



1972

Universidad Nacional del Comahue

Facultad de Ingeniería

Departamento de Geología y Petróleo

Licenciatura en Ciencias Geológicas

Trabajo Final de Licenciatura presentado en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, como parte de los requisitos para obtener el título de Licenciado en Ciencias Geológicas.

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

Autor: Federico H. Pignatelli

Directora: Dra. Gisela R. Pettinari

Co-Director: Lic. Juan C. Danieli

Año: 2018

RESUMEN

El trabajo consistió en la caracterización geológica, mineralógica, tecnológica y la estimación de reservas mineras de depósitos de bentonitas y arcillas expansivas de la Fm. Cerro Bandera (Oligoceno superior – Mioceno inferior), del yacimiento Martín Fierro, en cercanías de la meseta de la Barda Negra, en el Depto. Zapala, provincia de Neuquén.

Se realizaron diez perfiles de detalle de tipo *Selley* a escala 1:50, los cuales permitieron identificar cinco litofacies: tres de bentonita (b1, b2 y b2a), una de conglomerado (c1) y la restante de arenisca (a1). La litofacies b1, de 2,5 m de espesor, homogénea, con un alto grado de consolidación y posee un 88 % de arcilla. La litofacies b2, de 8 m, es disgregable y heterogénea; y tiene un 79% de arcilla. La litofacies b2a, posee similares características a la b2, pero con varios niveles de arenisca interdigitados con bentonita, lo que representa un aumento en la fracción arena -12%- y disminución en la fracción arcilla de hasta 75%.

De acuerdo al análisis integral de las litofacies, se reafirma la propuesta de Leanza y Hugo (1997) caracterizando al área del presente trabajo como de ambiente lacustre, en donde drenaban algunos cursos fluviales.

Las bentonitas están mineralógicamente constituidas por un 78% a 87% de minerales arcillosos. En menor proporción se identificaron los minerales acompañantes: cristobalita, feldspatos, cuarzo y micas y como traza se pueden mencionar yeso, calcita y ceolita. El principal mineral arcilloso es una montmorillonita férrica.

En cuanto a las posibilidades de uso, se destacó a la litofacies b1, particularmente la muestra I3, como apta para lodo en perforación, fundición, adsorbentes de micotoxinas, puesta a tierra Electrobén y alimento balanceado. Para la industria cerámica, se destacó a la muestra I9 de la litofacies b2a. La muestra restante de la litofacies b1 y la litofacies b2 serían aptas, en general, siendo mezcladas con otras bentonitas. La litofacies b2a no es recomendada para el uso en las industrias anteriormente mencionadas (exceptuando cerámica).

El cálculo de reservas mineras fue realizado según el método clásico de los bloques, con secciones transversales y longitudinales, obteniéndose como resultado 163.594 t para las reservas probadas y 490.782 t para las reservas probables.

Palabras Claves

Bentonita – Minerales arcillosos – Fm. Cerro Bandera – Reservas – Geología

ABSTRACT

This study consisted in the geological, mineralogical, technological characterization and mining reserves estimation of bentonites and expansive clays from Cerro Bandera formation (Upper Oligocene - Lower Miocene), located in Martin Fierro deposit, in the vicinity of “Barda Negra” plateau, Zapala department, Neuquén Province.

Ten Selley-type sections in 1:50 scale were made, which allowed to identify five lithofacies: three of bentonite (b1, b2 and b2a), one of conglomerate (c1) and the remaining one constitute by sandstone (a1). The lithofacies b1, which is 2.5 m thick, is homogeneous, it has a high degree of consolidation and 88% clay. Lithofacies b2, which is 8 m width, is disintegrable and heterogeneous, and it has 79% clay. The b2a lithofacies, has similar characteristics to the b2, but with several sandstone levels interdigitated with bentonite, which represents an increase in the sand fraction -12% - and a decrease in the clay fraction up to 75%.

According to the integral analysis of the lithofacies, the proposal of Leanza and Hugo (1997) is reaffirmed characterizing the present study area as a lake environment, where river courses drained.

The mineralogical composition of the bentonites is 78% to 87% of clay minerals. In a smaller proportion, the accompanying minerals cristobalite, feldspars, quartz and micas were identified; while as trace minerals could be found gypsum, calcite and zeolite. The main clay mineral is a ferric montmorillonite.

Regarding the possibilities of use for these bentonites, the b1 lithofacies, particularly sample I3, it was found to be suitable for drilling mud, smelting, mycotoxin adsorbent, Electroben grounding and balanced feed. Particularly I9 sample, of b2a lithofacies, is suitable to be used for ceramic industry. The remaining sample of lithofacies b1 and lithofacies b2 would be suitable, in general, being mixed with other bentonites. The b2a lithofacies is not recommended for its use in the aforementioned industries (except ceramics).

The calculation of mining reserves were made accordingly to the classic “method of the blocks”, with transversal and longitudinal sections, obtaining as a result 163.594 t for proved reserves and 490.782 t for probable reserves.

Key Words

Bentonite – Clay minerals – Cerro Bandera Fm. – Reserves – Geology

INDICE

RESUMEN.....	II
ABSTRACT	III
INDICE	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Ubicación del área de estudio	3
2. MARCO GEOLÓGICO	4
2.1 Cuenca Neuquina	4
2.2 Unidades morfoestructurales del Engolfamiento Neuquino.....	6
2.3 Estratigrafía: Formación Cerro Bandera	8
2.4 Antecedentes en la zona de estudio	10
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
3.1 Terminología utilizada	10
3.2 Estructura de los minerales arcillosos	12
3.2.1 Grupo de la esmectita	13
3.3 Propiedades físico-químicas	15
3.4 Yacimientos, producción y usos	16
3.4.1 Yacimientos de bentonitas en el mundo, en la Argentina y en la Norpatagonia	16
3.4.2 Producción	17
3.4.3 Usos.....	17
4. METODOLOGÍA	17
4.1 Trabajo de Campo	17
4.2 Trabajo de laboratorio.....	18
4.2.1 Preparación de las muestras.....	21
4.2.2 Análisis granulométrico	21
4.2.3 Análisis mineralógico	22
4.2.4 Microscopía electrónica de barrido	24
4.2.5 Análisis químico.....	25
4.2.6 Determinación de propiedades geotécnicas	26
4.2.6.1 Gravedad específica	26
4.2.6.2 Límites de Atterberg	26
4.2.6.3 Hinchamiento volumétrico	28
4.2.7 Ensayos estáticos de reología para uso en perforación	29

4.2.7.1 Viscosidad	29
4.2.7.2 Filtrado.....	29
4.2.8 Adsorción por azul de metileno.....	30
4.2.9 Determinación de pH	31
4.2.10 Análisis de tamizado húmedo (impurezas)	31
4.3 Trabajo de gabinete	32
4.3.1 Cálculo de reservas mineras.....	32
5. RESULTADOS.....	34
5.1 Perfiles.....	34
5.2 Litofacies	58
5.3 Análisis granulométrico.....	66
5.4 Análisis mineralógico	70
5.4.1 Mineralogía sobre muestra total.....	70
5.4.2 Mineralogía de la fracción arcillosa.....	73
5.4.3 Microscopia electrónica de barrido.....	75
5.5 Análisis químico	79
5.6 Ambiente sedimentario y génesis de las bentonitas.....	82
5.7 Límites de Atterberg	85
5.8 Aptitud de uso.....	88
5.8.1 Ensayos para uso en perforación	88
5.8.2 Fundición	90
5.8.3 Bentonita para industria cerámica	91
5.8.4 Bentonitas como adsorbentes de micotoxinas.....	92
5.8.5 Bentonita para puesta a Tierra – tipo Electroben.....	94
5.8.6. Bentonitas para alimentos balanceados para animales	95
5.9 Uso de los términos bentonitas / arcillas expansivas	96
5.10 Cálculo de Reservas	97
6. CONCLUSIONES.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	101

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y mi hermana, por permitirme estudiar sin tener que preocuparme por otra cosa. Nada de esto hubiera sido posible sin su formación y educación durante toda mi vida. Gracias por darme todo siempre y hacer que nunca me haya faltado absolutamente nada.
- A Gisela Pettinari, por su apoyo constante incluso antes de que comience a estudiar en la universidad, su paciencia, consejos y correcciones hicieron posible el desarrollo y finalización de este trabajo. El aprendizaje no es solo académico sino que me lo llevo para el resto de mi vida.
- A Juan Carlos Danieli, por su predisposición, apoyo y sabiduría, por decirme que si a este trabajo desde un primer momento y acompañarme en todo lo que necesité.
- A la empresa minera José Cholino e hijos S.R.L. por permitirme la realización del trabajo final, a la gente del paraje de la Barda Negra por prestarme el laboratorio y dejarme andar por el yacimiento sin problemas. A la gente del laboratorio de Roca, también le agradezco haberme dejado usar sus instalaciones sin problema alguno.
- Al tribunal designado, Dra. Telma Musso, Dra. Agnes Impiccini y Dr. Jorge Vallés, por su tiempo y rápidas correcciones que ayudaron a enriquecer enormemente este trabajo final.
- A mis amigos de la universidad, que hicieron que este camino sea muchísimo más fácil, estando siempre en las buenas y en las no tan buenas.
- A mis amigos de la secundaria, de futbol, de Boca, de la vida, por haberme acompañado durante todo momento y ayudarme cuando más lo necesitaba.
- A todos los profesores que tuve en esta etapa y en otras anteriores de mi educación, además de enseñarme y formarme académicamente, me ayudaron a ser mejor persona.
- A toda la gente del CIMAR y resto de la universidad por haberme acompañado y facilitado las cosas en este tiempo.
- A San Expedito y San Cupertino por acompañarme siempre.

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad” Albert Einstein.

"Muchos fracasos de la vida han sido de hombres que no supieron darse cuenta de lo cerca que estaban del éxito cuando se rindieron" Thomas Edison.

“Si quieres hacer reír a Dios, cuéntale tus planes” Woody Allen.

1. INTRODUCCION

La cuenca Neuquina, ubicada en el sector centro-oeste de la República Argentina, es una de las mayores áreas de producción de bentonitas y otros recursos minerales no metalíferos a nivel nacional. El departamento Zapala, se encuentra ubicado en el centro de la provincia de Neuquén, y una de sus principales actividades económicas está relacionada a la minería. Su desarrollo minero de mayor relevancia, ha sido históricamente el relacionado a la explotación de calizas, arcillas y minerales de cobre, a las que desde más de 70 años se sumaron los de bentonitas, granulados volcánicos y áridos en general (Danieli, 1997). Allí se encuentran los depósitos terciarios cercanos a la meseta de la Barda Negra y a los cerros Portezuelo y Bandera, que han sido de intensiva explotación y desarrollo en los últimos 50 años.

La primera manifestación de descubrimiento de bentonita en la Patagonia fue hecha en 1946 por López Durand y Vita, en el departamento de Añelo, provincia de Neuquén. En el contexto favorable del mercado interno de los años 60, comienza el desarrollo del distrito minero de bentonitas terciarias del departamento Zapala (Vallés, 2004).

Son numerosos los autores que han estudiado los depósitos bentoníticos de esta zona, entre los cuales se destacan Angelelli *et al.* (1976), Peineman *et al.* (1972), Domínguez (1981), Pelz (1988), Giusiano y Ludueña (1990), cuyo aporte fue la descripción geológica y características físico-químicas de un grupo de yacimientos. Posteriormente, Vallés *et al.* (1992) y Vallés y Giaveno (1993), realizaron un aporte desde la mineralogía, comportamiento reológico y térmico y de las características físico-químicas de estas bentonitas. La Dirección Provincial de Minería de Neuquén (1997) publicó un estudio general sobre la geología y los recursos minerales del departamento Zapala, mencionando a las bentonitas de manera general y particular en algunos yacimientos, donde se destaca la enorme potencialidad de la zona en cuanto a la explotación. Finalmente, Impiccini y Vallés, en 1999, 2002, 2011, dan difusión a estudios sobre las bentonitas terciarias en el distrito de Zapala en su conjunto, con datos actualizados, incluyendo geología, características físico-químicas, mineralogía y propiedades tecnológicas de las mismas.

La bentonita es definida como una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, principalmente montmorillonita, con independencia de su génesis y modo de aparición (Grim, 1978). Este mineral expansivo es dioctaédrico, con tipo de capa 2:1. Posee una carga negativa permanente, que surge de la sustitución isomórfica de Al^{3+} por Si^{4+} en la hoja tetraédrica y Mg^{2+} por Al^{3+} en la hoja octaédrica. Esta carga negativa está naturalmente compensada por cationes intercambiables (Na^+ , Ca^{2+}) localizados en el espacio de intercapa (Bergaya y Lagaly, 2006). La montmorillonita tiene una capacidad de intercambio catiónico alta, un hinchamiento marcado y una superficie específica alta. Las aplicaciones tecnológicas de estos materiales arcillosos naturales, dependen principalmente de la composición mineral total, de la distribución del tamaño de partícula, de las condiciones de procesamiento y particularmente del estado y la distribución de la carga electrostática de las capas estructurales de los minerales de arcilla (Maes *et al.* 1979). Todas esas características le confieren propiedades y aptitudes de uso en un amplio espectro industrial. Este tipo de arcillita extraída en la zona es usada

mayormente para la industria petrolera, como aditivo en los lodos de perforación, y en menor medida, para las industrias metalúrgicas (fundición), cerámica, entre las más destacadas.

El área de estudio de este trabajo está localizada dentro del yacimiento Martín Fierro, perteneciente a la empresa minera José Cholino e hijos S.R.L. El área, de un perímetro de 600 m, quedó delimitada por las labores de extracción a cielo abierto de la empresa. Los depósitos de arcilitas estratigráficamente pertenecen a la Fm. Cerro Bandera (Oligoceno superior – Mioceno superior) definida por Leanza y Hugo (1997), compuesta por un conjunto de sedimentitas continentales epi y piroclásticas que se disponen en discordancia sobre la Formación Huincul (Grupo Neuquén) y son cubiertas en paraconcordancia por cineritas blanquecinas de la Formación Collón Curá. Es objetivo de este estudio describir la geología en detalle, caracterizar tecnológicamente a las arcilitas y realizar una estimación de las reservas mineras en el área. Se pretende además, contribuir con los criterios de explotación y comercialización de estas sustancias.

1.1 Objetivos

Objetivo General

El objetivo general del presente trabajo es estudiar la geología, estimar las reservas y caracterizar tecnológicamente las arcillas expansivas y bentonitas comerciales del yacimiento Martín Fierro, Departamento Zapala. Se pretende además, contribuir con los criterios de explotación y comercialización de estos materiales.

Objetivos Específicos

- Correlacionar perfiles sedimentológicos que contengan los niveles estudiados.
- Estimar las reservas de bentonitas y arcillas expansivas asociadas.
- Caracterizar desde el punto de vista granulométrico, mineralógico, físico-químico y reológico estas sustancias para establecer y proponer posibles usos y/o aplicaciones.

1.2 Ubicación del área de estudio

El yacimiento Martín Fierro perteneciente a la empresa Minera José Cholino e hijos S.R.L. se encuentra 15 km al sur de la intersección de la Ruta Nacional 22 y la Ruta Provincial 34, entre las localidades de Zapala y Cutral C6. Dicha intersección se encuentra 35 km al este de la ciudad zapalina. El yacimiento posee un perímetro de 2,38 km, aproximadamente, y un área estimada de 265.526 m².

El área de estudio, ubicada dentro de esta pertenencia minera, queda delimitada por labores a cielo abierto de la empresa, abarcando un perímetro de 600 m y un área de 13.000 m², aproximadamente (Fig. 1).

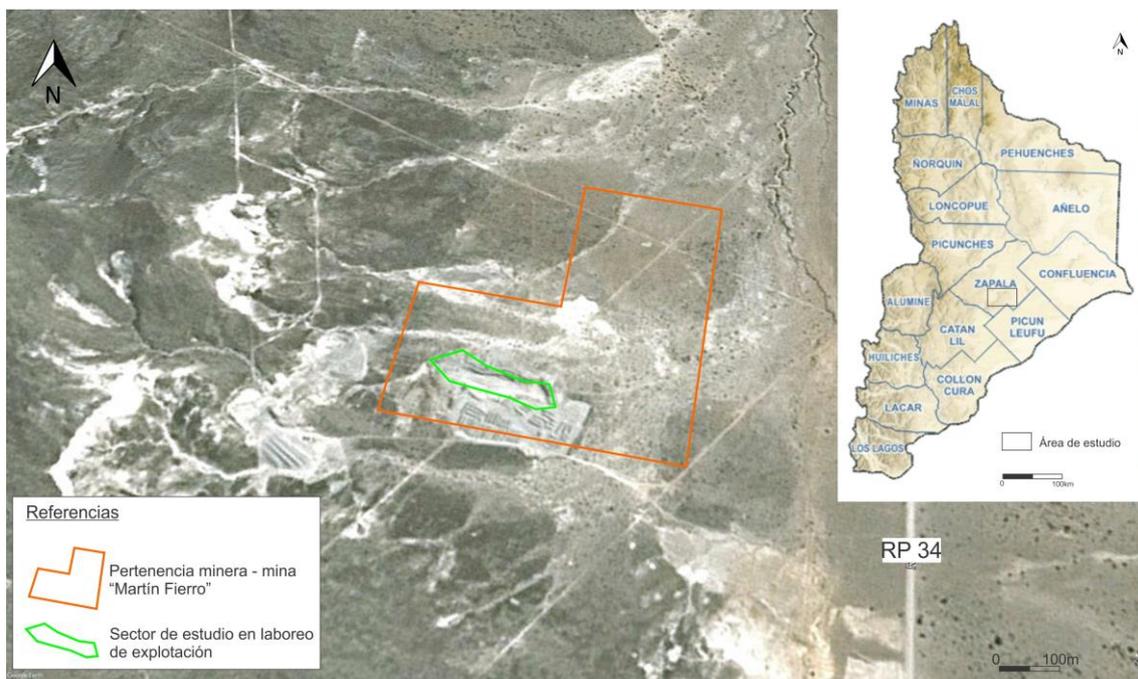


Figura 1. Ubicación del área de estudio con respecto al yacimiento Martín Fierro y a la provincia de Neuquén (modificado de Google Earth).

2. MARCO GEOLÓGICO

En la Fig. 2 se muestra un mapa geológico general del área del presente trabajo.

2.1 Cuenca Neuquina

La cuenca Neuquina está ubicada en el centro-oeste de la República Argentina, abarca geográficamente las provincias de Neuquén, Mendoza, sur de San Juan y oeste de Río Negro y La Pampa. Cuenta con una superficie aproximada de 120.000 km².

Es una cuenca de tipo antepaís, que registra una columna sedimentaria de más de 6000 m de espesor, incluyendo rocas marinas y continentales que van desde el Triásico superior al Paleoceno (Howell *et al.* 2005). Estas secuencias sedimentarias se depositan en el ámbito de una cuenca de intraarco a trasarco, a través de un proceso que se inicia en el Triásico superior con la configuración de un sistema de *rifting* y que culmina en el Paleoceno con el inicio de la orogenia Andina (Mendiberri *et al.* 2005).

La cuenca Neuquina constituye una cubeta subandina que se asocia a un margen de placas convergentes, una de naturaleza oceánica que formó parte del proto-oceano Pacífico y otra formada por corteza continental que constituyó el límite sudoccidental de Gondwana (Arregui *et al.* 2011a).

Los datos más antiguos del basamento se corresponden con la transición entre los ciclos fini-Famatiense (Silúrico - Devónico) y el inicio del Gondwánico del Paleozoico superior y Triásico. Esta etapa de evolución está vinculada a un margen convergente, procesos de fusión, reciclaje cortical y colisiones de terrenos alóctonos o para-autóctonos (Chilena, Patagonia) (Cingolani *et al.* 2011).

En el Paleozoico tardío, los depósitos del Grupo Andacollo indicarían la presencia de un arco magmático, en una época de un marcado dominio de ambiente extensional de retroarco (Danieli *et al.* 2011).

El ciclo Gondwánico, que abarca el período entre el Carbonífero temprano y el Triásico temprano, es un ciclo mayormente eruptivo, pero también incluye cuencas sedimentarias. La provincia magmática Choiyoi (Pérmico – Triásico temprano) representa el pico de actividad magmática de este ciclo.

La evolución de la cuenca puede ser dividida en tres grandes etapas: en primer lugar, una fase de relleno de *rift*, correspondiente al grupo Precuyano, que fue definido por Gulisano (1981), y abarca desde el Triásico superior al Jurásico inferior. Una segunda etapa, de *postrift*, que se inició con el hundimiento térmico de la cuenca y la primera ingresión marina, para luego tener intervalos de apertura y cierre de comunicación con el océano, con sus respectivos depósitos (Arregui *et al.* 2011b). Se incluyen aquí a los Grupos Cuyo, Lotena, Mendoza y Rayoso, de edad Jurásico media – Cretácico inferior. El tercer período de relleno de la cuenca corresponde a la fase de antepaís, originada como consecuencia de una tectónica compresional sobre el margen andino a fines del Cretácico inferior. Se inicia con los depósitos del Grupo Neuquén, (Cretácico tardío) (Stipanovic *et*

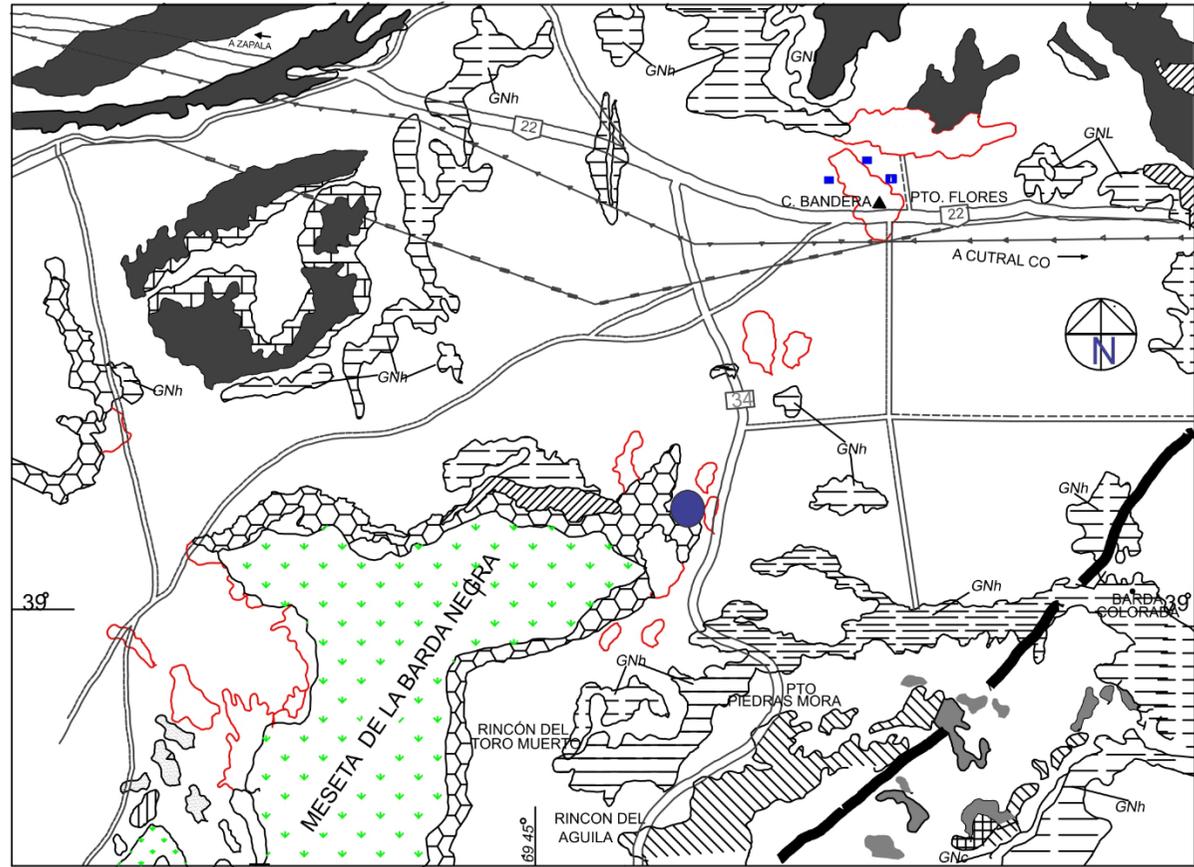
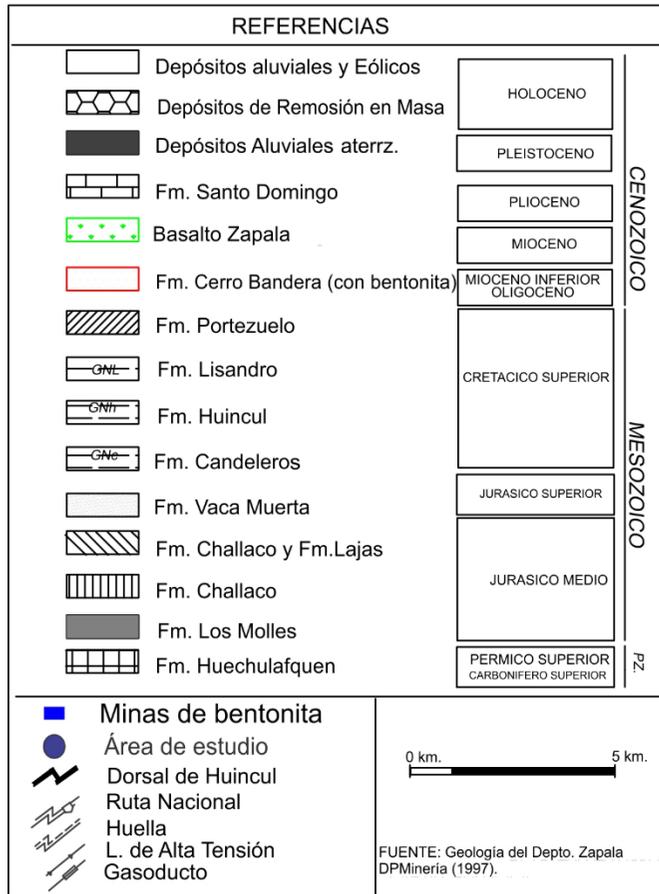


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio (modificado de Impiccini y Vallés, 2002).

al. 1968), luego el grupo Malargüe (Cretácico tardío – Paleógeno temprano), que constituye la primer transgresión proveniente del Océano Atlántico dentro de esta cuenca, en un ciclo marcado por la renovada actividad tectónica de los Andes (Howell *et al.* 2005).

