada a un ambiente fluvial de baja sinuosidad y moderada energía, con cuerpos lacustres más o menos estables confinados arealmente hacia los sectores centrales de los paleovalles, con predominio de un marcado desarrollo de paleosuelos en los sectores topográficamente más elevados.

1.3. Fundamentos teóricos

1.3.1. Arcillas

El término “arcilla”, hace referencia a un material de ocurrencia natural compuesto principalmente por minerales de grano fino, el cual es generalmente plástico a determinado contenido de agua y puede endurecerse cuando es secado o calcinado. Aunque es común que las arcillas contengan filosilicatos, también pueden contener otros materiales que les impartan plasticidad o dureza (Guggenheim y Martin, 1995). El término “mineral arcilloso” es utilizado para englobar a los filosilicatos y minerales que le imparten plasticidad a la arcilla y que además le proporcionan la capacidad de endurecerse cuando ésta es secada o calcinada. Los minerales arcillosos pueden ser de cualquier tamaño, siempre y cuando estos le impartan a las arcillas las propiedades anteriormente mencionadas (Guggenheim y Martin, 1995). No obstante, cabe destacar que dichas propiedades están parcialmente relacionadas al pequeño tamaño de grano y a la alta superficie específica de los componentes. Actualmente, los minerales conocidos que imparten plasticidad son los filosilicatos (Guggenheim y Martin, 1995).

Los minerales de arcilla son filosilicatos hidratados y están compuestos por capas o láminas de disposición bidimensional. Esta estructura consiste en hojas tetraédricas (T) y octaédricas (O). Los tetraedros tienen un catión central (generalmente Si+4, Al+3 o Fe+3) coordinado por cuatro átomos de oxígeno. Los octaedros consisten de un catión central (generalmente Al+3, Fe+3, Mg+2 o Fe+2, aunque se han identificado otros cationes menos comunes) coordinado por seis átomos de oxígeno.

Los minerales de arcilla pueden clasificarse según las capas: tipo 1:1 (T:O) y tipo 2:1 (T:O:T). Entre los minerales arcillosos de tipo 2:1 se encuentra el grupo de las esmectitas, subgrupo montmorillonita principal componente de las bentonitas que se estudian en el presente trabajo.

Los minerales de arcilla son filosilicatos hidratados y están compuestos por capas o láminas de disposición bidimensional. Esta estructura consiste en hojas tetraédricas (T) y octaédricas (O). Los tetraedros tienen un catión central (generalmente Si^{+4} , Al^{+3} o Fe^{+3}) coordinado por cuatro átomos de oxígeno.

1.3.2. Bentonita

En forma natural la bentonita es una roca blanda, generalmente de color beige claro a oscuro, amarillo verdoso y excepcionalmente blanco cremoso o verdoso. Su textura al tacto puede describirse como grasosa o untuosa. Se origina por la desvitrificación y una subsecuente alteración química de un material vítreo ígneo, generalmente una toba o ceniza volcánica (Ross y Shanno, 1926). Las erupciones volcánicas han sido transportadas y depositadas en medios terrestres, marinos, lacustres y de estuarios. La formación de la bentonita puede ocurrir por tres grandes procesos geológicos: volcanismo, sedimentación y meteorización.

Una de las tantas definiciones dadas a lo largo del tiempo a la bentonita como mineral industrial es la expresada por R.E. Grim en la Conferencia Internacional de Arcillas (AIPEA) en Madrid en 1972: "Bentonita es una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, con independencia de su génesis y modo de aparición". Desde este punto de vista la bentonita es una roca compuesta por varios minerales, aunque son las esmectitas sus constituyentes esenciales (montmorillonita y beidellita), las que le confieren las propiedades características a la roca, acompañadas por otros minerales como componentes minoritarios: cuarzo, feldespato, mica, illita y caolín.

Una de las clasificaciones posibles de las bentonitas naturales es entre bentonitas altamente hinchables y poco hinchables, también llamadas sódicas y cálcicas, respectivamente. Las bentonitas sódicas contienen principalmente sodio como catión interlaminaar, mientras que las bentonitas cálcicas contienen principalmente tanto calcio como magnesio (aunque este último generalmente es menos abundante que el primero) como cationes interlaminares. Esta diferencia es la causante de la variedad de sus propiedades macroscópicas: mientras que las bentonitas sódicas pueden absorber grandes cantidades de agua, dando lugar a una dispersión de elevada viscosidad, las bentonitas cálcicas tienen un grado de hinchamiento bajo. Las bentonitas suelen ser tratadas para obtener un producto con las características deseadas, dependiendo el uso que se le dé. Las bentonitas cálcicas pueden someterse a un tratamiento alcalino, para reemplazar los cationes alcalinotérreos por cationes alcalinos, provocando un mayor grado de hinchamiento y otras propiedades reológicas. Un tratamiento ácido permite eliminar impurezas y reemplazar los iones interlaminares por iones hidrógeno, mejorando sus propiedades adsorptivas y absorbentes. Por último, un tratamiento organofílico reemplaza los iones intercambiables por iones orgánicos, como compuestos de aminas cuaternarias.

1.3.3. Estructura cristalina de los minerales arcillosos tipo 2:1

Los minerales de arcilla que tienen cationes intercalados hidratados con relación 2:1 corresponden a esmectitas (grupo de los filosilicatos), consisten en intercalaciones de dos hojas tetraédricas (T) y una hoja octaédrica (M), con átomos centrales, coordinados por cuatro y seis átomos de oxígeno, respectivamente, como se indica en la Fig. 2 (Brigatti, 2006).

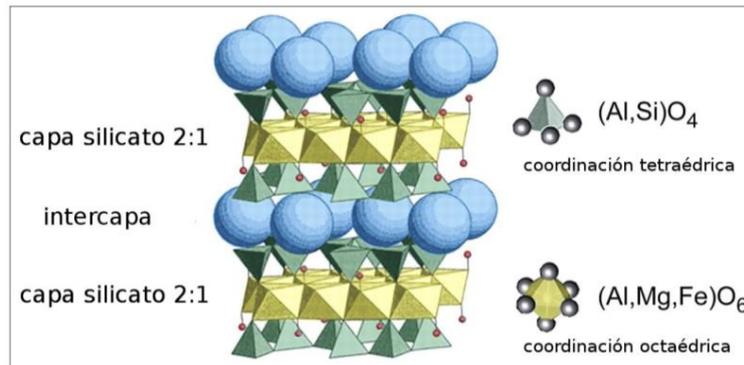


Figura 2. Estructura cristalina genérica de las esmectitas (Adaptado de Williams 2009).

Entre las capas del mineral, para balancear la carga negativa neta, (debido a las sustituciones isomórficas), se acomodan iones como sodio o calcio, que pueden ser intercambiados por otros iones o por sustancias orgánicas. Los tetraedros comparten tres de sus esquinas (átomos denominados oxígenos basales, O_b) con tetraedros vecinos para formar un patrón infinito de malla “hexagonal” bidimensional a lo largo de las direcciones cristalográficas a y b . (Fig. 3) (Brigatti, 2006).

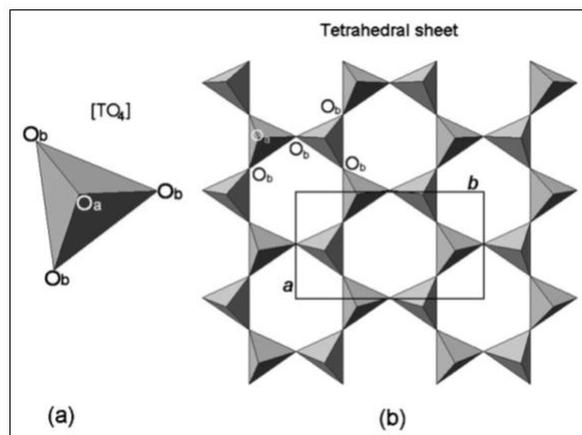


Figura 3. (a) Tetraedro $[TO_4]$; (b) Lámina tetraédrica. Donde O_a y O_b se refieren a átomos de oxígeno apical y basal, respectivamente. Las figuras (a) y (b) se refieren a los parámetros de la celda unidad correspondiente.

En la hoja octaédrica, los octaedros comparten lados para formar una capa con simetría hexagonal o pseudo hexagonal (Fig. 4) (Brigatti, 2006).

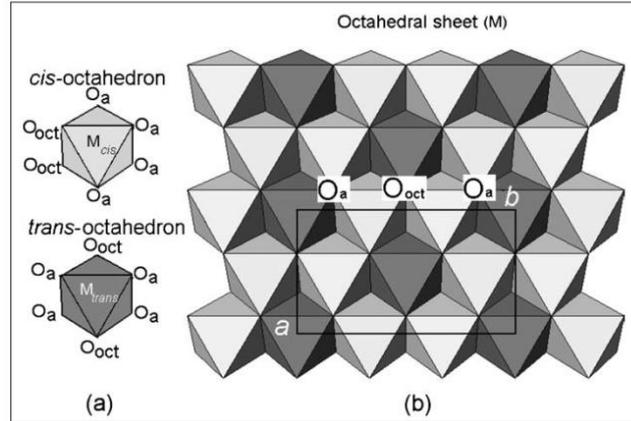


Figura 4. (a) Orientación de las posiciones aniónicas del octaedro Ooct (OH, F, Cl) en octaedro (cis y trans); (b) Ubicación de cis y trans en la lámina octaédrica.

Las esquinas libres de los tetraedros (los denominados átomos de oxígeno apicales, O_a) apuntan todos hacia el mismo lado de la capa y conectan las capas de octaedros y tetraedros para formar un mismo plano común con una posición octaédrica (Ooct), Fig. 5 (Brigatti, 2006).

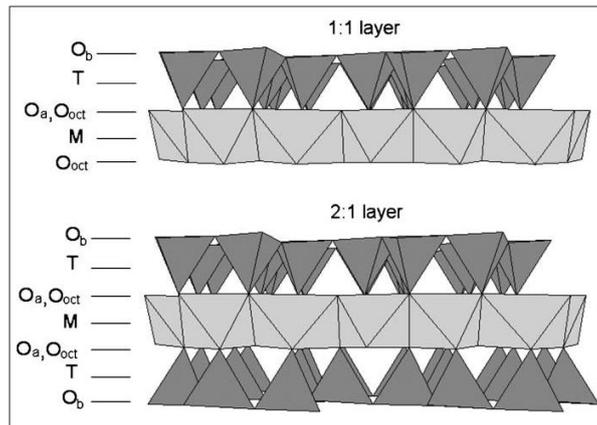


Figura 5. Modelos tipos de una estructura de capas 1:1 y 2:1.

Algunas esquinas de los octaedros no son compartidos entre ellos para formar la capa ni con los tetraedros para unir ambas capas; estas esquinas se denominan posiciones aniónicas del octaedro, y suelen ocuparse mayoritariamente con OH, y en menor medida con F, Cl y O. Las posiciones aniónicas del octaedro se encuentran en el mismo plano que los oxígenos apicales, encontrándose en la posición central de las estructuras hexagonales de tetraedros (Brigatti, 2006). Una celda unidad de un mineral de arcilla 2:1 contiene seis sitios octaédricos y ocho sitios tetraédricos. Las estructuras en las cuales los seis sitios octaédricos contienen un átomo central se denominan trioctaédricas, mientras que en las cuales sólo cuatro de los seis sitios octaédricos contienen un átomo central se denominan dioctaédricas. Existen esmectitas con estructuras trioctaédricas tanto como dioctaédricas. (Brigatti, 2006).

En la Fig. 6 puede verse la estructura de la hoja octaédrica para arcillas trioctaédricas y dioctaédricas. Se han marcado los oxígenos apicales (O_a), las posiciones aniónicas del octaedro (Ooct) y los octaedros cis (M_{cis}) y trans (M_{trans}). (Brigatti, 2006).

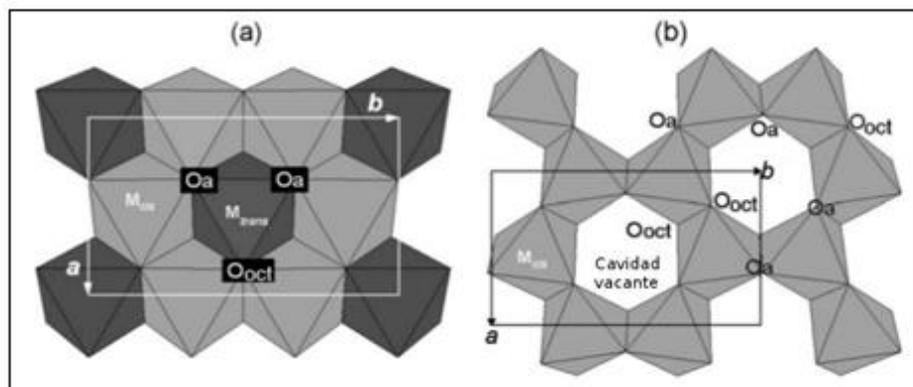


Figura 6. Estructura de la lámina octaédrica para: (a) Capa trioctaédrica; (b) Capa dioctaédrica.

La montmorillonita y beidellita se encuentran entre los minerales más importantes, junto con la nontronita, del grupo de esmectitas dioctaédricas, que pueden representarse con una fórmula general del tipo $[(Al_xFe^{3+}_yMg_z)_2(Si_{4-(u+v)}Fe^{3+}_vAl_u)O_{10}(OH)_2]M^{u+v+z}$, donde la carga de la capa resultante de sustituciones en sitios tetraédricos y octaédricos está definida por el valor $u+v+z$, puede variar entre 0,25 y 0,6 y M^+ hace referencia a los cationes interlaminares genéricos (que no son necesariamente monovalentes). En el caso de la montmorillonita se considera que u , v , y z valen 0 ($[(Al_xMg_z)_2(Si_4O_{10})(OH)_2]M^+_z$), mientras que para la beidellita se considera que v , x y z valen 0 ($[(Fe^{3+}_y)_2(Si_{4-u}Al_u)O_{10}(OH)_2]M^+_u$) (Brigatti, 2006). Los minerales presentes en las bentonitas corresponden a esmectitas y dichos minerales forman parte de una serie continua denominada montmorillonita-beidellita (Grim y Güven 1978).

1.3.4. Propiedades fisicoquímicas

Las aplicaciones industriales de este grupo de minerales se basan en ciertas propiedades físico-químicas, como ser: su alta superficie específica, tixotropía y viscosidad, filtrado, hinchamiento, porcentajes de impurezas, capacidad de intercambio catiónico y resistencia a la compresión en verde – seco.

- ✓ El reducido tamaño de partículas le confiere un gran área superficial, dándole poder adsorbente, propiedad fundamental para sus aplicaciones.
- ✓ La tixotropía es la propiedad de algunos fluidos no newtonianos y pseudoplásticos que muestran un cambio de su viscosidad en el tiempo; cuanto más se someta el fluido a esfuerzos de cizalla, más disminuye su viscosidad. Una suspensión bentonita sódica-agua se comporta como un fluido tixotrópico ya que tarda un tiempo finito en alcanzar una viscosidad de equilibrio cuando hay un cambio instantáneo en el ritmo de cizalla. Gracias a esta propiedad, en la industria del petróleo los lodos colaboran en el mantenimiento de las paredes de la perforación, incluso en formaciones de baja cohesión, al tiempo que ayudan a mantener el detritus en suspensión al interrumpirse la circulación de los mismos (extracción del varillaje, averías de la bomba o del circuito, etc) evitando en buena parte que se depositen sobre el útil de perforación y lo bloqueen. Para que un lodo bentonítico pase de sólido a gel inmediatamente después de dejarlo de agitar, se requieren concentraciones del orden del 20% en peso. Hasta concentraciones del 3%, prácticamente no gelifica, haciéndolo algún tiempo después de haberse

detenido la agitación para concentraciones comprendidas entre el 5-10%. Estas últimas son las que normalmente se utilizan para lodos de perforación.

✓ En cuanto al filtrado, la circulación de fluido de perforación a lo largo de la cara de una formación permeable crea un proceso de filtración donde los sólidos presentes en el lodo son retenidos en la cara de la formación, formando un revoque y la fase continua del lodo se va hacia la formación. El proceso ocurre durante las operaciones de perforación tanto bajo condiciones dinámicas como estáticas, con circulación del lodo o sin circulación respectivamente.

✓ El hinchamiento es una propiedad característica de las bentonitas y se la define como la capacidad que tienen las bentonitas de expandirse o hincharse cuando se pone en contacto con agua, formando un gel. Tiene la particularidad de ser reversible, es decir que puede secarse e hincharse tantas veces como se quiera sin que sus propiedades se modifiquen, siempre que el agua sea destilada o desionizada y que la temperatura a la que se seque no sea muy elevada. La diferencia entre el hinchamiento de la bentonita sódica y cálcica se debe a la fuerza de atracción de los cationes entre las capas. La fuerza de atracción del catión calcio es más fuerte lo que conlleva a una reducción de la cantidad de agua que puede ser absorbida, mientras que la fuerza de atracción del catión sodio es más pequeña por lo que permite una mayor capacidad de retención del agua entre las capas.

✓ Las impurezas son el porcentaje de residuos presentes en las bentonitas representan la fracción arena (tamaños mayores a 74 micrones), la cual si se encuentran en grandes cantidades pueden resultar perjudicial para los distintos usos o aplicaciones que se le dé.

✓ La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una propiedad fundamental de las esmectitas, está regida por las cargas presentes en estos minerales: cargas negativas permanentes en las caras, debido a sustituciones isomórficas y cargas sobre los bordes, dependiendo del pH. Estas cargas definen los tipos de iones que se absorben sobre la superficie. La presencia de cationes en la superficie interlamina le confiere a la montmorillonita la particular capacidad de expansión por hidratación de dichos cationes. Los cuales son fácilmente intercambiables de acuerdo a la carga del mismo.

✓ La resistencia a la compresión en verde-seco son propiedades que se determinan en la bentonita para su utilización como arenas de moldeo. Estas proporcionan cohesión y plasticidad a la mezcla facilitando el moldeo, dándole resistencia suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el molde, mientras se vierte el metal fundido. El término arena en verde o en húmedo se debe a que la arena (constituida por sílice) se encuentra aglomerada en arcilla humedecida. Durante el procedimiento, a las arenas de moldeo se le añade bentonita y agua con el fin de que la mezcla sea lo suficiente débil para fluir y adaptarse rígidamente al moldeo, como también lo bastante fuerte como para mantener su forma durante el desmoldeo (destrucción del molde, generando una gran cantidad de arena). La compactación del material de moldeo puede ser manual (apisonado) o mecánica mediante moldeadoras (por sacudidas, prensado, vibración, vacío, de aire comprimido, etc).

1.4. Usos

Las propiedades de la bentonita están fuertemente determinadas por el mineral esmectítico predominante, y de forma secundaria por otras propiedades como su grado de cristalinidad o el tamaño de los cristales. Por lo tanto las propiedades pueden variar enormemente, el campo de las aplicaciones es amplio y las especificaciones para cada

caso son muy particulares (Hevia 2007). La bentonita posee una gran gama de aplicaciones y por las posibilidades que brinda para obtener un alto valor agregado a través de su activación, puede alcanzar en casos puntuales valores de venta que superen a cualquier otro mineral. Un ejemplo lo constituyen las bentonitas organofílicas utilizadas en la industria de la pintura, o las activadas en medio alcalino para farmacopea y cosméticos. Por sus variadas propiedades, las diferentes industrias la utilizan en estado natural o activado. Se comercializa en diferentes formas: en bruto, triturada, molida en diferentes mallas según el destino final, o activadas.

Una síntesis de los diferentes usos, en función del tipo de bentonita seleccionada, se expone a continuación en la tabla N° 1 (Hevia 2007). Según la estadística minera de 2003-2005, la demanda de bentonita por usos es la siguiente: Petróleo: 53%; Fundición: 23%; Alimentos balanceados: 7%; Bentonita activada: 5,4%; Pelletizaciones: 5,2%; Clarificantes: 2,4%; Cerámica: 2%; Obras públicas: 1%; Otros: 1% (Hevia 2007).

Industria	Bentonita natural Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Bentonita natural Na ⁺	Bentonita activada (alcalina)	Bentonita activada (ácida)	Bentonita organofílica
Fundición		Componentes en arenas para moldeo			
Petrolera		Agente tixotrópico			Tixotrópico (fluidos no iónicos)
Alimenticia	Refinación de azúcar, clarificación de jugos y vinos				
Química	Carga para caucho/plástico			Catalizadores, carga para caucho/plástico	
Cerámica	Pastas	Esmaltes			
Construcción	Plastificante en concretos, sellador, lubricante				
Farmacéutica	Materia prima para tierras medicinales, ungüentos y cosméticos				
Minera	Peletización de minerales				
Aceite/grasa comestible	Refinación, decoloración, purificación			Refinación, decoloración, purificación	
Limpieza	Aditivo en jabones				
Brea/alquitrán					Estabilizador de suspensiones de alquitrán
Pintura					Estabilizador y extendedor

Tabla N° 1. Usos industriales de las bentonitas y sus productos.

Las especificaciones que debe cumplir la bentonita para su uso en la industria del petróleo se debe a las recomendaciones elaboradas por la Comisión de Estudio de Materias Primas (CEMP 1990) de la Asociación Brasileira de Fundición (ABIFA) y a la Norma correspondiente al Instituto de Petróleo Americano (API STD 13A, 1993) (Tabla N° 2).

Parámetros	Especificaciones	
Bentonita	Tratada	
Humedad original (%) API STD 13A (1993)	10	Máximo
Viscosidad Plástica (Vp) API STD 13A (1993)	30	Mínimo
Punto de Fluencia (Pf) API STD 13A (1993)	50	Máximo
Filtrado (cm ³) API STD 13A (1993)	15	Máximo
Impurezas (%) API STD 13A (1993)	2,5	Máximo
Humedad original (%) CEMP (1990)	8	12
Zaranda 200 (%) CEMP (1990)	10	Máximo
Hinchamiento (ml/2g) CEMP (1990)	30	Mínimo
A.A.M. orig (ml/0,5g) CEMP (1990)	50	Mínimo
R.C.V. (N/cm ²) CEMP (1990)	11	14

Referencias:

- ✓ R.C.V. = Resistencia a la compresión en verde.
- ✓ A.A.M. orig = Adsorción del azul de metileno en estado original.
- ✓ CEMP-109 = Materiales en forma de polvos usados en fundición - Determinación del tenor de partículas gruesas.

Tabla N° 2. Especificaciones según las Normas API STD 13A (1993) y CEMP (1990).

2. MARCO GEOLÓGICO LOCAL

El marco geológico de la Cuenca Neuquina es muy complejo, en él interaccionan el volcanismo, la sedimentación y diferentes eventos y tipos de subsidencia. En este capítulo sólo se mencionarán las formaciones geológicas de la zona de estudio, como también la que contiene a los yacimientos de bentonita comprendidos dentro de la Cuenca Neuquina. Esta constituye una cubeta subandina de diseño triangular que abarca una superficie de 160.000 Km² (Yrigoyen, 1991). Está localizada al este de la cadena andina Argentina entre los 32° y 40° de latitud S. La misma se encuentra comprendida dentro de la provincia del Neuquén, sector occidental de la Pampa y Río Negro, y la porción meridional de la provincia de Mendoza. Limita al noreste con el macizo de la Sierra Pintada y al sureste con el macizo Nordpatagónico (Digregorio *et al.*, 1984).

Estructuralmente la cuenca está conformada por anticlinales y sinclinales afectados por fallas. En líneas generales, las regiones morfoestructurales son, la faja plegada y corrida del Agrio, el alto de los Chihuidos, la región del engolfamiento y la dorsal de Huincul. Se trata de una cuenca que se inicia en el Triásico superior-Jurásico inferior, por procesos que ocurrieron en el margen occidental de Gondwana (Uliana *et al.*, 1989; Legarreta y Uliana, 1996; Franzese y Spalletti, 2001, Arregui *et al.*, 2011). Presenta una historia tectónica compleja íntimamente ligada al desarrollo de los Andes y a la geometría de la losa subductada (Ramos y Folguera, 2005). A lo largo de su evolución constituyó un área de subsidencia, registrándose una columna integrada de hasta 7000 m de sedimentitas (Vergani *et al.*, 1995) y 4000 m de sedimentos continuos (Howel *et al.*, 2005). Desde el punto de vista geotectónico, la compleja evolución de la cuenca puede ser sintetizada en tres etapas: Fase de sin-rift, fase de cuenca marginal y fase de cuenca de antepaís (Howel *et al.*, 2005) (ver Fig. 7).

Edades			Unidades Litoestratigráficas (Leanza y Hugo, 1997)	
HOLOCENO	PLEISTOCENO	Superior	Depósitos de remoción en masa	
			Basaltos Laguna Blanca	
			Depósitos de terrazas indiferenciadas	
			Depósitos del IV nivel de terraza del Río Limay y del arroyo Picún Leufu	
			Depósitos del III nivel de terraza del Río Limay y del arroyo Picún Leufu	
			Depósitos del II nivel de terraza del Río Limay y del arroyo Picún Leufu	
			Depósitos del II nivel de pedimento	
			Basalto Los Mellizos	
			Depósitos del I nivel de pedimento	
			Basalto Macho Viejo	
NEOGENO	PLIOCENO	Superior	Basalto Zapala	
		Inferior		
	MIOCENO	Superior	Basalto Lohan Mahuida	
		Medio	Formación Collón Curá	
		Inferior	Formación Cerro Bandera	
	PALEOGENO	OLIGOCENO		Formación Auca Pan
		EOCENO		

Figura 7. Cuadro estratigráfico simplificado de la Cuenca Neuquina en la zona de estudio (Extraído de Pignatelli, F., 2018).

2.1. Descripción de la formación Cerro Bandera

Los diversos yacimientos de bentonita estudiados en este trabajo final se encuentran geológicamente y estratigráficamente situados en la Fm. Cerro Bandera (Leanza y Hugo 1997, Leanza *et al.* 2001) (ver Fig. 8). La Fm. Cerro Bandera comprende una serie de pequeños afloramientos aislados, que conforman los relictos de un antiguo relleno aluvial desarrollado sobre pequeños valles locales.

Estos depósitos bentoníticos (de interés comercial) pertenecientes a dicha formación, se hallan emplazados en una angosta cubeta sedimentaria que se extiende en sentido nornordeste desde la Meseta de la Barda Negra hasta el Cerro Bandera, de aproximadamente 20 a 23 km de largo, de edad Oligoceno superior a Mioceno inferior, formando parte de la denominada Cuenca Neuquina.

La Fm. Cerro Bandera se dispone estratigráficamente en discordancia sobre la Fm. Huincul (Gr. Neuquén). Uliana (1978) y Leanza y Hugo (1997) atribuyen esta fuerte discordancia a un periodo tectónico de ascenso y una posterior erosión acontecido durante la fase diastrófica Pehuénchica (Oligoceno tardío).

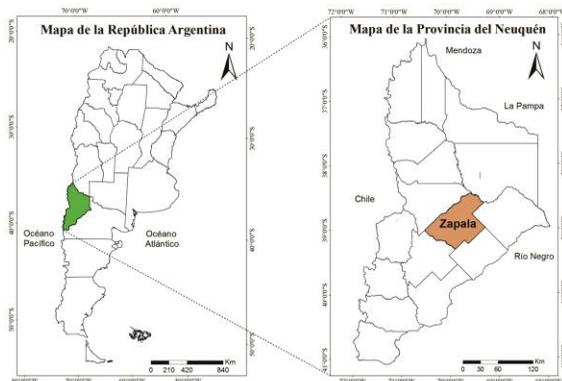
La Fm. Huincul fue reconocida por Keidel (en Wichmann, 1927), en las inmediaciones de la localidad de Plaza Huincul bajo la denominación de “Grupo de Huincul”. Posteriormente en 1968, de Ferrariis jerarquizó esta unidad como “Miembro Huincul”, criterio adoptado luego por Cazau & Uliana en 1973. El término “Formación

Huincul” lo utilizó por primera vez Cangini (en Cazau & Uliana, 1973), correspondiendo a Ramos (1981) la formalización de esta unidad bajo tal denominación. Caracterizada por areniscas cuarzosas amarillentas de granulometría variable con intercalaciones de pelitas y lentes conglomerádicos, con dominio de estratificación entrecruzada.