En el Oligoceno superior – Mioceno inferior, existió una fase de sedimentación caracterizada por sistemas fluviales, lacustres y volcanoclásticos que se desarrollaron al mismo tiempo de generación de un relieve de origen extensional (Folguera *et al.* 2011a). Es aquí donde se ubican los depósitos de la Formación Cerro Bandera, que son de interés en el presente trabajo.

Con posterioridad, se produjo una fase de construcción andina asociada al crecimiento de estructuras compresivas en la Cordillera Principal, mostrando una sedimentación asociada a depósitos de talud altamente influenciada en cuanto a su distribución y variación de espesores. Finalmente, sectores discretos de la faja plegada y corrida Neógena se relajan extensionalmente, controlando las áreas de emplazamiento y sedimentación de estratos pliocenos a cuaternarios (Folguera *et al.* 2011a).

En cuanto a las secuencias volcánicas y complejos magmáticos neógenos a cuaternarios, en el ámbito de la provincia de Neuquén, pueden ser divididos en tres conjuntos principales: primero, una serie de depocentros interconectados reunidos en la cuenca de Cura Mallín, perteneciente al ámbito andino, contemporáneo a productos volcánicos de retroarco del Oligoceno superior al Mioceno inferior; segundo, secuencias volcánicas y complejos plutónicos con afinidad de arco que se han expandido a través del retroarco en el Mioceno superior; y tercero, secuencias volcánicas pliocenas a cuaternarias bimodales localizadas desde la región del arco actual hasta el antepaís. La descripción de la distribución espacial de estas secuencias permite proponer un modelo simple en el cual se han producido dos somerizaciones de la zona de subducción coincidentes con la región norte y sur de Neuquén respectivamente, trasgrediendo los límites de la provincia, seguidas por empinamientos de la misma en los últimos 5 millones de años, lo cual condujo a grados de inyección astenosférica disímiles asociados a la generación de *plateaux* volcánicos de variable duración y tamaño (Folguera *et al.* 2011b).

2.2 Unidades morfoestructurales del Engolfamiento Neuquino

El engolfamiento Neuquino, así denominado por Bracaccini (1970), comprende la región extraandina del Neuquén. Está caracterizado por un plegamiento de las secuencias mesozoicas y terciarias descrito por Herrero Ducloux (1946). Su límite occidental está dado por la Cordillera Principal, siguiendo la propuesta de Yrigoyen (1979) quien incluye en esta unidad las estribaciones montañosas asociadas al volcán Tromen y su proyección hacia el sur hasta la sierra de la Vaca Muerta. El límite nororiental está dado por el borde de la cuenca neuquina en su contacto con el basamento del Bloque de San Rafael y su proyección hacia el sur. El límite sudoriental coincide nuevamente con el de la cuenca neuquina y su basamento constituido por las estribaciones del Macizo Norpatagónico o de Somuncurá (Ramos *et al.* 2011).

Como principales unidades, se incluyen a la dorsal de Huincul, el dorso de los Chihuidos, la faja plegada y corrida del Agrio, el flanco oriental, el umbral de Sañicó, la faja plegada y corrida de Malargüe y la fosa de Collón Curá (Fig. 3). El área de estudio del actual trabajo se encuentra al noroeste de la dorsal de Huincul (Fig. 2).

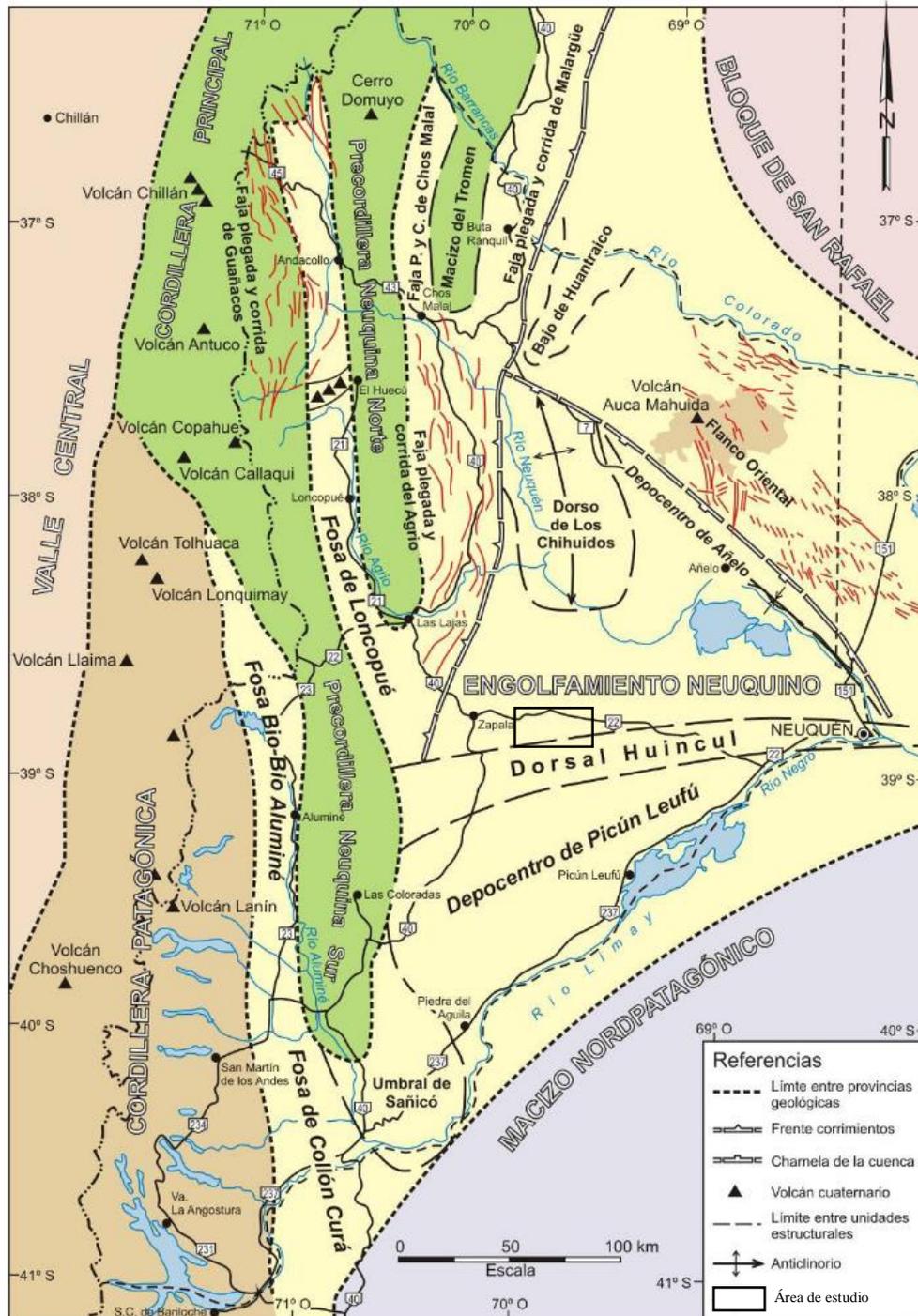


Figura 3. Ubicación de la Cuenca Neuquina y sus provincias geológicas (modificado de Ramos *et al.* 2011)

2.3 Estratigrafía: Formación Cerro Bandera

Roll (1939) y Herrero Ducloux (1946) son los primeros en hacer menciones referentes a estos depósitos. Gentili (1950) y Uliana (1978) hicieron breves referencias también de los depósitos, para las localidades de Barda Negra y Cerro Bandera.

Delpino *et al.* (1995) designó a las sedimentitas del Neógeno continental en el área de la Barda Negra con el nombre de Fm. La Beatriz, pero Leanza y Hugo (1997) introducen finalmente la nomenclatura actual de Fm. Cerro Bandera.

Esta unidad se extiende según una angosta cubeta de a 1 a 2 km de ancho alineada en sentido NE-SE entre el cerro Bandera y la extremidad NE de la Barda Negra, la misma es puesta de manifiesto merced a labores a cielo abierto o perforaciones producto de la explotación de bentonitas procedentes de la unidad en análisis.

La unidad está dominada por limolitas y arcilitas, que se interdigitan con sedimentitas tufíticas. Sobre la base de las observaciones de los autores anteriores, Kramarz *et al.* (2005) proponen también añadir a esta unidad depósitos tobáceos, bentoníticos y tufíticos, ampliando la extensión areal de la formación. Las limolitas y arcilitas fueron depositadas en un ambiente lacustre, coincidente con su diseño de cubeta. También en esta unidad, drenaban algunos cursos fluviales inferidos por la presencia de psefitas con base de corte y relleno, reveladoras de un ambiente de mayor energía. En forma simultánea, se produjo en ese contexto la caída de cenizas volcánicas, configurándose un ambiente propicio para la generación de bentonitas, las cuales poseen interés comercial (Leanza y Hugo 1997).

El marcado relieve sobre el que se depositó esta formación generó una fuerte variación en los espesores de la secuencia con rápidos acuñaientos laterales, registrándose una potencia máxima de 45 m. La disposición y arquitectura de los estratos de la Fm. Cerro Bandera revelan la presencia de un marcado paleorrelieve, conformado por un grupo de valles relativamente angostos, surcados axialmente por pequeños cursos de agua de carácter entrelazado y de moderada energía. Los frecuentes niveles bentoníticos adjudicados a depósitos de sedimentación subácuca (Leanza y Hugo, 1997) indicarían la existencia de cuerpos de agua tanto estables como semipermanentes (Kramarz *et al.* 2005). La fuerte discordancia sobre la que se apoyan estos depósitos ha sido atribuida por Uliana (1978) y Leanza y Hugo (1997) a un periodo de ascenso y erosión acontecido durante la fase diastrófica Pehuénchica (Oligoceno tardío).

Los eventos diastróficos correspondientes a las fases Quéchuica (Mioceno tardío) y Diaguítica (Plioceno tardío) (Leanza y Hugo, 1997) han sido los principales responsables de la erosión y remoción de los depósitos de la Fm. Cerro Bandera, quedando reducidos a pequeños cuerpos relictuales. Finalmente, cubren a esta unidad en discordancia erosiva, depósitos clásticos del Neógeno y del Cuaternario (Kramarz *et al.* 2005).

Según Kramarz *et al.* (2005), sobre la base de sus relaciones estratigráficas y de similitudes en sus atributos litológicos, faciales y ambientales, se asignan los distintos afloramientos estudiados a una misma unidad litoestratigráfica. Estos registros permiten confirmar una Edad Colhuehuapense (Mioceno temprano) para el grupo de localidades

donde aflora la Fm. Cerro Bandera, coincidiendo así con lo sugerido por Leanza y Hugo (1997), siendo el criterio de estos últimos autores, el seleccionado a seguir en el presente trabajo (Fig. 4).

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

Figura 4. Cuadro estratigráfico simplificado de la Cuenca Neuquina en la zona de estudio (modificado de Leanza y Hugo, 1997).

2.4 Antecedentes en la zona de estudio

Los depósitos de bentonita ubicados en la zona del departamento de Zapala han sido estudiados en forma muy general por Angelelli *et al.* (1976) y específicamente por Peineman *et al.* (1972), Domínguez (1981) y Pelz (1988). Giusiano y Ludueña (1990) complementan la información geológica del área realizando perfiles estratigráficos de detalle en el sector sur de la zona de acumulación de bentonitas. Por otra parte, Vallés *et al.* (1992) y Vallés y Giaveno (1993), realizaron un aporte desde la mineralogía, comportamiento reológico y térmico y de las características físico-químicas de las bentonitas de edad Terciaria del departamento Zapala. La Dirección Provincial de Minería de la Provincia de Neuquén (1997) publicó un estudio general sobre la geología y los recursos minerales del departamento Zapala, mencionando a las bentonitas de manera general y particular en algunos yacimientos, y donde se destaca la enorme potencialidad de la zona en cuanto a la explotación. Impiccini y Vallés en 1999, 2002, dan difusión a estudios sobre las bentonitas terciarias en el distrito de Zapala en su conjunto, con datos actualizados, incluyendo geología, características físico-químicas, mineralogía y propiedades tecnológicas de las mismas. Hasta el año 2011, se asignaba a los depósitos de bentonitas y arcillas expansivas terciarias del departamento de Zapala a la Formación Collón Curá (Kraglievich 1930). Impiccini y Vallés (2011) son los primeros que las introducen dentro de la Fm. Cerro Bandera (Leanza y Hugo, 1997), y amplían la información sobre las bentonitas de la zona.

3- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. Terminología utilizada

- Arcilla: se refiere a un material que ocurre naturalmente, constituido principalmente por minerales de grano fino, el cual es generalmente plástico a contenidos de agua apropiados y que se endurece cuando se seca o calcina. Las fases asociadas en una arcilla pueden incluir materiales que no imparten plasticidad, así como también materia orgánica (Guggenheim y Martin, 1995).
- Mineral arcilloso: minerales que pertenecen a la clase de los silicatos, grupo de los filosilicatos.
- Esmectita: nombre del grupo para los minerales de filosilicatos 2: 1 con una carga de capa negativa neta de entre aproximadamente -0.2 y -0.6 por unidad de fórmula en la capa. Una fórmula generalizada es $X_{0.3}Y_{2-3}Z_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$, donde X es el catión intercambiable (Ej.: Ca / 2, Na, K, Mg / 2), Y es un catión de tamaño pequeño a mediano (Ej.: Al, Cr³⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Li, Mg, Ni, Zn), Z = Si, Al, y n es un número racional (no necesariamente un número entero). La esmectita a menudo se caracteriza por la solvatación de moléculas orgánicas polares en la capa intermedia causando un hinchamiento pronunciado entre las capas (perpendicular al plano (001)). La esmectita se conoce comúnmente como "arcilla

expansiva", como lo es la vermiculita. El término de roca, bentonita, se refiere a un material rico en esmectita (CMS, 2018).

- Arcilla expansiva: una arcilla que puede adsorber grandes cantidades de agua y por lo tanto se expande en volumen. Los minerales de arcilla expansiva, esmectita y vermiculita, si se presentan como material de grano fino, se denominan "arcillas expansivas". En la industria, las bentonitas se conocen comúnmente como "arcilla expansiva". Se ha demostrado que algunas arcillas denominadas "arcillas expansivas" están dominadas por minerales arcillosos caracterizados por interstratificaciones de dos variedades de capas de filosilicatos, una que se puede expandir por adsorción de agua y otra no, como en "clorita expansiva" que es una interstratificación de clorita y esmectita (CMS, 2014).

- Bentonita: El término "bentonita" fue aplicado por primera vez por el geólogo norteamericano Knight en 1898, a una clase de arcilla muy particular que tenía propiedades "jabonosas", que poseía una gran plasticidad y era altamente coloidal. Esta arcilla procedía de la Fm. Benton Shale, del Cretácico en Wyoming, USA (Hevia, 2007).

Término mineralógico - petrológico: roca suave, plástica, de color claro, compuesta principalmente de minerales arcillosos del grupo de esmectita, particularmente el mineral arcilloso montmorillonita, que se forma típicamente a partir de la alteración química de la ceniza volcánica o toba volcánica, en condiciones marinas o hidrotermales. La bentonita puede contener minerales accesorios que originalmente eran fenocristales en la roca madre, así como fases minerales autigénicas secundarias, como el feldespato potásico (CMS, 2018).

Término industrial: material de arcilla altamente coloidal y plástico, compuesto principalmente del mineral arcilloso montmorillonita, que se utiliza comúnmente en el lodo de perforación, como ligante de arena de fundición, arena para gatos, alimentación animal, cementos, cerámica y otras actividades industriales y productos. La bentonita sódica se hincha significativamente cuando se expone al agua (a ~ 12X) mientras que la bentonita cálcica tiene una capacidad mínima de hinchamiento (a ~ 3X) (CMS, 2018).

La bentonita es definida por R.E. Grim (1978): "bentonita es una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, con independencia de su génesis y modo de aparición".

3.2. Estructura de los minerales arcillosos

En este trabajo se tomó como base el criterio propuesto en Moore y Reynolds (1997): los minerales arcillosos son aluminosilicatos hidratados y se clasifican como filosilicatos (phylloson = hoja/lámina); tienen como rasgo estructural tetraedros (SiO_4)⁴⁻, la unión de estas unidades en disposición bidimensional dará lugar a la formación de dos tipos de hojas:

Hoja tetraédrica (T): tiene una composición química representada por TO_4 , siendo T el catión tetraédrico (Si^{4+} , Al^{3+} , o Fe^{3+}). Los tetraedros de sílice contienen un átomo de Si^{4+} , que ocupa el intersticio del centro, rodeado de cuatro átomos de oxígeno, la carga de tal unidad es -4, los tetraedros se unen entre sí compartiendo tres oxígenos basales conformando la hoja tetraédrica. El cuarto oxígeno apical apunta en dirección normal a la hoja y al mismo tiempo forma parte de una hoja octaédrica inmediatamente adyacente.

Hoja octaédrica (O): cuando un catión (Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , o Fe^{3+}) ocupa el centro y coordina a su alrededor seis oxígenos u hidroxilos se conforma un octaedro, estos comparten lateralmente los hidroxilos formando una hoja octaédrica extendiéndose en forma bidimensional. Cuando en la celda unitaria de esta hoja, todos los sitios octaédricos están ocupados, se denominan trioctaédricas, si en cambio cuatro de los seis octaedros están ocupados, serán dioctaédricas.

Capas T:O y T:O:T

El vértice no compartido de la hoja tetraédrica también forma parte de un lado de la hoja octaédrica, pero se localiza un átomo adicional de oxígeno arriba en la hoja tetraédrica, al centro del sexto tetraedro. Ese átomo de oxígeno, se une al átomo de hidrógeno formando un grupo OH en la estructura. La unión entre la hoja tetraédrica (T) y octaédrica (O), da lugar a dos tipos de estructuras que se llaman capa T:O o tipo 1:1 y T:O:T o tipo 2:1. En la sucesión o apilamiento de capas, queda un espacio que se denomina espacio intercapa o interlaminar.

Carga de la capa

Los minerales arcillosos de tipo 1:1 o 2:1 pueden tener carga eléctrica neutra o negativa. El primer caso se produce cuando en la hoja O contiene cationes R^{3+} en dos de los tres sitios octaédricos, o cationes R^{2+} en todos los sitios combinado con hoja T conteniendo Si^{3+} en todos los sitios tetraédricos. Pero lo más frecuente es la sustitución isomórfica donde por ej. el Al^{3+} sustituye al Si^{4+} en la hoja T, quedando con carga negativa la capa debido al reemplazo de átomos de la estructura por otros de menor valencia (Al^{3+} por Si^{4+} o Mg^{2+} por Si^{4+}), a estas cargas se las denomina permanentes y están asociadas a procesos geológicos.

El otro tipo de cargas negativas son dependientes del pH del medio y surgen de la disociación de grupos superficiales en los bordes de las partículas, a estas se las denomina cargas variables. El desbalance de cargas de las capas 1:1 o 2:1 es neutralizado por los cationes intercambiables (Na^+ , Ca^{2+} , K^+) y que se localizarán en el espacio de intercapa (Fig.5). Las cargas son responsables de algunas de las propiedades superficiales más

importantes como la capacidad de intercambio, la absorción de moléculas polares como el agua, así como de otros compuestos orgánicos en el espacio intercapa, causando el hinchamiento de estos materiales.

Moore y Reynolds (1997) proponen una clasificación de los minerales arcillosos basada en Bailey (1980 a, b), Brindley (1981), Hower y Mowat (1966) y Srodon (1984) en la que se subdividen en el tipo de capa, carga de la capa o tipo de carga como criterio de clasificación (Tabla 1).

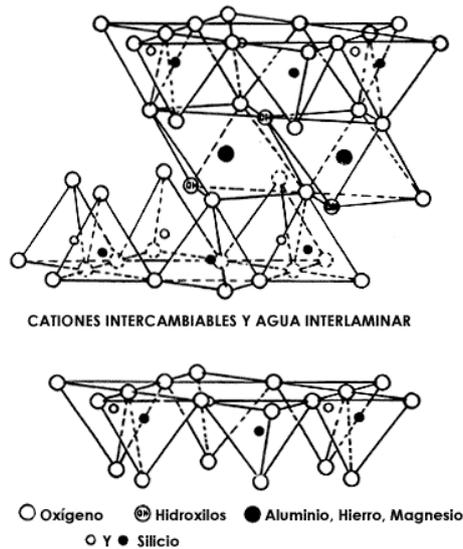


Figura 5. Estructura de mineral arcilloso tipo 2:1

3.2.1 Grupo de la esmectita

Desde 1955 a la fecha son varios los autores y comités especializados que han definido el término esmectita; la última revisión del CMS (2018) define a la esmectita como el de un grupo de filosilicatos de capa 2:1 con una carga de ~ -0.2 a -0.6 por unidad estructural. El grupo se divide además en subgrupos que son trioctaédricos (subgrupo saponita) o dioctaédrica (subgrupo de montmorillonita), y estos subgrupos se dividen además en especies minerales basadas en la composición química.

Los minerales de esmectita tienen grandes superficies específicas ($10 - 700 \text{ m}^2/\text{g}$), poseen cationes intercambiables en los espacios de intercapa, lo cual causa una expansión de la estructura, propiedad que es valiosa para aplicaciones en la industria y la geotecnia.

Las montmorillonitas son esmectitas dioctaédricas, con poca o nula carga tetraédrica, en donde la carga de la capa está ocasionada por sustitución de Al^{3+} y Mg^{2+} en la hoja octaédrica. Cuando el Si^{4+} es sustituido por el Al^{3+} , se genera la beidelita con lo cual posee principalmente carga tetraédrica y poca carga octaédrica. En cambio cuando el Al^{3+} octaédrico es sustituido por el Fe^{3+} , la carga es en la hoja octaédrica.

La composición química de las esmectitas dioctaédricas está representada por las siguientes fórmulas:

- Montmorillonita $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- Beidellita $(\text{Na}, \text{Ca}_{0,5})_{0,3}\text{Al}_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.
- Nontronita $(\text{Na}_{0,3}\text{Fe}^{3+})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Tipo de capa	Grupo (X= carga)	Subgrupo	Minerales
1:1	Caolín / serpentina X ~ 0	Caolines (Di)	Caolinita, Dickita, Nacrita, Halloysita.
		Serpentinas (Tr)	Crisotilo, Antigorita, Lizardita
2:1	Talco / pirofilita X ~ 0	Talcos (Tr), Pirofilitas (Di)	
	Esmectita X ~ 0,2 - 0,6	Esmectitas (Tr) Esmectitas (Di)	Saponitas, Hectorita Montmorillonita, Beidellita, Nontronita
	Vermiculita X ~ 0,6 - 0,9	Vermiculitas dioctaédricas y trioctaédricas	
	Illita 0,6 > X < 0,9	Illita (Tr) Illita (Di)	Illita, Glauconita
	Mica X ~ 1	Micas y micas frágiles dioctaédricas y trioctaédricas	Biotita, moscovita, clintonita, margarita
	Clorita X ~ variable	Cloritas (Tr) (Di)	Sudoita, Cookeita
2:1 Capas invertidas	Sepiolita / palygorskita	Sepiolitas, Palygorskitas	

Tabla 1. Clasificación de minerales arcillosos según tipo de capa, grupo / subgrupo (Moore y Reynolds, 1997).

3.3. Propiedades físico-químicas

Las aplicaciones industriales del grupo de las esmectitas están directamente relacionadas con sus propiedades físico-químicas, entre las que se destacan:

- Superficie específica
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Adsorción
- Hinchamiento
- Plasticidad
- Tixotropía

En el caso de las esmectitas dioctaédricas, la sustitución de cationes divalentes por trivalentes, genera un exceso de carga negativa. En cambio, en las trioctaédricas, la sustitución de los cationes trivalentes por los divalentes genera un exceso de carga positiva (Galán, 2006). Esto influye fuertemente en la capacidad de intercambio catiónico, hinchamiento y comportamiento reológico.

En cuanto al hinchamiento, por ejemplo, las esmectitas sódicas tienen la capacidad de hincharse considerablemente (10-20 veces su volumen), mientras que las cálcicas no poseen esta propiedad. El reducido tamaño de partículas, le confiere un gran área superficial, dándole poder adsorbente, propiedad fundamental para sus aplicaciones. Las suspensiones acuosas de bentonita manifiestan un comportamiento tixotrópico caracterizado por la formación de geles de apariencia sólida, cuya rigidez desaparece cuando la suspensión es sometida a esfuerzos o movimientos. Este fenómeno coloidal es reversible y según la suspensión se encuentre en reposo o movimiento, se manifiesta como gel o como fluido más o menos viscoso. Las bentonitas tienen un elevado contenido de materia arcillosa coloidal, usualmente cercano al 90% del volumen (mientras que una arcilla plástica tiene alrededor de un 40% del volumen), por lo que incluso en pequeñas proporciones pueden favorecer la plasticidad de un cerámico (Odom 1984) (Moreira Toja, 2016).

3.4. Yacimientos, producción y usos

3.4.1. Yacimientos de bentonitas en el mundo, en la Argentina y en la Norpatagonia

La bentonita a escala mundial es encontrada principalmente en depósitos Cretácicos y Paleógenos – Neógenos. En Estados Unidos, se destacan por su abundancia y su calidad las bentonitas sódicas de Wyoming, y las cálcicas de Mississippi, además en: California; Amargosa Valley, en Nevada y el yacimiento de Cheto, Arizona, entre otros. El resto del mundo tiene ejemplos en yacimientos como: Manitoba (Canadá), Milos (Grecia), Pentakomo (Chipre), Ankara (Turquía), Sardinia e Isla de Ponza (Italia), Geisenheim (Alemania), Fuller's Earth (Gran Bretaña), Hokkaido y Housu (Japón), Rajasthan (India), entre los más importantes (Harben y Kuzvart, 1997).

La nómina de provincias argentinas productoras dedicadas a la actividad extractiva e industrial de bentonitas son: Rio Negro, La Pampa, San Juan, Neuquén y Mendoza (SEGEMAR y UNSAM, 2007). La provincia de San Juan posee una importante variedad de recursos de este tipo, algunos de los cuales representan importantes fuentes de materias primas para un amplio espectro de industrias (especialmente del cemento) y aporta una gran parte de la producción nacional de materiales calcáreos, bentonitas y travertinos (Fundación Okita, 2007).

En la Norpatagonia, se definen dos subregiones mineralogenéticas que se caracterizan geográfica y estratigráficamente, según Vallés (1987):

-Subregión de las bentonitas del Cretácico superior – Maestrichtiano, distribuidas en la provincia de La Pampa, Rio Negro y Neuquén, al Este del meridiano de 66° 30'. Aquí se destaca la zona del Lago Pellegrini, Rio Negro, en donde las bentonitas se encuentran en la sección media de la Fm. Allen. Está formada por montmorillonita y son producto de desvitrificación y alteración química de material vítreo ígneo y cantidades pequeñas de minerales de rocas ígneas, depositadas en cuencas litorales de aguas someras de baja energía, parcialmente restringido a la acción del oleaje (SEGEMAR y UNSAM 2007). Otra zona importante en esta subregión es la de los depósitos cretácicos del Depto. Añelo, localizados también en la sección media de la Fm. Allen. Las bentonitas de esta zona conforman una franja elongada en sentido norte-sur, expuesta en las laderas que bajan hacia el oeste y en forma discontinua a lo largo de 25 km (Impiccini y Vallés, 2011).

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

Fierro, ésta última correspondiente al presente trabajo (Leanza y Hugo 1997), (Danieli 1997), (Impiccini y Vallés 2002, 2011).

3.4.2. Producción

La principal zona de producción de bentonita de la provincia del Neuquén, corresponde a los yacimientos del departamento Zapala, en cercanías de la meseta de la Barda Negra y de los cerros del Portezuelo y Bandera (Impiccini y Vallés, 2002).

La explotación de bentonitas en este departamento comienza casi simultáneamente con la de arcillas, en la década del 40. La producción continúa en forma esporádica hasta el año 1962 a partir del cual se incrementa sostenidamente como consecuencia de su demanda en la explotación petrolera (Danieli, 1997). Según la Dirección Provincial de Minería, en 2017 se extrajeron 27.752 t de bentonita en la provincia y su totalidad corresponde al Depto. Zapala.

3.4.3. Usos

Los usos preponderantes de las bentonitas de Barda Negra – Cerro Bandera son como aditivo en lodos de perforación para petróleo y aglutinante de arenas para moldeo en fundición de metales, en ingeniería civil en pilotaje, muros pantallas, inyecciones y como componentes y/o insumos de productos para la industria química (Leanza y Hugo 1997). Otros usos en lo que se utiliza menor proporción de bentonitas son como aglutinante para alimentos balanceados, para mineral de hierro (peletizado), puesta a tierra tipo Electroben y para la industria cerámica. De esta producción, un 50 % se utiliza en la perforación petrolera, un 30 % en la industria metalúrgica y el 20 % en cerámica y otras actividades anteriormente mencionadas (Impiccini y Vallés, 2011).

4. METODOLOGÍA

4.1 Trabajo de Campo

El área del presente trabajo, ubicada dentro de la mina Martin Fierro, está representada por una superficie de 13.000 m², en un perímetro de 600 m. Con el objetivo de poder establecer una correlación estratigráfica y obtener mayor información sobre el ambiente sedimentario se decidió confeccionar diez perfiles sedimentológicos de detalle tipo *Selley* a escala 1:50; para ello se realizaron ocho de ellos, enfrentados con un intervalo de 60 m, cuatro del sector sur y cuatro del sector norte y dos representativos E-O (Fig. 6). Las mediciones se realizaron con cinta y brújula describiendo: color (Rock Color Chart, 1991), litología, textura, estructuras sedimentarias, geometría de los estratos, tipos de contactos y espesor.

Se muestrearon los niveles arcillosos por el método de canaleta obteniéndose posterior al cuarteo bolsas de aproximadamente 2 kg.

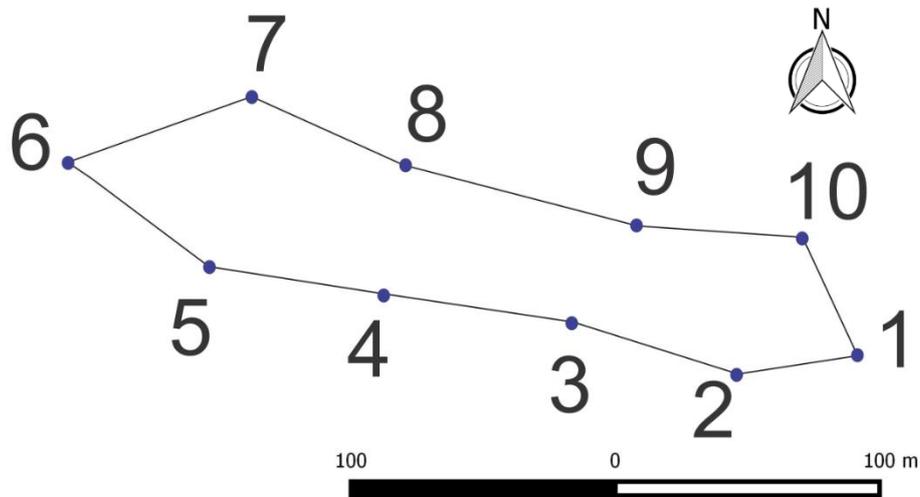


Figura 6. Mapa de ubicación de los perfiles realizados.

4.2 Trabajo de laboratorio

De los perfiles de detalle realizados con criterio estratigráfico/sedimentológico, se seleccionaron ocho muestras representativas de toda la zona de estudio. Estas fueron elegidas específicamente con el objetivo de correlacionar en tres de los perfiles enfrentados los niveles inferior y superior de la bentonita y en los otros dos perfiles, solo el nivel inferior, ya que este nivel es el de mayor explotación por parte de la empresa (Tabla 2). En las Figs. 7 y 8 se pueden apreciar la ubicación de los perfiles realizados en el campo, mientras que en la Fig. 9 se muestra la posición exacta de la toma de las ocho muestras, posicionadas en sus respectivos perfiles.

Perfil	2	3	3	9	9	8	6	6
Nivel	Inferior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Inferior	Superior
Muestra	I2	I3	III3	V9	I9	IV8	VI6	I6

Tabla 2. Ubicación de las muestras elegidas con respecto a posición en cada perfil.



Figura 7. Ubicación de los perfiles realizados en el sector Oeste – Norte - Este de la zona de estudio



Figura 8. Ubicación de los perfiles realizados en el sector Este - Sur de la zona de estudio.

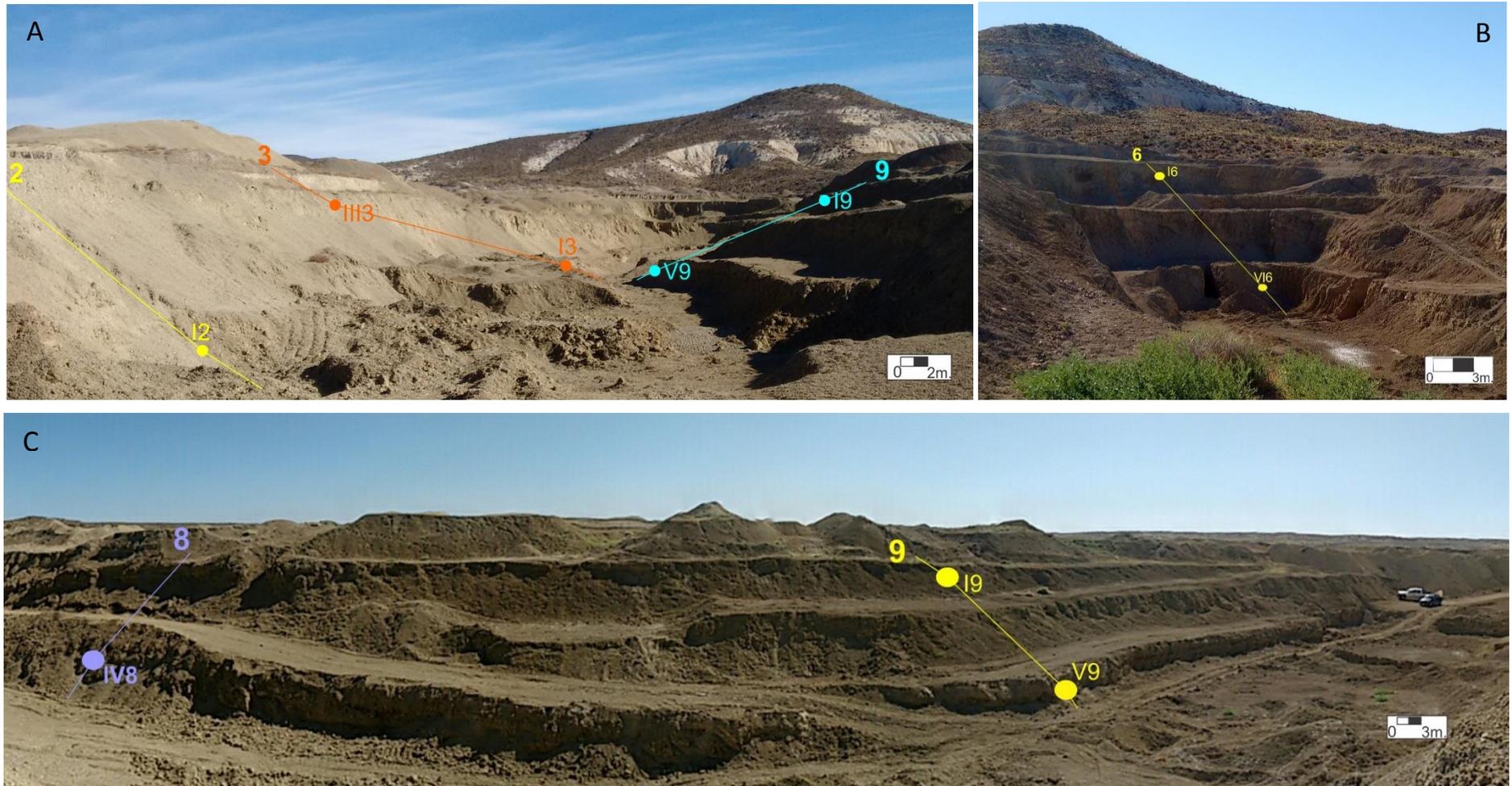


Figura 9. A. Perfiles 2, 3 y 9, vistos desde el oeste, con las posiciones de la toma de muestra en ellos. B. Perfil 6 y sus muestras elegidas. C. Panorámica sector norte con los perfiles 8 y 9 y sus respectivas muestras.

4.2.1. Preparación de las muestras

Previamente a efectuar los análisis de laboratorio de interés, se procedió al secado al aire durante 24 h, luego se redujeron los fragmentos en forma manual con martillo; y finalmente se procedió a cuartear los 2 kg de muestra obtenida en el campo, y se separaron las fracciones necesarias para realizar cada ensayo en particular.

Cabe aclarar que se realizó el cálculo de humedad de cada una de las muestras para luego realizar la corrección del peso en cada ensayo.

Humedad

Expresa el porcentaje de agua contenida en el material, eliminable por intermedio de la evaporación.

Procedimiento:

- Se pesan aproximadamente 10 g de muestra, mediante balanza de precisión $\pm 0,001$ g y se coloca en vidrio de reloj. Este valor es P1.
- Se seca la muestra en una estufa dispuesta a una temperatura de 105° - 110° C hasta peso constante.
- Se enfría la muestra en desecador y se pesa en balanza de precisión $\pm 0,001$ g el residuo. Obtenemos así el valor P2.

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

4.2.2 Análisis granulométrico

Este análisis permite determinar la distribución de tamaño de partículas de una sedimentita. Se realizó por el método del pipeteo.

Procedimiento según Carver (1971):

1. Se cuartea la muestra hasta obtener 40 g de material, con ayuda de una balanza granataria de precisión 0,01g.
2. Luego se coloca la muestra en vaso de acero inoxidable en contacto con 200 mL de agua destilada y 100 mL de hexametáfosfato de sodio para lograr una dispersión completa, se deja reposar 24 h.
3. Posteriormente, se procede a agitar mecánicamente (multimixer de paletas rotativas) durante 5 minutos.

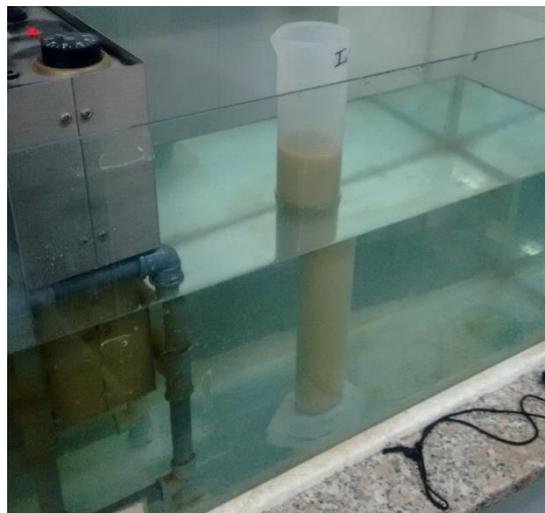


Figura 10. Ensayo de análisis granulométrico

4. Se trasvasa la muestra a probeta de 1000 mL y se completa con agua destilada.
5. Se colocan las probetas en un baño termostático a 24°C (Fig. 10).
6. El ensayo comienza extrayendo alícuotas de 20 mL por el método de la pipeta, a los tiempos y profundidad indicados según la temperatura previamente tabulados, basado en Ley de Stokes.
7. Las alícuotas que se extrajeron se colocan en vasos de precipitados previamente tarados, y luego se llevan a estufa (105°C) hasta desecación. Después, se pesa en balanza de precisión de $\pm 0,001\text{g}$ determinándose el peso de cada una de las fracciones.
8. El residuo de cada probeta se tamizó en húmedo según tamices ASTM malla 30-60-120-230-270 micrones respectivamente.

Metodología aplicada a los resultados obtenidos:

1. Representación gráfica de los porcentajes acumulados en el análisis granulométrico para cada uno de los miembros en sus respectivos perfiles, a través de curvas acumuladas (% acumulado Vs μ).
2. Sobre estas curvas se obtienen los porcentajes de los tres componentes principales de la muestra: arcilla-arena-limo.
3. Se volcaron los porcentajes de los componentes arcilla-arena-limo en un diagrama ternario y posterior comparación con la clasificación de rocas sedimentarias clásticas según Folk (1968) lo que permitió clasificar a las muestras estudiadas.
4. Se confeccionaron histogramas (frecuencia relativa/tamaño μ) para analizar: la moda, que representa el tamaño más frecuente de grano en la muestra.
5. Cálculo de coeficientes estadísticos según el método de Folk y Ward (1957).

4.2.3 Análisis mineralógico

Se realizó el análisis por difracción de rayos X sobre muestra total y fracción $<2\ \mu$. Se siguieron procedimientos de rutina siguiendo a Moore y Reynolds (1997).

- a) Total en polvo orientado al azar.
- b) Orientada de la fracción $<2\ \mu$ extraída por pipeteo.
- c) Expandida en vapor de etilen-glicol.
- d) Calcinada a 550° C durante 2 h.

a) Total en polvo orientada al azar: se tomó una porción de muestra molida, pasante # 200, que se montó en porta muestras de aluminio.

Los difractogramas se pasaron desde los $2^\circ 2\theta$ hasta los $60^\circ 2\theta$ a una velocidad angular de $3^\circ/\text{minuto}$. En estos difractogramas se leyeron las reflexiones (00l) y (hkl) características de los minerales arcillosos y acompañantes.

b) Fracción $<2\ \mu$ orientada: a efectos de resaltar los parámetros basales de los argilominerales, se prepararon dispersiones diluidas de muestra natural (30g/1 de agua), tratada con hexametáfosfato de sodio y agitación mecánica (multimixer de paletas

rotativas), posterior introducción en baño termostático y extracción por pipeteo, según Carver (1971), de la fracción $<2\mu$ a 5 cm de profundidad a los tiempos que indica la tabla. Luego se procedió a montar sobre vidrio portaobjeto una delgada película que se dejó secar a temperatura ambiente. Se corrieron los diagramas desde los $2^\circ 2\theta$ hasta los $40^\circ 2\theta$.

c) Expandida en vapor de etilen-glicol: uno de los preparados orientados de la fracción $<2\mu$ se somete a vapores de etilen-glicol durante 24 h a temperatura ambiente en un desecador. Se realizaron difractogramas desde los $2^\circ 2\theta$ hasta los $40^\circ 2\theta$ verificándose los espaciados basales de los argilominerales expansivos.

d) Calcinadas a 550°C : uno de los preparados orientados se somete a 550°C durante dos horas en la mufla, corriéndose los diagramas desde los $2^\circ 2\theta$ hasta los $15^\circ 2\theta$, lo que permite verificar si hay colapso de los minerales arcillosos expansivos.

Equipo utilizado: Difractómetro Rigaku DII Max C, ánodo CuK, $\lambda=1,5414 \text{ \AA}$, filtro de Ni, 40 Kv, 20 mA, velocidad de barrido $3^\circ / \text{minuto}$, goniómetro vertical (perteneciente a CIMAR-CONICET).

Cristalinidad de las esmectitas

Biscaye (1965) propuso un método empírico para evaluar la cristalinidad de las esmectitas sobre DRX de muestras $<2\mu$ en etilen-glicol. El mismo consiste en la relación entre la altura de la reflexión (001), por encima de la línea de base (P), respecto de la profundidad del valle (V) (Fig. 11). Una esmectita perfectamente cristalizada tendrá $V/P=1$ y una pobremente cristalizada $V/P=0$.