En paraconcordancia a la Fm. Cerro Bandera se encuentran depósitos de la Fm. Collón Curá de edad Neógeno. La Fm. Collón Curá fue descrita por Yrigoyen (1969), caracterizada por tobas, tufitas y cineritas, depositadas en un ambiente continental como producto de intensas lluvias de cenizas que fueron rellenando los desniveles del relieve preexistente.

2.2. Descripción de la cubeta de depositación

Los depósitos en estudio se localizan en una elongada y angosta cubeta sedimentaria que se extiende en sentido nornordeste desde la Meseta de la Barda Negra hasta el Cerro Bandera, a lo largo de unos 20 a 23 km de largo y 1 a 3 km de ancho, entre el flanco nororiental de la Meseta de la Barda Negra y la vertiente occidental del Cerro Bandera, en el Departamento Zapala, (Leanza y Hugo, 1997).



Mapa Geológico del área de estudio

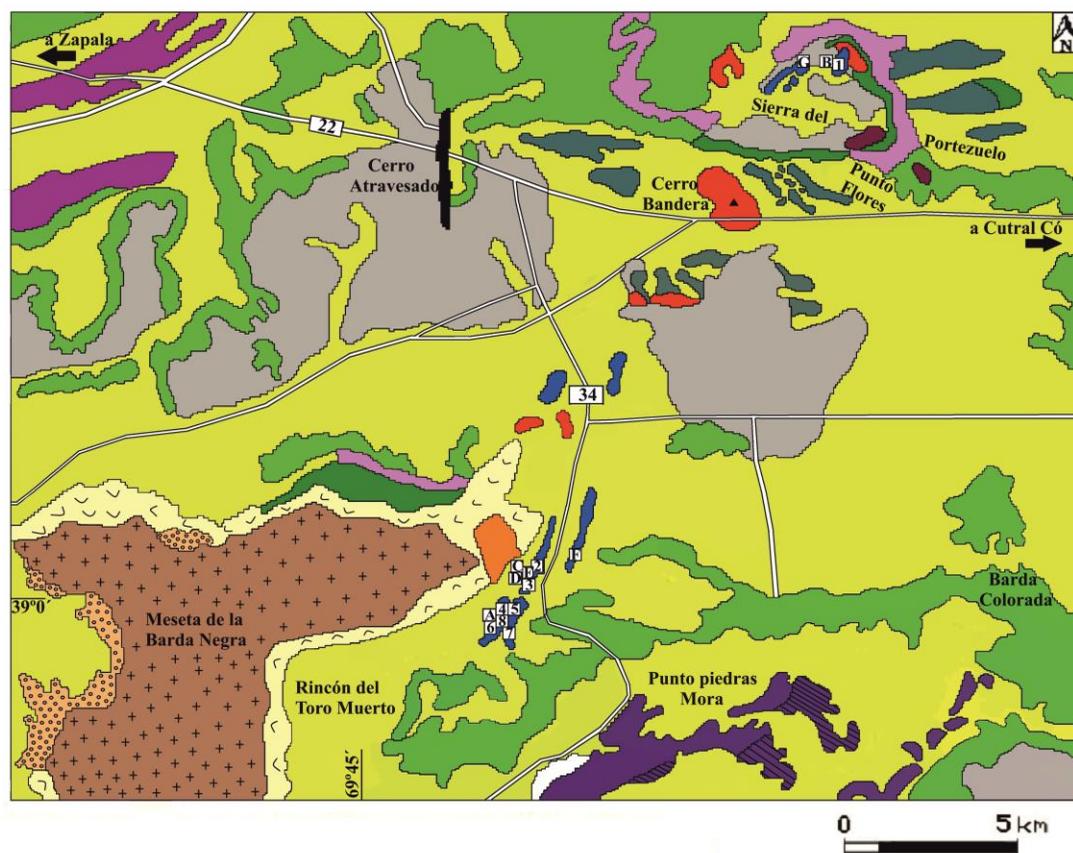
Departamento Zapala

Provincia del Neuquén



Fuente: Adaptado de la Hoja Geológica 3969 - III Picún Leufú 1997
 y la Hoja Geológica 3969 - I Zapala 2001.

Figura 8. Mapa geológico del área de estudio.



Referencias		
Litología	Edad geológica	
Depósitos de remoción en masa	Holoceno	
Depósitos aluviales y coluviales	Pleistoceno superior	
Depósitos del II nivel de pedimento	Cuaternario	
Depósitos que cubren superficies pedimentadas de flanco		
Depósitos de terrazas del Cañadón Santo Domingo	Plioceno	
Fm. Pampa Encima (Continental)		Superior
Basalto I	Inferior	
Fm. Collón Curá (Continental)	Mioceno medio	
Fm. Cerro Bandera (con bentonitas)(Continental)	Mioceno inferior	
Fm. Cerro Bandera (sin bentonitas)(Continental)	Oligoceno	
Basalto Cerro Atravesado		
Fm. Portezuelo + Fm Plottier (Continental)	Cretácico superior	
Fm. Cerro Lisandro (Continental)		Coniaciano
Fm. Huincul (Continental)	Turoniano	
Fm. Challacó (Continental)	Jurásico	
Fm. Lajas (Mixto)		Medio
Fm. Los Molles (Marino)	Inferior	
	Paleógeno	
		Neógeno
		CENOZOICO
		MESOZOICO

Ubicación de los yacimientos de bentonita		
1	2	3
4	5	6
7	8	
Ubicación de los perfiles geológicos		
A	B	C
E	F	G

3. METODOLOGÍA

3.1. Trabajo de campo

Se analizaron muestras de 7 yacimientos de bentonita que pertenecen a la empresa Minera Cholino, la cual está radicada en la Ciudad de Zapala, provincia del Neuquén. Los muestreos de los niveles bentoníticos se efectuaron en los frentes de cantera o en afloramientos.

Se inició el reconocimiento macroscópico de campo en 9 muestras de bentonita, se registro la ubicación de la extracción con GPS en las coordenadas geográficas que se indican en la Tabla N°3.

Muestras	Latitud	Longitud
352 - Yac. Mama	39° 2'27.93"S	69°40'10.60"O
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	39° 2'39.29"S	69°39'30.86"O
072 - Yac. Mina Pati I Sur	39° 2'1.72"S	69°40'13.22"O
076 - Yac. Mina Pati I Norte	39° 2'1.71"S	69°40'8.17"O
029 - Yac. Reuque Norte	39° 2'5.24"S	69°39'34.44"O
030 - Yac. Reuque Sur	39° 2'6.48"S	69°39'34.20"O
092 - Yac. 20 de Febrero	39° 1'28.78"S	69°39'30.55"O
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	39° 0'51.48"S	69°39'26.62"O
053 - Yac. Cerro Bandera	38°55'45.43"S	69°34'46.72"O

Tabla N° 3. Siglas y numeración de las muestras, con sus coordenadas geográficas.

Las muestras recolectadas en el campo fueron secadas a temperatura ambiente por 5 días consecutivos, posteriormente se extrajo en forma manual, el yeso y restos de material vegetal.

3.1.1. Mapeo de los afloramientos

El mapeo de las litologías aflorantes en la zona de estudio se realizó con cinta métrica, piqueta, brújula y GPS, se llevó a cabo una minuciosa observación de los niveles expuestos en superficie describiendo las siguientes propiedades: color (Rock Color Chart, 1991), litología, textura, estructuras sedimentarias, geometría de los estratos, tipos de contactos y espesores (ver Fig. 34 y 35).

3.2. Trabajo de laboratorio

3.2.1. Lupa binocular

Las muestras fueron descriptas macroscópicamente y con lupa binocular en el laboratorio C.I.M.A.R (Centro de Investigaciones de Minerales Arcillosos, Universidad Nacional del Comahue). La observación de las muestras permitió seleccionar aquellas que fueran destinadas para análisis físico-químicos, tecnológicos y de difracción de rayos X.

Con el uso de una lupa binocular se inició un reconocimiento macroscópico de 9 muestras de mano de bentonitas, identificando el color característico (Rock Color Chart, 1991), los tipos de fracturas, estructuras y mineralogía. La observación con lupa binocular incluye la toma de fotografías de los minerales accesorios.

3.2.2. Difracción de rayos X (DRX) sobre muestra total y fracción <2

μm

Para los análisis de difracción de rayos X se siguieron las recomendaciones de Moore y Reynolds (1997). Metodológicamente los trozos de rocas para análisis de polvo total fueron desagregados y molidos con mortero de ágata, y posteriormente el polvo fino, pasante tamiz 200 fue analizado con rayos X como muestra total. Las difracciones sobre la muestra total fueron realizadas desde 3° a $60^\circ 2\theta$, a $3^\circ \theta/\text{min}$.

Las muestras seleccionadas para analizar la fracción $<2 \mu\text{m}$ fueron desagregadas y se prepararon dispersiones diluidas de muestra (30g/l), tratadas con hexametáfosfato de sodio, agitación mecánica y ultrasonido. La separación de la fracción $<2 \mu\text{m}$ se realizó de acuerdo a tiempos estandarizados de centrifugado y depositados como una delgada película sobre un portaobjeto de vidrio. Luego se secaron a temperatura ambiente (seca al aire) y se sometieron a vapores de etilenglicol durante 72 horas a 60°C . Con los agregados; natural, o natural orientados seco al aire y glicolados se obtuvieron difractogramas desde 2° a $40^\circ 2\theta$ a $2^\circ \theta / \text{min}$ respectivamente.

El equipo utilizado fue un Rigaku D-Max II C, con radiación Cu ($K\alpha = 1,5405 \text{ \AA}$), filtro de Ni, las condiciones de barrido consistieron en 40 Kv, 20 mA, velocidad de goniómetro $2^\circ 2\theta/\text{min}$ (Laboratorio CIMAR).

3.2.3. Cristalinidad de las esmectitas

Para determinar el grado de cristalinidad de las esmectitas mediante difracción de rayos X en muestras $<2\mu\text{m}$ en etilenglicol se utiliza el método de Biscaye (1965), donde se calcula la relación v/p , entre la altura de la reflexión (001), por encima de la línea de base (p), respecto de la profundidad del valle v (Fig. 9). Una esmectita perfectamente cristalizada tendrá valores de $v/p=1$ y una pobremente cristalizada $v/p=0$.

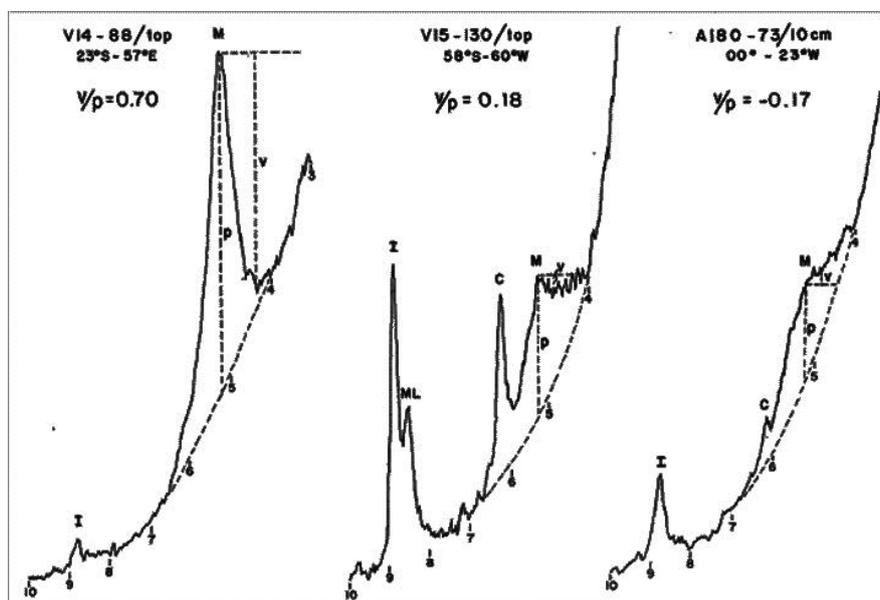


Figura 9. Índice de cristalinidad de Biscaye (1965). Difractogramas de bajo ángulo (V14-88/top: equatorial Atlantic; V15-V30/top: South Atlantic; A180-73/10cm: southwestern Indian Oceans) mostrando variaciones en el valor v/p (cristalinidad) radio $< 2\mu\text{m}$, etilenglicol montmorillonita. Grados 2θ (Cu K α) están marcados debajo de la línea de base. v: Valle profundo, p: Altura pico, M: Montmorillonita, C: Clorita, ML: Capa Mixta, I: Illita.

3.2.4. Análisis químico

Se realizaron los correspondientes análisis químicos por fluorescencia de rayos X, con un espectrómetro dispersivo en energía Shimadzu, modelo EDX-800HS. La (PPC) pérdida por calcinación fue realizada en horno mufla a 1000 C° durante 1 hora sobre el material molido y pasante tamiz A.S.T.M. N° 200. Para estas determinaciones se utilizó un equipo de fluorescencia del laboratorio del Asentamiento Universitario de Zapala de la Universidad Nacional del Comahue, obteniendo valores de elementos mayoritarios, con los cuales se procedió a la interpretación geoquímica de las bentonitas del área.

3.2.5. Preparación de las muestras para análisis físicos-químicos y tecnológicos

- ✓ De cada una de las muestras a analizar, se pesaron en una balanza de precisión (Fig. 10) un total de 34 g y se separaron para su uso. Previamente las muestras son desagregadas (con el uso de un martillo o masa, logrando un tamaño lo más homogéneo posible) y luego se aplican las técnicas de cuarteo.
- ✓ De los 34 g, se retiran 5 g de la muestra desagregada para realizar el ensayo de humedad, y con los 29 g restantes se muelen manualmente con un mortero (Fig. 12) hasta la granulometría pasante tamiz A.S.T.M. N° 200 (Fig. 13) y se reservan para realizar los siguientes ensayos: difracción de rayos X total (2 g), análisis químicos (2 g), hinchamiento (2 g), azul de metileno (0,5 g) y reología (22,5 g).

3.2.6. Cuarteo

Consiste en obtener una muestra lo más representativa posible. El procedimiento fue realizado con un separador mecánico, que divide sucesivamente la muestra. (Fig. 11). Ver en el anexo la explicación del método.



Figura 10. (Izquierda) Balanza Sartorius de precisión. Figura 11. (Derecha). Separador mecánico metálico (“Cuarteador”).



Figura 12. (Izquierda). Mortero de agata. Figura 13. (Derecha). Tamiz malla #200, (74 micrones, 0.0737 mm).

3.2.7. Humedad original

Este ensayo consiste en obtener la humedad original de la bentonita en su estado natural. En este caso, se usa la muestra cuarteada y triturada, utilizando crisoles de cerámica (Fig. 14). El procedimiento se adjunta en el anexo.



Figura 14. Crisoles de cerámica con bentonita

3.2.8. Reología y tixotropía

La determinación de los parámetros de reología y tixotropía para el uso en lodos de perforación se realizó según Norma API STD 13A: Lectura 600 y 300 en r.p.m, viscosidad plástica en cP (Vp), punto de fluencia en cP (Pf), relación Pf / Vp y filtrado en cm^3 . El ensayo comienza con el preparado del gel (se adjunta en el anexo el procedimiento y los materiales utilizados) cuyas características dependen estrechamente de la interacción entre la bentonita y el líquido que lo contiene. El crecimiento de un gel en volumen depende del pH, la salinidad, la temperatura y la afinidad entre la bentonita y la solución y todos estos parámetros definen la composición del lodo de perforación. Estos geles son tixotrópicos, es decir, son capaces de licuarse por agitación y recuperar su forma sólida por reposo (Fig.15).



Figura 15. (Izquierda). Mezcladora con el vaso metálico rotulado. (Derecha). Bentonita en reposo.

3.2.9. Viscosidad plástica (Vp)

Es la resistencia interna al flujo que presentan los geles bentoníticos. En este ensayo se realizaron varias lecturas con el uso de un viscosímetro rotativo Fann, arrojando lecturas en L600 y L300 en r.p.m según las normas API STD 13A, donde se hicieron varias mediciones que se adjuntan en el capítulo de resultados, y en el anexo se ubica el procedimiento (Fig. 16).

La viscosidad plástica (Vp) es igual a la diferencia entre los valores de lectura a 600 r.p.m y 300 r.p.m. El punto de fluencia (Pf) es igual al valor de lectura de 300 r.p.m menos el valor de viscosidad plástica. La viscosidad aparente es igual al valor de lectura de 600 r.p.m dividido en dos.



Figura 16. Viscosímetro rotativo Fann.

3.2.10. Filtrado

Es un ensayo que se aplica en bentonitas usadas como lodos de inyección y representa la cantidad de agua que pasa a través del revoque durante la perforación de un pozo, se forma un *cake* con la parte sólida que estabiliza las paredes del pozo y el líquido pasa a la formación.

Estas mediciones se realizaron con un filtro-prensa (Laboratorio CIMAR), construido según Norma API STD 13A (Fig. 17).



Figura 17. (Izquierda). Estructura del prensa-filtro. (Derecha). Recolección del volumen de filtrado.

3.2.11. Hinchamiento

Se utilizaron probetas graduadas de 100 ml, dejando caer suavemente durante 2 hs 2gr de bentonita previamente molida sobre agua destilada. Por lo general, la sustancia desciende con lentitud en forma de pequeños copos, para luego reunirse en el fondo (Fig. 18).

El hinchamiento es un ensayo que mide la expansión volumétrica de una masa de bentonita que ocupa un volumen conocido en seco.



Figura 18. Probetas calibradas, lectura del hinchamiento volumétrico.

3.2.12. Impurezas

Consiste en determinar el porcentaje de material mayor a 75 micrones que tienen las muestras de bentonita. El objetivo de dicho ensayo es verificar el porcentaje de materiales no arcillosos que presentan y que resulta perjudicial para las diferentes aplicaciones de estos minerales no metalíferos. Para esto se siguió a las Normas API STD 13A y CEMP. El ensayo de impurezas y la normativa correspondiente se detalla en el anexo.

3.2.13. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de adsorción del azul de metileno

Representa la facilidad que poseen algunos minerales, entre ellos las esmectitas de retener cationes y mantenerlos en estado intercambiable. El proceso de intercambio sucede siguiendo algunas reglas básicas, como es la selectividad y grado de difusión de los iones entre otras. El resultado se expresa en meq/100 gr de muestra. El procedimiento y la normativa se especifican en el anexo (Fig. 19).



Figura 19. (Izquierda). Bureta de 100 ml enrasada con “azul de metileno”. (Derecha). Método de trabajo donde se identifica el halo de dispersión

3.2.14. Resistencia a la compresión en verde (RCV) y en seco (RCS)

Para la utilización de las bentonitas como aglomerante en arenas de moldeo en fundición se les determinó la resistencia a la compresión a 3 muestras, tanto en probetas húmedas como secas a 110°C durante 2 horas, Norma CEMP 1990.

3.2.15. Determinación de pH

El pH (potencial de hidrógeno), es un parámetro muy usado para medir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias. La escala del pH va desde 0 hasta 14. Los valores menores que 7 indican el rango de acidez y los mayores que 7 el de alcalinidad o basicidad. El valor 7 se considera neutro. Matemáticamente el pH es el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones hidrógeno o protones (H^+) o iones hidronio (H_3O^+). Se midió el pH de una dispersión agua-arcilla: 8gr/100ml, se mezcla la solución en agitador mecánico durante 5', se deja reposar 3 minutos, luego se sumerge el electrodo del pH-metro en esta dispersión y se mide el valor, mediante observación directa, hasta lectura constante.

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de los perfiles geológicos

Se confeccionaron 7 perfiles tipo *Selley* ubicados en el área norte, centro y sur de la cubeta, (ver Fig 20). Los perfiles A, C, D, E y F están expuestos en el flanco noreste de la Meseta de la Barda Negra, mientras que los perfiles G y B se elaboraron en la vertiente occidental del Cerro Bandera. La descripción de los perfiles se realiza de sur a norte.

4.1.1. Perfil A

Latitud 39° 2'24.13"S

Longitud 69°39'54.08"O

Cota 1003 msnm

La secuencia comienza con un banco de areniscas cuarzo feldespáticas de 1 metro de espesor, de color castaño oscuro, de grano medio a grueso, presentando una buena selección; en contacto neto continúa un nivel conglomerádico polimíctico de 2 m, matriz soportado, de color castaño oscuro, de grano fino a mediano, con clastos de forma subredondeada que van de 0,5 a 5 cm dispuestos en una matriz terrosa. La litología de los clastos es andesítica, basáltica y pumícea. Se sobrepone un potente banco macizo de bentonita, de color amarillento oscuro de 24 m de espesor, que pasa gradualmente a un paquete tobáceo de color blanquecino de 12 m de espesor, poco consolidado, al que le sigue un banco de areniscas medianas de color ocre de 1 m de espesor, con estratificación paralela.

En contacto neto se sobrepone una capa lentiforme de bentonita de 3 m de potencia, de color verde amarillento, poco consolidada, y sin estructuras sedimentarias visibles. La secuencia continúa con un nivel de 1,50 m de arcilitas rojizas pasando a un potente banco de tobas, de geometría tabular, de 40 m de espesor, en cuya base intercalan lentes de areniscas amarillentas claras, con espesores entre 1 y 2 m. Estas presentan estratificación paralela y entrecruzada, con abundantes venas de yeso, frecuentes impregnaciones rojizas de óxidos férricos y negras por la presencia de materia orgánica. Continúa hacia el techo del perfil un banco de areniscas de 1 m de espesor sobrepuesto por un nivel de 1 m de arcilitas rojas, al que siguen alternancia de tobas y areniscas, con estratificación paralela y estratificación entrecruzada, con presencia de venas y venillas de yeso. En general las tobas se presentan menos compactadas a medida que se asciende en el perfil, aumentando progresivamente su espesor. En discordancia erosiva se apoyan cineritas de la Fm. Collón Curá. Finalmente en el tope de la secuencia se identificó una cubierta sedimentaria reciente con materiales de acarreo y bloques de material basáltico provenientes de desprendimientos gravitacionales del flanco noreste de la Meseta de la Barda Negra (Fig. 22).

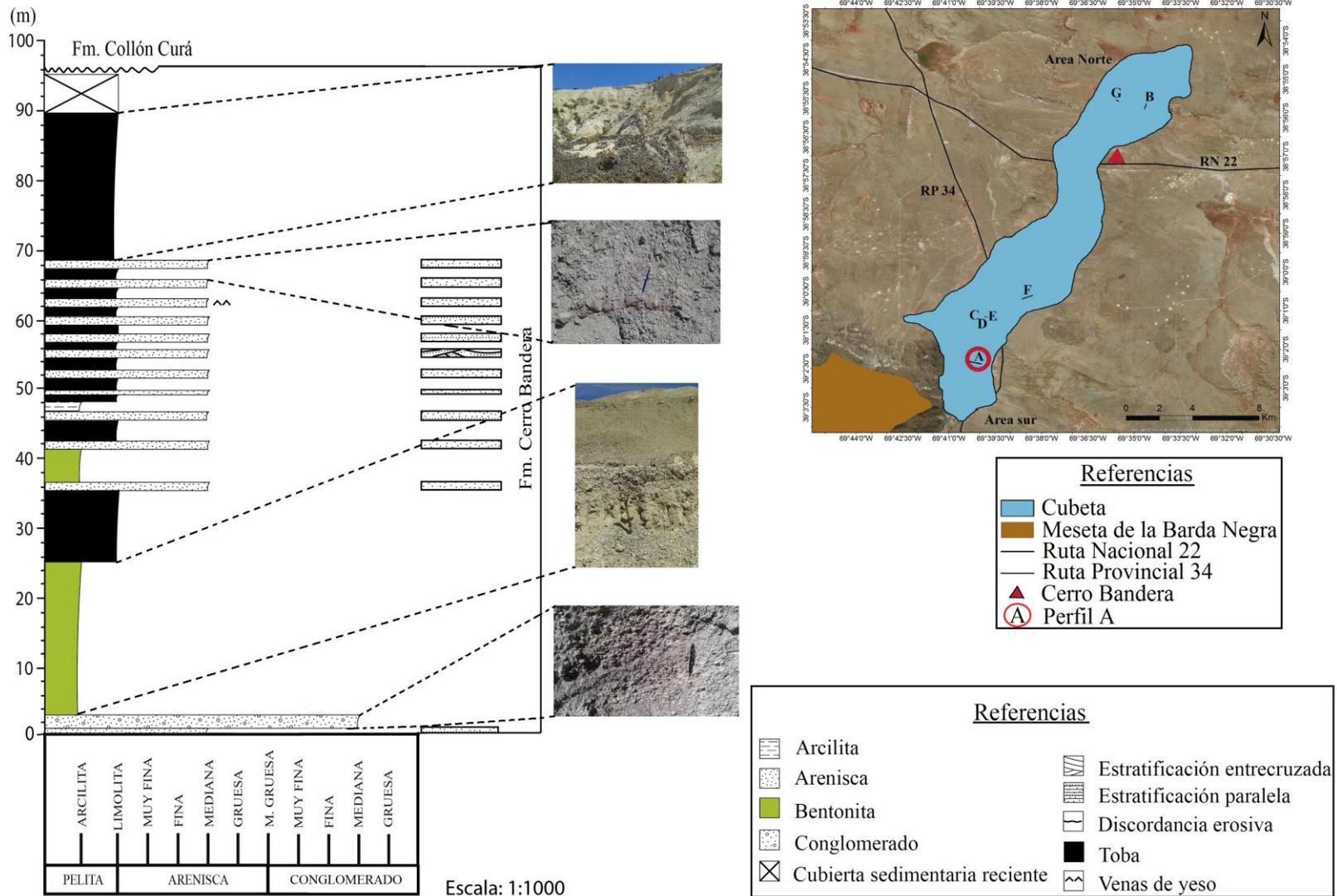


Figura 20. Perfil geológico A, en cercanías de la Meseta de la Barda Negra.

4.1.2. Perfil C

Latitud 39°19'22"S
 Longitud 69°39'49.93"O
 Cota 878 msnm

De piso a techo la secuencia es granocreciente y tiene un espesor de 13 m. Comienza con una lente de 4 m de bentonita maciza de coloración verdosa, a la que sigue en contacto erosivo un banco lentiforme de 1 metro de espesor de conglomerado polimíctico matriz soportado, presentando clastos de 0,5 a 3 cm, con abundante pómez, redondeados a subredondeados, y buena selección. Continúan niveles lenticulares de areniscas grises a amarillentas, de 8 m de potencia, y que gradan de finas en la base a gruesas hacia el techo; poco consolidadas, con estratificación paralela y entrecruzada y frecuentes concreciones esferoidales de yeso cristalino de 30 a 60 cm de diámetro. (Fig. 21).

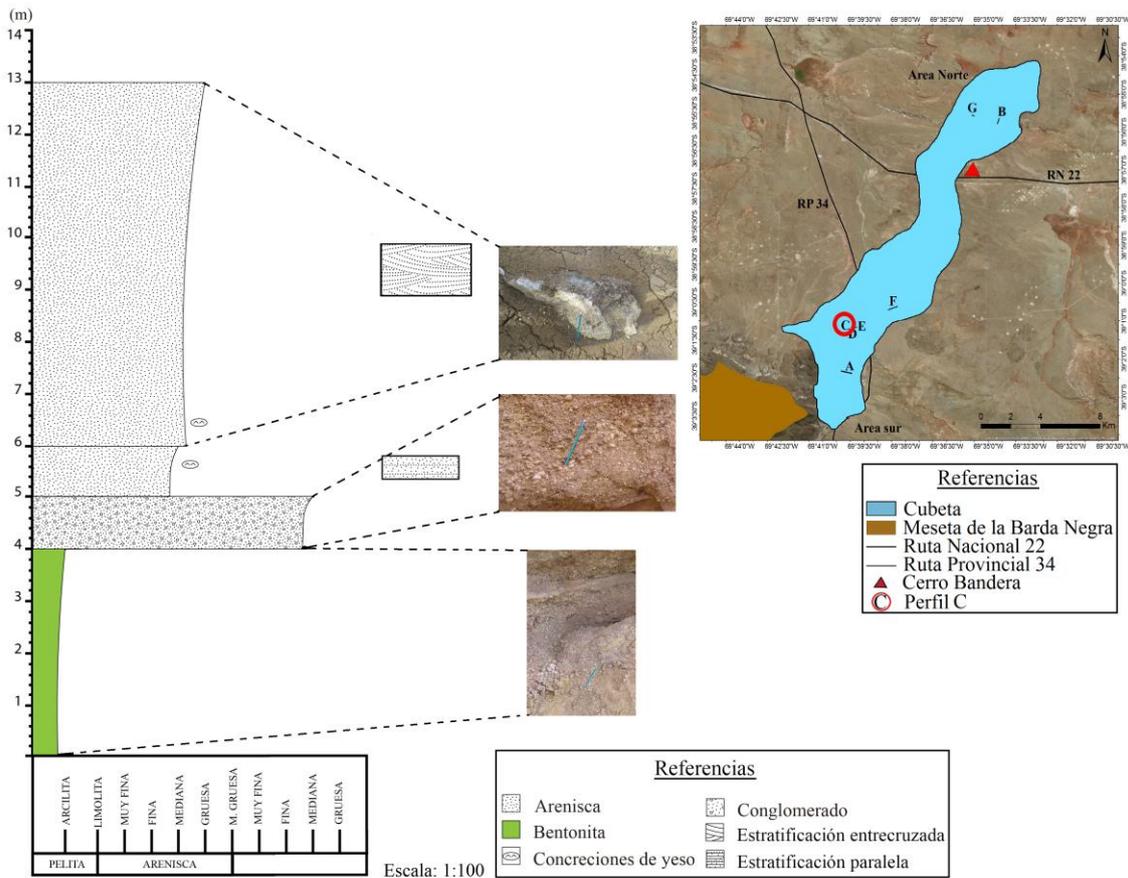


Figura 21. Perfil geológico C, ubicado en cercanías de la Meseta de la Barda Negra.

4.1.3. Perfil D

Latitud 39° 1'10.04"S
 Longitud 69°39'48.24"O
 Cota 889 msnm

De piso a techo la secuencia es granodecreciente y el perfil está conformado por 12 m de espesor. Comienza con 10 metros de areniscas gruesas de color gris a amarillento ocre, con estratificación entrecruzada, y buena selección; la composición es mayormente cuarzo feldespática y se disponen muy compactadas. También se identificaron niveles con venillas de yeso cristalino y abundantes concreciones pelíticas.

El perfil culmina con 2 metros de areniscas cuarzo feldespáticas, compactas, de coloración gris verdosa; la granulometría varía de media a fina, con buena selección y presenta estratificación paralela. (Fig. 22).

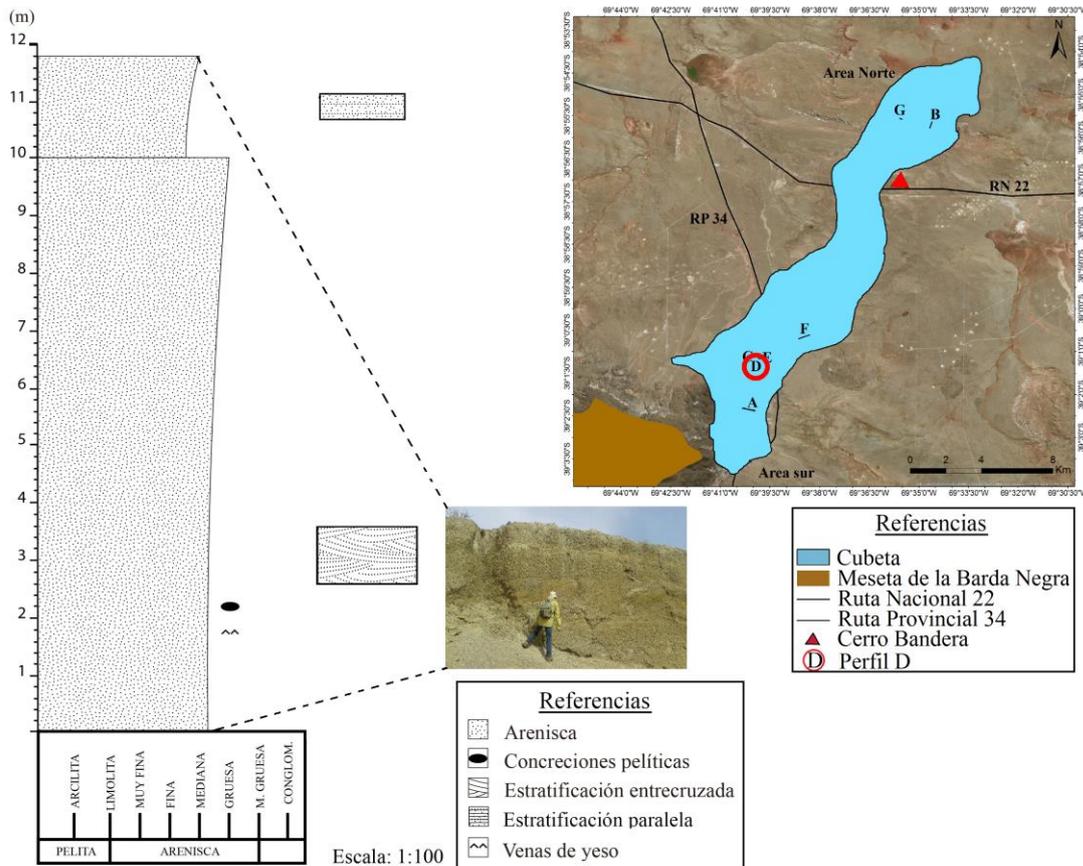


Figura 22. Perfil geológico D, ubicado en cercanías de la Meseta de la Barda Negra.

4.1.4. Perfil E

Latitud 39° 1'9.72"S
 Longitud 69°39'45.96"O
 Cota 888 msnm

El espesor del perfil expuesto es de 6 m en una escala de 1:100, comienza en la base con un banco de 4 m de bentonita, de color amarillo verdoso, con abundantes venillas de yeso cristalino y sin estructuras sedimentarias visibles. En contacto neto continúa una delgada lente de 40 cm de arcilitas rojas, poco consolidadas sobrepuestas por 1 metro de toba arenosa blanquecina, deleznable. El perfil culmina con una lente de 30 cm de arcilitas rojas, inconsolidadas y sin estructuras sedimentarias reconocibles (Fig. 23).

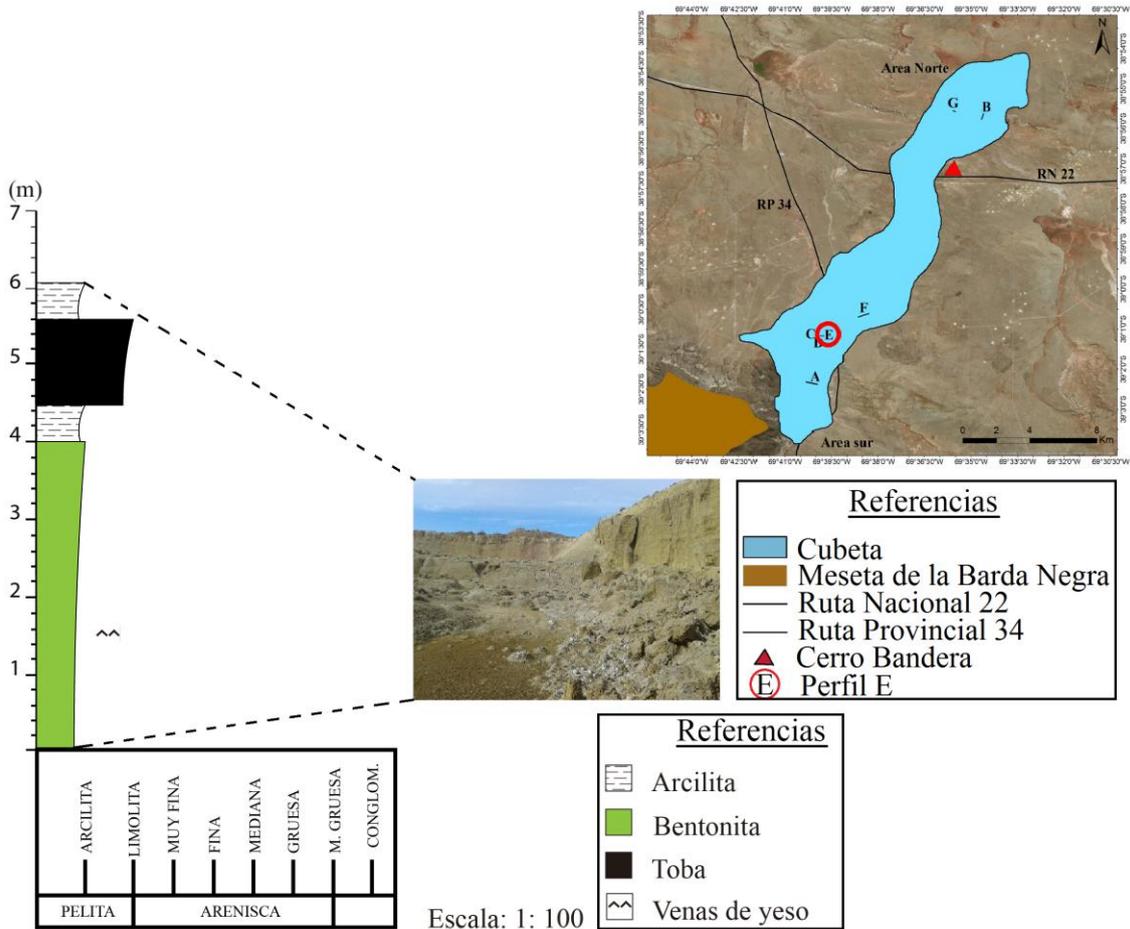


Figura 23. Perfil geológico E. Sector NE de la Meseta de la Barda Negra.

4.1.5. Perfil F

Latitud 39°0'36.90"S
 Longitud 69°38'18.85"O
 Cota 918 msnm

El espesor del perfil es de 82 m a una escala 1.1000, comienza con un potente banco de bentonita de 20 m, de color pardo claro, medianamente consolidada de aspecto terroso hacia el techo. Continúa en contacto neto 46 m de arcilitas rojas, disgregables, con intercalaciones de lentes arenosas cuarzo feldespáticas de 8 m de espesor; de colores morados a blanquecinos; estos niveles arenosos se presentan poco consolidados, sin estructuras visibles, con buena selección y signos de bioturbación en el tercio superior. Continúan 14 m de areniscas finas a medianas de color pardo amarillento, con estratificación entrecruzada, y clastos de composición cuarzo – feldespática. Hacia el techo las areniscas pasan a un arreglo progradante, con aumento de su granulometría llegando hasta areniscas conglomerádicas, polimícticas, con matriz arenosa, compactas, regular a mala selección y laminación paralela (Fig. 24).

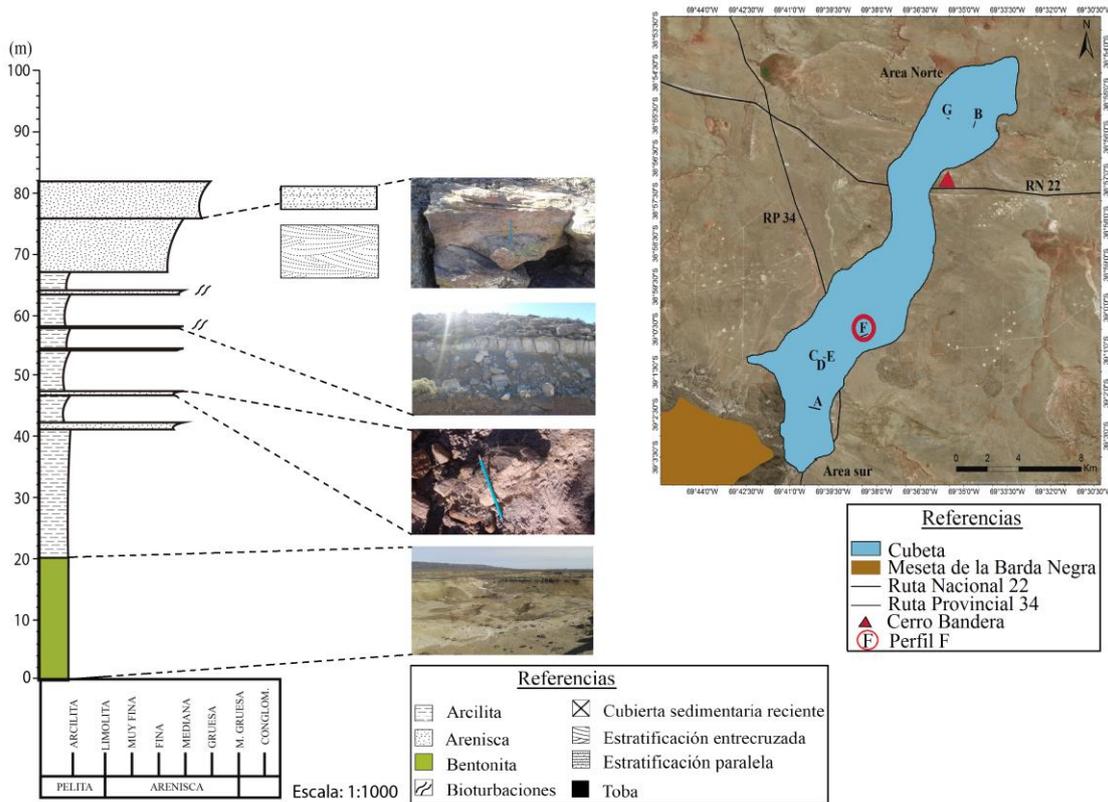


Figura 24. Perfil geológico F ubicado en cercanías de la Meseta de la Barda Negra. (Sector centro oriental del área de depositación)

4.1.6. Perfil G

Latitud 38°55'33.96"S

Longitud 69°35'34.81"O

Cota 885 msnm

El perfil expuesto en corte de explotación presenta un espesor de 22 m, se realizó a una escala de 1:100 y comienza con 15 m de bentonita de color verde amarillento, poco consolidada, sin estructuras visibles. Continúa con 2 m de conglomerado polimíctico, cuyos clastos van de 1 a 4 cm de diámetro, son mayormente pumíceos, con andesíticos, y basálticos subordinados. Sobreyace una lente de 1 m de areniscas amarillentas, de granulometría media, cuarzosa a feldespática, con buena selección y estratificación paralela. En contacto erosivo continúa un nivel conglomerádico de 3 m de espesor, con clastos redondeados que van de 1 a 3 cm, de pómez y basalto. Culmina el perfil con un banco lenticular arenoso de 1 m de espesor, de color rojizo amarillento, con buena selección y compactación, tamaño de grano de fino a medio y estratificación laminar (Fig. 25).

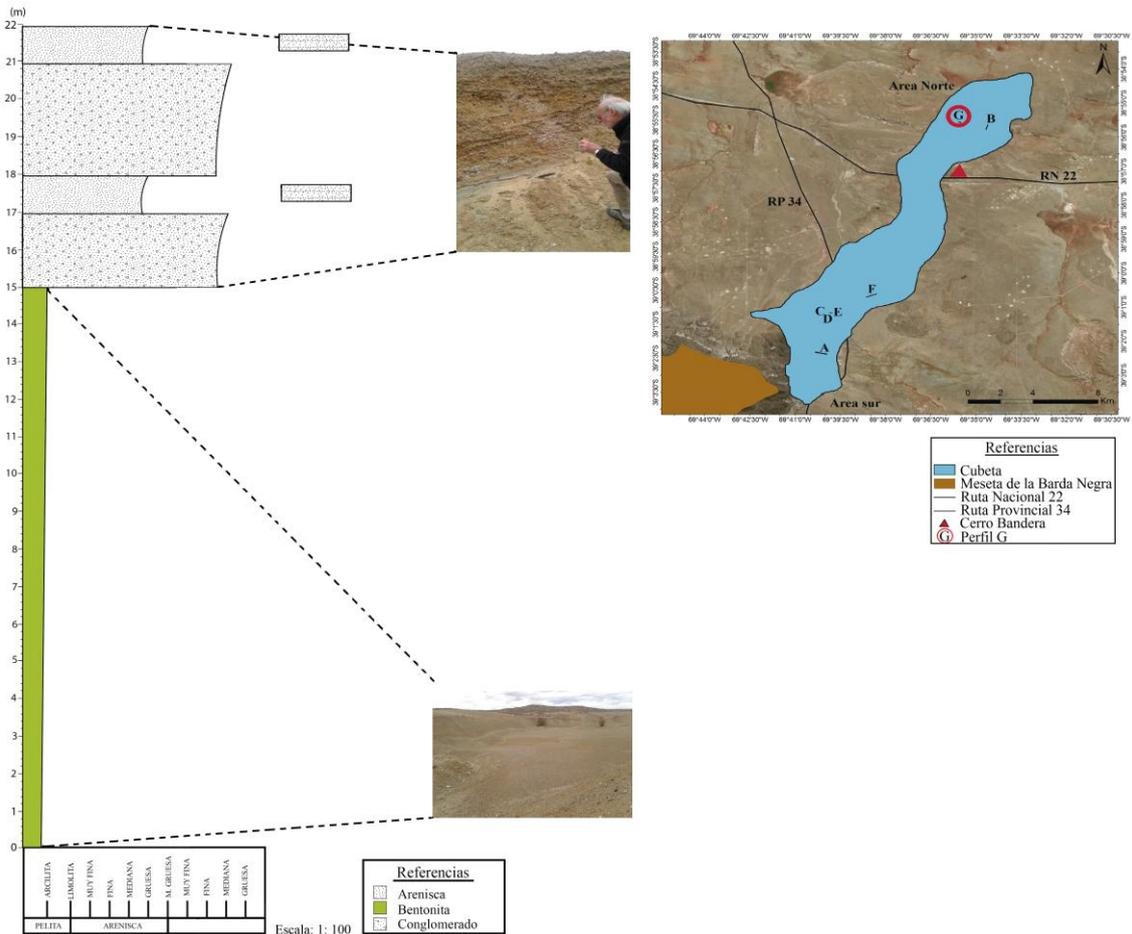


Figura 25. Perfil geológico G, ubicado en sector occidental del Cerro Bandera.

4.1.7. Perfil B

Latitud 38°55'46.25"S

Longitud 69°34'40.93"O

Cota 899 msnm

De piso a techo la secuencia es granodecreciente: la formación Cerro Bandera se dispone aquí en discordancia angular sobre areniscas grises amarillentas de la Fm. Huincul. La base comienza con 5 m de depósitos de tobas blanquecinas, compactas, a las que sobreyacen 3 m de areniscas de color amarillento ocre con estratificación entrecruzada, buzando 3° al este. Las mismas están compuestas por areniscas de grado medio, buena selección, con clastos cuarzo feldespáticos, y escaso cemento carbonático. Continúan niveles tobáceos deleznable, completando 11 m de espesor, de color blanquecino a beige claro, compactos y con intraclastos pelíticos. Se sobrepone un nivel bentonítico de 3 m de potencia, color verdoso, macizo, seguido por 2 metros de areniscas verdes amarillentas, con laminación paralela. Por encima se dispone una capa lenticular de arcilita rojiza de 6 m de espesor, poco compactada, a la que suceden 37 m de intercalaciones de tobas con delgados lentes arenosos; las areniscas son de color amarillento, con buena selección, cuarzo- feldespáticas, disgregables y con dominante estratificación paralela.

Hacia el tope del perfil aumenta la potencia de las tobas, alcanzando un espesor de 55 m; en la base se identificaron vénulas de pedernal con ramificaciones de dendritas de manganeso y hacia al techo se reconocieron bioturbaciones, con fragmentos líticos y venas de yeso. Continúa con alternancia de areniscas cuarzolíticas de color amarillento rojizo, buena selección, finas a medianas, y tobas blanquecinas, macizas, con venas de yeso diagenético y fragmentos líticos. La secuencia culmina con tobas en las que intercalan finas capas de yeso y un delgado paquete de areniscas amarillentas con estratificación paralela, e intraclastos pelíticos (Fig. 26).

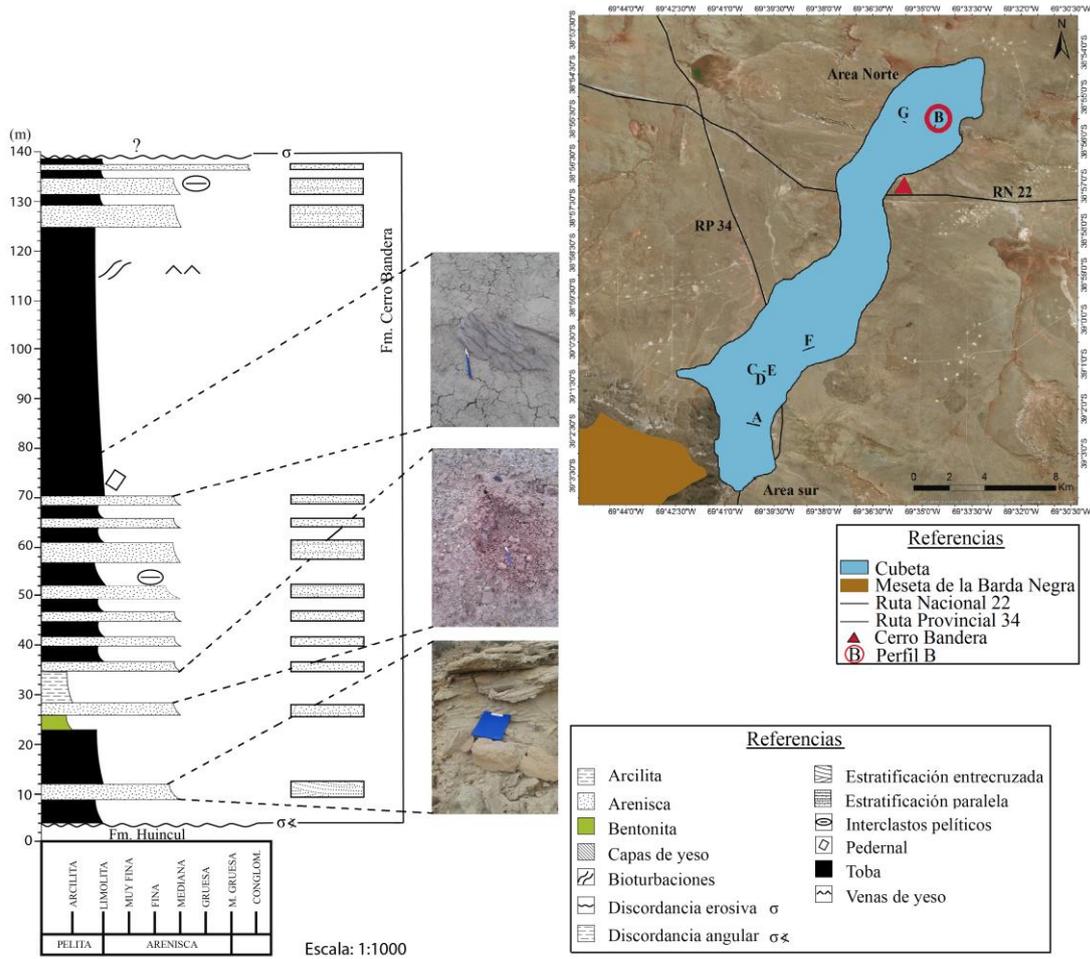


Figura 26. Perfil geológico B, ubicado en cercanías del Cerro Bandera.

4.2. Correlación geológica de los perfiles

Se realizaron dos cortes esquemáticos en la zona de estudio, el primero (C-D-E) pertenece al flanco noreste de la Meseta de la Barda Negra y el segundo corte (G-B) se sitúa en la vertiente occidental del Cerro Bandera (ver Fig. 27).

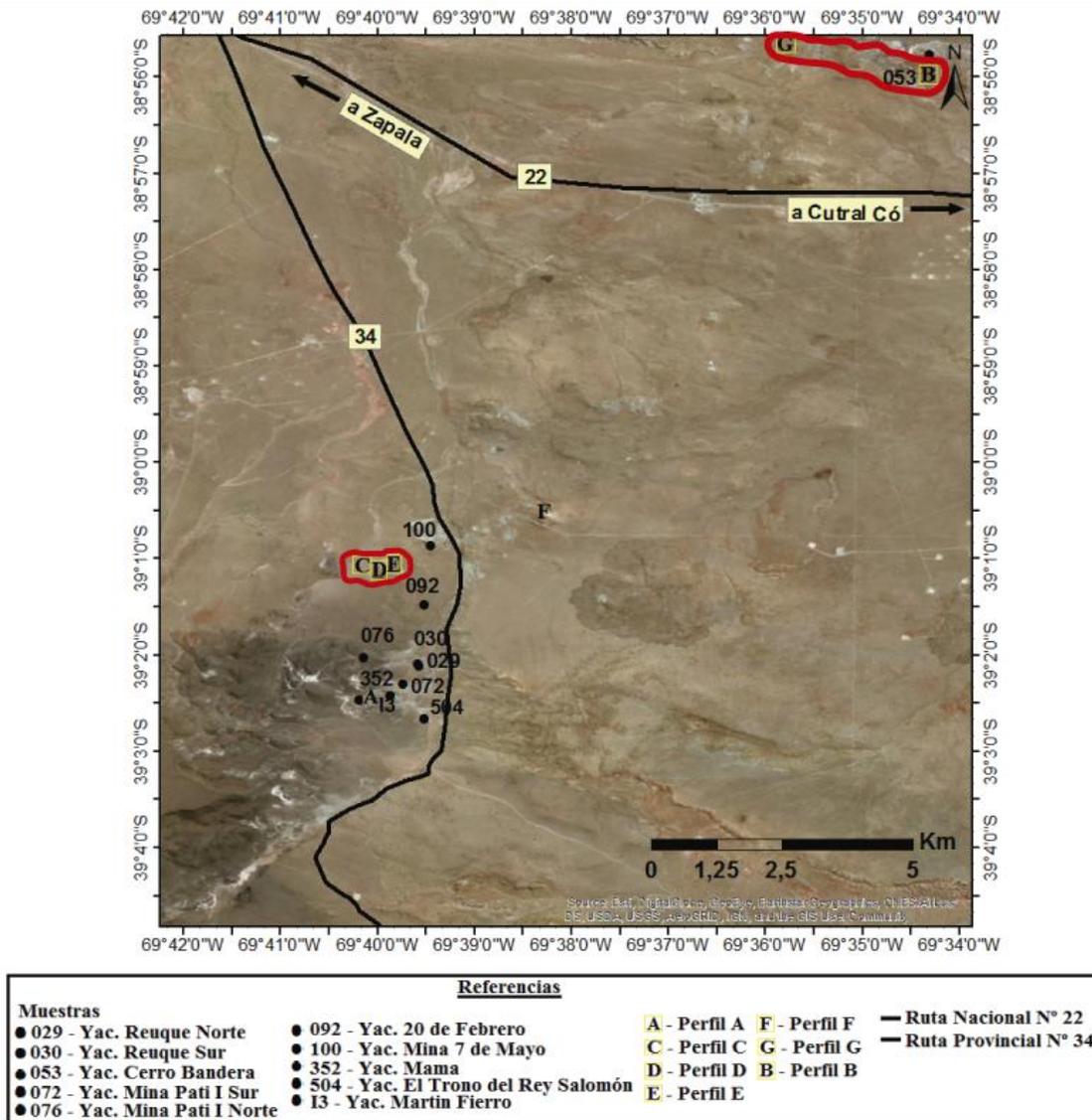


Figura 27. Mapa de ubicación de perfiles y correlaciones (extraído de Google Earth).