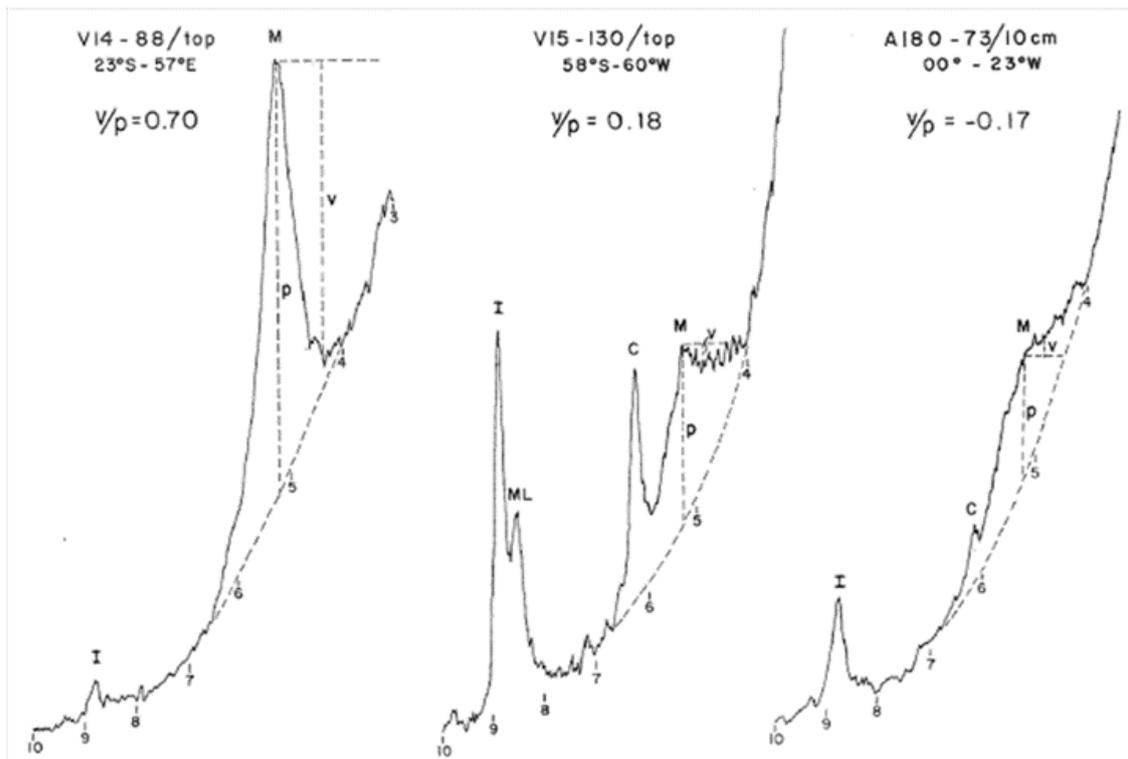


Figura 11. Difractogramas de bajo ángulo (V14-88/top: equatorial Atlantic; V15-V30/top: South Atlantic; A180-73/10cm: southwestern Indian Oceans) mostrando variaciones en el valor v/p (cristalinidad) radio $<2\mu$, etilen-glicol montmorillonita. Grados 2Φ (Cu K α) están marcados debajo de la línea de base. Símbolos: V-Valle profundo; P- Altura pico; M- Montmorillonita; C- Clorita; ML- Capa Mixta; I- Illita (Biscaye, 1965).

4.2.4 Microscopía electrónica de barrido

Las observaciones se realizaron sobre esquirra de muestra natural (I3 e I6), previamente metalizadas con Au, siendo las condiciones de operación: 3Kv, 4Kv y 15Kv. Las microfotografías digitales fueron tomadas en magnificaciones de hasta 12.000 X. Se realizaron además mediciones con detector EDS (Espectrometría de dispersión de energía de rayos X); el espectro de radiación X emitido por un mineral en el proceso puede ser utilizado para hacer un microanálisis químico semicuantitativo mediante espectrometría de dispersión de longitudes de onda característica de los elementos presentes en la muestra.

Equipo utilizado: Microscopio Electrónico de Barrido, modelo EVO LS15, original Carl Zeiss Microscopy (Laboratorio Microscopía Electrónica, UNRN).

4.2.5. Análisis químico

Los análisis químicos fueron realizados sobre muestra total (muestras I2, III3 e I6) y sobre fracción <2 μ (I6) por métodos de volumetría-gravimetría y absorcimétrica. Se determinaron los contenidos de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O y pérdida por calcinación.

Tratamiento de los resultados: clasificación CIA Nesbitt y Young (1982); Englund y Jorgensen (1973). Con los resultados obtenidos de las muestras totales se volcaron los valores en diagrama ternario de Al, Fe y Mg (Palin *et al.* 2014) para clasificar a las muestras.

Equipo utilizado: Fluorescencia de RX (FRX). (Laboratorio AUZA, UNComa).

Fórmula estructural

En tanto que con los valores obtenidos para la muestra fracción <2 μ se procedió a realizar el cálculo de fórmula estructural siguiendo a Moore y Reynolds (1997).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Óxidos	% óxido	% Correg.	PM (g)	CI	A	B	C	D
2	SiO ₂	51.767	61.198	60.085	4	15.021	3.446	14.899	3.725
3	Al ₂ O ₃	18.262	21.589	101.963	6	16.994	1.075	4.646	1.549
4	Fe ₂ O ₃	8.971	10.605	159.694	6	26.616	0.337	1.457	0.486
5	MgO	1.693	2.001	40.305	2	20.153	0.084	0.363	0.182
6	CaO	1.38	1.631	56.080	2	28.040	0.049	0.213	0.106
7	Na ₂ O	0.749	0.885	61.975	2	30.988	0.024	0.104	0.104
8	K ₂ O	0.326	0.385	94.197	2	47.098	0.007	0.030	0.030
9	TiO ₂	1.275	1.507	79.900	4	19.975	0.064	0.276	0.069
10	SO ₃	0.042	0.050	141.947	6	23.658	0.002	0.008	0.001
11	MnO	0.023	0.027	70.938	2	35.469	0.001	0.003	0.001
12	SrO	0.016	0.019	151.992	2	75.996	0.000	0.001	0.000
13	Otros	0.085	0.100				0.231	22.000	

Tabla 3. Valores y cálculos desarrollados para la realización de la fórmula estructural según Moore y Reynolds (1997)

En la tabla 3 se muestran los cálculos desarrollados para obtener la fórmula:

1. Óxidos analizados.
2. % óxido.
3. % óxido base seca.
4. PM: peso molecular (g).
5. CI: carga del ion.
6. A: peso equivalente = peso de la fórmula/valencia o carga del catión en el óxido. (PM/CI).
7. B: carga / g. Equivalente (% óxido/A).
8. C: carga catión/fórmula unidad. (B/Sumatoria de todos los óxidos/22); (0,231); 22: valencia de 11 oxígenos.
9. D: Número de cationes por fórmula unidad (C/carga del catión).

4.2.6. Determinación de propiedades geotécnicas

4.2.6.1 Gravedad específica

Se realizó mediante el método del frasco Le Chatelie, según norma ASTM D854:

- Se pesaron 50 g de muestra previa corrección por humedad y secado a estufa a 105°C.
- Se colocó la muestra en un picnómetro relleno con un volumen determinado de kerosene (líquido orgánico de baja volatilidad) hasta un punto entre 0 y 1 mL. Esta lectura fue el volumen inicial (Fig. 12).
- Se introdujeron cuidadosamente los 50 g de la muestra y se obtuvo mediante lectura directa el volumen final después de haber colocado el picnómetro en un baño termostático a una temperatura aproximada de 10° por encima de la temperatura ambiente.
- La diferencia entre el volumen final e inicial representa el volumen de líquido desplazado por el peso de la muestra usada.
- Luego, se corrigió el volumen por el factor de densidad del kerosene (0.997).
- Se calculó la densidad como la relación entre la masa de la muestra seca y la diferencia de volumen.



Figura 12.
Ensayo de
densidad

4.2.6.2 Límites de Atterberg

Las propiedades de un material formado por partículas finamente divididas, dependen en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante en el comportamiento diferente del material.

Límite Líquido: es el contenido de humedad, expresado en %, con respecto al peso del suelo seco, existente en un suelo, en el límite entre el estado plástico y el estado líquido del mismo. Este límite se define arbitrariamente, como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm de espesor fluyan y se unan en una longitud de 12 mm, aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm, a la velocidad de 2 golpes por segundo.

Procedimiento según ASTM D4318:

- Se pesan 80 g de muestra pasante tamiz #40 en balanza de precisión $\pm 0,01g$
- Se humedece con agua destilada dejándose reposar por lo menos 24 h.
- Posteriormente, se continúa agregando agua en pequeñas cantidades mezclando cuidadosamente, hasta que la pasta adquiera una consistencia tal que,

al ser dividida en dos porciones, estas comiencen a fluir cuando se golpea la capsula contra la palma de la mano.

- Se transfiere una porción de la misma a la capsula de bronce de la cuchara de Casagrande, distribuyéndola homogéneamente
- Con el acanalador se hace un surco tal que quede limpio el fondo de la capsula en un ancho de 12 mm.
- Luego, se gira la manivela a razón de dos vueltas por segundo, contándole los golpes necesarios para que los dos bordes de la muestra se junten en el fondo del surco.
- Se efectuaron cuatro ensayos, el primero de ellos menor a 50 golpes, y el último de ellos menor a 25. En cada uno de estos ensayos se humedece levemente la muestra.
- Del lugar donde se juntan los bordes de la muestra, se toma una porción de aproximadamente 20 mm de largo por el ancho de la espátula y se coloca en un pesafiltro previamente tarado, tapándolo inmediatamente a fin de reducir al máximo la evaporación.
- Se pesa y se obtiene el valor del pesafiltro + muestra húmeda.
- Luego, se lleva a estufa 105°C hasta peso constante, midiendo el valor pesa filtro + muestra seca.

Con los datos obtenidos, se confecciona un gráfico cartesiano ortogonal, representando en abscisas el número de golpes en escala logarítmica y en ordenadas la humedad porcentual en escala aritmética. De esta manera se determina un punto para cada ensayo efectuado. Los puntos así obtenidos, se encuentran aproximadamente sobre una recta llamada línea de fluidez. El contenido de humedad porcentual, correspondiente al punto en que la línea de fluidez corta a la ordenada correspondiente a 25 golpes, es el límite líquido, que se redondea al número entero más próximo.

Límite Plástico

Límite Plástico: es el contenido de humedad existente en un suelo, expresado en por ciento del peso de suelo seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm de diámetro.

Procedimiento:

- Se continúa el ensayo del límite líquido, hasta obtener que la pasta presente una consistencia plástica que permita moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos del operador.
- Una porción de la parte así preparada se hace rodar por la palma de la mano sobre láminas de vidrio, dándole la forma de pequeños cilindros. La presión aplicada para hacer rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud. La velocidad

con la que se manipula a la pasta haciéndola rodar debe ser tal de obtener de 80 a 90 impulsos por minuto, entendiendo como un impulso un movimiento completo de la mano hacia delante y atrás.

- Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm. y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se reúnen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario. La operación también se repite si las barritas cilíndricas se agrietan antes de llegar al diámetro de 3 mm. En este caso se reúne el material amasándolo con más agua hasta completa uniformidad.

- El ensayo se da por finalizado cuando las barritas cilíndricas comienzan a fisurarse o agrietarse al alcanzar los 3 mm. de diámetro.

Cálculos:

$$\text{Limite plástico} = \frac{\text{Pesa filtro con suelo húmedo} - \text{Pesa filtro con suelo seco}}{\text{Peso seco}}$$

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico de un mismo suelo.

Es decir: $IP = LL - LP$

4.2.6.3 Hinchamiento volumétrico

Los ensayos de laboratorio de los ítems 4.2.6.3, 4.2.7.1 y 4.2.7.2 fueron realizados en el laboratorio de la empresa minera José Cholino e hijos, ubicada en el paraje de la Barda Negra.

Una de las propiedades más características de las bentonitas es la capacidad de hincharse en contacto con el agua, formando masas gelatinosas.

Determinación de hinchamiento (ASTM D 5890):

- Se miden 100 mL de agua destilada y se colocan en una probeta del mismo volumen
- Se pesan 2 g de muestra pasante tamiz ASTM #200 y secada a estufa a 105°C
- Se espolvorea de manera lenta y cuidadosamente la muestra, evitando que esta misma toque la probeta, hasta llegar a la totalidad de los 2 g de en un lapso de 2 h aproximadamente.
- Se esperan 24 h y se mide mediante observación directa el volumen (Fig. 13).

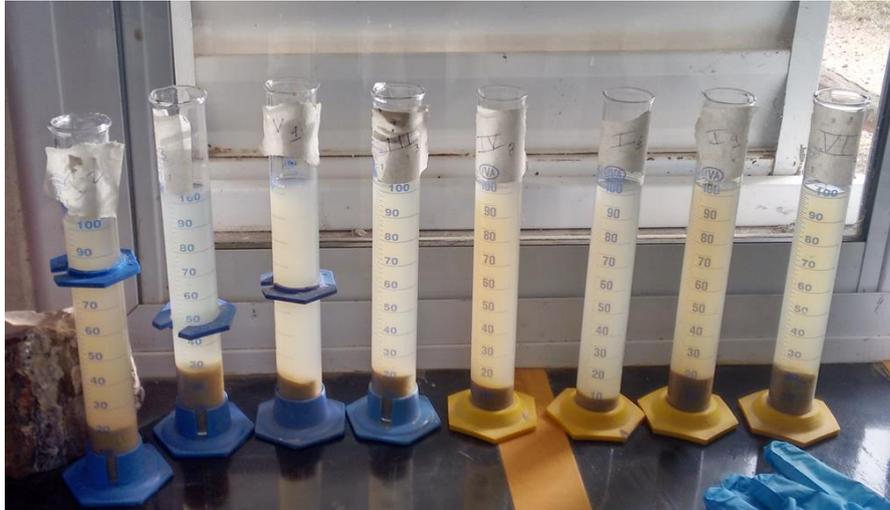


Figura 13. Ensayo de hinchamiento volumétrico

4.2.7 Ensayos estáticos de reología para uso en perforación

4.2.7.1 Viscosidad

Determinación de propiedades reológicas según norma API STD 13A:

- Se pesan 22,5 g de muestra pasante tamiz #200 y secadas a estufa a 105°C; y se mezclan con 350 mL de agua destilada.
- Se agita esta mezcla en agitador mecánico por 20' y se deja reposar 16 h.
- Pasadas las 16 h, se vuelve a agitar 5'.
- Se coloca la muestra en el viscosímetro (Fig. 14) y se miden valores de lectura a 600 rpm y a 300 rpm directamente.

-La viscosidad plástica es igual a la diferencia entre los valores de lectura a 600 rpm y 300 rpm.

-El punto de fluencia es igual al valor de lectura de 300 rpm menos el valor de viscosidad plástica.

-La viscosidad aparente es igual al valor de lectura de 600 rpm dividido en dos.



Figura 14.
Viscosímetro Fann

4.2.7.2 Filtrado

Procedimiento según norma API STD 13A:

- Se pesan 22,5 g de la muestra pasante tamiz # 200 y secada a estufa 105°C.
- Se mezcla con 350 mL de agua destilada, se agita en agitador mecánico por 20' y se deja reposar 16 h.
- Se coloca la muestra en la prensa (Fig. 15a) y se la somete a una presión constante de 7l durante 30'. Luego, se mide la cantidad de agua que cae en una probeta graduada mediante observación directa.

Se considera un parámetro importante a tener en cuenta, debido a que uno de los propósitos del uso de la bentonita es favorecer la retención de agua y la pérdida de fluido de circulación.



Figura 15. A- Filtros prensa para filtrado. B- Ensayo de azul de metileno

4.2.8. Adsorción por azul de metileno

Procedimiento según norma 63 CEMP:

- Se pesan 0,5 g de muestra pasante tamiz 200 y secada en estufa 105°C.
- Se pesan 5 g de arena patrón.
- Se miden 50 mL de pirometafosfato de sodio al 5% m/v.

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 aproximada medida previamente en una bureta de 50 mL y se agita 2'.
- Se toma una muestra con la varilla de vidrio y se aplica sobre papel de filtro Whatman Cat. No 1450-090, hasta comenzar a ver un halo celeste (Fig. 15b)

El valor en mL/0,5g es el valor de adsorción por azul de metileno.

Para determinar la capacidad de intercambio catiónico:

- Se calcula 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.

4.2.9. Determinación de pH

Se trata de una unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución. Más específicamente, el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada. En este caso, se midió el pH de una dispersión agua-arcilla.

Procedimiento:

- Se pesan 8 g de bentonita en balanza de precisión $\pm 0,001$, pasante #40 y se dispersan en 100 mL de agua destilada.
- Se mezcla la solución en agitador mecánico durante 5'.
- Luego, se sumerge el electrodo del pH-metro en esta dispersión y se mide el valor, mediante observación directa, hasta lectura constante.

4.2.10 Análisis de tamizado húmedo (impurezas)

Procedimiento según normas API:

- Se tomaron 10 g medidos en balanza $\pm 0,001$ g y secado a estufa a temperatura constante de 105°C.
- Se mezcló con 350 mL de agua destilada y 50 mL de hexametáfosfato de sodio
- Se agitó la mezcla durante 30' en el multimixer de paletas rotativas, y se dejó reposar durante 2 h.
- Luego se volvió a agitar durante 2', y se procedió a transferir la muestra a un tamiz # 200.
- Se lavó el material durante 2 minutos, moviendo repetidamente el chorro de agua sobre la superficie del tamiz.
- El residuo que quedó se transfirió a un vidrio de reloj, que se secó a estufa 105°C hasta peso constante.
- Se pesó en balanza de precisión $\pm 0,001$ g el vidrio y se midieron los resultados de impurezas.

$$\text{Impurezas} = \frac{\text{Peso Residuo} \times 100 (\%)}{\text{Peso Muestra}}$$

4.3 Trabajo de gabinete

4.3.1. Cálculo de reservas mineras

Se realizó el cálculo de reservas mineras a través del método clásico de los bloques, mediante perfiles y secciones transversales y longitudinales.

La base de todo proceso de estimación, es la extensión o interpolación de un número limitado de valores experimentales, correspondientes a soportes casi puntuales (muestras de sondeo), a cuerpos tridimensionales (bloques), para así llegar a determinar, por integración de los mismos, los valores correspondientes al total del cuerpo mineralizado. Por otra parte, toda extensión trae consigo cierto error, de forma que estimaciones y errores son términos emparejados. El mejor método de estimación será naturalmente el que con los medios disponibles, implique menores errores (Manteca, 1993).

Como es sabido, cada uno de los parámetros intrínsecos de un yacimiento, como las leyes o la potencia, fluctúan más o menos bruscamente a lo largo de su extensión. Los valores que adoptan estos parámetros no son aleatorios sino que dependen en cierta medida de su ubicación en el depósito, guardando una correlación dependiente de h , la distancia vectorial entre dos puntos del yacimiento. Es por ello que se considera que las leyes, potencia mineralizada, rendimiento mineral, se comportan como variables regionalizadas (Matheron, 1965).

Se eligió el método clásico de los bloques, teniendo en cuenta la disponibilidad de datos y la geometría de yacimiento en cuestión. La exactitud de este método depende en gran medida de la distancia entre cortes, puesto que secciones muy separadas pueden generar importantes errores, debido a la existencia de cambios en la mineralización no controlados por los sucesivos perfiles. Estos bloques pueden ser todos iguales o mantener sólo la altura de banco e ir variando anchura y longitud según convenga a efectos de cálculo (Bustillo y López Jimeno, 1997).

Procedimiento:

- Se obtuvieron datos de los espesores de los niveles de interés medidos directamente en los perfiles.
- Se tomaron puntos GPS y mediante el programa Google Earth se midieron las distancias en planta entre los perfiles realizados.
- Para efectuar la cubicación de cada horizonte de interés, se aisló cada nivel horizontal, de acuerdo a litofacies correspondiente, para tratamiento de datos de forma individual; y así se calculó el volumen de mineral.
- Se obtuvo un promedio de la densidad de acuerdo a lo realizado según el procedimiento explicado anteriormente en este capítulo (4.2.6.1).
- Se dividió al yacimiento en secciones, calculando el área mineralizada para cada una.

En los puntos donde no se ha podido estimar el espesor de los niveles, se estableció que la potencia se extingue en el punto medio entre ambos datos conocidos, según Bustillo y López Jimeno (1997).

Clasificación de Reservas: (McKelvey, 1972; Manteca, 2012)

- **Reservas Probadas:** es aquella porción del recurso medido, económicamente extraíble. Esta reserva incluye el material diluyente, y pérdidas de explotación. Se incluyen estudios de factibilidad, mineros, metalúrgicos, ambientales, económicos, legales y factores regulatorios ambientales.
- **Reservas Probables:** es aquella porción del recurso indicado, eventualmente medido, económicamente extraíble. Esta reserva incluye el material diluyente, y pérdidas de explotación. Se incluyen estudios de factibilidad, mineros, metalúrgicos, ambientales, económicos.

Siguiendo un criterio práctico, las empresas mineras suelen dimensionar la planta de cada bloque de manera que sus medidas equivalgan a la cuarta parte de la distancia entre los perfiles de la alineación correspondiente. Se siguió este mismo criterio para el caso de las reservas probadas.

Para las reservas probables, en cambio, se asignó a la planta de cada bloque una distancia igual a las tres cuartas partes de la distancia entre los sondeos correspondientes (Fig. 16).

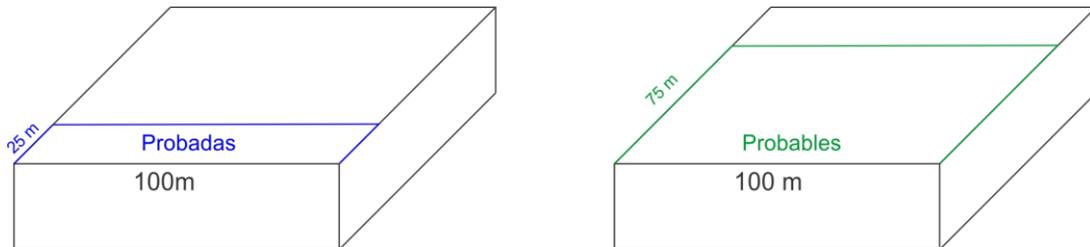


Figura 16. Representación esquemática del criterio utilizado para estimación de reservas probadas y probables, suponiendo una distancia horizontal de 100 m.

Para las reservas probadas, el cálculo que se realizó fue el siguiente (caso de un bloque entre dos puntos conocidos):

- Distancia entre perfiles (m) x espesor promedio (m) x $\frac{1}{4}$ distancia perfiles (m) x densidad (g/cm^3) = Reservas probadas (t).

Para las reservas probables: Distancia entre perfiles (m) x espesor promedio (m) x $\frac{3}{4}$ distancia perfiles (m) x densidad (g/cm^3) = Reservas probables (t).

5. RESULTADOS

5.1 Perfiles

Los perfiles sedimentológicos realizados se encuentran en frentes activos de explotación de bentonita en la mina. La zona de estudio se ve afectada por una continua extracción, la que produce cambios de manera constante en los niveles estudiados, y por lo tanto una variación en la sección que aflora.

Perfil 1 E

Coordenadas: 39° 2'25.35"S 69°39'48.15"O

Comenzando desde la base y hacia el techo, se observa un primer nivel de 3,8 m de bentonita con abundante presencia de arena (30-40%) de un color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2). Se distingue la presencia de óxidos de hierro y manganeso, numerosas concreciones y pequeños rodados de cuarzo, feldespato. Además, diaclasas y grietas en varias direcciones rellenas con yeso diagenético (Fig. 17a).