4.2.1. Correlación C-D-E

4.2.1.1. Ubicación estratigráfica de las bentonitas en la localidad tipo de la Fm. Cerro Bandera. Sector norte de la cubeta

La correlación esquemática C-D-E (Fig. 28) se encuentra en una dirección E-O (ver Fig. 27), la distancia del perfil C a D es de aproximadamente 400 m y del perfil D a E es de 350 m con un total de 750 m. Toda el área se ubica en los frentes de cantera de la Mina Carmela. Las secuencias expuestas en los perfiles C y E comparten en sus tramos basales la presencia de bancos bentoníticos, los cuales fueron utilizados como nivel de correlación (línea roja) entre los perfiles. El perfil E continua con una alternancia de arcilitas rojas y tobas de muy escaso espesor. Estas arcilitas, en conjunto con el nivel bentonítico, son interpretadas como bancos propios de una planicie de inundación. El tramo medio y superior de la secuencia C y D está caracterizado por la presencia de bancos siliciclásticos de areniscas y conglomerados, con presencia de intraclastos pelíticos a la base. Se interpreta que estas secuencias psamíticas y psefíticas corresponderían a canales fluviales de media a alta energía que cortan erosivamente una planicie de inundación preexistente, incorporando como intraclastos sedimentos de la misma. La imbricación de los intraclastos sugeriría que el flujo del canal transcurrió de NE a SO.

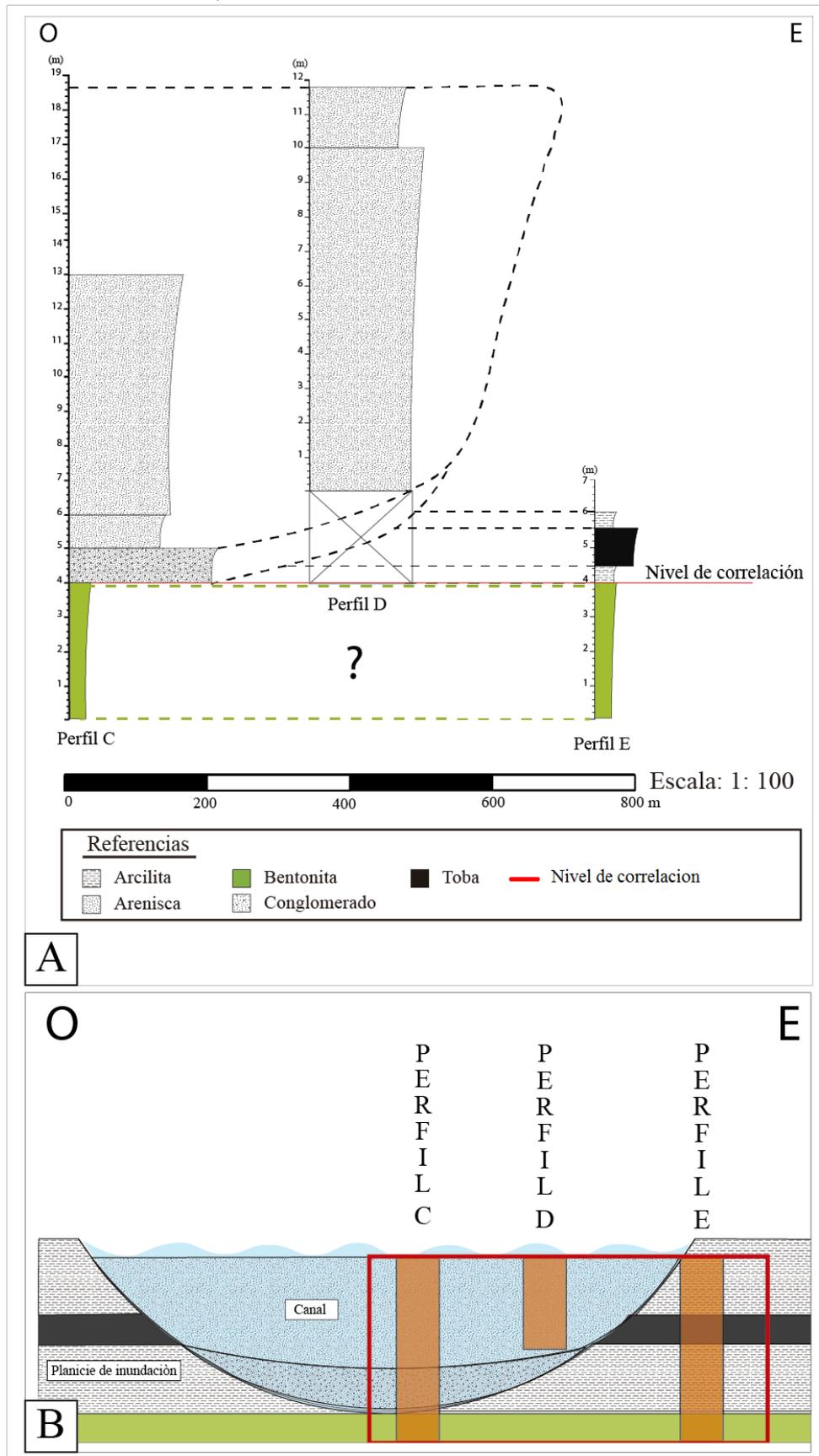


Figura 28. A: Correlación esquemática de E-O (nivelado al techo de bentonita, línea roja) del área centro-oeste de la cubeta. Los perfiles C-D y E corresponden a la mina Carmela. B: Interpretación paleoambiental de la correlación realizada entre los perfiles C, D y E. Estos pertenecen a distintos sectores propios de un sistema canalizado fluvial.

4.2.2. Correlación G-B

El corte esquemático (Fig. 29) corresponde al área norte en estudio y el mismo comprende los perfiles G y B que fueron correlacionados en una dirección E-O (ver Fig. 27). La distancia entre ambos perfiles es de 3 km, los que fueron nivelados al techo de la capa de bentonita (línea roja, nivel de correlación). El tramo inferior de ambos perfiles muestra bancos bentoníticos que pueden correlacionarse lateralmente, intercalados con depósitos de cenizas (tufitas) dentro de la planicie de inundación de un sistema fluvial. La misma es interrumpida localmente por pequeños cuerpos canalizados de poco espesor y ancho, que quedarían reflejados en los niveles arenosos intercalados. Por encima del nivel bentonítico, existen bancos arenosos y conglomerádicos con intercalaciones pelíticas que corresponderían a planicies de inundación interrumpidas por canales fluviales; producto de esto es la intercalación reiterativa de bancos arenosos en la secuencia pelítica del perfil B.

Lamentablemente no hay gran exposición por encima del nivel bentonítico en el perfil G, pero los pocos bancos arenosos y conglomerádicos allí observados resultan congruentes con el esquema descripto.

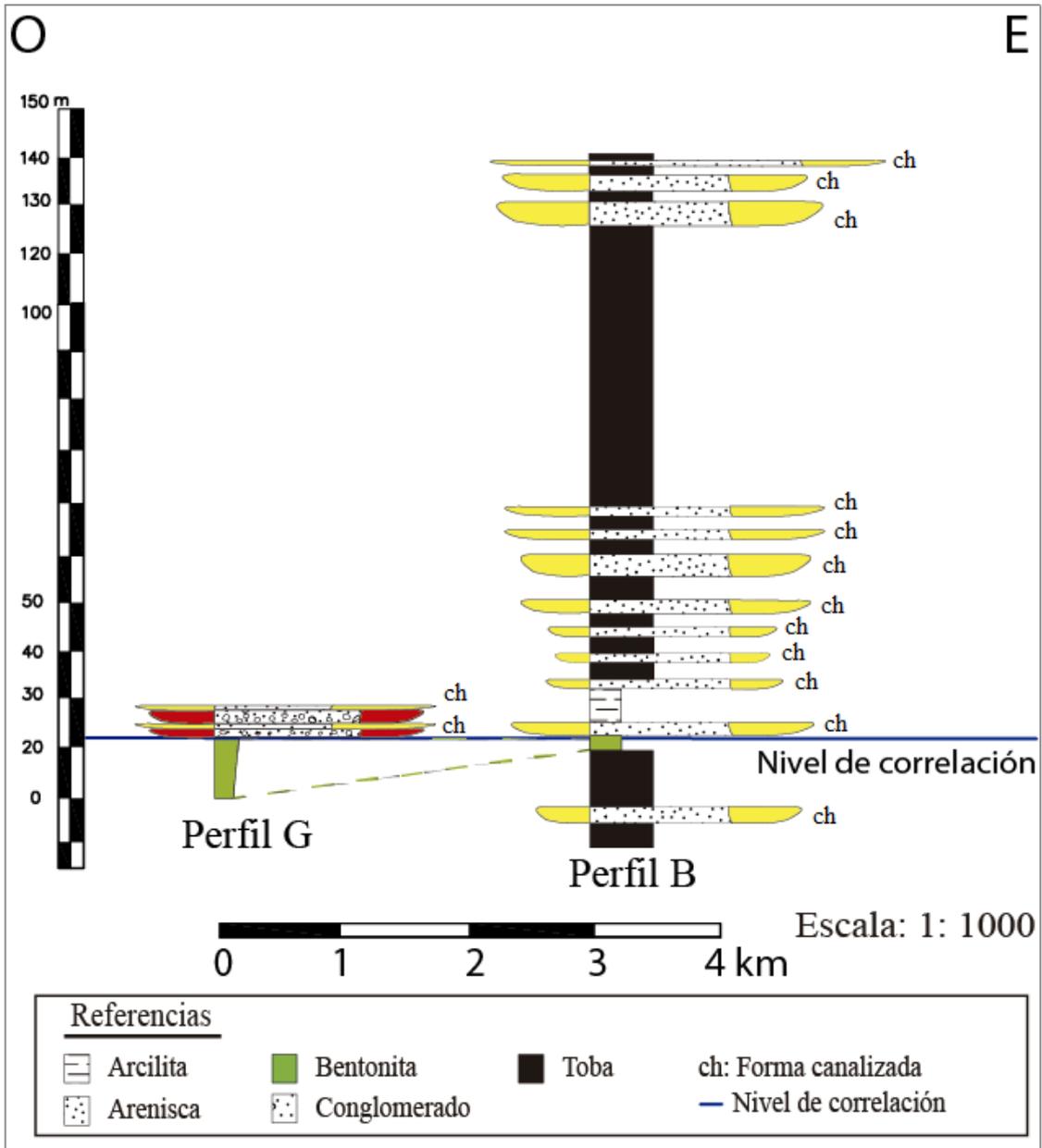


Figura 29. Correlación esquemática E-O del área norte. El nivel de bentonita del perfil G corresponde a la mina Olascoaga y el nivel de bentonita del perfil B a la mina Cerro Bandera.

4.3. Descripción geológica de los yacimientos de bentonita

4.3.1. Yacimiento Mama

El yacimiento Mama se ubica a 1,21 km al oeste de la ruta provincial N° 34 y a 2,83 km al noreste de la Meseta de la Barda Negra. La superficie de la cantera es de 180251,90 m². La cantera es a cielo abierto y gran parte de la misma tiene afloramientos expuestos en superficie producto de la actividad minera, también se reconocieron acopios trapezoidales los cuales están posicionados ordenadamente según la empresa Minera Cholino. Los niveles bentoníticos presentan un color gris verdoso con espesores que varían de 3 a 15 m. Se reconocieron intercalaciones de lentes de areniscas y material tobáceo blanquecino de grano fino con ramificaciones de azufre. También se identificaron niveles con troncos silicificados y óxidos de hierro que indicarían niveles de meteorización actual (Fig. 34).

4.3.2. Yacimiento El Trono del Rey Salomón

El yacimiento El Trono del Rey Salomón (Fig. 30) se encuentra ubicado a 0,32 km al oeste de la ruta provincial N° 34 y a 3,40 km al noreste de la Meseta de la Barda Negra. La superficie del yacimiento es de 179449,63 m². Es una explotación de bentonita a cielo abierto, una parte de sus depósitos no están expuestos en superficie. Los espesores de los afloramientos no superan los 1 a 3 m. La bentonita presenta un color gris amarillento, intercalan niveles de arcilitas rojas y tobas blanquecinas. El frente de explotación culmina con una cubierta sedimentaria estéril de poco espesor (Fig. 34).



Figura 30. Frente de cantera del Yacimiento El Trono del rey Salomón. Vista al suroeste.

4.3.3. Yacimiento Martin Fierro

El yacimiento Martin Fierro (Fig. 31) se encuentra ubicado a 0,45 km al oeste de la ruta provincial N° 34 y a 3,45 km al noreste de la Meseta de la Barda Negra. La superficie del yacimiento es de 294322,10 m². Es una mina a cielo abierto, con aproximadamente 15 m de espesor y actualmente es explotada por la empresa Minera Cholino (ver Fig. 34).



Figura 31. Frente de cantera del Yac. Martin Fierro. Vista al oeste.

4.3.4. Yacimiento Mina Pati I

El yacimiento Mina Pati I se ubica a 1,25 km al oeste de la ruta provincial N° 34 y a 3,51 km al noreste de la Meseta de la Barda Negra. La superficie total del yacimiento es de 179497,45 m², se divide en dos sectores: Pati I Sur y Pati I Norte, y de ambos se extrajeron muestras. Pati I Sur y Norte no presentan frentes expuestos en superficie, solo se observaron montículos aislados que sirvieron para el mapeo geológico de área. El espesor no supera 1 m, la bentonita es de color gris amarillento con intercalaciones de niveles tobáceos de color blanquecino (Fig. 34).

4.3.5. Yacimiento Reuque

El yacimiento Reuque (Fig. 32) se ubica a 4,08 km al noreste de la Meseta de la Barda Negra y a 0,68 km de la ruta provincial N° 34, con una superficie de 356129,74 m², siendo el más grande de todos los yacimientos terciarios del departamento Zapala, por lo cual se realizó la extracción de dos muestras. Los frentes de explotación son de escaso espesor, con numerosos y antiguos destapes. El color del material es naranja muy pálido con espesores de 4 a 7 m, intercalan tobas y arcilitas rojas (Fig. 34).



Figura 32. Frente de cantera de la Mina Reuque. Vista al norte.

4.3.6. Yacimiento 20 de Febrero

El yacimiento 20 de Febrero se ubica en el área central de cubeta a 0.65 km al oeste de la ruta provincial N° 34 y a 4,55 km al noreste de la Meseta de la Barda Negra.

La superficie de la cantera es de 180087,31 m². El yacimiento presenta escasos depósitos expuestos en superficie, de color gris amarillento y un espesor que varía de 3 a 7 m, intercalan bancos tobáceos (Fig. 34).

4.3.7. Yacimiento Mina 7 de Mayo

El yacimiento Mina 7 de Mayo (Fig. 33) se ubica en el área central de la cubeta, distante 0,51 km al oeste de la ruta provincial N° 34 y 5,46 km al noreste de la Meseta de la Barda Negra. La superficie de la cantera es de 266562,80 m². Estructuralmente, se dispone en un suave homoclinal de rumbo este-oeste que inclina 5° al sur, con orientación NE-SW, condicionada por un paleorelieve previo. El frente de explotación presenta más de 15 m, de color gris verdoso que varía con el grado de meteorización y la presencia de óxido de hierro que tiñen el material, las intercalaciones de venillas de yeso son escasas y de poca longitud, en sectores se presentan areniscas amarillentas friables y arcilitas rojas (Fig. 34).



Figura 33. Frente de cantera de la mina de Mayo. Vista al oeste.

4.3.8. Yacimiento Cerro Bandera

Este yacimiento se ubica al nornoreste del Cerro Bandera (ver Fig. 35) a 3,02 km al norte de la ruta nacional N° 22 y a 3,24 km del Cerro Bandera. La superficie del yacimiento es de 179709,79 m². Los depósitos de bentonita son de color verde oliva, con espesores de aproximadamente 4 m e intercalan niveles arenosos con toba blanquecinas.

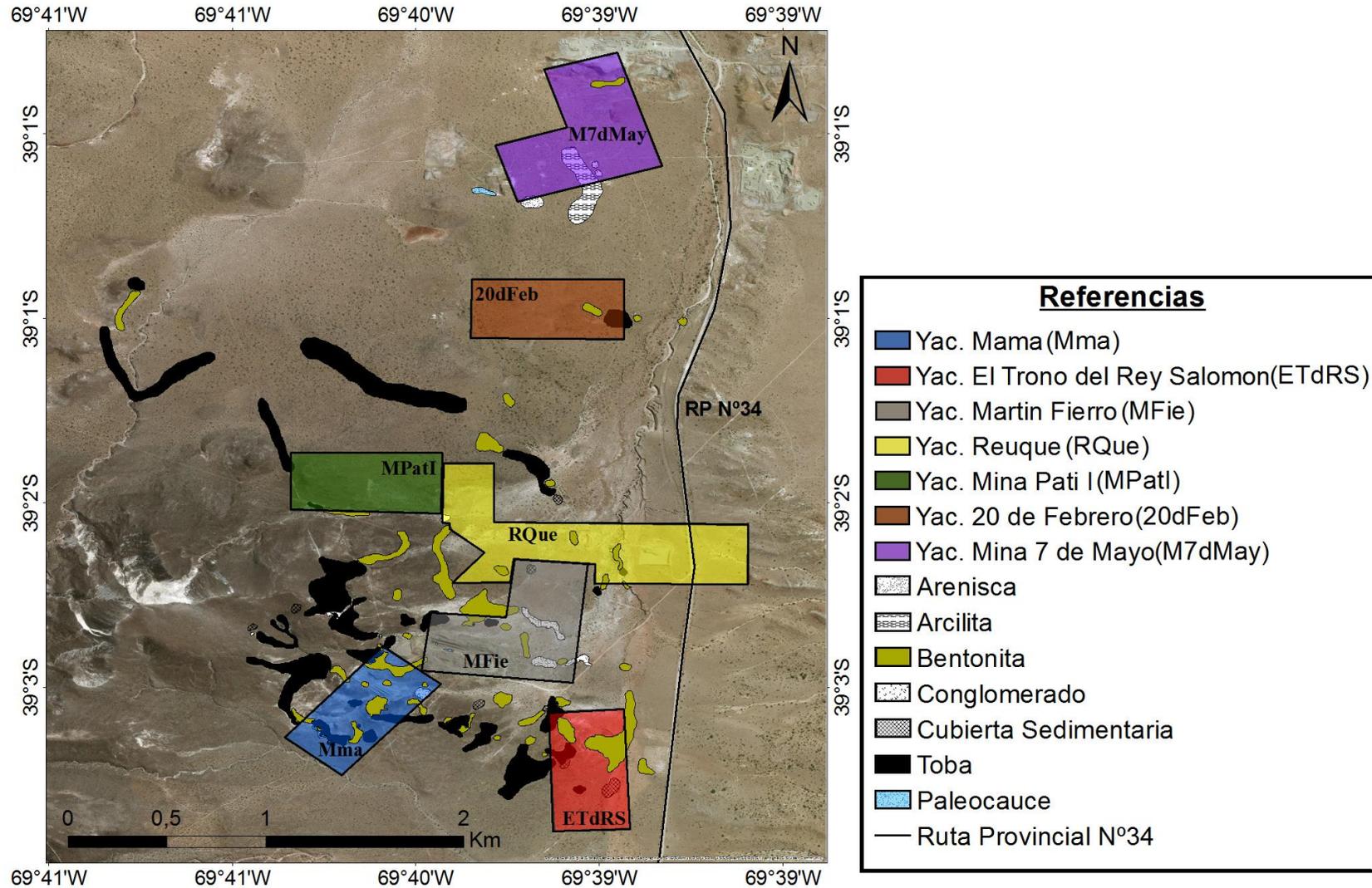


Figura 34. Imagen satelital extraída de Google Earth del área sur de la cubeta, se representan los afloramientos expuestos en superficie y 7 de los yacimientos estudiados.

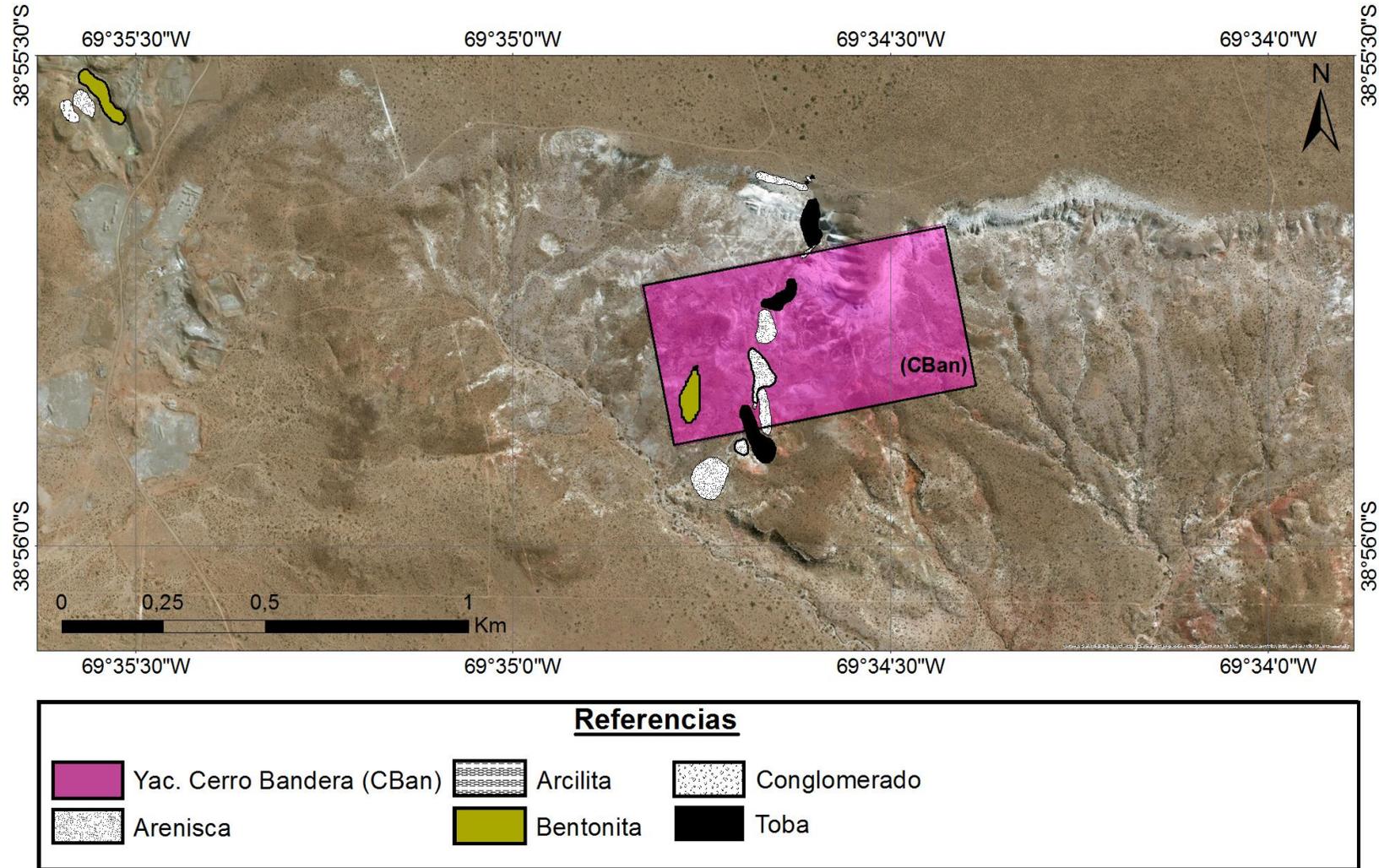


Figura 35. Imagen satelital extraída de Google Earth del área norte de la cubeta, donde se representan los afloramientos expuestos en superficie y el yacimiento Cerro Bandera.

4.4. Yacimiento Mama (352)

La muestra de bentonita presenta un color gris verdoso (5GY 6/1) y un elevado grado de compactación. La estructura es maciza, se observaron fracturas cóncavas a angulosas. Al tacto, no se advierte la presencia de fragmentos líticos ni restos de granos de un tamaño mayor al de arcilla. La granulometría es, en general, predominantemente arcilla (94%) y en menor medida limo (6%) y arena (1%).

4.4.1. Lupa binocular

En la observación con lupa binocular se describe una fracción que representa los minerales acompañantes (mayores a 74 μm), identificando minerales de: cuarzo, en cristales translúcidos, redondeados y de brillo vítreo. También se reconoció cristobalita en forma de agregados, incoloro, translúcido y en general con brillo vítreo, en algunos casos presenta brillo graso. Como accesorio se reconocieron fragmentos de vidrio volcánico, con un color verde pálido a incoloro, presentando bordes subangulosos, como también se hallaron líticos de color marrón claro con bordes redondeados y magnetita con brillo metálico. Las micas presentan exfoliación perfecta, hábito laminar, y brillo sedoso, sus caras son ásperas por las estriaciones horizontales y están parcialmente desferrizadas (Fig. 36)



Figura 36. Mica, donde se observa la exfoliación perfecta (escala 500 μm). Foto de mineral aislado

4.4.2. Difracción de rayos X

4.4.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

Los análisis de difracción de rayos X sobre la muestra total, permitieron identificar como elementos mayoritarios a los minerales arcillosos más mica (94%), con reflexiones de alta intensidad en un rango de 14.430 \AA a 14.370 \AA (001) y 4.471 \AA (020). La cristobalita (5%) se reconoce por las típicas reflexiones en de 4.052 \AA y 3.517 \AA . Los picos en 4.258 \AA y 3.348 \AA corresponden al cuarzo (1%), como trazas <1 % se presenta el feldespato de tipo potásico (ver Fig. 37).

4.4.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 μm)

La difracción (001) en la muestra seca al aire (AD) es de 12,690 \AA , la misma expande a 16,740 \AA sobre la muestra glicolada (EG), esta última reflexión es simétrica y aguda. Las reflexiones sucesivas (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional; la reflexión (002) de la muestra seca al aire es de 7,202 \AA y pasa a 8,426 \AA en la muestra EG. Estas reflexiones indican que el mineral arcilloso es una esmectita de la serie montmorillonita-beidellita. El valor del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,86 con un $d=16.740 \text{\AA}$ (ver Fig. 37).

4.4.3. Análisis químico

Los elementos químicos mayoritarios que componen estas bentonitas se presentan en la tabla N° 4 y 5. La sílice señala valores bajos (49,090 %), muy por debajo del valor promedio de 56,914 %, correspondientes a los 7 yacimientos estudiados. El

valor de Fe_2O_3 se halla por encima del valor promedio, mientras que el Al_2O_3 y la pérdida por calcinación (PPC_3) se encuentran muy por arriba del promedio general. Los valores de MgO y K_2O son bajos, sin embargo el CaO y Na_2O se disponen muy por debajo en relación a los demás.

4.4.4. Usos en perforación

Según la Norma API STD 13A, cumple con los parámetros de viscosidad plástica (V_p), punto de fluencia (P_f), relación P_f/V_p y la humedad, pero no cumple con el filtrado (ver tabla N° 7).

4.4.5. Usos en fundición

De acuerdo a la Normas CEMP – ABIFA los valores de pH, impurezas y azul de metileno en estas muestras cumplen con los valores especificados. El parámetro de hinchamiento se ubica muy por debajo del valor normal (ver tabla N° 8)

4.4.6. Uso en cerámica

La humedad, CIC e impureza en esta bentonita cumple con las especificaciones de las Normas INTI – SEGEMAR, mientras que el hinchamiento y el pH no cumplen con los requisitos (ver tabla N° 9).

4.4.7. Uso en captita de micotoxinas

Según la Norma CEMP –ABIFA los valores de humedad y azul de metileno cumplen con la normativa correspondiente. El hinchamiento está muy por debajo del valor exigido (ver tabla N° 10).

4.4.8. Uso en electroben

Los parámetros de humedad y azul de metileno requeridos por la Norma API STD 13A cumplen con las especificaciones requeridas. El valor de hinchamiento está muy por debajo de dicha norma (ver tabla N° 11).

4.4.9. Uso en alimentos balanceados para animales

Siguiendo la Norma CEMP - ABIFA, estas bentonitas cumplen con los parámetros de humedad y azul de metileno, no es así con el hinchamiento que se encuentra muy por debajo del valor nominal (ver tabla N° 12).

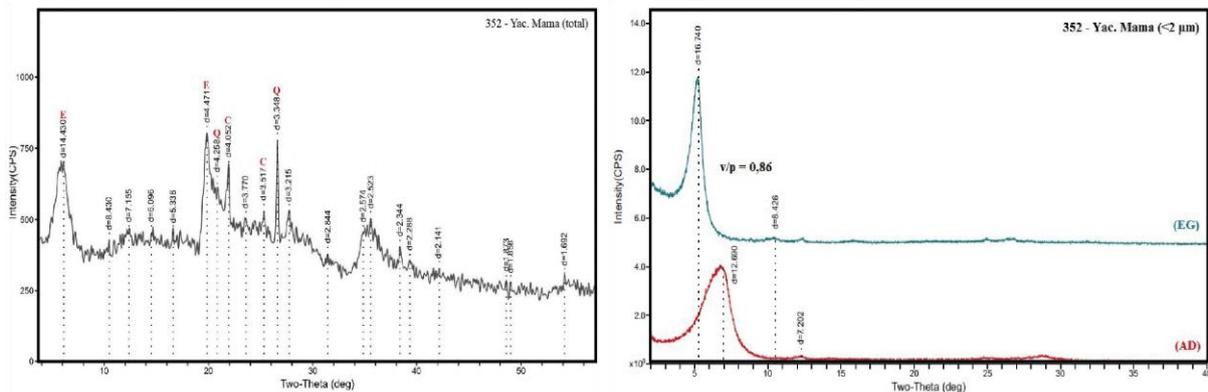


Figura 37. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. Q: Cuarzo. C: Cristobalita. E: Esmectita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento Mama.

4.5. Yacimiento El Trono del Rey Salomón (504)

La muestra es de color gris amarillento (5Y 8/1), presenta un moderado grado de compactación. Se identificaron fracturas irregulares y microfisuras que se encuentran rellenas con calcita. Al tacto, no se advierte la presencia de fragmentos líticos ni restos de granos de un tamaño mayor al de arcilla. La granulometría promedio da como resultado un 66% de arcilla, 33,23% de limo y 0,77% de arena.

4.5.1. Lupa binocular

La muestra está conformada por minerales acompañantes mayores a 74 μm , siendo estos: cristobalita (Fig. 38), se presenta en forma de cristales masivos y esféricos que van de redondeados a subredondeados, el color varía de blanco a marrón ocre claro. El cuarzo se presenta incoloro, traslúcido, límpido y con brillo vítreo, sus bordes van de subredondeados a subangulosos. El feldespato potásico es de color rosado, con brillo vítreo, opaco y con bordes subangulosos. Como accesorios se reconocieron magnetita de color negro con bordes subredondeados a subangulosos y brillo metálico, líticos de colores rosados y con alteración en sus bordes con formas que van de redondeado a subredondeado y fragmentos de vidrio volcánico con bordes subangulosos, brillo vítreo y fractura concoidea.



Figura 38. Mineral de cristobalita a una escala de 500 μm . Foto de mineral aislado

4.5.2. Difracción de rayos X

4.5.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

La identificación con análisis de difracción de rayos X total, señala como elementos mayoritarios a los minerales arcillosos más mica (66%), con altas intensidades relativas de reflexión que van en un rango de 12.300 \AA a 12.100 \AA (001) y en 4.489 \AA . La cristobalita (30%) fue reconocida por sus valores en 4.062 \AA a 1.689 \AA . El feldespato es del tipo potásico (2%) y presenta reflexiones en 3.969 \AA a 3.208 \AA . El cuarzo (1%) se reconoce por sus típicas reflexiones en 3.346 \AA y 4.260 \AA mientras que la ceolita (1%) es del tipo heulandita – clinoptilolita y tiene reflexiones en 8.946 \AA , 5.110 \AA y 2.968 \AA (ver fig. 39).

4.5.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 μm)

En la reflexión (001) en la muestra seca al aire (AD) arrojó un valor de 12,620 \AA y la misma expande a 16,950 \AA en la muestra expuesta a los vapores de etilenglicol (EG). Las reflexiones sucesivas (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional; la reflexión en (002) de la muestra seca al aire (AD) es de 6,176 \AA y pasa a 8,432 \AA (EG) en la muestra glicolada. Estas reflexiones indican que el mineral arcilloso es una esmectita perteneciente a la serie montmorillonita-beidellita. El valor del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,85 con un $d=16.95 \text{\AA}$ (ver fig. 39).

4.5.3. Análisis químico

Los elementos químicos mayoritarios de las muestras en estudio se expresan en la tabla N° 4 y 5. El valor de la sílice (62,720 %) se encuentra por encima del valor promedio 56,914 % en relación a los yacimientos estudiados. Los resultados de Fe_2O_3 y CaO se disponen por debajo del promedio general, en tanto que la pérdida por calcinación (PPC_3) y el Al_2O_3 se hallan muy por debajo del valor promedio. El MgO , Na_2O y K_2O se ubican por encima del valor promedio.

4.5.4. Usos en perforación

Los parámetros de viscosidad plástica (Vp), punto de fluencia (Pf), relación Pf/Vp y la humedad cumplen con la Norma API STD 13A, pero no así el filtrado (ver tabla N° 7).

4.5.5. Uso en fundición

Según las normas CEMP – ABIFA los valores de pH e impurezas cumplen con los resultados estándares de dicha norma, mientras que el dato de hinchamiento y azul de metileno se encuentran muy por debajo del valor normativo (ver tabla N° 8).

4.5.6. Uso en cerámica

Siguiendo las normas INTI-SEGEMAR los valores de humedad, hinchamiento e impurezas cumplen con los requerimientos, mientras que el valor de la CIC se encuentra muy por debajo del valor estándar, con un pH cercano a la norma establecida (ver tabla N° 9).

4.5.7. Uso en captita de micotoxinas

La Norma CEMP –ABIFA cumple para la humedad, mientras que para el hinchamiento y azul de metileno están fuera del valor establecido por la norma (ver tabla N° 10).

4.5.8. Uso en electroben

El valor de humedad requerido por la Norma API STD 13A cumple con las especificaciones requeridas, mientras que el parámetro de hinchamiento y azul de metileno se alejan del valor nominal (ver tabla N° 11).

4.5.9. Uso en alimentos balanceados para animales

La humedad cumple con los valores estandarizados por la Norma CEMP - ABIFA, en tanto que el hinchamiento y el azul de metileno no cumplen con las especificaciones requeridas (ver tabla N° 12).

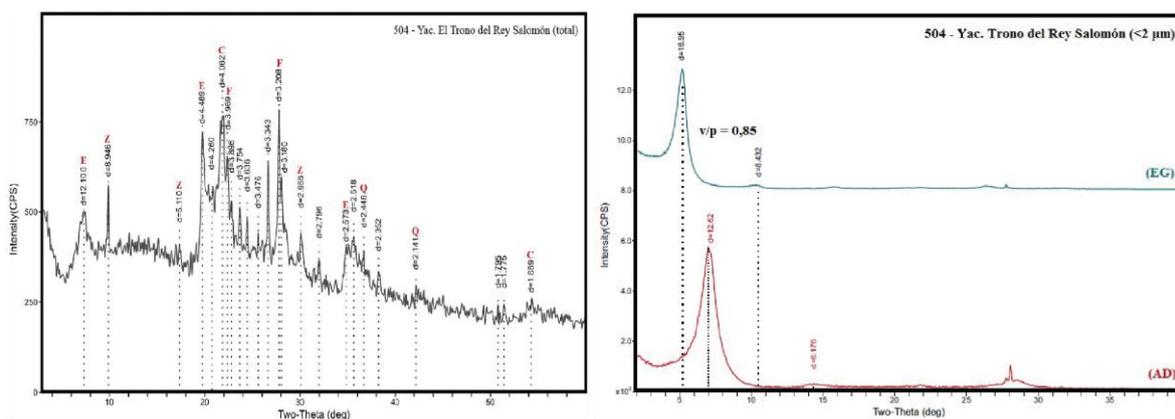


Figura 39. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldspato potásico. E: Esmeclita. Z: Ceolita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento El Trono del Rey Salomón.

4.6. Yacimiento Mina Pati I

4.6.1. Muestra extraída en el sector sur (072)

La muestra presenta un color gris amarillento (5Y 7/2) y un moderado grado de compactación, la fractura que predomina es terrosa. Al tacto, no se advierte la presencia de fragmentos líticos ni restos de granos de un tamaño mayor al de arcilla. La granulometría promedio da como resultado un 94% de arcilla, 5,604% de limo y 0,396% de arena.

4.6.1.1. Lupa binocular

Los minerales acompañantes que se identificaron corresponden a: feldespato potásico con un color rosado, brillo vítreo a nacarado, opaco, con bordes que van de subanguloso a subredondeado. La cristobalita es blanquecina, con brillo vítreo, sus bordes exhiben una forma subredondeada. La forma del cuarzo va de subanguloso a subredondeado, también presenta un aspecto transparente, translúcido, límpido con brillo vítreo, se reconoció una variedad de cuarzo en forma de prismas hexagonales, como también algunas variedades de cuarzo de color amarillo (Fig. 40). El yeso se encuentra con un hábito fibroso, traslúcido, incoloro y con bordes subangulosos. Como accesorios aparece la magnetita, algunos líticos de colores rojos y anaranjados, mica y vidrio volcánico con bordes subangulosos.



Figura 40. Imagen de lupa binocular de cuarzo, cristobalita, feldespato, yeso y magnetita (escala 100 μm).
Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldespato potásico. Y: Yeso. M: Magnetita.

4.6.1.2. Difracción de rayos X

4.6.1.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

Se identificó un elevado porcentaje de minerales arcillosos más mica (94%) como elementos mayoritarios, donde se reconocieron altas intensidades relativas que van en un rango de 13.620 \AA a 13.380 \AA (001) y 4.494 \AA (020). También se reconoció feldespato del tipo potásico (2%) con las siguientes reflexiones típicas: 3.763 \AA y 3.213 \AA . La cristobalita (2%) con reflexiones en 4.055 y 3.142 \AA . El cuarzo (1%) con su característica reflexión en 3.348 \AA . El yeso (1%) arrojó los siguientes picos característicos, ordenados de acuerdo a sus intensidades relativas: 7.662 \AA y 3.068 \AA (ver Fig. 41).

4.6.1.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 μm)

En (001) la difracción de la muestra seca al aire (AD) es de 12,880 \AA y expande a 16,890 \AA . Las reflexiones sucesivas (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional. Estas reflexiones indican que el mineral arcilloso es una esmectita que pertenece a la serie montmorillonita-beidellita. El valor que se obtuvo del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,86 con un $d=16.890 \text{\AA}$ (ver Fig. 41).

4.6.1.3. Análisis químico

En la tabla N°4 y 5 se representan los elementos mayoritarios de las muestras estudiadas en los yacimientos analizados. La sílice (50,248%) se encuentra por debajo del valor promedio (56,914%), al igual que el valor de Al_2O_3 , mientras tanto el valor de MgO y Na_2O se hallan muy por debajo del promedio. Para el CaO y el Fe_2O_3 en relación a los yacimientos estudiados muestran los valores más elevados.

4.6.1.4. Usos en perforación

La viscosidad plástica (V_p), punto de fluencia (P_f), relación P_f/V_p y la humedad cumplen con la Norma API STD 13A, mientras que el valor de filtrado se encuentra fuera de rango, es decir, no se pudo determinar la lectura de medición del instrumento (ver tabla N° 7).

4.6.1.5. Uso en fundición

El valor de pH e impureza cumplen con la Norma CEMP – ABIFA. El parámetro de hinchamiento se aleja del valor nominal, mientras que el azul de metileno no cumple pero se aproxima al valor requerido (ver tabla N° 8).

4.6.1.6. Uso en cerámica

Según las Normas INTI - SEGEMAR el parámetro de humedad, hinchamiento e impurezas cumplen con los requerimientos. La CIC y el pH no cumplen con las especificaciones pero sus valores se aproximan al valor estándar (ver tabla N° 9).

4.6.1.7. Uso en captita de micotoxinas

El valor de humedad cumple con la Norma CEMP - ABIFA, mientras que el parámetro de hinchamiento se aleja del valor estándar y el azul de metileno no cumple pero se aproxima al valor nominal (ver tabla N° 10).

4.6.1.8. Uso en electroben

Según la Norma API STD 13A la humedad cumple con dichas especificaciones, no es así para el hinchamiento que se encuentra muy por debajo del valor estándar y el azul de metileno se aproxima a lo requerido por dicha norma (ver tabla N° 11).

4.6.1.9. Uso en alimentos balanceados para animales

Según la Norma CEMP - ABIFA la humedad cumple con los requisitos, mientras que el hinchamiento se encuentra muy por debajo del valor estándar y el azul de metileno se aproxima al valor nominal (ver tabla N° 12).

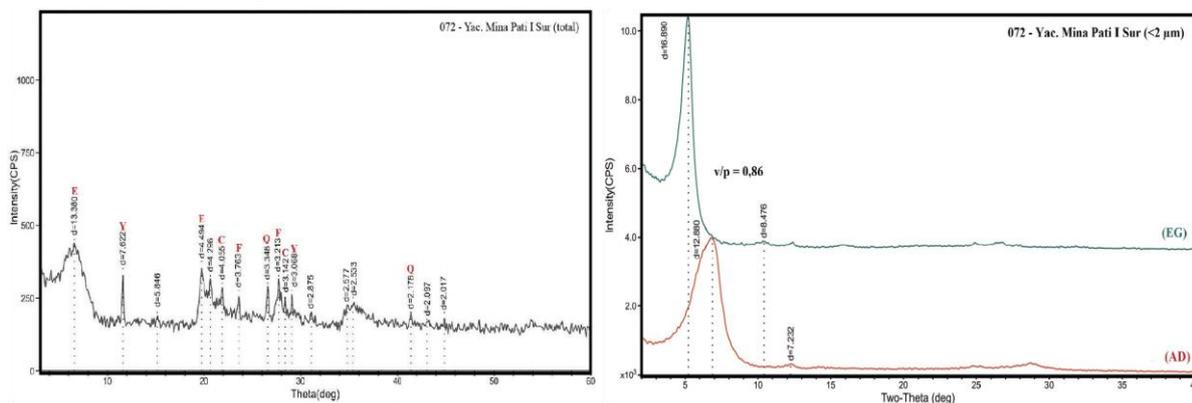


Figura 41. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldspato potásico. Y: Yeso. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento Mina Pati I Sur.

4.6.2. Muestra extraída en el sector norte (076)

La bentonita es de color gris amarillento (5Y 7/2), donde se identificó una fractura terrosa y un moderado grado de compactación. Al tacto, no se advierte la presencia de fragmentos líticos ni restos de granos de un tamaño mayor al de arcilla. La

granulometría promedio da como resultado un 82% de arcilla, 17,57% de limo y 0,425% de arena.

4.6.2.1. Lupa binocular

En la observación con la lupa binocular se describe una fracción que representa los minerales acompañantes (mayores a 74 μm), identificando minerales de: cristobalita con una coloración blanquecina, se dispone como agregados esféricos masivos, en sus bordes tiene forma subredondeada a redondeada con brillo vítreo. El feldespato potásico tiene bordes subangulosos, con brillo vítreo y un color rosado. El cuarzo tiene un aspecto transparente, translúcido, límpido y con un brillo vítreo, fractura concoidea y bordes subangulosos. El yeso presenta una exfoliación perfecta con fractura fibrosa, de color blanco a incoloro, el brillo es vítreo, de transparente a translúcido, límpido y con alteración en los bordes. Como accesorios se encontraron fragmentos de vidrio volcánico con bordes subangulosos, también se halló magnetita (Fig. 42) y líticos de colores rojizos a anaranjados.



Figura 42. Mineral de magnetita visto en la lupa binocular (en círculo se ubica dicho mineral). Escala 500 μm .

4.6.2.2. Difracción de rayos X

4.6.2.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

La muestra presenta como elementos mayoritarios a minerales arcillosos más mica (82%), identificados por la presencia de picos que van en un rango de 12,000 \AA a 11.180 \AA (001) y de 4.485 \AA (020). La cristobalita (16%) presenta reflexiones típicas en 4.044 \AA y 3.531 \AA . El feldespato potásico (1%) se reconoce por las reflexiones en 4.103 \AA y 3.206 \AA , mientras que el yeso (1%) tiene reflexiones en 7.591 \AA y 3.062 \AA . Como minerales trazas (<1%) se identificaron al cuarzo y la ceolita (ver Fig. 43).

4.6.2.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 μm)

La difracción en (001) para la muestra seca al aire (AD) es de 12,430 \AA , donde la misma pasa a 16,870 \AA sobre la muestra EG. Las reflexiones sucesivas (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional. Estas reflexiones indican que el mineral arcilloso es una esmectita el cual forma parte de la serie montmorillonita-beidellita. El valor del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,87 con un $d=16.870 \text{\AA}$ (ver Fig. 43).

4.6.2.3. Análisis químico

Los resultados que se obtuvieron de los elementos mayoritarios que componen a las bentonitas en estudio se indican en la tabla N° 4 y 5. La sílice (55,752%) se encuentra por debajo del valor promedio 56,914%, como así también los óxidos: Al_2O_3 , MgO , K_2O y pérdida por calcinación (PPC_3). El Fe_2O_3 , CaO y Na_2O se encuentran por encima del valor promedio.

4.6.2.4. Usos en perforación

La viscosidad plástica (Vp), el punto de fluencia (Pf), la relación Pf/Vp y la humedad cumplen con la Norma API STD 13A, mientras que el filtrado se encuentra fuera de rango (ver tabla N° 7).

4.6.2.5. Uso en fundición

Según las Normas CEMP - ABIFA los parámetros de pH e impurezas cumplen con los valores requeridos, no así para el hinchamiento y el azul de metileno que se alejan del valor normal (ver tabla N° 8).

4.6.2.6. Uso en cerámica

Las normas que se utilizaron son INTI - SEGEMAR. Los parámetros de humedad e impurezas están dentro del rango permitido, el hinchamiento y el pH se aproximan al valor estándar. En cuanto a la CIC se aleja del valor nominal (ver tabla N° 9).

4.6.2.7. Uso en captita de micotoxinas

La humedad cumple con las Norma CEMP - ABIFA, mientras que el hinchamiento y el azul de metileno se alejan del valor establecido por la norma (ver tabla N° 10).

4.6.2.8. Uso en electroben

Según la Norma API STD 13A el valor de humedad cumple con las especificaciones requeridas por la norma, mientras que el hinchamiento y el azul de metileno se alejan del valor nominal (ver tabla N° 11).

4.6.2.9. Uso en alimentos balanceados para animales

Según la Norma CEMP - ABIFA cumple con los requerimientos para la humedad, pero se aleja muy por debajo del valor normal para el hinchamiento y del azul de metileno (ver tabla N° 12).

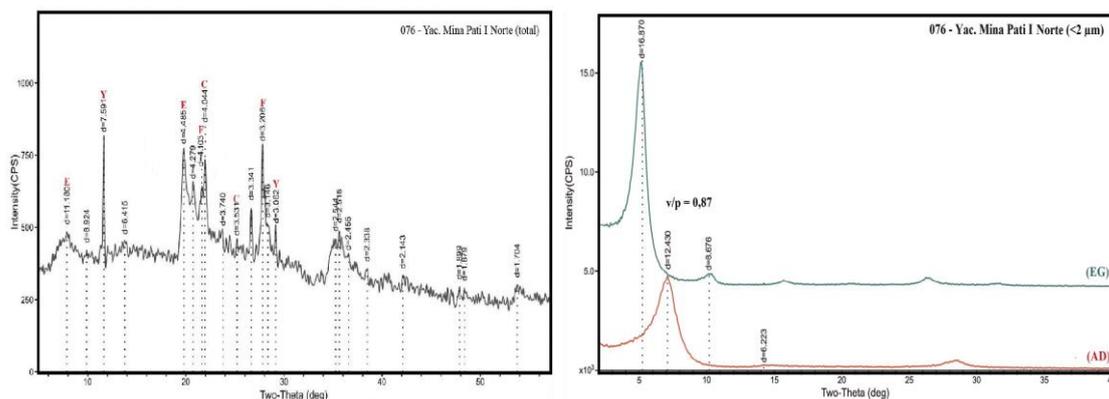


Figura 43. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. C: Cristobalita. F: Feldespato potásico. Y: Yeso. E: Esmectita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento Mina Pati I Norte

4.7. Yacimiento Reuque

4.7.1. Muestra extraída en el sector norte (029)

La muestra de bentonita es de color naranja muy pálido (10YR 8/2). Se identificaron microfracturas rellenas con calcita, también se reconocieron fracturas irregulares en la muestra. El grado de compactación es de bajo a moderado. La granulometría es, en general, predominantemente arcilla (71%) y en menor medida limo (28,24%) y arena (0,753%).

4.7.1.1. Lupa binocular

Se identificaron minerales acompañantes mayores a 74 μm, siendo estos: la cristobalita y se presenta como agregados esféricos masivos de forma redondeada a subredondeada, con colores blanquecinos y rosados tenues. El feldespato potásico es de color rosado, brillo vítreo y de bordes subangulosos. El yeso (Fig. 44) se presenta con un hábito fibroso, incoloro, de transparente a translúcido y un brillo vítreo. El cuarzo es

incolores, subredondeados, translúcidos y límpidos, con brillo vítreo y fractura concoidea. La ceolita presenta un brillo vítreo, es incolora y va de transparente a translúcida. La calcita se presenta con un brillo vítreo a terroso y con color blanquecino. Hay magnetita y el vidrio volcánico (del tipo obsidiana).



Figura 44. Mineral de yeso a una escala de 500 μm .

4.7.1.2. Difracción de rayos X

4.7.1.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

Presenta principalmente como elementos mayoritarios a minerales arcillosos más mica (72%), con reflexiones de alta intensidad en un rango de 11.650 Å a 11.420 Å (001) y 4.494 Å (020). La cristobalita (17%) se reconoció por sus típicas reflexiones en 4.044 Å y 2.457 Å. El feldespato potásico (3%) presenta reflexiones en 3.751 Å y 3.210 Å, mientras que el mineral de yeso (3%) tiene sus intensidades relativas en 7.609 Å y 3.064 Å. También se reconocieron minerales de cuarzo (2%) con intensidades típicas en 4.259 Å y 3.343 Å y la ceolita (2%) es del tipo heulandita - clinoptilolita y tiene reflexiones de 8.928 Å y 2.949 Å. En bajas proporciones se identificó mineral de calcita (1%) con reflexiones que van en un rango de 3.861 Å a 3.033 Å (ver Fig. 45).

4.7.1.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 μm)

El valor de difracción en (001) para la muestra seca al aire (AD) es de 12,380 Å, la misma expande a 16,910 Å sobre la muestra glicolada (EG). Las reflexiones sucesivas en (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional. De acuerdo con las reflexiones obtenidas el mineral arcilloso es una esmectita perteneciente a la serie montmorillonita-beidellita. El valor del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,9 medidos sobre la muestra glicolada con un $d=16.910$ Å (ver Fig. 45).

4.7.1.3. Análisis químico

Los elementos químicos mayoritarios que componen estas bentonitas se presentan en la tabla N° 4 y 5. La sílice (59,159 %) se encuentra por encima del valor promedio de 56,914 %. Los valores de Fe_2O_3 y pérdida por calcinación (PPC_3) están por debajo del valor promedio, mientras que el valor Al_2O_3 nos indica que es la bentonita menos aluminica de todos los yacimientos. El valor del MgO y el Na_2O se igualan al promedio.

4.7.1.4. Usos en perforación

Los parámetros de viscosidad plástica (Vp), el punto de fluencia (Pf), la relación Pf/Vp y la humedad cumplen con la Norma API STD 13A y el filtrado se encuentra fuera de rango (ver tabla N° 7).

4.7.1.5. Uso en fundición

El valor de pH e impurezas se hallan dentro de los valores estandarizados por las Normas CEMP – ABIFA, mientras que el valor de hinchamiento y azul de metileno no cumplen las especificaciones y se encuentran muy por debajo del valor nominal (ver tabla N° 8).

4.7.1.6. Uso en cerámica

El parámetro de humedad, hinchamiento e impurezas cumplen con las Normas INTI - SEGEMAR. La CIC se aleja del valor nominal y el pH no cumple pero se aproxima al valor estándar (ver tabla N° 9).

4.7.1.7. Uso en captita de micotoxinas

Según las Normas CEMP – ABIFA la humedad cumple con dichas especificaciones. El hinchamiento y el azul de metileno no cumplen con los requerimientos especificados por las normas, ya que los valores se alejan del valor nominal (ver tabla N° 10).

4.7.1.8. Uso en electroben

El valor que se obtuvo de humedad cumple con la Norma API STD 13A, mientras que el hinchamiento y azul de metileno se alejan del valor requerido por dicha norma (ver tabla N° 11).

4.7.1.9. Uso en alimentos balanceados para animales

De acuerdo a la norma CEMP - ABIFA se cumple con los requisitos para la humedad, mientras el valor de hinchamiento y de azul de metileno no cumplen (ver tabla N° 12).

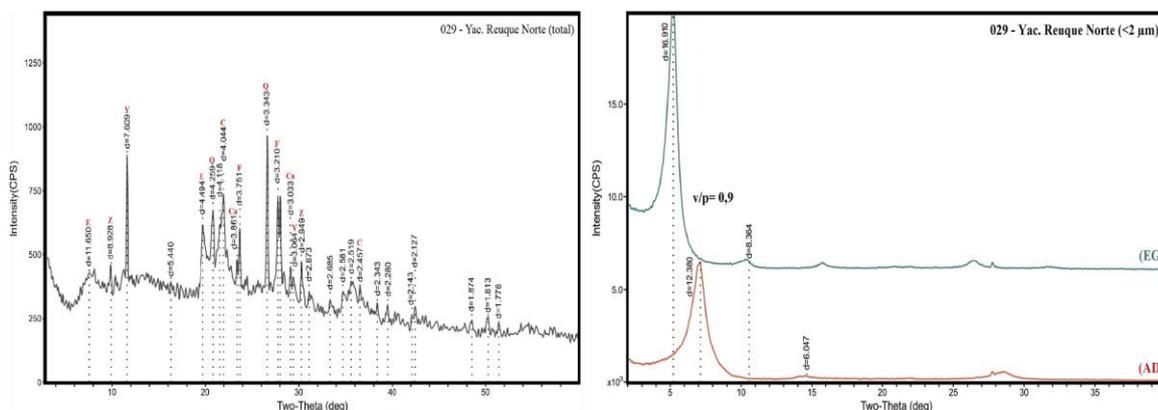


Figura 45. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldespato potásico. Y: Yeso. Ca: Calcita. E: Esmectita. Z: Ceolita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento Reuque Norte.

4.7.2. Muestra extraída en el sector sur (030)

La bentonita es de color naranja muy pálido (10YR 8/2). Se identificaron fracturas irregulares y microfracturas con escaso relleno de calcita. El grado de compactación es de bajo a moderado. La granulometría es, en general, predominantemente arcilla (68%) y en menor medida limo (31,27%) y arena (0,722%).

4.7.2.1. Lupa binocular

La muestra está conformada por una fracción que representa los minerales acompañantes mayores a 74 μm. La cristobalita (Fig. 46) es el mineral accesorio más abundante y se presenta como agregados esféricos de colores blancos, con brillo vítreo, incoloro a translúcido. El cuarzo se halla con su típica fractura concoidal, incoloro, translúcido, límpido con brillo vítreo, la forma va de subanguloso a subredondeado. El feldespato potásico tiene color rosado, con brillo vítreo, opaco y con bordes subangulosos. El vidrio volcánico (Fig. 47) tiene bordes que van de angulosos a subangulosos, de colores de azul a verdoso. Se identificó magnetita, con su brillo metálico. Se hallaron pequeños fragmentos líticos de colores rojizos, verdes, amarillos y marrones, con bordes redondeados a subredondeados.

4.7.2.2. Difracción de rayos X

4.7.2.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

Mediante la difracción de rayos X se reconocieron como elementos mayoritarios a minerales arcillosos más mica (68%), presentando elevadas intensidades de reflexiones en un rango de 12.440 Å (001) a 4.476 Å (020). La cristobalita (30%) presenta reflexiones típicas que van de 4.041 Å a 3.131 Å. En bajas proporciones se encuentra el cuarzo (1%) con reflexiones de 4.255 Å, 3.340 Å y 2.345 Å, mientras que el feldespato potásico (1%) se encuentra con intensidades relativas de reflexión en 3.747 Å y 3.206 Å. Como minerales traza (<1%) se identificaron: ceolita y calcita (ver Fig. 48).