Por encima, el siguiente horizonte de 1,0 m de espesor, es una arenisca de grano medio, de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2). Se encuentra pobremente seleccionada, con clastos muy angulosos y esfericidad cercana a 0,3. Posee abundantes fragmentos líticos y restos de concreciones de cuarzo. Además, presenta óxidos de manganeso en mayor medida (90%) y hierro (10%), que cubren varias caras superficialmente. Finalmente, se aprecia la presencia de una capa de 10-15 cm de yeso diagenético que se encuentra relleno de grietas y superficialmente.

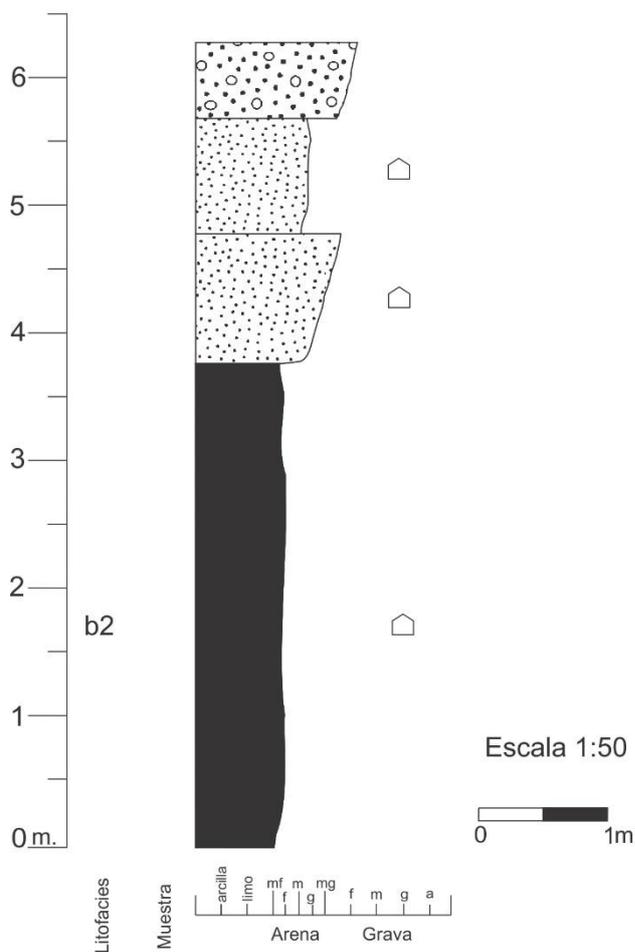
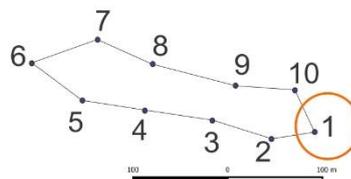
El estrato que suprayace es de 0,9 m de espesor, es una arenisca de tamaño de grano medio / grueso de color amarillo grisáceo (5Y 8/4). La roca está moderadamente seleccionada, y se destaca la presencia de yeso en forma de roseta (Fig. 17b) y también relleno de grietas. Además, se observan concreciones de sílice y fragmentos de vidrio volcánico y cuarzo.

Por último, el nivel superior de 0,6 m de espesor, es un conglomerado polimíctico, en general de color rojizo. Posee cantos rodados de 4-10 cm de espesor. La matriz es arenosa, de aspecto terrosa, con poca diagénesis. Cuenta con fragmentos gruesos de acarreo de distinta litología (basáltica, cuarzo, fragmentos líticos) (Fig. 17c). Se advierte un posible desarrollo de suelo y bioturbaciones.



Figura 17. A- Grietas rellenas con yeso de la bentonita del nivel inferior. B- Yeso en forma de roseta C- Fragmentos gruesos de acarreo de la cubierta

Perfil 1 - E



Referencias

-  Conglomerado
-  Arenisca
-  Bentonita
-  Yeso diagenético

b2 - litofacies de bentonita disgregable

Figura 18. Perfil 1 en el sector este de la zona.

Perfil 2 S

Coordenadas: 39° 2'25.60"S, 69°39'49.78"O

Desde la base hacia el techo, se encuentra un nivel de 2,5 m de bentonita con abundante presencia de fragmentos líticos. Granulométricamente, contiene un 80% de arcilla, 12% de limo y 8% de arena. De color gris amarillento (5Y 7/2); la fractura es de tipo concoidal, posee grietas de desecación y en forma diseminada se advierten precipitados rojizos debido a oxidación ferrosa. En la parte inferior del afloramiento se observó en forma discontinuada lateralmente, mayor contenido de humedad que le otorga un comportamiento de tipo plástico (Fig. 19a).

El siguiente nivel posee 3,3 m de espesor y consiste en una bentonita con abundante presencia de arena de tamaño medio y de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2). Se encuentra mezclada con una arenisca de grano fino/medio. La arenisca es predominantemente cuarzosa, con algunos granos de feldespato y yeso. Se encuentra mal seleccionada, con clastos angulosos y esfericidad cercana a 0,5. Además, presenta intraclastos de arcilla, grietas de desecación y óxidos ferrosos.

Pasa transicionalmente a un horizonte de 1,85 m de una arenisca media de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2). La roca presenta óxidos de hierro y manganeso y dendritas. También yeso diagenético rellenando grietas y, además, en forma de roseta. Se destacan numerosas concreciones de cuarzo (Fig. 19b).

Por encima, se halló un estrato de 1,0 m de arcilita arenosa, disgregable. Se observó la presencia de yeso diseminado y concreciones esferoidales de cuarzo. Se distingue una laminación entrecruzada, fina, pudiendo ser una evidencia de retransporte. Hay evidencias de retención de humedad.

Hacia el techo, la cubierta de 0,8 m, alterna desde abajo en colores rojizos/ocre hasta un morado oscuro hacia arriba. Presenta rodados y fragmentos de hasta 6 cm de espesor, con una matriz terrosa. Es el relleno superficial (Fig. 19c).

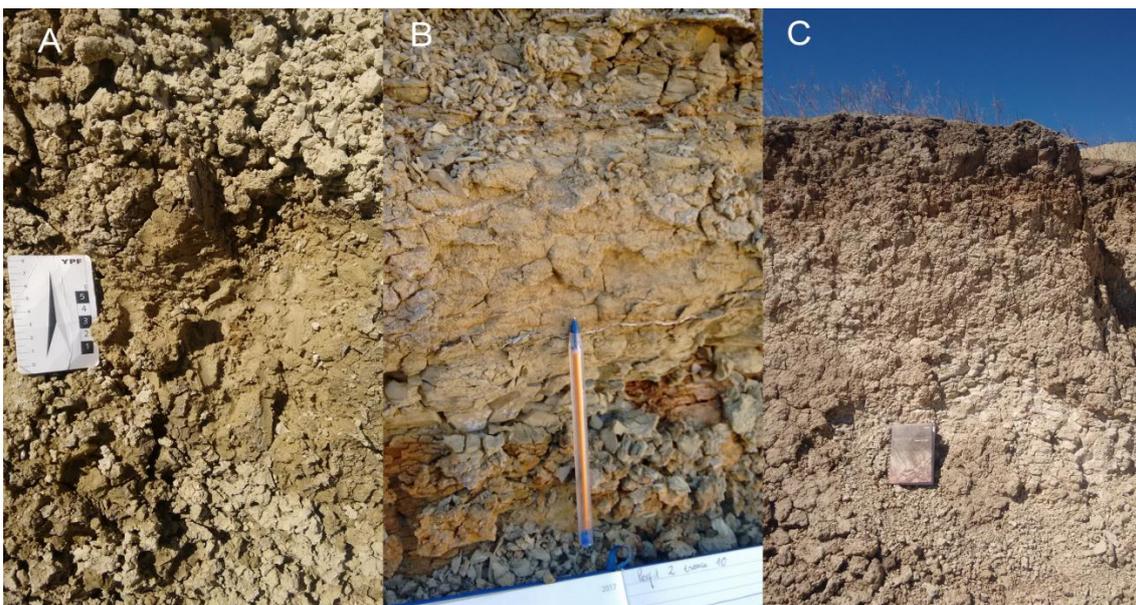


Figura 19. A- Bentonita plástica del nivel inferior. Se aprecia en tonos más oscuros la franja de humedad. B- Arenisca con grietas rellena con yeso y óxidos ferrosos. C- Cubierta y estrato de arena subyacente.

Perfil 2 - S

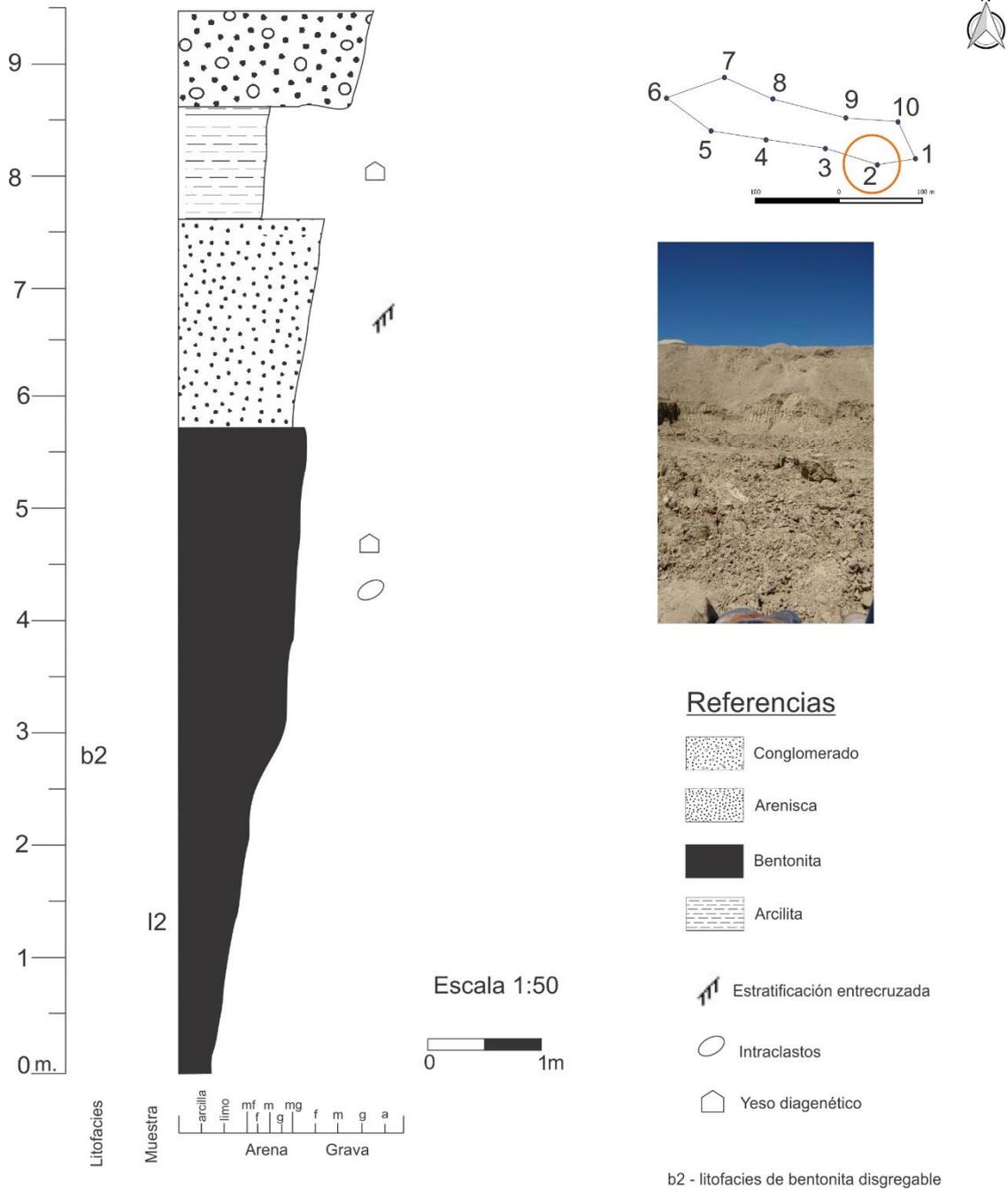


Figura 20. Perfil 2, sector sur.

Perfil 3 S

Coordenadas: 39° 2'24.89"S, 69°39'52.03"O

El perfil comienza, desde la base hacia el techo, con 0,3 m de un conglomerado matriz-soportado que no aflora en superficie, fue visto mediante sondeo de pozo (Medeot, H., 2018, *com. verbal*).

Continúa un horizonte de 2 m de una bentonita de color amarillo grisáceo (5Y 8/4). Composicionalmente, posee 88% de arcilla, 9% de limo y 3% de arena. Presenta fractura concoidea, grietas de desecación y evidencia de alteración superficial por óxidos de hierro y manganeso (Fig. 21a).

Luego, un pequeño estrato de 1,5 m bentonita con abundante arena, de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2). Se observa una laminación paralela dada por la alternancia bentonita-arena, son intervalos pequeños de no más de 30cm. En el nivel de bentonitas se puede apreciar la presencia de óxidos de Fe y Mn, abundante yeso rellenando grietas y concreciones esferulíticas de cuarzo (Fig. 21b).

Siguiendo la secuencia, un nivel de 7 m de una bentonita también de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2). Posee 80% de arcilla, 12,15% de limo y 7,85% de arena, según análisis granulométrico de laboratorio. Se observa abundante yeso superficial, que también se manifiesta rellenando grietas. Se advierten diaclasas en 3 direcciones, y además, óxidos de Mn (Fig. 21c). Por último, se destaca también la presencia de grietas de desecación y concreciones esferulitas.

Para finalizar el perfil, se reconoce un horizonte de arenisca de 0,8 m, de color claro y granulometría media; y otro nivel de un conglomerado polimíctico matriz soporte color rojizo de 0,4 m con similares características a los anteriormente vistos. Presenta fragmentos líticos de hasta 5 cm de largo, matriz terrosa, con clastos de diferentes orígenes. Estos dos niveles forman parte de la cubierta sedimentaria del perfil (Fig. 21d).



Figura 21. A- Bentonita del nivel inferior. B- Óxidos de hierro y grietas rellenas con yeso C- Óxidos de manganeso. D- Cubierta sedimentaria.

Perfil 4 S

Coordenadas: 39° 2'24.50"S, 69°39'54.61"O

El perfil comienza, de abajo hacia arriba, con un nivel de 1,5 m de un conglomerado clasto soportado, polimíctico. Se distinguen clastos pelíticos, basálticos, graníticos, restos de vidrio volcánico, que oscilan entre un tamaño de 0,5-5cm. Posee una matriz arcillosa resistente, de color rojo moderado 5R 4/6 (Figs. 23a y 23b).

Por encima de este horizonte, un estrato pequeño de 0,5 m de arenisca media / gruesa, bien seleccionada, que pasa gradualmente a un nivel de 2 m con presencia de bentonita y arenisca, mezcladas. Presenta un color naranja grisáceo (10Y 7/4) con restos de fragmentos de cuarzo, yeso diagenético superficial y rellenando grietas, diaclasas en varias direcciones y óxidos de Fe-Mn (Figs. 23a y 23c).

El ultimo nivel de este perfil, es de 7 m de bentonita de color gris amarillento (5Y 7/2), con poca / casi nula participación de arena. El horizonte presenta fractura concoidea, concreciones esferulíticas de cuarzo, diaclasas en tres direcciones, óxidos de Fe-Mn, yeso superficial y rellenando grietas. En general es homogéneo, sin variaciones laterales ni verticales (Fig. 23d).

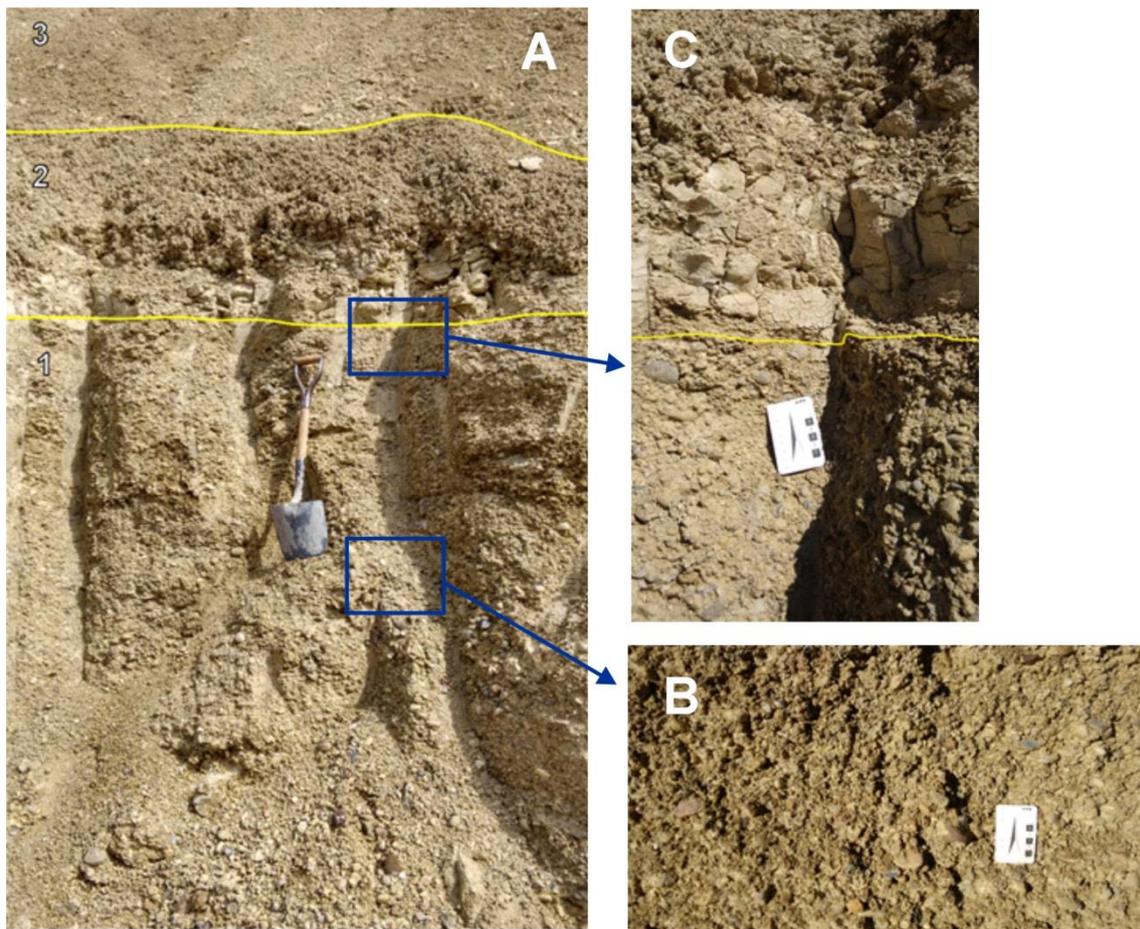


Figura 23. A- Ref. 1-Conglomerado 2- Arenisca 3- Bentonita. B- Conglomerado. C- Contacto conglomerado – arenisca.



D- Nivel superior de bentonitas.

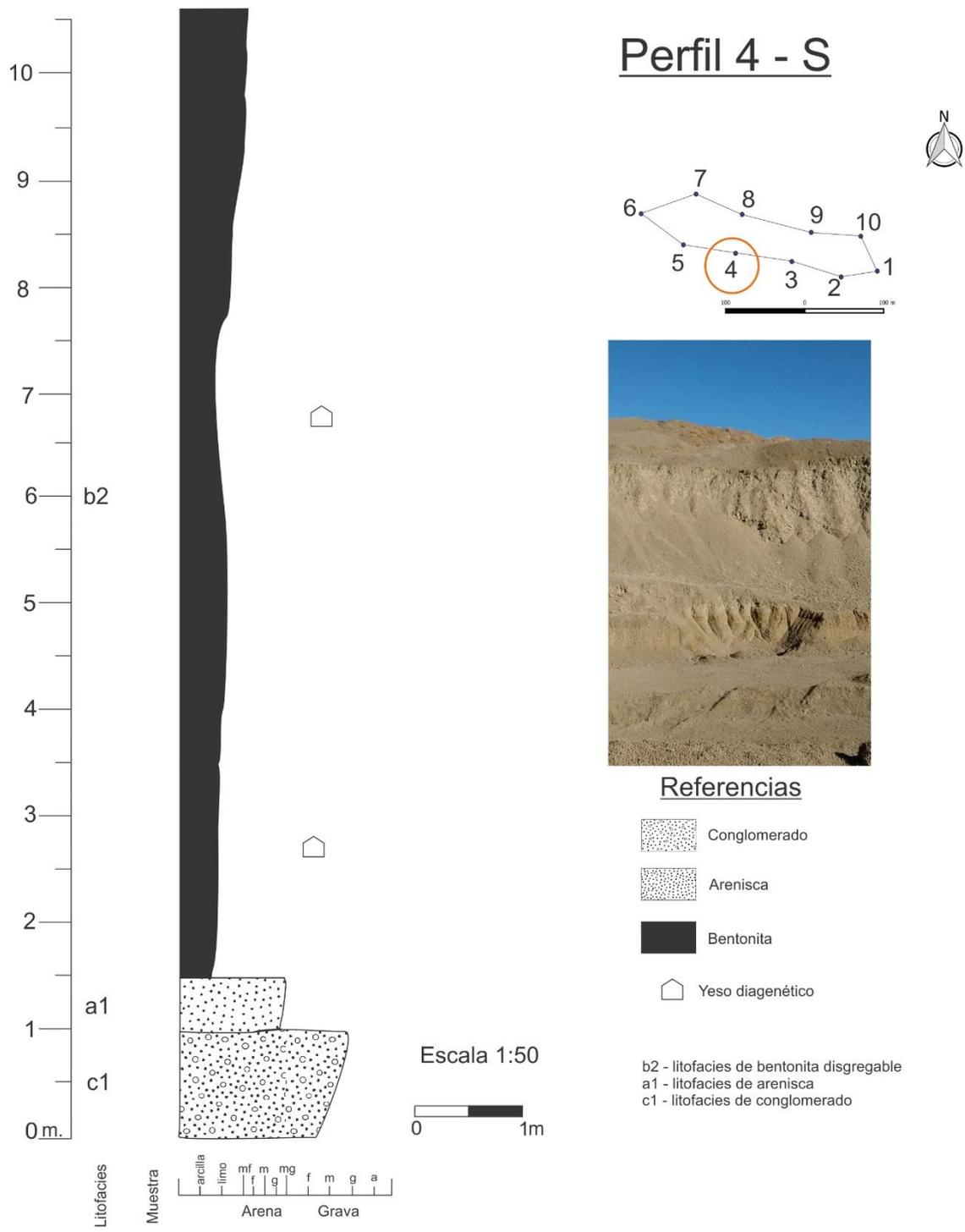


Figura 24. Perfil 4, sector sur.

Perfil 5 – S

Coordenadas: 39° 2'24.13"S, 69°39'56.98"O

El perfil comienza, de abajo hacia arriba, con un horizonte de 2,5 m de bentonita de color amarillo grisáceo (5Y 8/4) con presencia de algunos vestigios de arena fina. Tiene yeso superficial, que también se encuentra rellenando grietas y diaclasas y se advierte alteración por óxidos ferrosos de hierro y manganeso (Fig. 25a).

Se completa con un estrato de 8 m de espesor que se caracteriza por ser bentonita, de color amarillo grisáceo (5Y 8/4) con un porcentaje mayor de arena fina que el banco anterior. Presenta yeso diagenético, óxidos de hierro y manganeso, pequeños cristales de cuarzo, grietas de desecación y varias diaclasas en distintas direcciones. Es un horizonte muy homogéneo, solo se destaca un agrietamiento en la parte superior debido a la erosión (Fig. 25b).



Figura 25. A- Horizonte inferior de bentonitas- B- Bentonitas del nivel superior, con óxidos ferrosos y diaclasas rellenas con yeso diagenético.