4.7.2.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm)

Sobre la fracción arcillosa (<2 µm) se analizó la reflexión en (001) de la muestra seca al aire (AD) arrojando un valor de 12,550 Å, la misma expande a 16,950 Å sobre la muestra expuesta a los vapores de etilenglicol (EG). Las reflexiones sucesivas en (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional. La reflexión (002) de la muestra seca al aire es de 6,096 Å y la misma pasa a 8,437 Å en la muestra con etilenglicol. Estas reflexiones muestran que el mineral arcilloso es una esmectita perteneciente a la serie montmorillonita-beidellita. El valor del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,9 con un $d=16.950$ Å (ver Fig. 48).



Figura 46. Mineral de cristobalita a una escala de 500 µm.



Figura 47. Fragmento de vidrio volcánico (en círculo). (Escala de 500 µm).

4.7.2.3. Análisis químico

En la tabla N° 4 y 5 se representan los valores de los elementos químicos mayoritarios. El valor de la sílice (59,673%) se encuentra por encima del valor promedio de 56,914 %. La pérdida por calcinación (PPC₃), Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, Na₂O y K₂O se ubican por debajo del promedio.

4.7.2.4. Usos en perforación

Según la Norma API STD 13A los parámetros de punto de fluencia (Pf), la relación Pf/Vp y la humedad se cumplen, mientras que la viscosidad plástica (Vp) y el filtrado no cumplen con los requisitos especificados por la normativa (ver tabla N° 7).

4.7.2.5. Uso en fundición

De acuerdo con las Normas CEMP – ABIFA los valores de pH e impurezas si cumplen con los valores requeridos, el hinchamiento y el azul de metileno se hallan muy por debajo del valor nominal (ver tabla N° 8).

4.7.2.6. Uso en cerámica

Los valores de humedad, hinchamiento e impurezas cumplen con las Normas INTI - SEGEMAR, mientras que la CIC se aleja del valor estándar y el pH no cumple pero se aproxima al valor normal (ver tabla N° 9).

4.7.2.7. Uso en captita de micotoxinas

La Norma CEMP –ABIFA cumple con los requerimientos para la humedad, el valor de hinchamiento y azul de metileno no cumplen con los requisitos y a su vez se alejan del valor nominal (ver tabla N° 10).

4.7.2.8. Uso en electroben

El parámetro de humedad cumple con la Norma API STD 13A, mientras que el hinchamiento y el azul de metileno se alejan del valor normal requerido por dicha norma (ver tabla N° 11).

4.7.2.9. Uso en alimentos balanceados para animales

Según la Norma CEMP - ABIFA la humedad cumple con los requerimientos que exige tal normativa. El valor de hinchamiento y de azul de metileno se aleja del valor nominal (ver tabla N° 12).

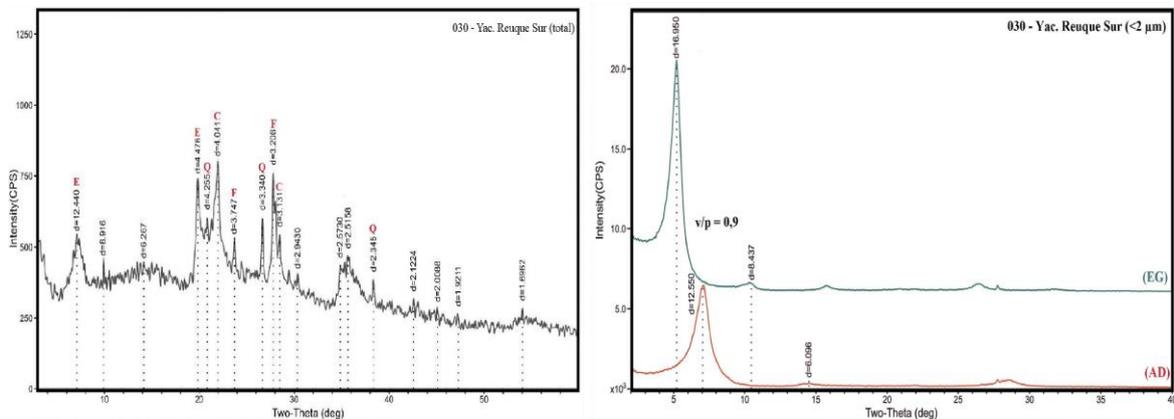


Figura 48. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldespato potásico. E: Esmerita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento Reuque Sur.

4.8. Yacimiento 20 de Febrero (092)

El color de la muestra es gris amarillento (5Y8/1). Se reconocieron fracturas irregulares y moderado grado de compactación. La granulometría promedio da como resultado un 77% de arcilla, 22,392% de limo y 0,608% de arena.

4.8.1. Lupa binocular

La observación con lupa binocular señala la presencia minerales acompañantes, tales como: cristobalita se presenta maciza con una forma redondeada a subredondeada, su color es blanco. El feldespato potásico va de subanguloso a subredondeado con alteración en los bordes de color rosado y brillo vítreo. El cuarzo es incoloro y también se hallaron algunos de colores blanquecinos y otros con impurezas, la forma va de

subanguloso a subredondeado, el brillo es vítreo a sedoso, va de translúcido a transparentes en algunos casos. El yeso es de color blanco y presenta un hábito fibroso con brillo vítreo. Se observan líticas de colores amarillos, verdes y rojizos (ver Fig. 49). El mineral accesorio es magnetita.

4.8.2. Difracción de rayos X

4.8.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

Mediante el uso de la difracción de rayos X se identificaron como mayoritarios a minerales arcillosos más mica (77%), con valores de intensidad relativa en un rango de 12.690 Å a 12.360 Å (001) y 4.485 Å (020). La cristobalita (12%) presenta reflexiones en 4.044 Å y 3.140 Å. El feldespato (9%) tiene intensidades de reflexión en 3.633 Å y 3.188 Å. El cuarzo (2%) con reflexiones típicas en 3.345 Å. Los minerales traza (<1%) que se reconocieron son el yeso y la calcita (ver Fig. 50).



Figura 49. Componentes líticos de variados colores a una escala de 500 µm.

4.8.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 µm)

La difracción (001) en la muestra seca al aire (AD) es de 12,370 Å, donde la misma expande a 16,980 Å sobre la muestra sometida a los vapores de etilenglicol (EG). Las reflexiones sucesivas (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional; la reflexión en (002) de la muestra seca al aire es de 6,172 Å y expande a 8,586 Å. Las intensidades relativas indican que el mineral arcilloso es una esmectita perteneciente a la serie montmorillonita-beidellita. El valor del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,97, medido en la muestra glicolada con un $d=16.980 \text{ \AA}$ (ver Fig.50).

4.8.3. Análisis químico

En la tabla N° 4 y 5 se representan los valores de los elementos químicos mayoritarios. La sílice (61,175%) se encuentra por encima del valor promedio 56,914 %. Los valores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y pérdida por calcinación (PPC₃) están por debajo del promedio. La tendencia sódica de esta bentonita la indica el elevado valor del Na_2O .

4.8.4. Usos en perforación

Los parámetros de punto de fluencia (Pf), la relación Pf/Vp y la humedad cumplen con la Norma API STD 13A, sin embargo la viscosidad plástica (Vp) y el filtrado no cumplen con dicha norma (ver tabla N° 7).

4.8.5. Uso en fundición

Según las Normas CEMP – ABIFA los parámetros de pH e impurezas cumplen con los requisitos de dicha normativa, mientras que el hinchamiento y el azul de metileno se alejan del valor nominal (ver tabla N° 8).

4.8.6. Uso en cerámica

De acuerdo a las Normas INTI – SEGEMAR la humedad e impurezas cumplen con la normativa correspondiente. En cuanto a los valores de hinchamiento, CIC y pH

no cumplen con dicha norma, sin embargo el valor de pH se aproxima al valor normal (ver tabla N° 9).

4.8.7. Uso en captita de micotoxinas

La humedad cumple con la Norma CEMP –ABIFA, los parámetros de hinchamiento y del azul de metileno se alejan del valor normal (ver tabla N° 10).

4.8.8. Uso en electroben

La Norma API STD 13A cumple con los valores de humedad, pero no así para el hinchamiento y el azul de metileno que se alejan del valor estándar de dicha norma (ver tabla N° 11).

4.8.9. Uso en alimentos balanceados para animales

El parámetro de humedad cumple con la Norma CEMP - ABIFA, mientras que el hinchamiento y el azul de metileno se alejan del valor normal (ver tabla N° 12).

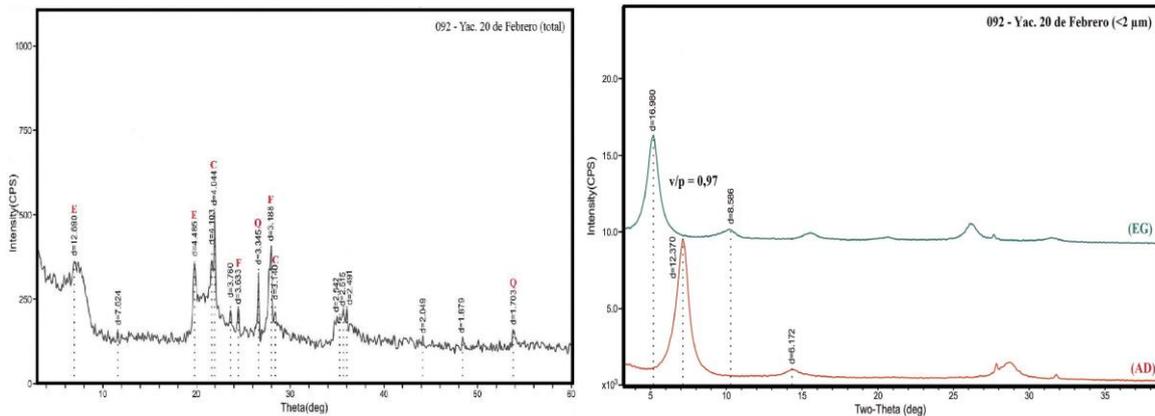


Figura 50. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldespato potásico. E: Esmectita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 µm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento 20 de Febrero.

4.9. Yacimiento Mina 7 de Mayo (100)

La muestra presenta un color gris amarillento (5Y8/1), fractura irregular y un moderado grado de compactación. La granulometría promedio da como resultado un 70% de arcilla, 28,236% de limo y 1,764% de arena.

4.9.1. Lupa binocular

Se observó con lupa binocular la presencia de elementos acompañantes mayores a 74 µm, tales como: feldespato potásico (ver Fig. 51) en alta proporción, de color rosado y se encuentra alterado. Presenta un brillo vítreo y sus bordes exhiben una forma subredondeada. La cristobalita se presenta masiva y va de subangulosa a subredondeada, de color blanco. El cuarzo se encuentra en forma subanguloso a subredondeado, con un brillo vítreo, translúcido a transparente, límpido, con su típica fractura concoidea, puede ser desde incoloro a blanquecino. El yeso es incoloro, translúcido a transparente con un hábito fibroso y bordes subangulosos a subredondeados. Como accesorios se encuentran la magnetita y líticas de colores verdes y rojizos.

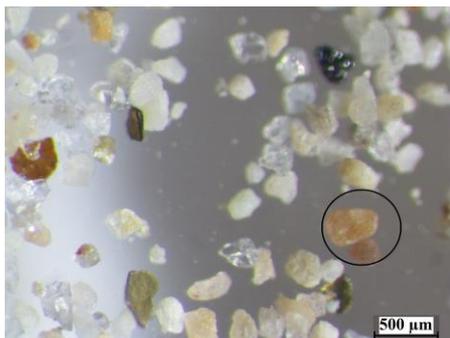


Figura 51. Feldespato (en círculo), asociado a cristobalita y cuarzo. Escala de 500 μm .

4.9.2. Difracción de rayos X

4.9.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

Se identificaron como mayoritarios a minerales arcillosos más mica (70%), con reflexiones de alta intensidad que van en un rango de 12.580 Å a 12.440 Å (001) y 4.494 Å (020). El feldespato es del tipo potásico (17%) y presenta intensidades relativas en 3.760 Å y 3.213 Å. La cristobalita (7%) se reconoce por la típica reflexión en 4.052 Å. El cuarzo (5%) tiene reflexiones en 4.263 Å, 3.348 Å y 1.819 Å. En bajas proporciones se encontró el mineral de calcita (1%) el mismo presenta intensidades de reflexión en 3.020 Å y 1.913 Å. El mineral traza (<1%) hallado corresponde al yeso (ver Fig. 52).

4.9.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 μm)

En (001) el valor de la difracción es de 12,580 Å sobre la muestra seca al aire (AD), la misma se expande a 17,060 Å sobre la muestra glicolada (EG). La reflexión en (002) de la muestra seca al aire es de 6,171 Å y pasa a 8,558 Å en la muestra glicolada. Las reflexiones relativas indican que el mineral arcilloso es una esmectita perteneciente a la serie montmorillonita-beidellita. El valor del índice de cristalinidad (v/p) es de 0,93 con un $d=17.060$ Å (ver Fig. 52).

4.9.3. Análisis químico de la muestra total y la fracción <2 μ

En Tabla N° 4 y 5 se observan los resultados de la composición química típica de los componentes mayoritarios de las bentonitas terciarias, como así también el análisis de la fracción menor de 2 micrones en el yacimiento Mina 7 de Mayo. La sílice (58,736%) se encuentra por encima del valor promedio 56,914 %. Los óxidos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MgO muestran valores similares a los promedios respectivos de todas las bentonitas estudiadas. En tanto que el Na_2O presenta el más alto respecto a las restantes muestras estudiadas indicando su tendencia sódica, también el K_2O es elevado, lo cual se compensa en el sitio interlamina por un bajo valor de CaO . Se calculó la fórmula estructural para una esmectita típica de la mina 7 de Mayo, a partir del análisis químico de la fracción menor de 2 micrones expresado como óxidos.

A continuación se desarrolla la misma normalizada para media celda unitaria referida a $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$: $(\text{Si}_{3,79}\text{Al}_{0,21})-0,21 (\text{Al}_{1,29}\text{Mg}_{0,22}\text{Fe}_{0,37}\text{Ti}_{0,04}) -0,43(\text{Ca}_{0,10} \text{K}_{0,03} \text{Na}_{0,43}) +0,64 \text{O}_{10}(\text{OH})_2$

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).

4.9.4. Usos en perforación

De acuerdo a la Norma API STD 13A los parámetros de viscosidad plástica (Vp), punto de fluencia (Pf), relación Pf/Vp y la humedad cumplen con los valores requeridos, pero no cumple para el valor de filtrado (ver tabla N° 7).

4.9.5. Uso en fundición

Los valores de pH, impurezas, RCV y RTH cumplen con los requerimientos de las Normas CEMP – ABIFA. Los parámetros de hinchamiento y azul de metileno se alejan del valor normal (ver tabla N° 8).

4.9.6. Uso en cerámica

De acuerdo a las Normas INTI - SEGEMAR los valores de humedad e impurezas cumplen con lo exigido por la norma. Los parámetros de hinchamiento, CIC y pH no cumplen con las especificaciones (ver tabla N° 9).

4.9.7. Uso en captita de micotoxinas

El parámetro de humedad cumple con la Norma CEMP –ABIFA, mientras que los valores de hinchamiento y azul de metileno se alejan del valor requerido por dicha norma (ver tabla N° 10).

4.9.8. Uso en electroben

La humedad cumple con la Norma API STD 13A, mientras que el valor de hinchamiento y azul de metileno no cumplen y se alejan de valor normal (ver tabla N° 11).

4.9.9. Uso en alimentos balanceados para animales

Según la Norma CEMP - ABIFA el valor de humedad cumple con dicha norma. El ensayo de hinchamiento y azul de metileno no cumplen con las especificaciones requeridas (ver tabla N° 12).

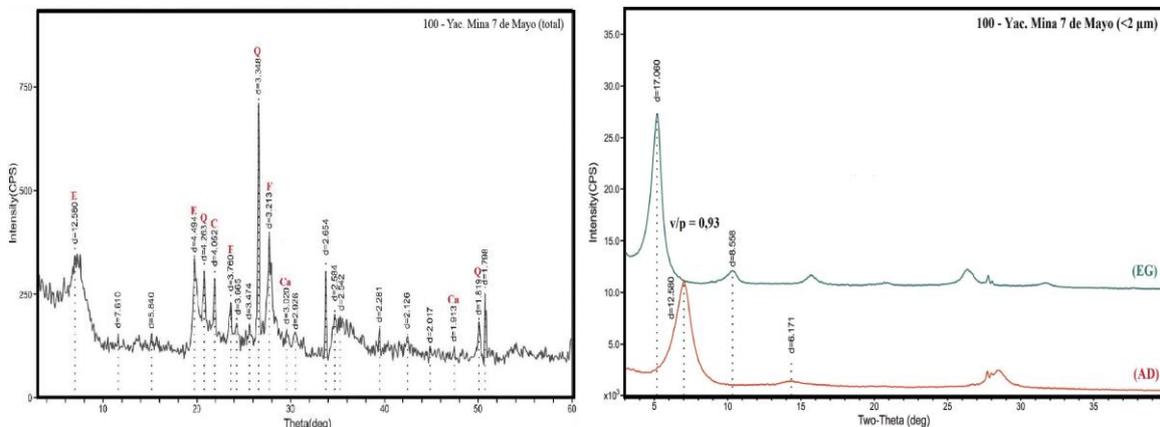


Figura 52. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldespato potásico. Ca: Calcita. E: Esmectita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento Mina 7 de Mayo.

4.10. Yacimiento Cerro Bandera (053)

El color de la muestra es gris amarillento (5Y7/2), presenta una fractura terrosa y un leve grado de compactación, se desgrana en forma de terrones. La granulometría promedio da como resultado un 84% de arcilla, 15,815% de limo y 0,185% de arena.

4.10.1. Lupa binocular

Con el uso de la lupa binocular se observó la presencia de elementos acompañantes mayores a 74 μm, tales como: cuarzo, feldespato y cristobalita. El cuarzo (ver Fig. 53) es incoloro, translúcido a transparente, la forma es de subanguloso a subredondeado, alguno de color blanquecino. El feldespato potásico presenta alteración

en los bordes, con brillo vítreo. La cristobalita se dispone en forma masiva y va de subangulosa a subredondeada, de color blanco. Se observan trizas vítreas.



Figura 53. Mineral de cuarzo a una escala de 500 μm .

4.10.2. Difracción de rayos X

4.10.2.1. Mineralogía sobre la muestra total

Se reconocieron como elementos mayoritarios a minerales arcillosos más mica (84%), la reflexión en (001) es de alta intensidad en 12.650 Å y 4.476 Å (020). El cuarzo (6%) presenta reflexiones en 4.266 Å, 3.341 Å y 2.455 Å, el feldespato (6%) con reflexiones relativas en 3.751 Å y 3.176 Å. La cristobalita (3%) presenta reflexiones en 4.048 Å y 2.124 Å. Como minerales traza (<1%) se identificaron la ceolita y el yeso (ver Fig. 54).

4.10.2.2. Mineralogía de la fracción arcillosa (<2 μm)

El valor de la muestra seca al aire (AD) en (001) es de 12,510 Å, donde la misma expande a 17,100 Å sobre la muestra sometida a los vapores de etilenglicol (EG). Las reflexiones sucesivas (002), (003), (004) y (005) muestran un patrón racional; la reflexión en (002) de la muestra seca al aire (AD) es de 6,128 Å y pasa a 8,679 Å en la muestra glicolada (ED). Las reflexiones muestran que el mineral arcilloso es una esmectita perteneciente a la serie montmorillonita-beidellita. El índice de cristalinidad (v/p) es de 0,93 con un $d=17.100$ Å (ver Fig. 54).

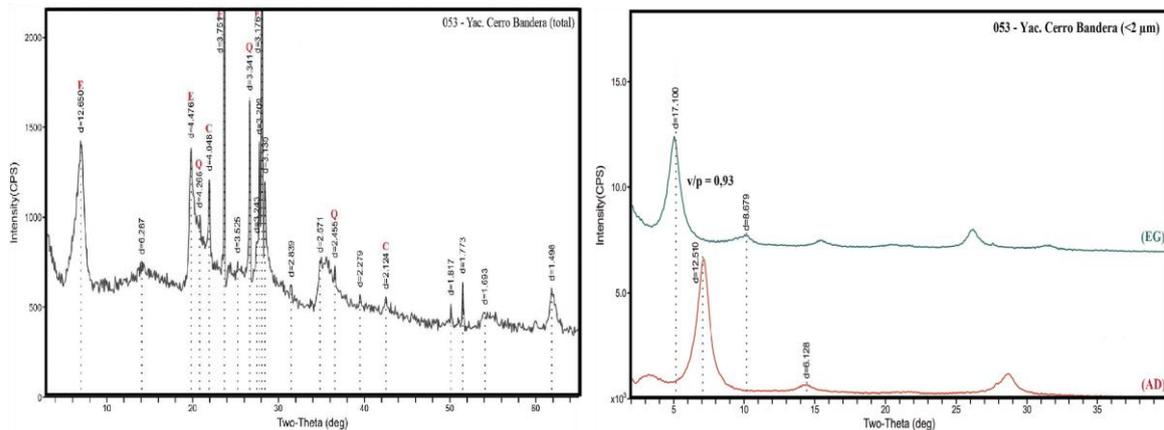


Figura 54. (Izquierda). Diagrama DRX sobre la muestra total. Q: Cuarzo. C: Cristobalita. F: Feldespato potásico. E: Esmectita. (Derecha) Diagrama DRX para la fracción arcillosa (<2 μm). EG: Glicolada. AD: Aire seco. Ambos diagramas corresponden a la muestra del Yacimiento Cerro Bandera.

4.10.3. Análisis químico

Los elementos químicos mayoritarios que componen estas bentonitas se presentan en la tabla N° 4 y 5. La sílice (55,674 %) se encuentra por debajo del valor promedio de 56,914 %, al igual que el CaO. Los valores de, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O

y pérdida por calcinación (PPC₃) están por encima del promedio. Se distingue una leve tendencia sódica de la bentonita por el valor del Na₂O.

4.10.4. Usos en perforación

Los parámetros de punto de fluencia (Pf), relación Pf/Vp, filtrado y la humedad cumplen con la Norma API STD 13A. La viscosidad plástica (Vp) no cumple con dichos requerimientos (ver tabla N° 7).

4.10.5. Uso en fundición

Las Normas CEMP – ABIFA se cumplen por los resultados obtenidos en el pH, impurezas, hinchamiento, RCV y RTH. El parámetro de azul de metileno no cumple con las especificaciones (tabla N° 8).

4.10.6. Uso en cerámica

El valor de humedad e impureza cumple con las Normas INTI - SEGEMAR. El hinchamiento, CIC y pH no cumplen (ver tabla N° 9).

4.10.7. Uso en captita de micotoxinas

Según las Normas CEMP –ABIFA el valor de humedad y de hinchamiento cumplen con dichas especificaciones, mientras que el parámetro de azul de metileno se aleja de valor nominal (ver tabla N° 10).

4.10.8. Uso en electroben

El parámetro de humedad cumple con la Norma API STD 13A, el hinchamiento y el azul de metileno no cumplen con dichas especificaciones (ver tabla N° 11).

4.10.9. Uso en alimentos balanceados para animales

De acuerdo a la Norma CEMP - ABIFA estas bentonitas cumplen con los parámetros de humedad e hinchamiento, no así con el azul de metileno que se aleja del valor nominal (ver tabla N° 12).

5. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

5.1. Ambiente de depositación de la Fm. Cerro Bandera

La Formación Cerro Bandera es portadora de bancos bentoníticos, estos niveles de interés se disponen en una angosta cubeta alineada en sentido NE-SO entre la vertiente occidental del Cerro Bandera y el noreste de la Meseta de la Barda Negra. Litológicamente está integrada por una asociación de sedimentitas epi y piroclásticas donde los términos tufíticos depositados en un ambiente fluvial de mayor energía relativa interdigitan con arcilitas bentoníticas depositadas en ambiente lagunar.

Siguiendo las razones expuestas y dependiendo del lugar de depositación que se considere, se tendrá una mayor o menor proporción relativa de arcilitas o tufitas, según Leanza y Hugo (1997). Para analizar las variaciones faciales, se analizaron 7 perfiles (Ver capítulo de resultados) tipo Selley de detalle y dos correlaciones esquemáticas secuenciales pertenecientes enteramente a la Fm. Cerro Bandera, las correlaciones están ubicadas en el centro y norte del área estudiada. El límite de referencia basal utilizado para nivelar los perfiles fue el techo de la bentonita del nivel inferior, expuesto en la gran mayoría de las explotaciones a cielo abierto.

Los cuerpos son lenticulares, subhorizontales con base erosiva labrada sobre niveles pelíticos, en tanto que los de mayor energía presentan estratificación paralela y entrecruzada. En los depósitos psamíticos a psefíticos la secuencia es predominantemente granocreciente; por su parte los niveles bentoníticos gradan paulatinamente hacia el techo a depósitos con mayor contenido epiclástico, donde dominan tobas y arcilitas rojas, intercaladas con areniscas fluviales y lentes conglomerádicos, de coloración variable predominando los tonos amarillentos y blancos grisáceos.

Los episodios fluviales de alta energía quedan evidenciados en la correlación C-D-E y en el piso de la explotación de la mina Martín Fierro. En el primer caso representado por el yacimiento Carmela (perfiles C, D y E, ver Fig. 28), los depósitos de arenisca muy gruesa y conglomerádicos, de 1 a 10 m de espesor, con abundantes intraclastos pelíticos señalan la presencia de canales de media a alta energía. En el segundo caso, la presencia de un paleocauce en el piso de la explotación corta diagonalmente tanto a los niveles de bentonita como a los arenosos interdigitados. Se trata de un conglomerado polimíctico con un espesor que varía entre 1-1,5 m (Pignatelli, F., 2018). Hacia la zona norte del área de estudio se observa una disminución del espesor de los horizontes bentoníticos hacia el este, que en conjunto con el incremento de las fangolitas rojas intercaladas con areniscas (perfil B) señalan la gran influencia del borde de la cubeta. Se interpreta que el conglomerado de poco espesor del perfil G en el área norte representa dentro del paleocauce una zona aislada con mayor energía a diferencia del perfil B.

Las avenidas fluviales que a modo de ríos entrelazados invaden la cuenca y continúan su curso en dirección al cañadón del Santo Domingo (insinuado como principal centro de drenaje ya en el Mioceno inferior) se habrían activado a partir de la erosión y ascenso producidos por la fase Pehuenchica (Mioceno inferior) y configurando el marco orográfico actual a partir del Mioceno tardío durante las últimas etapas de la Fase Quéchuica (Leanza y Hugo, 1997). Las secciones y los perfiles levantados sugieren una mayor influencia de dichos episodios en el sector sudoeste de la cubeta, en comparación con el sector norte (perfil B, Yacimiento Cerro Bandera, ver

Fig. 26) y central en los frentes de las minas 20 de Febrero y 7 de Mayo, en los cuales la presencia de aporte epiclástico habría sido mucho más restringido.

5.2. Clasificación mineralógica, geoquímica y grado de meteorización de las bentonitas

Las bentonitas de los yacimientos estudiados son mineralógicamente homogéneas, pero presentan diferencias significativas en la proporción de sus constituyentes que muestran además tendencias bien definidas en sus propiedades físico-químicas. El estudio mediante DRX pone de manifiesto que están compuestas principalmente por minerales arcillosos, con variaciones entre 66 y 94 %, y en la fracción menor de 2 micrones el único argilomineral es una esmectita dioctaédrica, de la serie montmorillonita-beidellita, variando el parámetro grado de cristalinidad: V/P, en un rango de 0,85 a 0,97 con un promedio de 0,90, presentando reflexiones agudas, bien definidas y de buena cristalinidad (Thorez, 1975).

La aplicación del diagrama ternario $Al_2O_3 - CaO+Na_2O - K_2O$ (Nesbitt y Young; 1984), reafirma la composición esmectítica, ya que todas las muestras estudiadas caen en ese campo (Fig. 55).