Figura 26. Perfil 5, sector sur de la zona.

Perfil 6 O

Coordenadas: 39° 2'22.70"S, 69°39'58.92"O

El perfil comienza, desde la base hacia el techo, con un pequeño nivel de 0,5 m de arenisca de grano medio/grueso, con buena selección. En general, es de color pardo oscuro y tiene presencia de pequeños cristales de cuarzo y feldespato, y alteraciones ferrosas de color rojizo. Además, contiene pequeños vestigios de la presencia de materia orgánica, evidenciado en su color negro.

Por encima, se aprecia un horizonte de 1 m de conglomerado polimíctico (Fig. 28a), matriz soportado, con clastos que van desde los 0,5-5 cm de largo. Los clastos son de diversos orígenes, andesíticos, pelíticos, basálticos, entre otros. La matriz se presenta de tipo terrosa, color pardo oscuro.

Siguiendo el perfil, se encuentra un nivel de bentonitas de 3 m de espesor, de color amarillo oscuro (5Y 6/4). Tiene 87,48% de arcilla, 7,38% de limo y 5,14% de arena. Presenta escasas alteraciones rojizas y oscuras por óxidos de Fe-Mn, respectivamente (Fig. 28b).

El nivel que suprayace es de 4 m de una bentonita de color gris amarillento (5Y 7/2) mezclada con una mínima cantidad de arena fina. Se destaca la presencia de grietas verticales rellenas con yeso, y este último también se presenta de manera superficial. Por último, cabe mencionar colores rojizos y oscuros debido a la oxidación (Fe, Mn).

Para finalizar, un último horizonte de 5 m de bentonitas de color amarillento moderado (5Y 7/6), que poseen mayor porcentaje de arena de grano fino que en el resto del perfil. Granulométricamente, están constituidas por 8 % de arena, 15% de limo y 77% de arcilla. Se observa yeso superficial, alguna pequeña bioturbación y diaclasas cruzadas. Presenta, además, pequeños cristales de cuarzo y feldespato, alteraciones en su color por óxidos ferrosos, de colores rojizos/pardo oscuros. En la parte superior se destaca un aspecto de agrietamiento por contracción del material. (Fig. 28c)

En la Fig. 27 se observan los niveles inferiores descritos en el perfil.

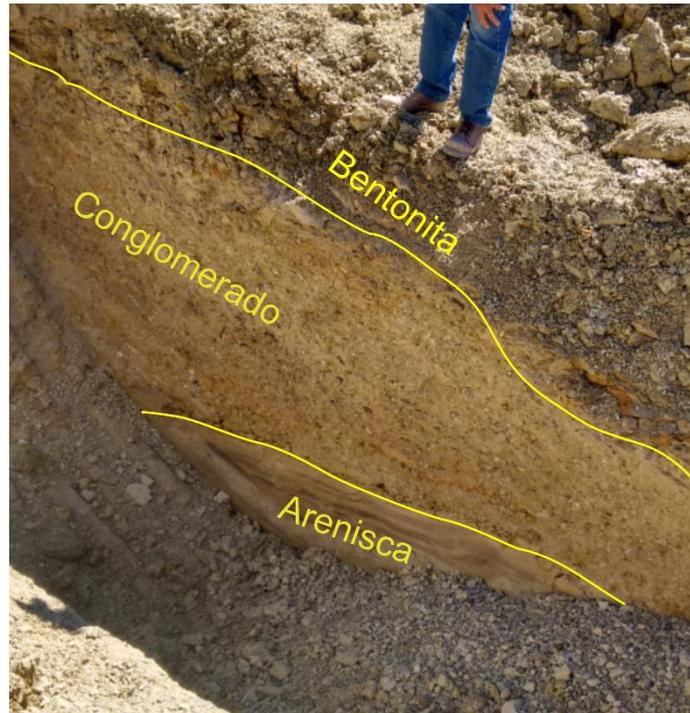


Figura 27. Afloramiento en pozo de los niveles inferiores del perfil



Figura 28. A- Contacto arenisca – conglomerado inferior. B- Primer nivel de bentonitas. C- Horizonte superior de bentonitas.

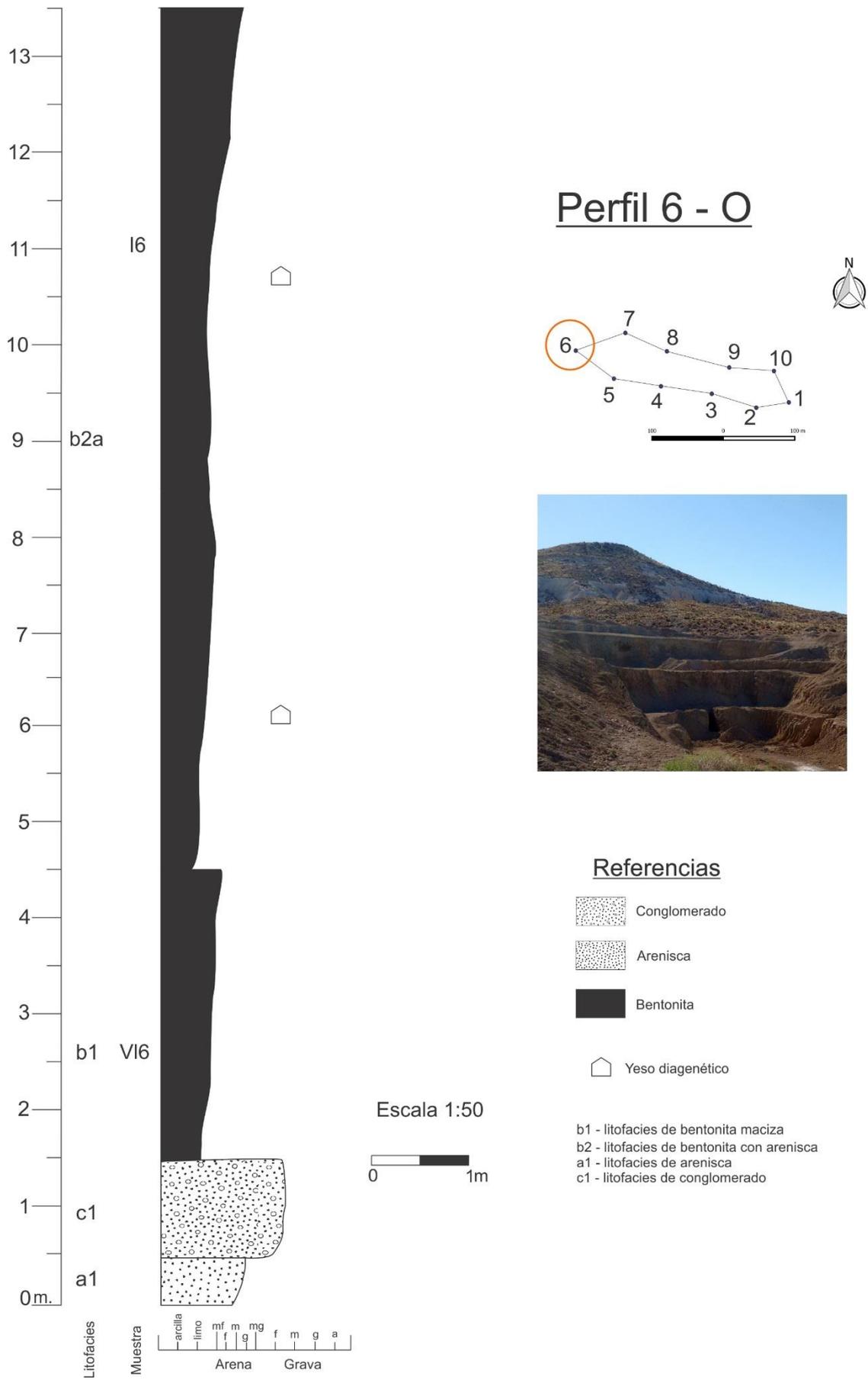


Figura 29. Perfil 6 en el sector occidental de la zona de estudio.

Perfil 7 N

Coordenadas: 39° 2'21.80"S, 69°39'56.40"O

De base a techo, el perfil comienza con 1 m de un conglomerado polimítico matriz soportado, con clastos que van desde los 0,4-8 cm, de origen basáltico, pelítico y algunos graníticos. Posee una matriz roja moderada (5R 4/6), que se encuentra consolidada. Además, se observan fragmentos líticos y clastos de cuarzo (Fig. 30a).

Por encima, se encuentra 0,5 m de arenisca arcillosa de color marrón oliva claro (5Y 5/6). La arenisca, de granulometría fina a muy fina, presenta intercalaciones y agregados de bentonita de similares características a la del banco suprayacente. La roca es predominantemente cuarzosa, con cristales de feldespato, mica y yeso; se encuentra bien seleccionada, presenta clastos sub-angulosos y una esfericidad cercana a 0,5.

Luego, un nivel de 3 m de bentonita de color marrón oliva moderado (5Y 4/4), con una mínima presencia de arena, de grano fino y algunas alteraciones por óxidos de Fe-Mn. Presenta además yeso superficial y rellenando grietas.

Para finalizar, un banco de 5 m de bentonita de color gris amarillento (5Y 7/2) que tiene intercalados lentes de hasta 1 m de arenisca fina/media de color amarillo moderado (5Y 7/6). Dentro de esta arenisca se destacan estructuras entrecruzadas, intraclastos pelíticos y bioturbaciones (Figs. 30b, c y d).

La arenisca es predominantemente cuarzosa, con cristales de feldespato, mica, yeso, hematita y magnetita, con una matriz de minerales arcillosos. La roca está bien seleccionada, con cristales angulosos y esfericidad cercana a 0,5. La magnetita, distinguida por lupa binocular, posee brillo iridiscente, colores negros y rojizos, y una fractura concoidea. Además, le otorga un bandeamiento oscuro, entrecruzado y paralelo, a pequeña escala (Figs. 31a y b).

Por su parte, la bentonita tiene abundante yeso, que se manifiesta de manera superficial y rellenando grietas y diaclasas. Por último se observa presencia de colores rojizos producto de oxidación ferrosa y colores oscuros/negros producto del manganeso.

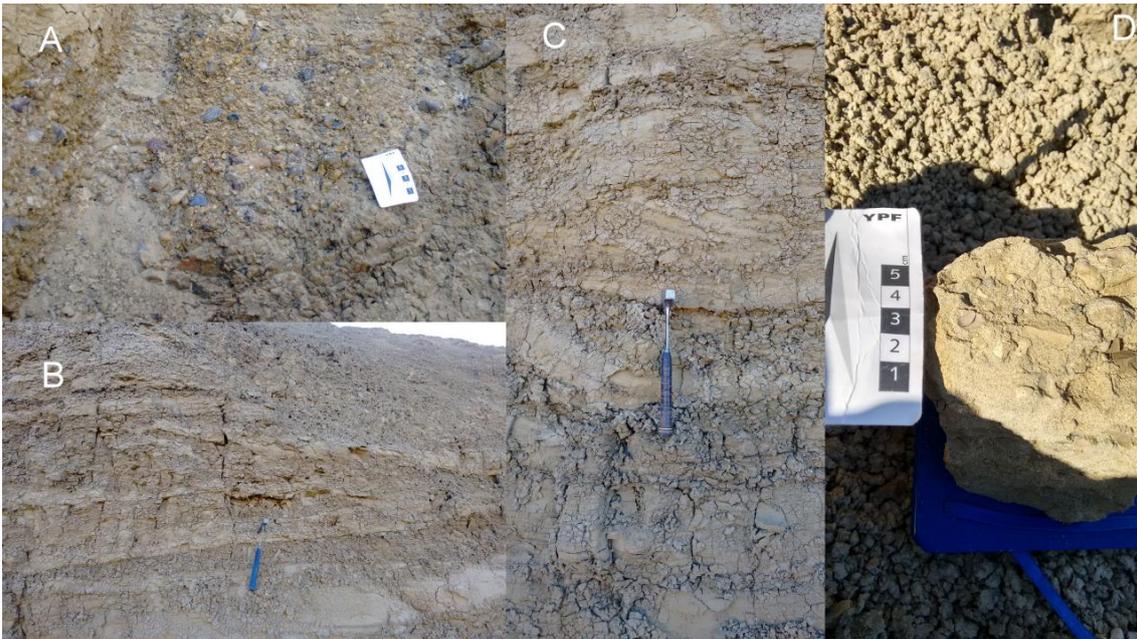


Figura 30. A- Conglomerado – B y C- Estructuras paralelas y cruzadas alternancia arenisca – bentonita.
D- Muestra de mano con intraclastos pelíticos del banco superior

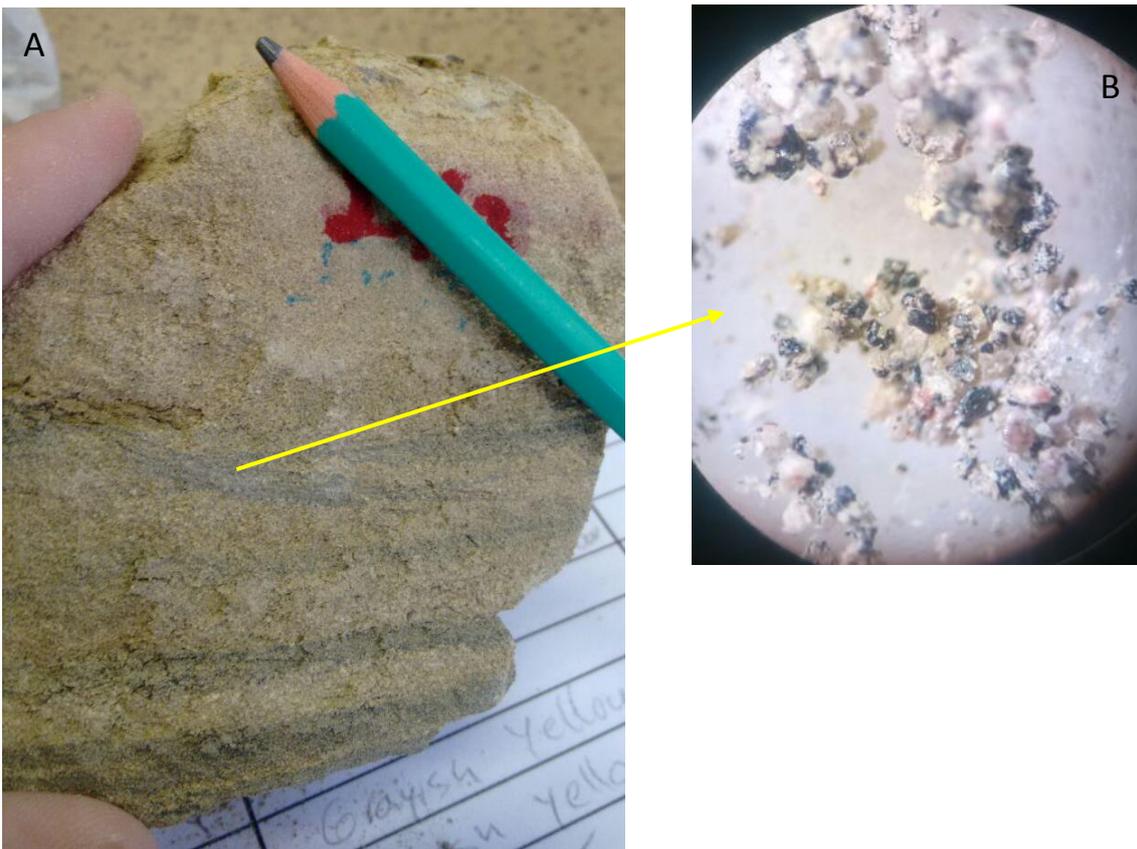


Figura 31. A -Muestra de mano de bandeamiento hematítico B- Cristales en lupa binocular.

Perfil 7 - N

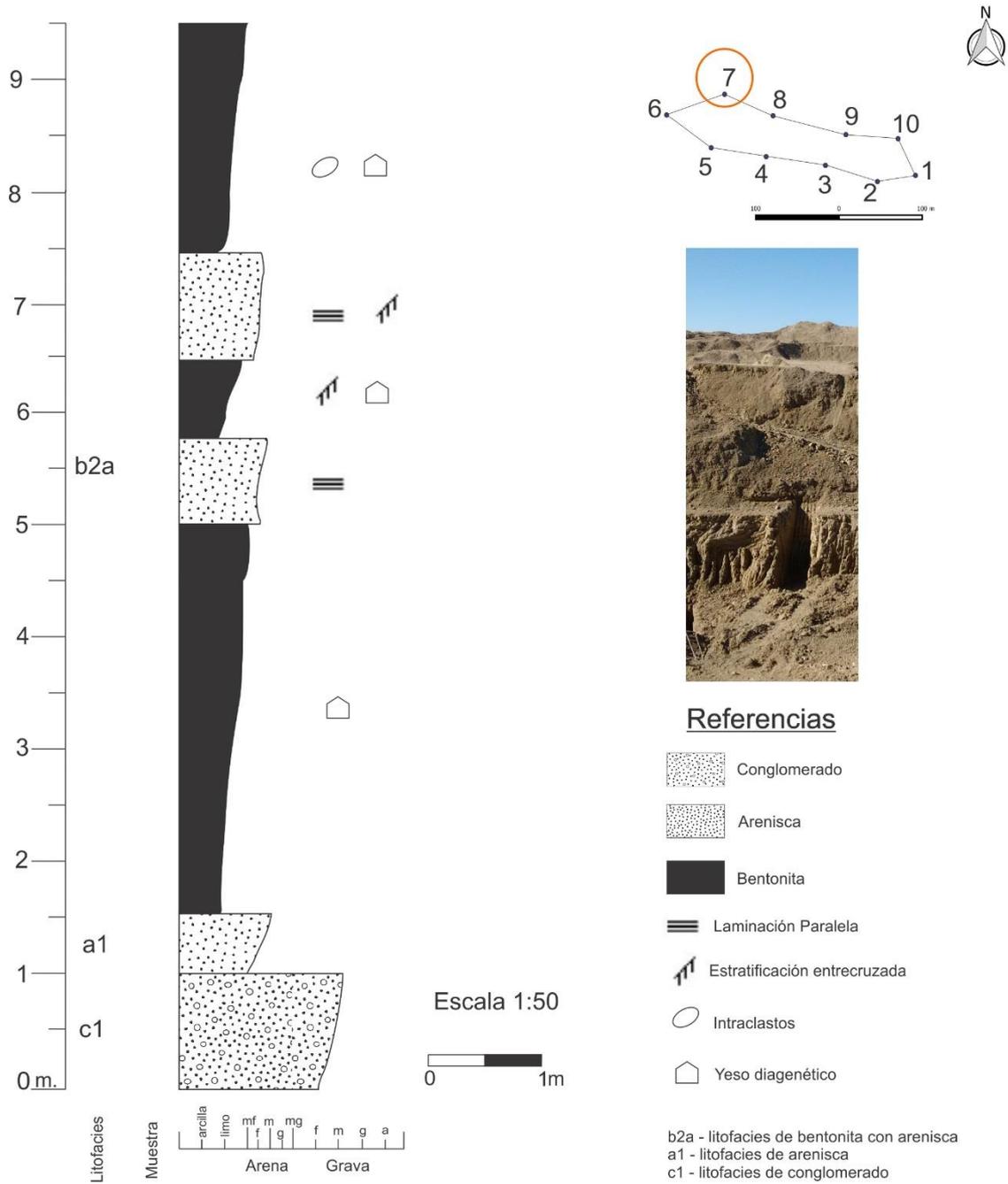


Figura 32. Perfil 7, sector norte del área de estudio.

Perfil 8 N

Coordenadas: 39° 2'22.74"S, 69°39'54.30"O

El perfil comienza con un nivel de bentonitas de 4 m de color gris amarillento (5Y 7/2), con un 65,67% de arcilla, 11,50% de limo y un 22,83% de arena. La roca presenta yeso diagenético en forma superficial, y también rellenando grietas, y varias marcas de oxidación ferrosa y de manganeso. Además, diaclasas en varias direcciones, y concreciones de cuarzo superficiales (Fig. 33a).

Luego, en los próximos 4 m se observa una alternancia de lentes de arenisca muy fina/fina que no superan los 50 cm, con bentonitas mezcladas con esta misma arenisca (Fig. 33b y c). La bentonita tiene un color gris amarillento (5Y 7/2), mientras que las intercalaciones arenosas un color marrón amarillento pálido (10YR 6/2). Esta secuencia posee laminación paralela a gran escala, y a pequeña escala, dentro de los lentes de arena, estructuras paralelas y entrecruzadas. Además, en todo el banco se destaca la presencia de cristales de cuarzo, óxidos de hierro y manganeso, y yeso rellenando grietas. La arena esta pobremente seleccionada, es predominantemente cuarzosa, con cristales de feldespato, mica y yeso, posee clastos sub-angulosos y una esfericidad cercana a 0,5.



Figura 33. A- Bentonita perteneciente al nivel inferior del perfil.

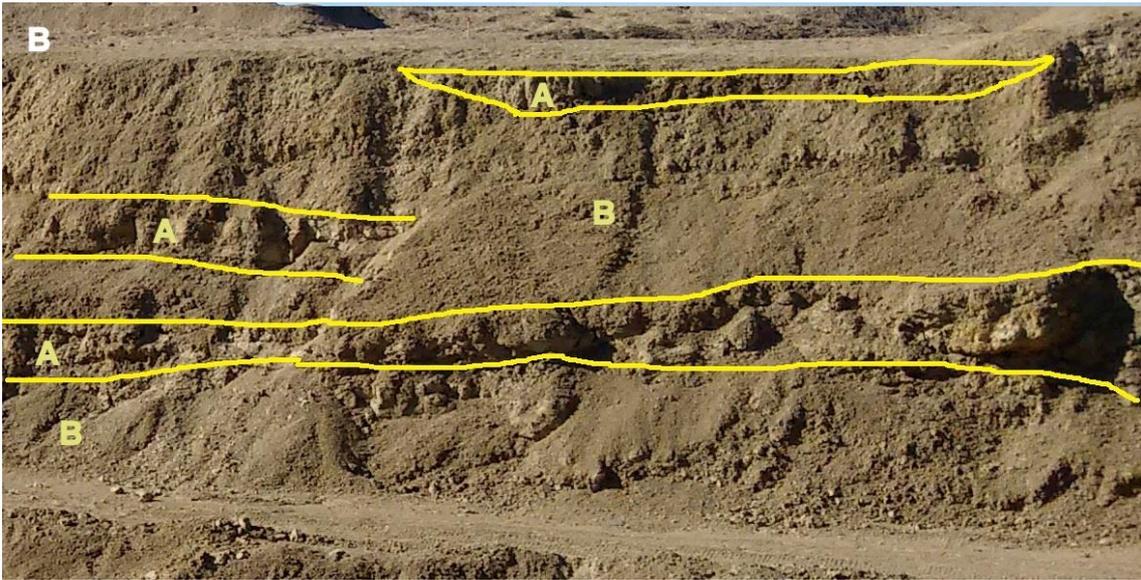


Figura 33. B y C. Intercalaciones de arenisca (A) con bentonita (B).