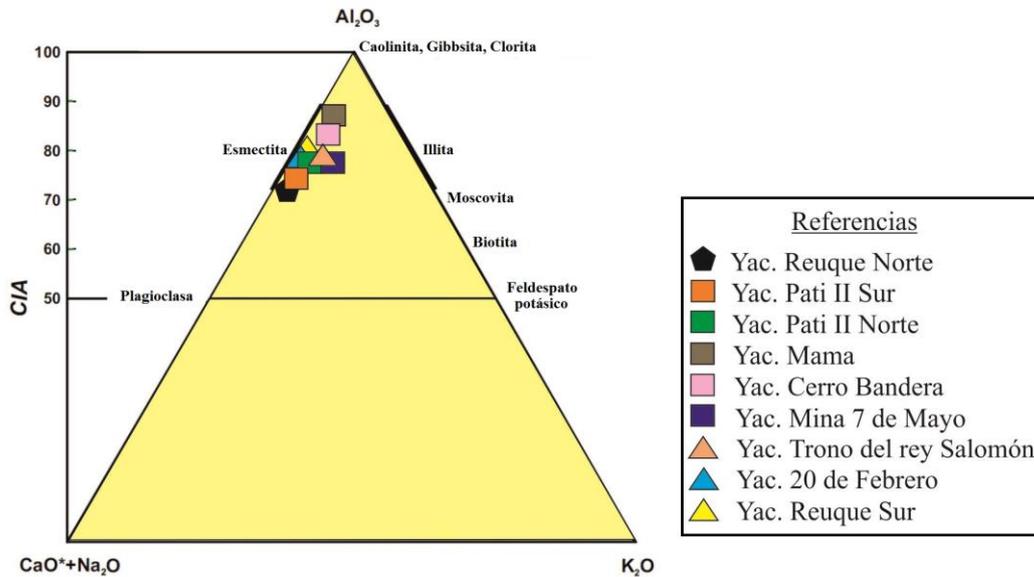


Figura 55. Clasificación de Nesbitt y Young (1984).

El mineral accesorio más abundante en las bentonitas es cristobalita, alcanzando en algunas muestras valores del 30 % del total de la muestra, las relaciones texturales entre la cristobalita y el mineral arcilloso sugieren que este mineral se ha formado por precipitación de la sílice liberada durante la transformación del vidrio volcánico en esmectita.

Otro mineral accesorio también abundante en algunos yacimientos es el feldespato potásico, con valores del 17 %, estos cristales están alterados pero conservan las morfologías características que representan fenocristales en la roca madre. Otros minerales, como cuarzo, ceolitas del tipo heulandita – clinoptilolita, yeso y calcita están en muy escasas proporciones o ausentes, los últimos dos minerales son considerados impurezas altamente contaminantes del material bentonítico.

Del análisis de la composición química de las bentonitas se observa que el elemento predominante entre los cationes interlaminares es el Na en las bentonitas de los yacimientos El Trono del Rey Salomón, 20 de Febrero, Mina 7 de Mayo y Cerro Bandera, siendo el Ca mayor para las muestras de Mama, Reuque Norte y Sur y Pati Norte y Sur, con una relación promedio $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ de 1,016%. La sílice y el óxido de hierro presentan un margen de variación muy amplio entre 49,09 a 62,72 % y 5,59 a 8,42 % respectivamente, mientras que la alúmina presenta valores homogéneos con un valor medio de 17,09 %, todos los componentes se ajustan a la composición química de bentonitas típicas de la Argentina (Hidalgo *et al.*, 2016).

Para la clasificación geoquímica de estas rocas se utilizó el diagrama de Herron (1988) que diferencia y clasifica las pelitas y areniscas, el diagrama binario relaciona el logaritmo de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en función del logaritmo de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (Fig. 56). Todas las muestras en estudio caen en el campo de las pelitas férricas, debido a su elevado contenido en Fe, alcanzando valores del 6 % en peso de Fe_2O_3 en los yacimientos Pati I y Mama, este último con una tendencia hacia los valores menores de la relación $\log. \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ indicando un mayor componente aluminico. Además se confirma la presencia de Fe en los sitios octaédricos en los difractogramas de las muestras orientadas debido que la reflexión 002 de la esmectita tiene mayor intensidad que la de 003 (Moore y Reynolds, 1997).

En base a los análisis químicos de la fracción $<2\mu\text{m}$ se obtuvo la fórmula estructural del yacimiento Mina 7 de Mayo y se compara con la del yacimiento Martín Fierro (Pignatelli, 2018):

Mina 7 de Mayo: $\text{O}_{10}(\text{OH})_2: (\text{Si}_{3,79}\text{Al}_{0,21})-0,21 (\text{Al}_{1,29}\text{Mg}_{0,22}\text{Fe}_{0,37}\text{Ti}_{0,04})-0,43(\text{Ca}_{0,10}\text{K}_{0,03}\text{Na}_{0,43})+0,64 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

Martín Fierro: $\text{O}_{10}(\text{OH})_2: (\text{Si}_{3,75}\text{Al}_{0,24})-0,24 (\text{Al}_{1,27}\text{Mg}_{0,18}\text{Fe}_{0,48}\text{Ti}_{0,07})-0,10 (\text{Ca}_{0,11}\text{K}_{0,03}\text{Na}_{0,10})+0,34 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

De acuerdo con el diagrama triangular Al-Fe-Mg (Fig. 57) para los yacimientos de la Mina 7 de Mayo y Martín Fierro (Palin *et al.*, 2014), definimos que ambas caen en el límite del campo de las montmorillonitas férricas.

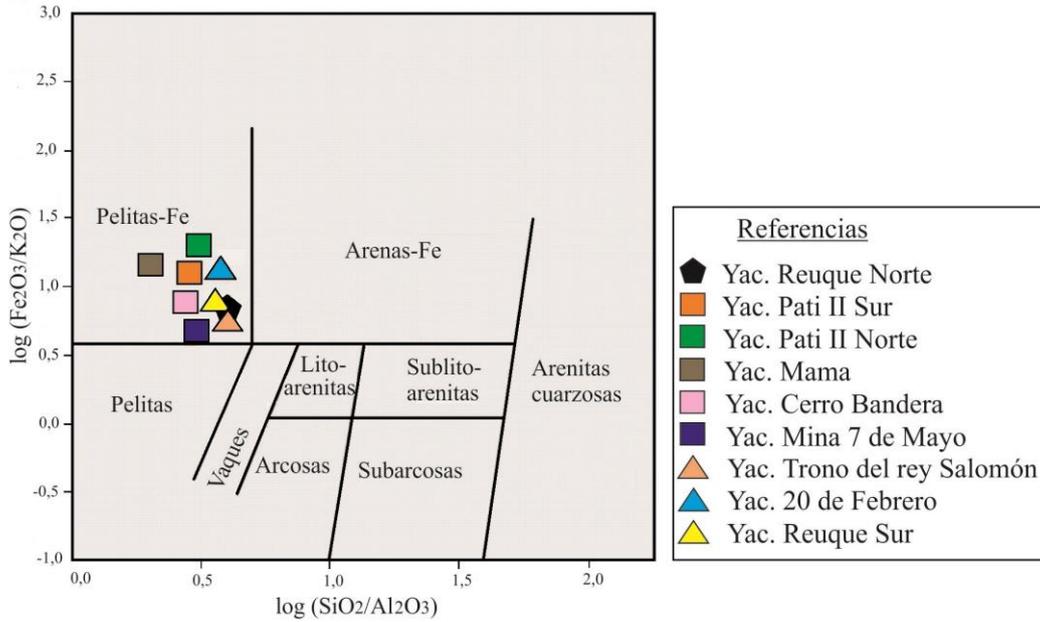
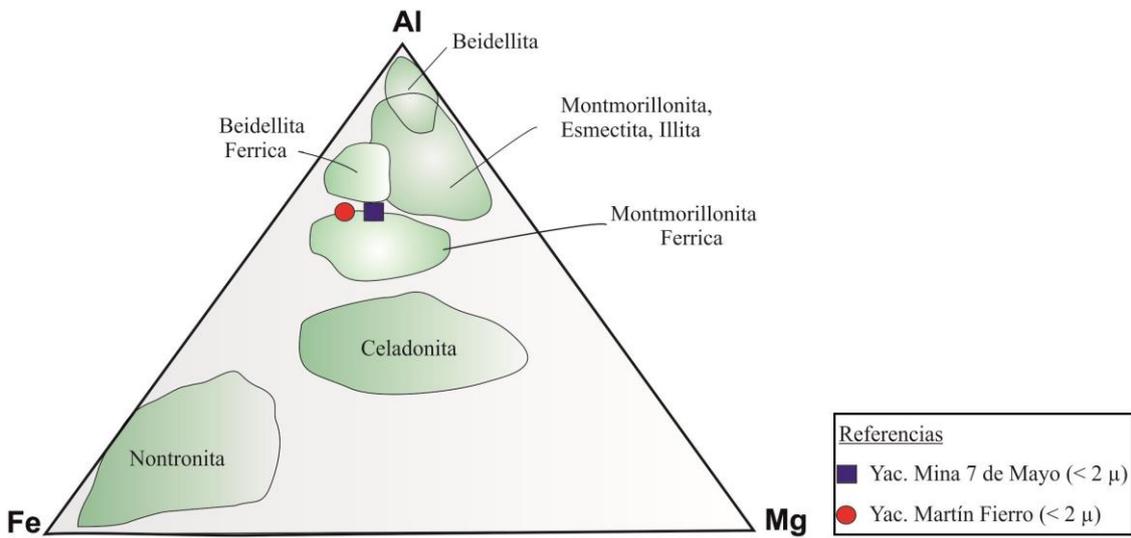


Figura 56. Clasificación de Herron (1988) para pelitas y areniscas.



*Yac. Martín Fierro corresponde a Pignatelli, 2018.

Figura 57. Triángulo de Al-Fe-Mg para la fracción <2µm (Palin *et al.* 2014).

Del análisis de ambas fórmulas y del diagrama ternario se observa que las cargas en las hojas tetraédricas son bajas y tienen valores dentro del rango de las montmorillonitas. Los cationes de intercambio Ca y Na están en equivalente proporción en la bentonita Martín Fierro, mientras que en la muestra de la Mina 7 de Mayo hay un predominio del Na. Casi toda la carga de la montmorillonita la otorga el sitio octaédrico, mucho más alta en Mina 7 de Mayo que Martín Fierro y el principal catión que crea esa carga en el sitio es el Fe.

En base al ploteo de los datos de análisis químicos: $Al_2O_3 - Fe_2O_3 + MgO - Na_2O + CaO + K_2O$ volcados en el diagrama ternario de Englund y Jorgensen (1973) se determinó el grado de meteorización de las bentonitas en estudio. Para una roca no meteorizada los valores M1 y M2 son bajos. En las primeras etapas de la transformación los valores de M1 se incrementan gradualmente y los de M2 permanecen aproximadamente constantes. Cuando la meteorización es intensa los valores de M2 se

acrecientan debido al aumento de la alúmina, y todos los valores volcados caen en este campo (Fig. 58), es evidente el elevado grado alcanzado, con valores de M1 y M2 mayores a 3.00 y 2.33 respectivamente en todos los yacimientos. Se observa una tendencia en la mina Pati Sur hacia el extremo FeO+MgO debido al elevado porcentaje de Fe que posee, lo cual también es indicativo del alto grado de meteorización de estas bentonitas, ya que el óxido de hierro es producto de la alteración y llega a valores de 8,42 % en esa mina siendo el más elevado de toda la región. Cabe destacar que los valores más altos de los parámetros M1 y M2 corresponden a la bentonita Mama debido al gran porcentaje de Al, superior al 22%.

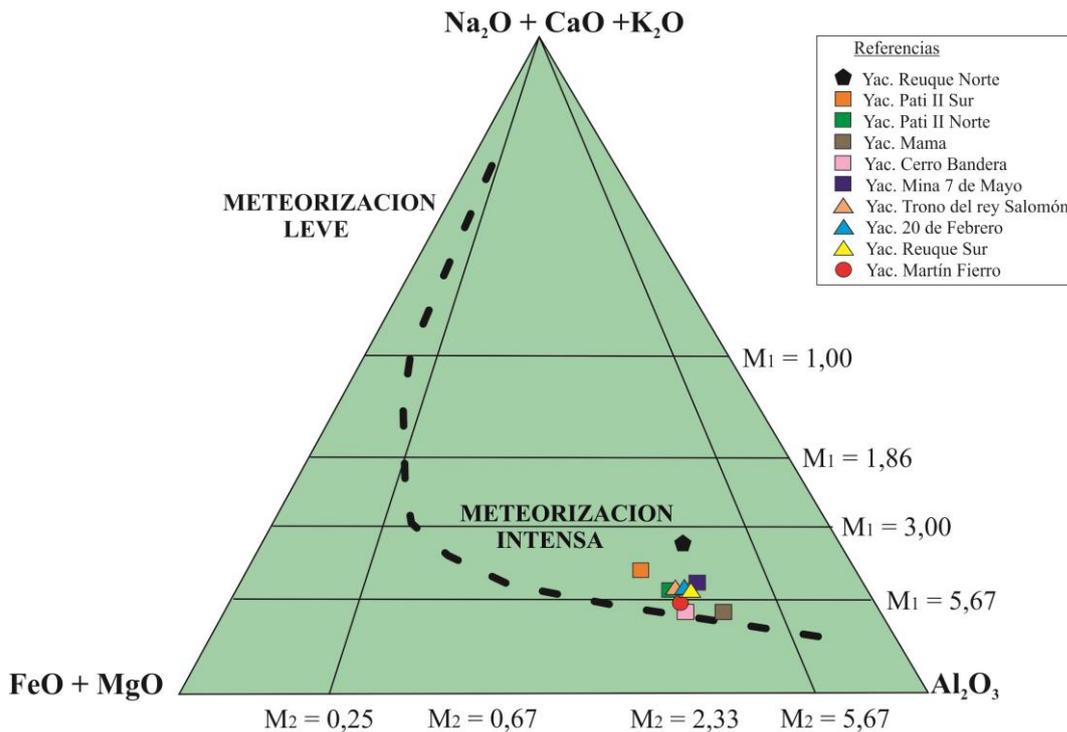


Figura 58. Triángulo de meteorización (Englund y Jorgensen 1973 extraído de Scasso y Limarino, 1997).

5.3. Génesis de las bentonitas

El origen de las bentonitas estudiadas ubicadas en el departamento Zapala se generaron por desvitrificación *in situ* de los componentes piroclásticos de composición dacítica contenidos en la Fm. Cerro Bandera, las tobas fueron retransportadas y retransportadas, proceso en el cual incorporaron elementos epiclásticos. En cuanto al proceso de argilitización y la hidratación necesaria para el mismo, se produjo “in situ”. La hidratación la habrían aportado cuerpos de agua más o menos discontinuos, someros, alojados en cubetas que se desarrollaron en las partes más profundas del pre-relieve labrado sobre las sedimentitas del Grupo Neuquén (Impiccini y Vallés 1999, 2002, 2011).

De acuerdo a los datos recolectados en este trabajo se puede decir que lo señalado por los autores arriba mencionados puede ser tomado como evidencias para coincidir en la génesis de estos materiales. Hay abundantes componentes piroclásticos con potentes espesores, se reconocieron fragmentos de vidrio volcánico, como así también la presencia de abundante cristobalita, algunos yacimientos con más del 30% como Reuque y El Trono del Rey Salomón. Otro parámetro que confirma este proceso es el pH de las bentonitas, que va de neutro a ligeramente alcalino. La presencia de aluminio e hierro como producto de alteración y también el alto porcentaje de este

último en la estructura del mineral arcilloso, es una evidencia de una meteorización intensa. En los yacimientos Mama y Pati I Sur es alta la cantidad de minerales arcillosos presentes, superior al 94 % y está compuesta por esmectita dioctaédrica del tipo montmorillonita. Finalmente el proceso de desvitrificación sucedió en un sistema lagunar de agua dulce donde las tobas silíceas en contacto con aguas ligeramente alcalinas y de salinidades bajas a moderadas formaron esmectitas, del tipo montmorillonitas férricas autigénicas (Scasso y Limarino, 1997).

5.4. Proyecciones futuras para exploración

Para la determinación de las mejores áreas futuras de exploración se utilizaron tablas de datos, obtenidas de los ensayos de laboratorio (ver Capítulo 5.5), y se procedió a verificar el cumplimiento de dichas normas vigentes para cada aptitud de uso.

5.4.1. Uso en Perforación

Para el uso de las bentonitas como aditivo en la industria petrolera, los parámetros: punto de fluencia (Pf) y la relación punto de fluencia/ viscosidad plástica (Pf/Vp) (ver tabla N°7), cumplen con la norma API 13 A, pero el yacimiento Martín Fierro no cumple, debido a que los valores superan el requisito exigido.

El filtrado (ver tabla N°7) indicaría que los yacimientos Cerro Bandera y Martín Fierro se encuentran por debajo del valor máximo indicado por la norma. El resto de los yacimientos están dentro del límite establecido.

5.4.2. Uso en fundición

La aptitud de uso en la industria metalúrgica comprende las normas CEMP – ABIFA. Todas las muestras cumplen con las especificaciones del parámetro impurezas y pH (ver tabla N°8), y los valores más adecuados se concentran en la zona central de la cubeta, en los yacimientos Pati I Sur y Norte y en el Cerro Bandera (ver figuras 34 y 35). El hinchamiento (ver tabla N°8) solo se cumple para la muestra del área norte, perteneciente al Cerro Bandera, las demás muestras estudiadas no se encuentran dentro del rango establecido, ya que estas zonas presentan importantes paleocauces de composición limo-arenosos que alteran al material bentonítico.

El valor mínimo de azul de metileno (ver tabla N°8) son alcanzados por las muestras de Martín Fierro y Mama (ver figura 34).

5.4.3. Uso en cerámica

La aptitud de uso de las bentonitas en la industria cerámica se basa en las normas INTI - SEGEMAR. El valor de hinchamiento (ver tabla N°9) establecido se cumple para los yacimientos Reuque Norte y Sur, El Trono del Rey Salomón, Pati I Sur y se aproxima en Mama, todos estos depósitos se ubican en el sector sur de la cubeta (ver figura 34).

Las bentonitas del área sur-suroeste cumplen con el valor de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (ver tabla N°9). El valor de CIC depende de la cantidad de esmectita que presenta la muestra siendo el porcentaje mayor tanto de mineral arcilloso como de CIC en los yacimientos Mama, Martín Fierro y Pati I Sur que se corresponden con los menores valores de la relación Na/Ca (ver tabla N°5, 6 y 9)

Con respecto al parámetro del pH (ver tabla N°9), las muestras de los yacimientos 20 de Febrero, El Trono del Rey Salomón, Cerro Bandera y Reuque Sur presentan un valor próximo al establecido (ver figura 34 y 35). La proporción de esmectita influye en forma importante en el pH, y la mayor parte de estas bentonitas presentan baja proporción de arcilla respecto a los valores que se manejan

comercialmente y presentan como impurezas más del 30% de cristobalita como ocurre en los yacimientos El Trono del Rey Salomón y Reuque Sur.

5.4.4. Uso en captita de micotoxinas

En la aptitud de uso para la captita de micotoxinas (ver Tabla N°10) se hizo hincapié en los valores obtenidos del ensayo de humedad, hinchamiento y azul de metileno según normas CEMP-ABIFA. Los yacimientos que cumplen con dicha normativa corresponden a Cerro Bandera, Martín Fierro y Mama (ver figura 34 y 35).

5.4.5. Uso en electroben

En base a la norma API 13A (ver Tabla N°11) se puede decir que las bentonitas de Cerro Bandera, Martín Fierro y Mama tienen o se aproximan al valor establecido respectivamente.

5.4.6. Uso en alimento balanceado para animales

En la aptitud de uso como alimento balanceado para animales se analizan; humedad, hinchamiento y azul de metileno (ver Tabla N°12). El material explotado de los yacimientos Cerro Bandera y Martín Fierro cumplen o se aproximan a la normativa. Las bentonitas sódicas y que presentan una alta relación Na/Ca poseen una tendencia hacia un mayor hinchamiento. Tanto Mama como Martín Fierro cumplen con el requisito exigido del valor de azul de metileno (ver Tabla N°12).

5.5. Tablas de resultados

5.5.1. Tablas de análisis químicos sobre muestra total y fracción <2 µm para las 9 muestras estudiadas en los 7 yacimientos

MUESTRAS (*)	Determinación (g %)2									
	PPC3	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	K ₂ O	SO ₃
352 - Yac. Mama	17,490	49,090	22,440	5,992	1,633	1,053	0,871	0,797	0,424	0,091
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	10,920	62,720	15,270	4,307	1,670	1,599	1,947	0,560	0,787	0,102
072 - Yac. Mina Pati I Sur	13,260	50,248	16,460	8,424	4,008	1,268	1,501	0,610	0,687	3,384
076 - Yac. Mina Pati I Norte	11,460	55,752	16,930	6,685	2,406	1,350	1,915	0,639	0,330	2,402
029 - Yac. Reuque. Norte	11,580	59,159	14,170	4,391	3,697	1,599	1,843	0,525	0,752	1,874
030 - Yac. Reuque. Sur	12,100	59,673	16,000	5,025	1,909	2,046	1,725	0,592	0,650	0,135
092 - Yac. 20 de Febrero	11,000	61,175	15,590	5,060	1,895	1,319	2,141	0,469	0,413	0,406
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	9,650	58,736	18,400	4,588	1,324	1,888	2,664	0,670	1,304	0,682
053 - Yac. Cerro Bandera	12,470	55,674	18,650	5,835	1,104	1,779	1,906	0,638	0,849	0,950
Promedio	12	57	17	6	2	1,545	1,835	0,611	0,688	1,113
Yac. Mina 7 de Mayo (<2µm)	9,100	56,700	19	7,300	1,500	2,200	3,300	0	0	0

Tabla N° 4. Resultados de los análisis químicos sobre la muestra total y fracción < 2 µm de las 9 muestras de estudio analizado en los 7 yacimientos.

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.2. Tablas de análisis químicos sobre muestra total y fracción <2µm para las 9 muestras estudiadas en los 7 yacimientos

MUESTRAS (*)	Determinación (g %)2									
	V ₂ O ₅	ZrO ₂	SrO	CuO	ZnO	MnO	P2O ₅	Y ₂ O ₃	Na ₂ O/CaO	v/p
352 - Yac. Mama	0,064	0,019	0,016	0,014	0,010	0	0	0	0,533	0,86
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	0	0,014	0,043	0,011	0,010	0,041	0	0	1,166	0,85
072 - Yac. Mina Pati I Sur	0,036	0,017	0,027	0,028	0	0,041	0	0	0,375	0,86
076 - Yac. Mina Pati I Norte	0,016	0,020	0,024	0,017	0,011	0,042	0	0,006	0,796	0,87
029 - Yac. Reuque. Norte	0,021	0	0,023	0,014	0	0,354	0	0	0,499	0,90
030 - Yac. Reuque. Sur	0	0,018	0,026	0,016	0,011	0,073	0	0	0,904	0,90
092 - Yac. 20 de Febrero	0,055	0,014	0,015	0,013	0	0,041	0,396	0	1,130	0,97
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	0,017	0,017	0,014	0,014	0,007	0,030	0	0	2,012	0,93
053 - Yac. Cerro Bandera	0,031	0,018	0,018	0,014	0	0,069	0	0	1,726	0,93
Promedio	0,002	0,015	0,023	0,016	0,005	0,075	0,044	0,0006	1	0,89
Yac. Mina 7 de Mayo (<2 µm)	0	0	0	0	0	0	0	0	2,200	

Tabla N° 5. Resultados de los análisis químicos sobre la muestra total y fracción < 2 µm de las 9 muestras de estudio analizado en los 7 yacimientos.

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.3. Tabla de rayos X

MUESTRAS (*)	Minerales arcillosos + mica	Cuarzo	Feldespato	Cristobalita	Ceolita	Yeso	Calcita	v/p
352 - Yac. Mama	94	1	T	5	--	--	--	0,86
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	66	1	2	30	1	--	--	0,85
072 - Yac. Mina Pati I Sur	94	1	2	2	--	1	--	0,86
076 - Yac. Mina Pati I Norte	82	T	1	16	T	1	--	0,87
029 - Yac. Reuque. Norte	72	2	3	17	2	3	1	0,9
030 - Yac. Reuque. Sur	68	1	1	30	T	--	T	0,9
092 - Yac. 20 de Febrero	77	2	9	12	--	T	T	0,97
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	70	5	17	7	--	T	1	0,93
053 - Yac. Cerro Bandera	84	6	6	4	T	T	--	0,93
I3 - Yac. Martín Fierro	85	2	5	8	--	--	T	1,06
Promedio	79	3	5	13	<1	<1	<1	0,91

Tabla N° 6. Resultados de la semicuantificación sobre muestra total de los yacimientos en estudio. T: traza (<1%). v/p: Grado de cristalinidad.

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.4. Aptitud de uso

5.5.4.1. Ensayos para uso en perforación

MUESTRAS (*)	Viscosidad Fann Lectura a 600 rpm	Viscosidad Fann Lectura a 300 rpm	Viscosidad plástica (Cps)	Punto de Fluencia (lb/100pies ²)	Viscosidad aparente	Pf / Vp	Filtrado (mL)	Humedad (%)
352 - Yac. Mama	5	3	2	1	3	0,5	31	3,65
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	6	4	2	2	3	1	17,8	4,79
072 - Yac. Mina Pati I Sur	7	4	3	1	3,5	0,3333	Fuera de rango	5,45
076 - Yac. Mina Pati I Norte	5	3	2	1	2,5	0,5	Fuera de rango	4,86
029 - Yac. Reuque. Norte	6	4	2	2	3	1	Fuera de rango	5,21
030 - Yac. Reuque. Sur	23	16	7	9	11,5	1,2857	17,8	4,41
092 - Yac. 20 de Febrero	22	17	5	12	11	2,4	15,9	4,57
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	12	9	3	6	6	2	22,4	4,075
053 - Yac. Cerro Bandera	16	11	5	6	8	1,2	14,1	7,002
I3 - Yac. Martín Fierro	94	87	7	80	47	11,42	11	8,5
Normas API STD 13A (1993)	Mínimo 30		Máximo 3	Máximo 40		Máximo 3	Máximo 15	Máximo 13,5
Promedio	20	16	4	12	10	2	19	5

Tabla N° 7. Aptitud de uso para la perforación en la industria petrolera, resultados obtenidos según las especificaciones físicas de Normas API STD 13A (1993). Vp: Viscosidad plástica, Pf: Punto de fluencia.

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.4.2. Ensayos para uso en fundición

MUESTRAS (*)	pH	Impurezas (% # 40)	Hinchamiento (mL / 2g)	RCV (N/cm ²)*	RTH (N/m ²)*	Azul de metileno (mL)
352 - Yac. Mama	7,56	0,039	9	0	0	50
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	8,5	0,767	16	0	0	15
072 - Yac. Mina Pati I Sur	8,23	0,396	10	0	0	43
076 - Yac. Mina Pati I Norte	7,24	0,425	8	0	0	35
029 - Yac. Reuque. Norte	8,2	0,753	10	0	0	29
030 - Yac. Reuque. Sur	8,23	0,722	15	0	0	15
092 - Yac. 20 de Febrero	8,73	0,608	20	0	0	26
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	8,26	1,764	21	12	0,280	30
053 - Yac. Cerro Bandera	8,3	0,185	31	13	0,280	36
I3 - Yac. Martín Fierro	7,12	2,390	29	11,1	0,340	50,048
Normas CEMP – ABIFA (1997)	Entre 6 y 9	Máximo 10	Mínimo 30	Mínimo 11	Mínimo 0,28	Mínimo 50
Promedio	8	0,8	17	12	0,3	33

Tabla N° 8. Aptitud de uso para la industria metalúrgica en la fundición, resultados según las especificaciones físicas basadas en las normas CEMP – ABIFA (1997). RCV: resistencia a la compresión en verde. RTH: Resistencia a la tracción en húmedo. *Los valores de RCV Y RTH de los yacimientos 7 de Mayo y Cerro Bandera fueron obtenidos de Impiccini y Vallés (2011).