Perfil 8 - N

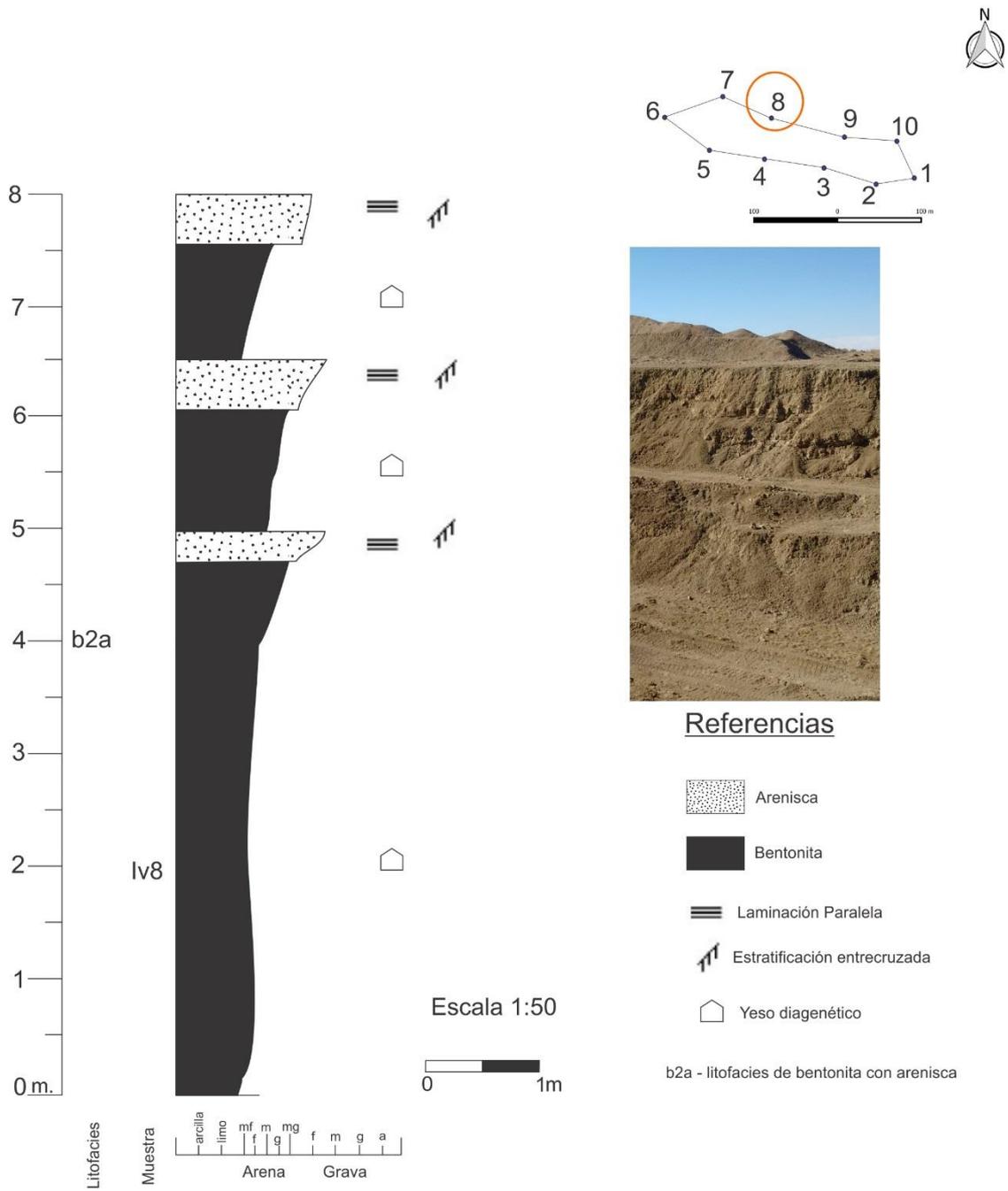


Figura 34. Perfil 8, sector norte.

Perfil 9 N

Coordenadas: 39° 2'23.60"S, 69°39'51.15"O

El perfil comienza, desde la base hacia el techo, con un estrato de 2 m de bentonita de color verde oliva claro (10Y 5/4) con 82,35% de arcilla, 6,35% de limo y 11,27% de arena. Presenta fractura concoidea, abundantes grietas de desecación y yeso diagenético que cubre el afloramiento de manera superficial (Fig. 35a).

El siguiente nivel de 5 m es mayoritariamente de bentonitas, de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2) con alternancia de laminaciones de arena, de no más de 50 cm. Esta arena se dispone paralelamente y formando localmente estructuras entrecruzadas (Fig. 35b). Además, se observa precipitación de yeso diagenético que se encuentra rellenando las grietas, presencia de óxidos de Fe y Mn, y concreciones de cuarzo.

Luego, le sigue un horizonte de 1,5 m de bentonita de color amarillo verdoso pálido (10Y 8/2) con un 74,08% de arcillas, 17,88% de limo y 8,04% de arena. Se detecta la presencia de yeso superficial y también rellenando grietas.

Posteriormente, se observa 0,5 m de arenisca de color amarillo grisáceo (5Y 7/2), que hacia el este se acuña. Es un lente de arenisca fina/media mal seleccionada, predominantemente cuarzosa, con cristales de feldespato, mica y yeso. Posee clastos subangulosos y esfericidad aproximada de 0,5. Dentro de ella, se observan estructuras de no más de 5 cm de laminación paralela y entrecruzada (Figs. 35c, d, e)

Por último, y para finalizar el perfil, la cubierta de 1 m es de una arenisca media / gruesa de color clara. Se presenta muy compacta, mal seleccionada y con granos de gran angulosidad. También, se advierte la presencia de raíces y algunos fragmentos líticos aislados y bioturbaciones.

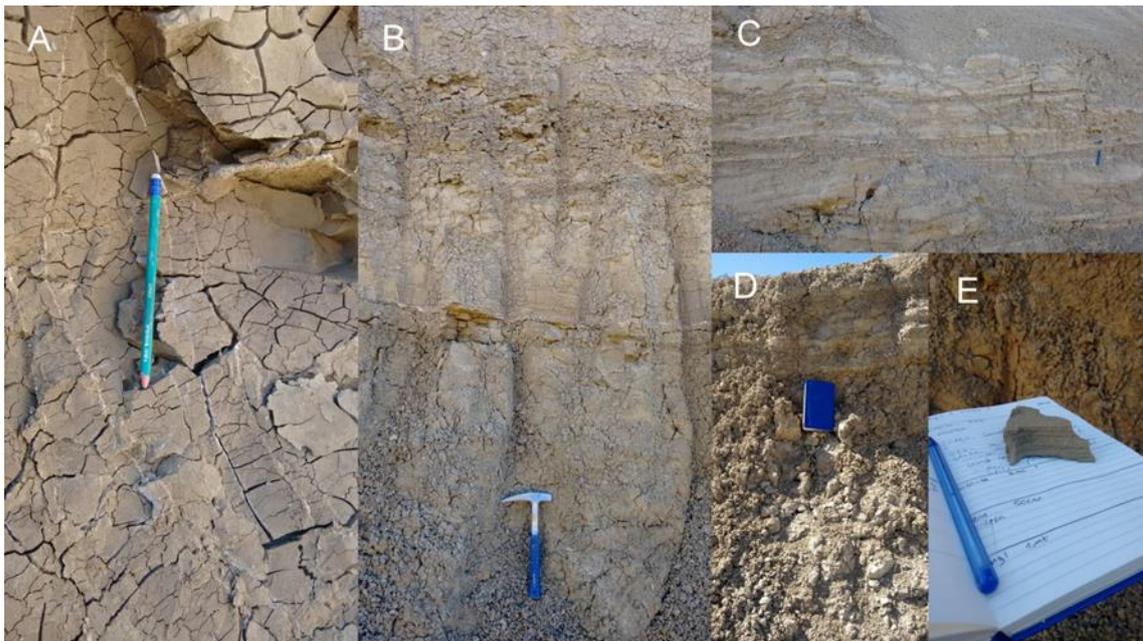


Figura 35. A- Bentonita nivel inferior. B y C- Laminación de arena paralela y entrecruzada adentro de bentonita. D- Laminación paralela de arena en banco superior- E- Muestra de mano de arena.

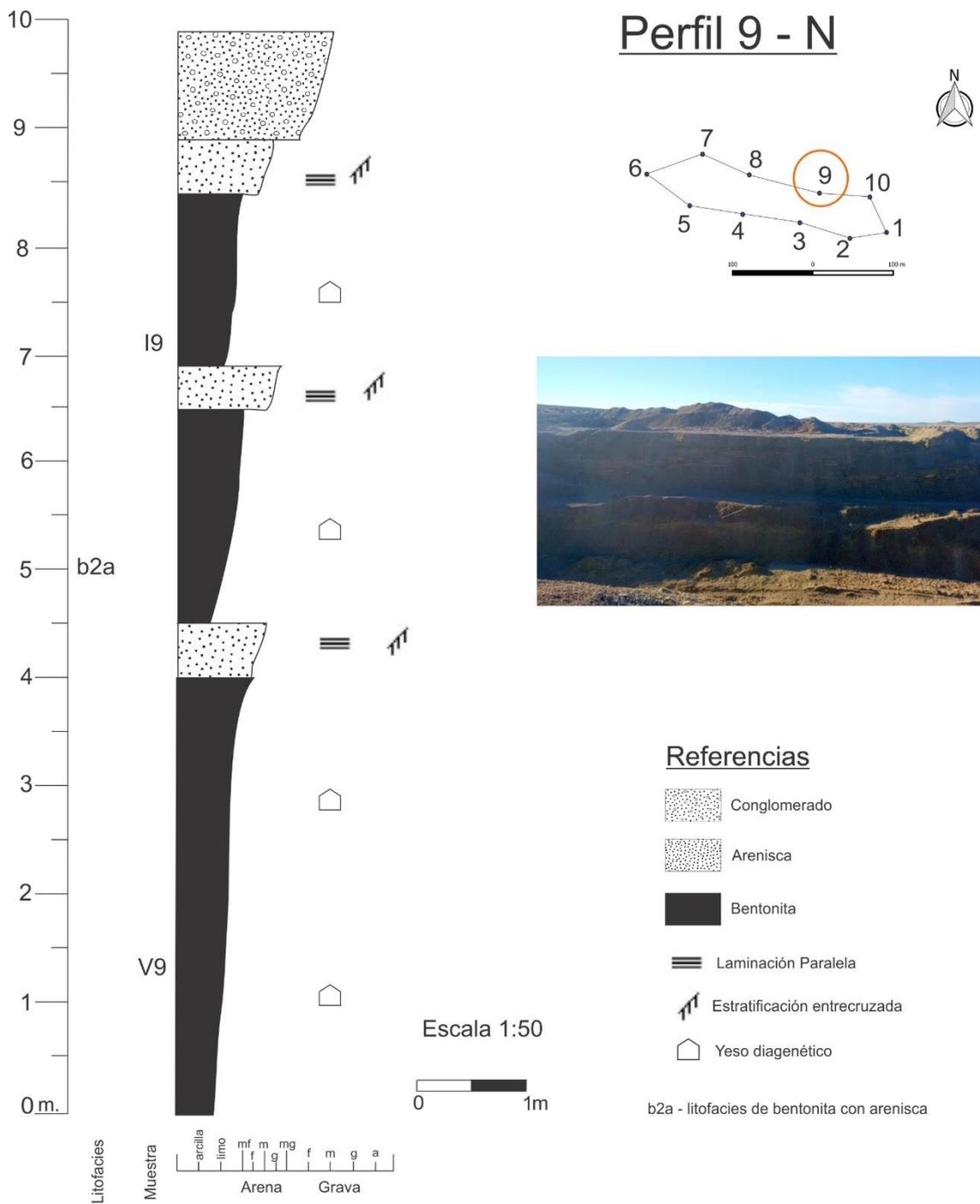


Figura 36. Perfil 9, ubicado en el sector norte del área de trabajo.

Perfil 10 N

Coordenadas: 39° 2'23.73"S, 69°39'48.90"O

Comenzando de abajo hacia arriba, se observa un estrato de 1,7 m de bentonita, de color gris amarillento (5Y 7/2). Se puede apreciar una escasa cantidad de arena. Se observan numerosas grietas de desecación, y tres grandes familias de diaclasas que se entrecruzan. Todas ellas se encuentran rellenas de yeso diagenético (Fig. 37a). Además, presenta alteración de óxidos de manganeso que cubren varias partes del estrato superficialmente (Fig. 37b).

El siguiente nivel de 5 m es de una bentonita con abundante participación de arena, que le aporta una laminación de 50 cm por la alternancia de la litología. La bentonita es de color amarillo grisáceo (5Y 8/4). La arenisca es de tamaño fino / medio con laminación paralela. Posee una buena selección, con clastos angulosos y esfericidad cercana a 0,3. Además, presenta pequeñas alteraciones producidas por los óxidos de manganeso y hierro, de colores rojizos/pardos. La arenisca es predominantemente cuarzosa, con escasos granos de feldespato y mica (Fig. 37c).

Continuando en la secuencia, se advierte un nivel de 2 m bentonitas también de color amarillo grisáceo (5Y 8/4), con poca/casi nula participación de arena. Se repiten las grietas de desecación, los óxidos de hierro y manganeso y las pequeñas concreciones esferulíticas (Fig. 37d).

Por último, se observa la cubierta, de 1,2 m de un conglomerado polimíctico rojizo clasto-soporte, con matriz terrosa y abundantes fragmentos líticos de hasta 8 cm de diámetro. Se destaca la presencia de raíces y formación incipiente de suelo.



Figura 37. A – Grietas y diaclasas del nivel inferior. B Óxidos de Mn. C- Arena mezclada con bentonita. D-Bentonita con grietas y óxidos de hierro.

5.2 Litofacies

En función de la descripción detallada de cada perfil, se identificaron tres litofacies de bentonitas en el área estudiada: litofacies de bentonita maciza (b1), litofacies de bentonita disgregable (b2), litofacies de bentonita con arenisca (b2a) y dos de las litologías restantes: litofacies de conglomerado (c1) y litofacies de arenisca (a1).

Litofacies de bentonita maciza (b1)

Está constituida por un nivel de bentonita de color amarillo grisáceo (5Y 8/4) a gris a amarillo oscuro (5Y 6/4) y geometría tabular. Los espesores varían entre 2 y 3 m. Los niveles son de aspecto macizo. Al romperse, muestran una fractura de tipo concoidea. (Fig. 39). En general es homogénea, con un bajo grado de impurezas (3%). Al tacto, no se advierte la presencia de fragmentos líticos ni restos de granos de un tamaño mayor al de arcilla. El contacto con la unidad superior es transicional, y con la inferior neto. No presenta continuidad lateral en todo el afloramiento, estando expuesta solo en dos perfiles, en el sector oeste y sur del área. La granulometría es, en general, predominantemente arcilla (88%) y en menor medida limo (8%) y arena (4%).



Figura 39. Litofacies b1- A, B. Bentonita maciza con grietas de desecación.

Litofacies de bentonita disgregable (b2)

Está formada por un nivel de bentonita de color amarillo verdoso pálido (10 Y 8/2) a amarillo grisáceo (5Y 8/4) y geometría tabular. Los espesores varían en un rango de 3,8 – 11,5 m. Presenta niveles disgregables, con fractura concoidea, exhibida al romperse. Esta litofacies posee abundantes óxidos de hierro y dendritas de manganeso, como así también yeso superficial. Muestra, además, numerosas concreciones silíceas de no más de 1 cm de diámetro; y fragmentos líticos de feldespato y cuarzo. Se observó un agrietamiento general debido a la exposición a la erosión y agentes meteorizantes, con

numerosas grietas de desecación y diaclasas en varias direcciones (Fig. 40a, b). Presenta un aspecto heterogéneo, y un contenido de impurezas elevado (7%). Se advierte la presencia de granos de tamaño arena cuando se la somete al tacto. El contacto con la unidad superior, cuando está presente, es transicional, de igual manera que con la unidad inferior. Posee una continuidad lateral marcada en el sector sur del afloramiento, estando ausente en el sector norte. La granulometría promedio da como resultado un 79% de arcilla, 13% de limo y 8% de arena.



Figura 40. Litofacies b2. A. Bentonita con óxidos de Fe y Mn y yeso superficial. B. Bentonita disgregable.

Litofacies de bentonita con arenisca (b2a)

La litofacies b2a es definida como bentonita interdigitada con lentes de arenisca de granulometría media. Esta litofacies posee una geometría tabular y un color gris amarillento (5Y 7/2) a amarillo grisáceo (5Y 8/4). Su espesor varía entre 8 a 9 m. La arenisca, por su parte, presenta un color marrón amarillento pálido (10 YR 6/2), con un espesor máximo de 1,5 m. La bentonita muestra una fractura concoidea, abundantes óxidos ferrosos y alteración dendrítica de manganeso. Además, numerosas grietas de desecación y diaclasas rellenas con yeso diagenético. En la arenisca, cabe destacar la presencia de estructuras entrecruzadas y laminación de tipo paralela, en la parte media/superior (Fig. 41). El contacto con las unidades superior e inferior es de carácter neto. Está presente solo en la parte norte y oeste de la zona, presentando continuidad lateral en toda esa área, acuñándose por completo hacia el este. La granulometría promedio es de 75% de arcilla, 13% de limo y 12% de arena.



Figura 41. Litofacies b2a. A- Intercalaciones de bentonita y arenisca, laminación paralela y estratificación entrecruzada. B- Estratificación entrecruzada. C- Vista general de la litofacies.

Litofacies conglomerado (c1)

Corresponde al conglomerado presente en la zona de estudio. Su espesor varía entre 1-1,5 m, es en general clasto – soportado, los cuales tienen un tamaño que oscila entre 0,4 – 8 cm, de tipo pelíticos, basálticos, andesíticos, graníticos y fragmentos de vidrio volcánico y cuarzo. Posee matriz de tipo arcillosa, resistente, de color rojo moderado (5R 4/6). Su contacto inferior es neto y el superior transicional (Fig. 42).

Aparece en el sector sureste de la zona de estudio, perdiendo continuidad lateral hacia el suroeste y aflorando nuevamente en el sector noroeste del área.

Litofacies arenisca (a1)

Esta litofacies está compuesta de arenisca de color marrón oliva claro (5Y 5/6), con un espesor de no más de 0,5 m; en general, de tamaño de grano medio. Es predominantemente cuarzosa, con clastos de feldespato mica y yeso. Es de tipo clasto soporte, con una matriz silíceo disgregable. Los clastos se encuentran bien seleccionados, son subangulosos y tienen una esfericidad promedio de 0,5.

Aflora asociada a la litofacies c1, en algunos casos por encima de ésta, y en otros subyaciéndola (Fig. 42). Se expone en el sector oeste-noroeste del área, sin continuidad lateral.

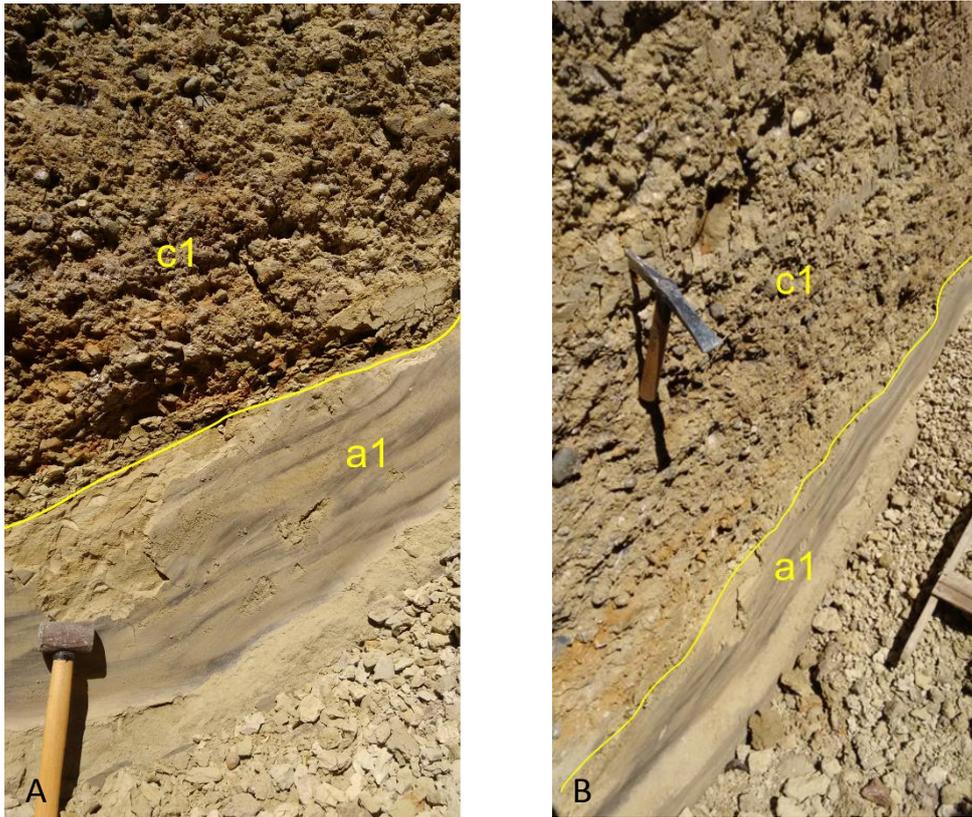


Figura 42. A y B. Litofacies c1 suprayaciendo a la litofacies a1.

Conclusiones parciales

En las Figs. 43 y 44 observamos la ubicación y correlación de las litofacies marcadas en los diez perfiles de detalle realizados en la zona de estudio. En el sector norte (Fig. 43) se observa un predominio mayoritario de la litofacies b2a, y la presencia reducida de las demás litofacies. Cabe destacar el acuñamiento que se produce hacia el sector este del lente de arenisca característico en b2a.

En el sector sur (Fig. 44), el predominio con mayor continuidad lateral es de la litofacies b2. La litofacies b1, c1 y a1 están presentes de manera reducida y en sitios puntuales. La litofacies b2a se encuentra completamente ausente en este sector.

La litofacies b1 aflora en ambos sectores del área sin una gran continuidad lateral, esto se debe a que es la de mayor interés económico por parte de la empresa y ha sido removida por labores de extracción, como se aprecia en la zona central de la Fig. 46.

La litofacies c1 y a1 se encuentran siempre relacionadas entre sí y se ponen de manifiesto solo en tres perfiles puntuales, en ambos sector del afloramiento.

Las Figs. 45 y 46 son ilustraciones en el campo de lo mencionado anteriormente de acuerdo a los perfiles.