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.4.3. Ensayo para uso en cerámica

MUESTRAS (*)	Humedad (%)	Hinchamiento (mL / 2g)	CIC (meq / 100g)	pH	Impurezas (% # 40)
352 - Yac. Mama	3,650	9	100	7,56	0,039
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	4,790	16	30	8,5	0,767
072 - Yac. Mina Pati I Sur	5,450	10	86	8,23	0,396
076 - Yac. Mina Pati I Norte	4,860	8	70	7,24	0,425
029 - Yac. Reuque. Norte	5,210	10	58	8,2	0,753
030 - Yac. Reuque. Sur	4,410	15	30	8,23	0,722
092 - Yac. 20 de Febrero	4,570	20	52	8,73	0,608
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	4,075	21	60	8,26	1,764
053 - Yac. Cerro Bandera	7,002	31	72	8,3	0,185
I3 - Yac. Martín Fierro	8,470	29	100,1	7,12	2,390
Normas INTI - SEGEMAR (2007)	Máximo 15	Entre 10 y 17	Entre 100 y 120	Entre 8,8 y 9,6	Máximo 10
Promedio	5	17	66	8	0,8

Tabla N° 9. Aptitud de uso para la industria de la cerámica, resultados obtenidos según las especificaciones físicas basados en las normas INTI-SEGEMAR (2007). CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.4.4. Bentonitas para uso en captita de micotoxinas

MUESTRAS (*)	Humedad (%)	Hinchamiento (mL / 2g)	Azul de metileno (mL)
352 - Yac. Mama	3,65	9	50
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	4,79	16	15
072 - Yac. Mina Pati I Sur	5,45	10	43
076 - Yac. Mina Pati I Norte	4,86	8	35
029 - Yac. Reuque. Norte	5,21	10	29
030 - Yac. Reuque. Sur	4,41	15	15
092 - Yac. 20 de Febrero	4,57	20	26
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	4,075	21	30
053 - Yac. Cerro Bandera	7,002	31	36
I3 - Yac. Martín Fierro	8,47	29	50,1
Norma CEMP – ABIFA (1997)	Máximo 13,5	Mínimo 28	Mínimo 50
Promedio	5	17	33

Tabla N° 10. Aptitud de uso para la industria en captita de micotoxinas, resultados obtenidos según las especificaciones físicas basados en las normas CEMP-ABIFA (1997).

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.4.5. Bentonitas para uso en puesta a Tierra – tipo Electrobén

MUESTRAS (*)	Humedad (%)	Hinchamiento (mL / 2g)	Azul de metileno (mL)
352 - Yac. Mama	3,650	9	50
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	4,790	16	15
072 - Yac. Mina Pati I Sur	5,450	10	43
076 - Yac. Mina Pati I Norte	4,860	8	35
029 - Yac. Reuque. Norte	5,210	10	29
030 - Yac. Reuque. Sur	4,410	15	15
092 - Yac. 20 de Febrero	4,570	20	26
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	4,075	21	30
053 - Yac. Cerro Bandera	7,002	31	36
I3 - Yac. Martín Fierro	8,470	29	50,1
Norma API STD 13A (1993)	Máximo 13,5	Mínimo 32	Mínimo 50
Promedio	5	17	33

Tabla N° 11. Aptitud de uso de la bentonita tipo “Electrobén”, resultados obtenidos según las especificaciones físicas basado en las norma API STD 13A (1993).

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

5.5.4.6. Bentonitas para uso en alimentos balanceados para animales

MUESTRAS (*)	Humedad (%)	Hinchamiento (mL / 2g)	Azul de metileno (mL)
352 - Yac. Mama	3,650	9	50
504 - Yac. El Trono del Rey Salomón	4,790	16	15
072 - Yac. Mina Pati I Sur	5,450	10	43
076 - Yac. Mina Pati I Norte	4,860	8	35
029 - Yac. Reuque. Norte	5,210	10	29
030 - Yac. Reuque. Sur	4,410	15	15
092 - Yac. 20 de Febrero	4,570	20	26
100 - Yac. Mina 7 de Mayo	4,075	21	30
053 - Yac. Cerro Bandera	7,002	31	36
I3 - Yac. Martín Fierro	8,470	29	50,1
Normas CEMP – ABIFA (1997)	Máximo 13,5	Mínimo 25	Mínimo 48
Promedio	5	17	33

Tabla N° 12. Aptitud de uso en la industria para alimento balanceado para animales, resultados obtenidos según las especificaciones físicas basados en la normas CEMP - ABIFA (1997).

(*)Las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura constante (105°C). El secado extremo puede alterar las propiedades físicas de las bentonitas.

6. CONCLUSIONES

- Los depósitos de bentonita se ubican en la Fm. Cerro Bandera y en esta contribución se presenta un registro de perfiles y secciones estratigráficas confeccionados en los cortes erosivos naturales y en los frentes expuestos en las recientes explotaciones a cielo abierto que permitió delimitar la cubeta de depositación, de forma elongada en sentido nornordeste-sudsudoeste, disectados por paleocauces fluviales de variada energía.
- La Fm. Cerro Bandera configura una secuencia de sedimentitas epi y piroclásticas, depositadas en cuerpos lenticulares, subhorizontales y otros de mayor energía, ambos con base erosiva labrada sobre niveles arcillosos y bentoníticos. Estas capas son de origen lacustre y gradan hacia al techo a depósitos con gran proporción de material psefíticos a psamíticos intercalados con tobas y arcilitas rojas. Se reafirma lo expuesto por Leanza y Hugo (1997), quienes definen para la Fm. Cerro Bandera un ambiente lacustre, de baja energía, en el cual también drenaban algunos pequeños cursos de agua de carácter entrelazado. De esta manera, toda la sección estudiada correspondería a episodios fluviales de alta energía en el sector sudoccidental de la cubeta en comparación con el sector centro y norte donde la presencia de aporte epiclástico habría sido mucho más restringido.
- Mineralógicamente, la bentonita está constituida principalmente por minerales arcillosos más mica con variaciones entre un 66 y 94 %; valor promedio 79%. El argilomineral es una esmectita de tipo montmorillonita férrica autigénica, de buena cristalinidad. Como accesorios se presenta cristobalita con valores del 30 % en algunos yacimientos, siendo también abundante el feldespato potásico con formas características que representan los fenocristales de la roca madre y en muy escasa cantidad se identificó cuarzo, ceolitas del tipo heulandita – clinoptilolita, yeso y calcita.
- La desvitrificación de las tobas de la Fm. Cerro Bandera produjo como material primario bentonita en las zonas de la cubeta donde la disponibilidad de aluminio y de cationes Na, Ca y K era mayor, y en las zonas tobáceas con mayor concentración de vidrio silícico se formó además de la bentonita, cristobalita principalmente y escasa ceolita. Dicho proceso sucedió en un sistema lagunar con agua dulce, ligeramente alcalinas y de salinidades bajas a moderadas. El grado de meteorización es intenso en todos los yacimientos con una tendencia superior en la mina Mama por el gran porcentaje de aluminio que presenta y en la mina Pati I Sur por el alto contenido férrico.
- Aptitud de uso:
 - ✓ La muestra del yacimiento Cerro Bandera es una bentonita sódica natural con alto valor de hinchamiento y cumple con los parámetros de Pf, relación Pf/Vp y filtrado requeridos para la industria petrolera, asimismo cumple con el valor de impurezas, hinchamiento y pH para la industria de la fundición, a diferencia de las muestras de los yacimientos Mama, Martin Fierro, Reuque Norte y Sur, Trono del Rey Salomón y Pati I Sur cuyos valores requeridos se aproximan ligeramente. Los depósitos, Mina 7 de Mayo y sector sureste de Martin Fierro a los cuales se les analizo estas aptitudes de uso y que no se

encuentran dentro del rango establecido por la normativa, se debe a la presencia de paleocauces de composición limo-arena a conglomerado que cortan el horizonte bentonítico con la consecuente contaminación del material.

- ✓ Los yacimientos Reuque Norte y Sur, El Trono del Rey Salomón, Pati I Sur y Mama contienen bentonitas con buenas aptitudes para el uso en la industria cerámica, a diferencia de los frentes de explotación de los yacimientos Pati I Norte, 20 de Febrero, Mina 7 de Mayo y Cerro Bandera, donde se recomienda ensayar mezclas con las bentonitas que presentan parámetros adecuados y así corregir las propiedades deficitarias.
- ✓ Los parámetros específicos para su utilización como captita de micotoxinas, electroben y alimento balanceado para animales (humedad, hinchamiento y azul de metileno) se cumplen en los yacimientos Cerro Bandera, Martín Fierro y Mama. Los parámetros que influyen grandemente en estas aptitudes de uso, como el hinchamiento, CIC y pH se corresponden con las características mineralógicas y químicas exigidas.
- ✓ En líneas generales las mejores bentonitas se encontrarían en el sector norte, Yacimiento Cerro Bandera y otras en el flanco sur, Yacimiento Pati I Sur, Pati I Norte, Martín Fierro y Mama. Las que se encuentran en el sector central yacimiento 20 de Febrero y Mina 7 de Mayo deben ser mezclados con otros materiales para mejorar la calidad de alcanzar los valores requeridos por la normativa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **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 STD 13A.** 1993. Specification for Drilling-Fluid Materials, Sixteenth Edition and ISO 13500:1998(Modified) Petroleum and Natural Gas Industries - Drilling Fluid Materials-Specification and Tests.
- ✓ **Arregui, C., Carbone, O. y Leanza, H. A.** 2011. Contexto tectosedimentario. En Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Vallés, J.M. (Eds.). Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. XVIII Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 29-36.
- ✓ **ASTM Standard D5890-11.** 2011. Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners.
- ✓ **Bergaya, F., y Lagaly, G.** 2006. "Chapter 1 General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science". En *Developments in Clay Science*, vol.1 :(1)-18 pág. Elsevier.<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1572435205010019>.
- ✓ **Biscaye, P.E.** 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans: Geological Society of America, Bulletin, v. 76, p 803-832.
- ✓ **Brigatti, M.F., Galan, E. y Theng, B.K.G.** 2006. "Chapter 2 Structures and Mineralogy of Clay Minerals". En *Developments in Clay Science*, 1:19–86. Elsevier. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1572435205010020>.
- ✓ **Cazau, L.B. y Uliana, M. A.** 1973. El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. V° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 131-163.
- ✓ **CEMP.** 1990. Comissao de Estudo de Materias Primas. Associacao Brasileira de Fundicao. Brasil.
- ✓ **CEMP-ABIFA.** 1997. Características de las bentonitas para fundición. Comisión de Estudio de Materias Primas (CEMP) de la Asociación Brasileira de Fundición (ABIFA).
- ✓ **de Ferrariis, C.** 1968. El Cretácico del Norte de la Patagonia. 3° Jornadas Geológicas Argentinas. Actas 1: 121-144. Buenos Aires.
- ✓ **Delpino, D.; Giusiano, A. y Deza, M.** 1995. Mapa geológico del departamento Zapala. *Dirección provincial de minería*. Zapala, Neuquén, Argentina.
- ✓ **Digregorio, R.E., Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A.R. y Minitti, S.A.** 1984. Esquema de la evolución geodinámica de la Cuenca Neuquina y sus implicancias paleogeográficas. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2:147-162.
- ✓ **Domínguez, E.** 1981. Estudio geológico de la mina de bentonita "Don Jaime". Cerro Bandera, provincia de Neuquén. Actas 8° Congreso Geológico Argentino, 2: 755-767. San Luis.
- ✓ **Englund, J.-O. y Jorgensen, P., A.** 1973 Chemical Classification System for Argillaceous Sediments and Factors Affecting Their Composition, *Geol. Fjor. Stockholm Forh.*, vol. 95, no1, pág. 87–97.
- ✓ **Franzese, J.R. y Spalletti, L.A.** 2001. Late Triassic - Early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences* 14:257-270.
- ✓ **Gentili, C.A.** 1950. Descripción geológica de la Hoja 35c, Ramón Castro (Neuquén). *Boletín de la dirección general de industria y minería* 72: 1-48.

- ✓ **Grim, R.E. y Guven, N.** 1978. Bentonites- Geology, Mineralogy, properties and Uses, Developments in sedimentology. Elsevier, New York, 596 pp.
- ✓ **Guggenheim, S. y Martin, R.T.** (1995). Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*, 43 (2), 255-256.
- ✓ **Herron, M.M.** 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58: 820-829.
- ✓ **Hevia, R.** 2007. "Bentonitas, propiedades y usos industriales". Informe Inédito. Proyecto INTI- SEGEMAR, Unión Europea, 13pp.
<http://www-biblio.inti.gov.ar/gsd/cgi-bin/library.cgi?e=d-10000-00---off-0inti--00-2----0-10-0---0---0direct-10---2-----0-11--10-ky-Zz-1---20-preferences---11-3-1-00-0--4--0--0-01-00-0gbk-00&a=d&c=inti&cl=CL2.1.30&d=HASH16cab93085f1381740d54>.
- ✓ **Hidalgo, N., Senese, A., Cano, E. y Sarquís, P.** 2016. 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. *Boletín Geológico y Minero*, 127 (4): 791-806.
- ✓ **Howell, J.A., Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Veiga, G.D.** 2005. The Neuquén Basin: an overview. En: Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.). *The Neuquén basin, Argentina: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*, Geological Society, London. Special Publications. 252: 83-107.
- ✓ **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. y 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.
- ✓ **Impiccini, A. y Vallés, J.** 2011. Bentonitas. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C., Danieli, J.C. (Eds.). *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*. 63: 755-762. Neuquén.
- ✓ **INTI-SEGEMAR.** 2007. Bentonitas: propiedades y usos industriales. Cuaderno Tecnológico N°3.
- ✓ **Leanza, H.A. y 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 pág. Buenos Aires.
- ✓ **Leanza, H.A. y Hugo, C.A.** 2001. Hoja Geológica 3969-I, Zapala, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. *Boletín* (275). 128 pág. Buenos Aires.
- ✓ **Leanza, H.A. y Hugo, C.A.** 2005. Hoja Geológica 3969-I Zapala. Provincia del Neuquén. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín* 275, 132 p., Buenos Aires.
- ✓ **Legarreta, L. y Uliana, M.A.** 1996a. La sucesión jurásica en el centro oeste de Argentina. Arreglo estratigráfico, secuencias y evolución paleogeográfica. *Boletín de Informaciones Petroleras* XII: 45, 66-78.
- ✓ **Manual de Fluidos M-I SWACO.** Manual, Febrero 14, 2001.
- ✓ **Medeot, H.** 1986. Informe geológico de yacimientos de bentonita en la meseta de la Barda Negra, departamento de Zapala, Neuquén. Conidier S.A. Informe inédito.

- ✓ **Moore, D.M. y Reynolds, R.C.** 1997. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, 2nd Ed., Oxford Univ. Press, pág. 384.
- ✓ **Musso, T.B; Pettinari, G.R; Parolo, M.E; Mesquín, L.** 2017. Arcillas esmectíticas de la Región Norpatagónica Argentina como barreras hidráulicas de rellenos sanitarios y agentes de retención de metales pesados. (Ed): Universidad Nacional Autónoma de México. Centro Ciencias de la Atmósfera. Revista: Revista Internacional de Contaminación Ambiental.
- ✓ **Nesbitt, G. y Young, G. M.** 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica. Acta.* 48(7), 1523-1534
- ✓ **Newman, A. y 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.
- ✓ **Odom, I. E.** 1984. "Smectite Clay Minerals: Properties and Uses". *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 311 (1517): 391-409. doi:10.1098/rsta.1984.0036.
- ✓ **Palin, E.J., Dove, M.T., Sainz-Díaz, C.I. y Hernández-Laguna, A.** 2014. A computational investigation of the Al/Fe/Mg order-disorder behaviour in the dioctahedral sheet of phyllosilicates. *American Mineralogist* 89, 165-176.
- ✓ **Peinemann, N., Ferreira, E.A. y Helmy, A.K.** 1972. Estudio mineralógico de una montmorillonita Cretácica del Cerro 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).
- ✓ **Pignatelli, F.** 2018. Geología, estimación de reservas y caracterización de arcillas expansivas de la Fm. Cerro Bandera (Oligoceno superior-Mioceno inferior), asociadas a depósitos de bentonitas comerciales de la meseta de la Barda Negra. TFL Universidad Nacional del Comahue (Informe inédito), pág: 103.
- ✓ **Ramos, V.A.** 1981. Descripción Geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte. Provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional. Boletín 182: 1-103. Buenos Aires.
- ✓ **Ramos V.A. y Folguera, A.** 2005. Los Andes Australes: una evolución tectónica excepcional entre el sur de Mendoza y el norte de Neuquén. 6° Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Actas en CD ROM. Mar del Plata.
- ✓ **Rock Color Chart Committee.** 1991. Rock Color Chart. *Geological Society of America*, Special Publication: 16 p. Boulder.
- ✓ **Roll, A.** 1939. La cuenca de los estratos con dinosaurios al sur del río Neuquén (Inédito), *Yacimientos petrolíferos fiscales, gerencia de exploraciones*. Pág 112. Buenos Aires.
- ✓ **Ross, C.S. y Shannon, E.V.** 1926. Mineral of bentonite and related clay, and their physical properties. *Jour. Am. Cerm. Soc.* 9: 77-96
- ✓ **Rossi, N.** 1984. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche, 1984 - Actas VII, pág: 280-290.
- ✓ **Scasso, R. y Limarino, C.** 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Publicación Especial Número 1 de la Asociación Argentina de Sedimentología. UBA. Pág: 258.
- ✓ **Suero, T.** 1951. Descripción geológica de la Hoja 36c, Cretácica Lotena (Neuquén). Dirección Nacional de Minería, Boletín 76. Buenos Aires.

- ✓ **Teruggi, M.E., Mazzoni, M.M., Spalletti, L.A. y Andreis, R.R.** 1978. Rocas piroclásticas. Interpretación y sistemática. Asociación Geológica Argentina, publicaciones especiales, Serie B (Didáctica y Complementaria) (5): 1-36.
- ✓ **Thorez, J.** 1975. Practical identification of clay minerals. A handbook for teachers and students in clay mineralogy. Lelotte G. Editions. Belgique. 90pp.
- ✓ **Uliana, M.** 1978. Estratigrafía del Terciario. Geología y Recursos Naturales del Neuquén. Congreso Geológico Argentino, N°. 7, Relatorio: 67-83. Buenos Aires.
- ✓ **Uliana, M.A., Biddle, K. y Cerdán, J.** 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentina sedimentary basins. En: Tankard, A.J. & Balkwill H.R. (Eds.): Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margin. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 46: 599-613. Tulsa.
- ✓ **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.
- ✓ **Vallés, J. y 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 recurso minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1113-1125. Buenos Aires.
- ✓ **Vallés, J. y Impiccini, A.** 1999. Depósitos de bentonitas Terciarias de Zapala y Añelo, Neuquén. Recursos minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recurso Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1385-1390. Buenos Aires.
- ✓ **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.
- ✓ **Vergani, G.D., Tankard, A.J. Belotti, H.J. y Welsink, H.J.** 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. In: Tankard, A.J., Suárez Soruco, R., Welsink, H. J. (Eds.) *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62, pp. 383-402.
- ✓ **Wichmann, R.** 1927. Sobre las facies lacustres Senoniana de los estratos con dinosaurios y su fauna. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 30(1-4): 383-406.
- ✓ **Yrigoyen, M. R.** 1969. Problemas estratigráficos del Terciario de Argentina. *Ameghiniana* 6 (4):315-329.
- ✓ **Yrigoyen, M. R.** 1991. Hydrocarbon resources of Argentina. World Petroleum Congress (Buenos Aires), pág: 38-54.

8. ANEXO

8.1. Humedad original

Norma API STD 13A (1993).

8.1.1. Equipamiento

- ✓ Horno regulado a 105 ± 3 °C.
- ✓ Balanza de precisión de $\pm 0,01$ gr.
- ✓ Crisol de cerámica.
- ✓ Cuchara metálica.

8.1.2. Procedimiento

Consiste en pesar $10 \pm 0,01$ gr de bentonita en su estado original en un crisol de cerámica, siendo este el valor P1. Se seca la muestra en el horno a un peso constante por 24 hs a 105 / 110 ° C. Se enfría la muestra en un desecador y se vuelve a pesar el crisol que contiene la bentonita seca, valor P2.

8.1.3. Cálculo de la humedad

$$H \% = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

8.2. Reología y tixotropía

Norma API STD 13A (1993)

8.2.1. Preparación de la suspensión (geles)

8.2.2. Procedimiento

Se prepara una suspensión de bentonita: se añaden $22,5 \pm 0,01$ gr de arcilla en 350 ± 5 cm³ de agua destilada mientras se agita sobre el mezclador. Se agita por 5 minutos aproximadamente. Luego se retira el vaso metálico del agitador y se raspa sobre sus lados con la espátula para desalojar cualquier bentonita adherida a las paredes del recipiente. Se debe lograr que toda la bentonita adherida a la espátula se incorpore a la suspensión. Se continúa agitando la mezcla en un tiempo total de 20 ± 1 minutos. Se deja reposar la suspensión de bentonita en un tiempo de 16 hs en un recipiente sellado.

8.2.3. Equipamiento

- ✓ Mezclador y contenedor metálico.
- ✓ Espátula metálica.
- ✓ Recipiente de plástico rotulado.
- ✓ Cronómetro.

8.3. Viscosidad Plástica

Norma API STD 13A (1993)

8.3.1. Equipamiento

- ✓ Viscosímetro rotativo FANN.
- ✓ Recipiente de plástico rotulado.

8.3.2. Procedimiento

Después del reposo, se debe agitar la suspensión por $5 \pm 0,5$ minutos. Se vierte en el vaso del viscosímetro y se registran las lecturas de marcación a 600 y 300 r.p.m (velocidad del rotor del viscosímetro cuando se alcanza un valor constante para cada r.p.m) directamente.

La viscosidad plástica es igual a la diferencia entre los valores de lectura a 600 r.p.m y 300 r.p.m. El punto de fluencia es igual al valor de lectura de 300 r.p.m menos el valor de viscosidad plástica. La viscosidad aparente es igual al valor de lectura de 600 r.p.m dividido en dos.

8.4. Volumen del filtrado

Norma API STD 13A (1993)

8.4.1. Equipamiento

- ✓ Prensa filtro.
- ✓ Filtro Whatman 50.
- ✓ Tubo de nitrógeno.
- ✓ Probeta de vidrio.
- ✓ Temporizador.

8.4.2. Procedimiento

Se coloca la suspensión (gel) en un agitador por $1 \pm 0,5$ minutos. Se vierte la suspensión en la celda del prensa filtro. Antes de añadir la suspensión, debemos asegurarnos de que cada parte de la celda del filtro este seca y de que todas las juntas no estén distorsionadas o desgastadas (para evitar pérdidas y un mal funcionamiento del equipo). Se procede a verter el gel en la celda del prensa filtro, se cierra la celda de prensa. Se coloca la celda del filtro en la estructura del equipo y se cierra la válvula. Se procede a colocar una probeta de vidrio en el tubo del drenaje para recolectar el volumen de filtrado.

Se inicia ajustando un tiempo de $7,5 \pm 0,1$ minutos y el segundo temporizador a $30 \pm 0,1$ minutos. Se ajusta la presión sobre la celda a 100 ± 5 psi (690 ± 35 kpa), mediante la apertura de un tubo de nitrógeno.

A los $7,5 \pm 0,1$ minutos se registra en el primer temporizador y se retira el recipiente y cualquier líquido adherido sobre el tubo de drenaje. Se coloca nuevamente la probeta de vidrio debajo del tubo de drenaje para continuar recogiendo el filtrado al final del segundo temporizador ajustado a los 30 minutos. Se retira la probeta y registra el volumen de filtrado recogido.

8.4.3. Cálculo del volumen de filtrado

Volumen de filtrado: $\boxed{\text{cm}^3 = 2 \times V_c}$

V_c = Volumen de filtrado recogido entre 7,5 y 3 minutos.

8.5. Hinchamiento

ASTM D 5890

8.5.1. Equipamiento

- ✓ Balanza de precisión de $\pm 0,01$ gr.
- ✓ Probeta de plástico de 100 ml.
- ✓ Espátula metálica.

8.5.2. Procedimiento

En probetas de plástico calibradas, previamente rotuladas se agregan 100 ml de agua destilada hasta el enrase. En forma de lluvia y con una espátula metálica se agregan 2 gr de bentonita (pasante tamiz #200) durante un tiempo de 2 horas. Se lo deja reposar por 24 horas para que todo el material en suspensión decante. Se toma el dato en mililitros, indicando cuanto hinchó la bentonita.

8.6. Impurezas

Norma CEMP (1990)

8.6.1. Equipamiento

- ✓ Horno regulado a 220 ± 5 °F (105 ± 3 °C).
- ✓ Balanza de precisión de $\pm 0,01$ gr.
- ✓ Mezclador y vaso metálico.
- ✓ Hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆.

- ✓ Espátula metálica.
- ✓ Tamiz #E11 (75 micrones).
- ✓ Crisol de cerámica.
- ✓ Piseta con agua destilada.

8.6.2. Procedimiento

Se pesan $10 \pm 0,01$ gr de bentonita secada a estufa a temperatura constante de 105°C . En un vaso metálico (recipiente del agitador, Fig.8) se añaden 350 cm^3 de hexametáfosfato de sodio y se conecta el vaso metálico con un multimixer de paletas rotativas. Se va agregando en forma de lluvia la bentonita en un lapso de 30 ± 1 minutos. Se dejó reposar durante 2 horas. Luego se volvió a agitar durante 2', y se procedió a transferir la muestra a un tamiz # 200, con el uso de una piseta se lava el material hasta que se recoja todo el residuo en un crisol de cerámica previamente rotulado. Se seca el residuo en una estufa a 105°C hasta peso constante. Se pesó en balanza de precisión $\pm 0,001\text{g}$ el crisol y se midieron los resultados de impurezas.

8.6.3. Cálculo de las impurezas

$\text{Residuo, peso. \% mayor que 75 micrómetros} = 100 \frac{(\text{Peso del residuo, gr})}{(\text{El peso de la muestra, gr})} - Cc$

Cc = Corrección de la calibración

8.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de adsorción de azul de metileno

Norma 63 CEMP

8.7.1. Equipamiento

- ✓ Balanza de precisión de $\pm 0,01$ gr.
- ✓ Bureta graduada.
- ✓ Varilla de vidrio.
- ✓ Papel de filtro Whatman 50.
- ✓ Agitador mecánico, vaso metálico.
- ✓ Solución acuosa de pirofosfato de sodio al 3 %.
- ✓ Solución acuosa de azul de metileno (colorante orgánico).

8.7.2. Procedimiento

Se pesan 0,5 g de muestra pasante tamiz 200, se seca en una estufa a 105°C y se incorporan 5 gr de arena patrón en un Erlenmeyer. Se agregan 70 ml de agua destilada en una probeta y 50 ml de Pirofosfato de Sodio. Se mezclan la muestra, la arena patrón y la solución, y se agita en agitador mecánico durante 7'. Se añade solución de azul de metileno medida previamente en una bureta de 50 mL y se agita 2'. Se titula con la bureta enrasada en 100 ml, agitando la solución (con una varilla de vidrio) en la incorporación de cada gota de azul de metileno. Se va viendo el viraje en un papel de filtro Whatman Cat. No 1450-090 hasta observar un halo de color celeste alrededor de la gota.

El valor en mL/0,5g es el valor de adsorción por azul de metileno. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se debe calcular a través de una regla de tres simple, en donde se convierte el valor en mL/0,5g a la CIC en meq/100g, teniendo en cuenta el factor de corrección = 1,008M, propio de la solución de azul de metileno.

8.8. Determinación del pH

8.8.1. Equipamiento

- ✓ pH-metro.
- ✓ Agitador, vaso del agitador.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Cronómetro.

8.8.2. Procedimiento

En una balanza de precisión $\pm 0,001$ se pesan 8 gr de bentonita pasante #40 y se disuelven en 100 mL de agua destilada. Se vierte la solución en el recipiente del agitador multimixer y se mezcla durante 5 minutos. Se sumerge el electrodo del pH-metro en la solución y se mide el valor mediante una observación directa hasta lectura constante.