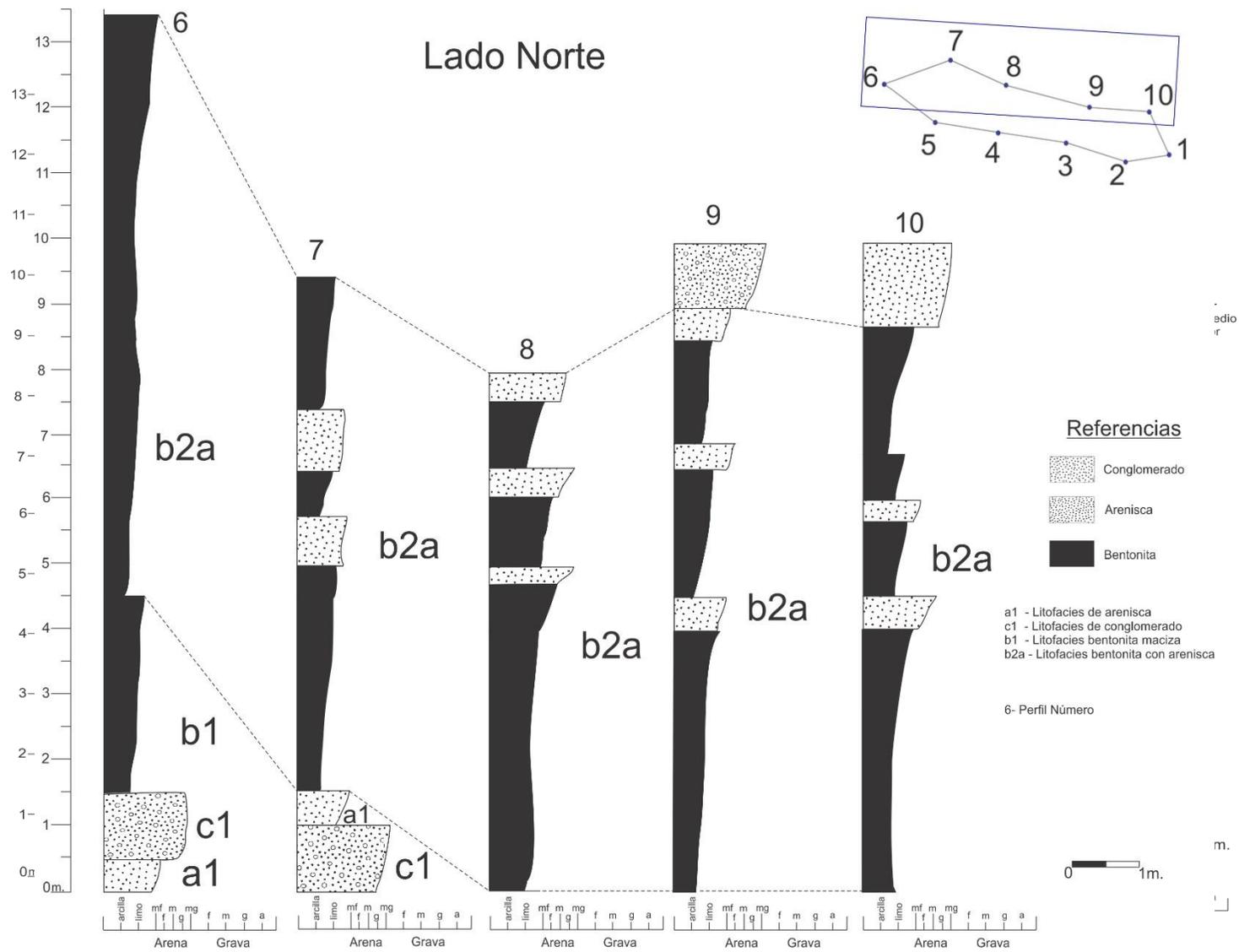


Figura 43. Perfiles con las correlaciones de litofacies del sector norte del área de estudio.

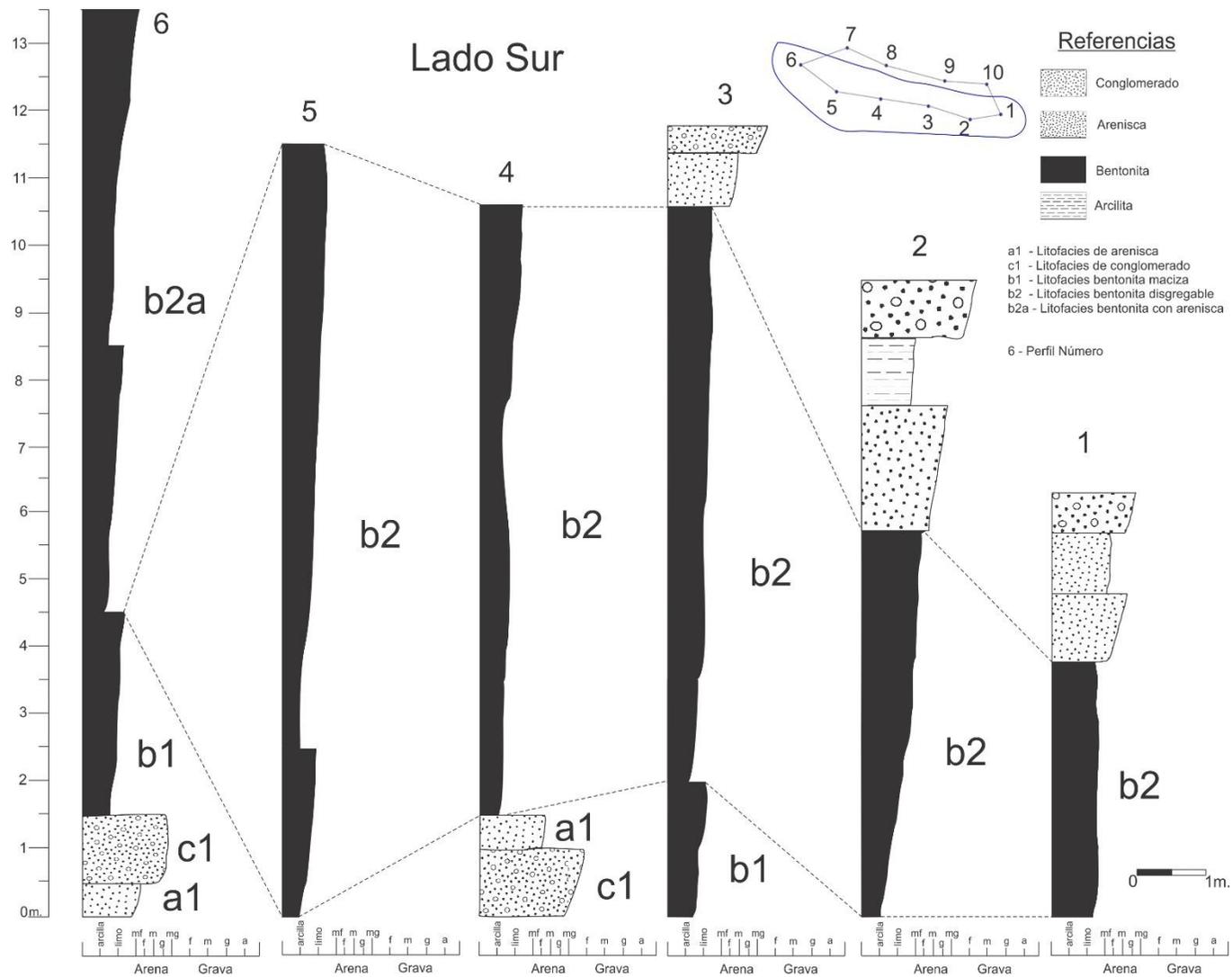


Figura 44. Perfiles con las correlaciones de litofacies del sector sur del área de estudio

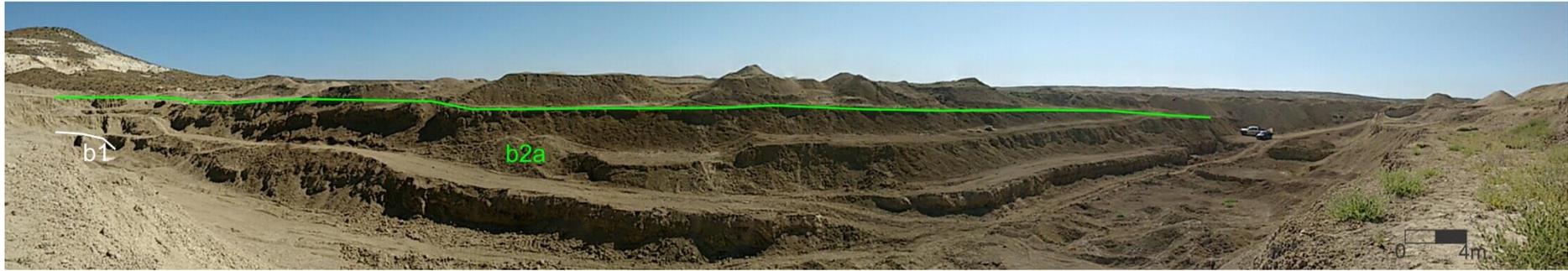


Figura 45. Ubicación de las litofacies bentoníticas en el sector norte de la cantera.



Figura 46. Vista de las litofacies de bentonitas desde el sector occidental de la zona de estudio.

5.3. Análisis granulométrico

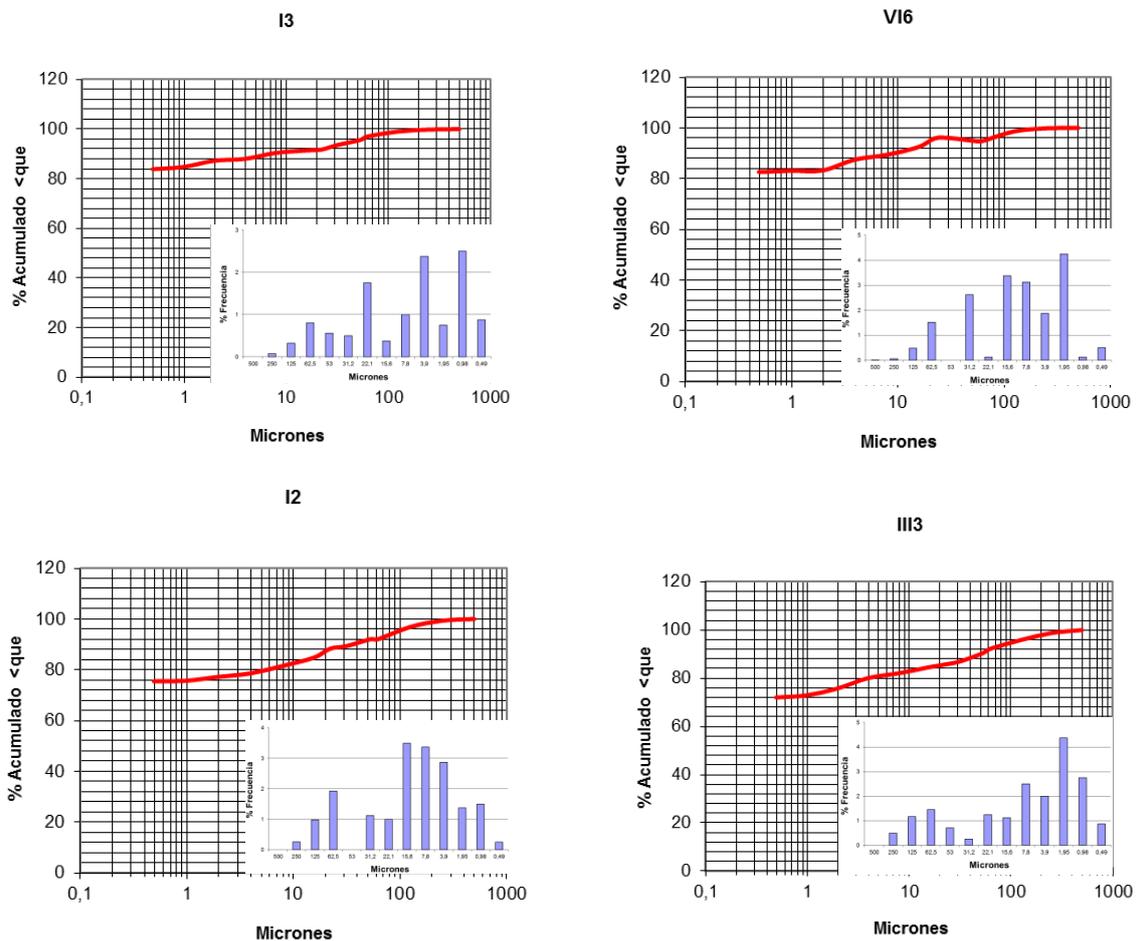
Los resultados del análisis por tamaño de partículas se presentan en la tabla a continuación:

	<u>Muestras en estudio</u>							
	I3	VI6	I2	III3	V9	I9	IV8	I6
Litofacies	b1	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a	b2a
Fracción Arcilla (%)	88	87,48	78,57	80,05	82,35	74,08	65,67	77,35
Fracción Limo (%)	9,02	7,38	13,5	12,15	6,38	17,88	11,5	14,88
Fracción Arena (%)	2,98	5,14	7,93	7,8	11,27	8,04	22,83	7,77

Tabla 4. Resultados de análisis granulométrico de las 8 muestras seleccionadas.

En la tabla 4 se observó que la fracción arcilla ($<2\mu$) presente en estas bentonitas varía entre un 66 y un 88%, con un promedio de 79%. La proporción de la fracción limo (tamaño entre 2μ y 62μ) posee valores entre 6 y 18%, con un promedio de 11%, mientras que el porcentaje de la fracción tamaño arena ($62\mu - 2\text{mm}$), varía entre 3% y 23%, con un promedio de 9%.

En la Fig. 47 se observan las curvas de distribución de frecuencias acumuladas junto con los gráficos de histogramas de frecuencia relativa para las muestras analizadas.



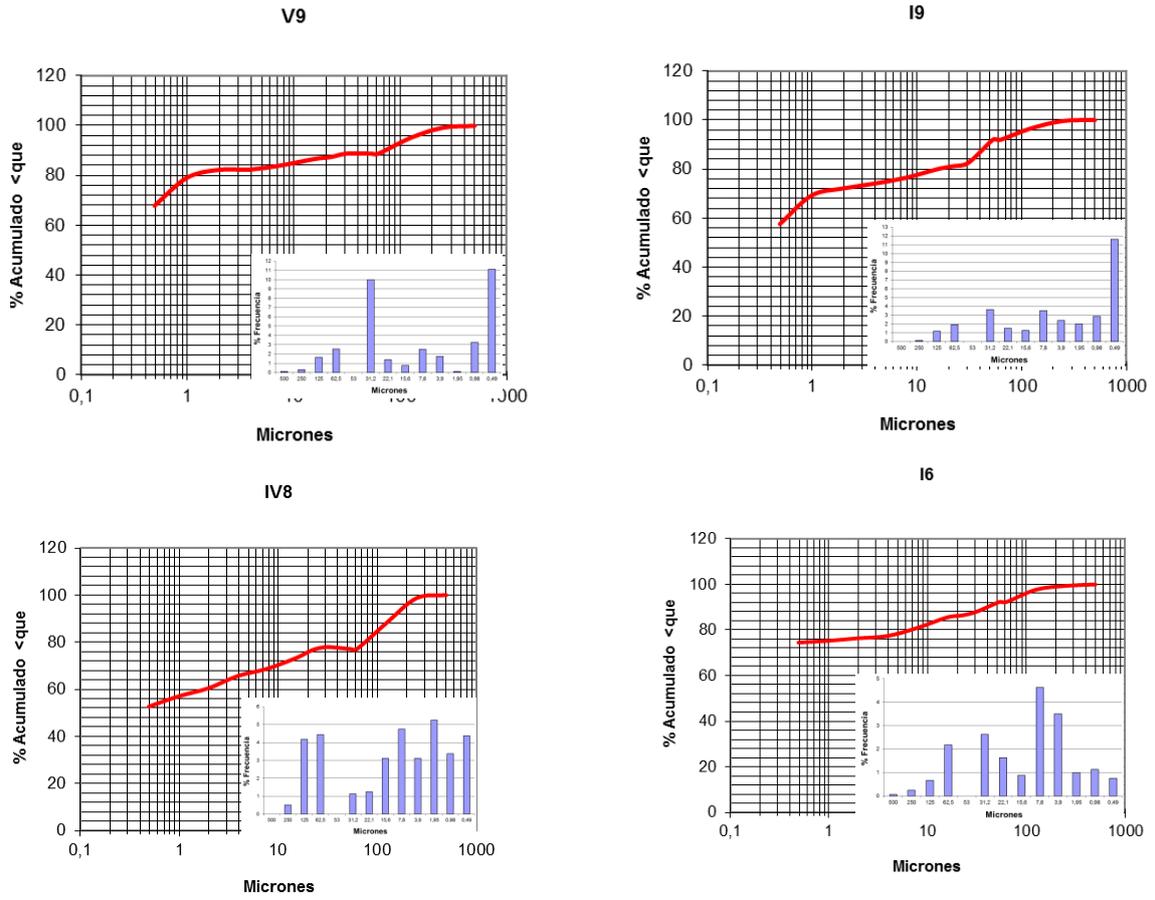


Figura 47. Curvas de distribución de frecuencia acumulada de las ocho muestras seleccionadas del área de estudio. Los gráficos insertados pertenecen a histogramas de frecuencia relativa e indican las frecuencias porcentuales de cada clase de tamaño de grano.

Los valores obtenidos fueron representados en un triángulo textural Arena-Limo-Arcilla según Folk (1968) (Fig. 48).

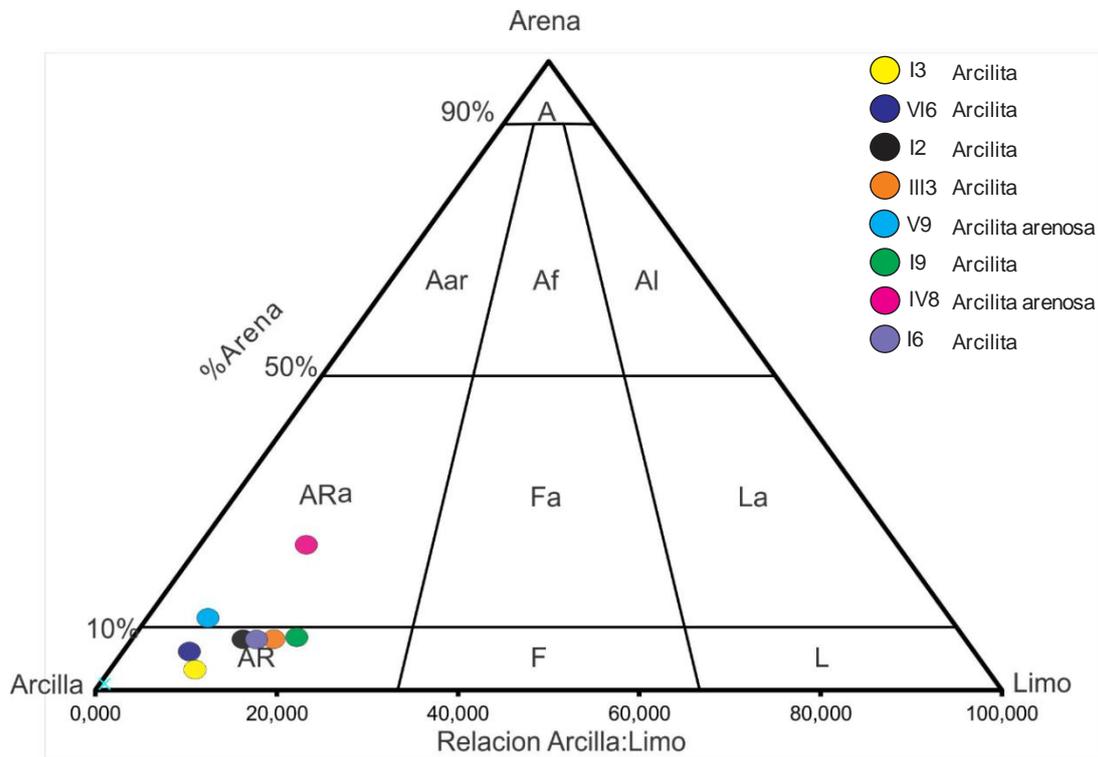


Figura 48. Triángulo de clasificación de Folk (1968) Arcilla – Limo – Arena. ARa: Arcilita arenosa- AR: arcilita.

Teniendo en cuenta las litofacies definidas anteriormente, se integraron los resultados de los porcentajes de las distintas fracciones (Tabla 4), la clasificación textural (Fig. 48) y los parámetros estadísticos (Fig. 47). Los resultados de este análisis se presentan a continuación:

Litofacies b1

- Dos muestras analizadas en esta litofacies: I3 y VI6, se determinó que están constituidas por 88% de arcilla, 8% de limo y 4% de arena, valores promedios.
- Los histogramas de frecuencias relativas muestran, en general, una forma levemente asimétrica hacia la derecha (cola de gruesos), y una distribución polimodal en 3,9 μ (limo) y 1,95 y 0,98 μ (arcilla).
- Se clasificó a las muestras analizadas como arcilitas.

Litofacies b2

- Se analizaron dos muestras: I2 e III3, se obtuvieron valores de 79% de arcilla, 13% de limo y 8% de arena.
- La forma de los histogramas de frecuencias exhiben una distribución simétrica (I2) y asimétrica hacia la derecha (III3) y una característica polimodal en 15,9 - 7,8 μ (limo), para la muestra I2 y unimodal en 1,95 μ (arcilla) para III3.
- Se clasificó como arcilita a las dos muestras

Litofacies b2a

- Cuatro muestras: V9, I9, IV8 e I6, en promedio, un 75% de arena, un 13% de limo y un 12% de arcilla.
- Los histogramas de frecuencias son de tipo unimodal, en el caso de las muestras I9 e I6 ($0,49 \mu$ (arcilla), $7,8 \mu$ (limo), respectivamente); y polimodal en el caso de las muestras V9 e IV8 ($31,2 \mu$ (limo grueso), $1,95 - 0,49 \mu$ (arcilla)). Para el primer caso, con una distribución asimétrica hacia la derecha; y levemente asimétrica hacia la derecha para el segundo grupo de muestras.
- En la curva granulométrica, se puede obtener la mediana como el valor igual a $\phi_{50} = 0,5 \mu$ (arcilla).
- Se clasificaron a las muestras V9 e IV8 como arcilitas arenosas y a las muestras I9 e I6 como arcilitas.

De acuerdo a los resultados granulométricos, no fue factible calcular los coeficientes estadísticos propuestos por Folk y Ward (1957) (media, mediana, desviación estándar, asimetría y curtosis), ya que, en general, no hay valores por debajo de ϕ_{50} , que es límite inferior de la técnica empleada.

Conclusiones parciales

Seis de las ocho muestras se incluyen en la clasificación textural como arcilitas, las otras dos restantes son definidas como arcilitas arenosas. Estas dos muestras diferentes (V9 e IV8), pertenecen al sector norte del afloramiento, y se ven influenciadas por la presencia de un nivel de arenisca que caracteriza este sector y no se encuentra en el sur.

Se observa, por ejemplo, que las muestras I3 y V9, pertenecientes a perfiles enfrentados N-S, de la litofacies b1 y b2a, respectivamente, tienen una composición granulométrica sustancialmente distinta, siendo hasta clasificadas de manera diferente por el triángulo textural (arcilitas y arcilitas arenosas, respectivamente). Esto se debe a que el sector norte es afectado por el estrato arenoso característico, el cual le otorga una mayor proporción de la fracción arena a las bentonitas pertenecientes a ese sector. Por el contrario, en el sector sur del afloramiento, al no existir ese nivel, la bentonita es granulométricamente más rica en arcilla. Las muestras pertenecientes al sector sur del área, el cual no fue afectado por este nivel, exhiben una composición con más arcilla, con menor porcentaje de arena, siendo todas ellas clasificadas como arcilitas. Ellas son: I2, I3, III3. La muestra IV8, con una clara influencia de la arenisca circundante, muestra el mayor porcentaje de arena, con un 22%. Las muestras V9 e I9, ubicadas en el sector sur, también se ven afectadas por ese nivel de arenisca, exhibiendo mayor contenido de arena.

5.4 Análisis mineralógico

5.4.1 Mineralogía sobre muestra total

Los resultados de la semicuantificación sobre la muestra total se presentan en la siguiente tabla:

	Muestras en estudio					
	I3	I2	III3	V9	I9	I6
Litofacies	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a
Min. Arcillosos (%)	85	82	77	85	87	82
Cuarzo	1	2	2	1	1	3
Feldespato	5	7	8	5	5	7
Cristobalita	8	8	1	9	6	7
Micas	1	x	1	x	1	x
Ceolita	-	T	-	-	-	T
Yeso	-	1	T	T	T	1
Calcita	T	T	T	T	T	-

Tabla 5. Resultados de la semicuantificación sobre muestra total. T: traza (<1%) – x: no se discriminó entre Min. Arc + Mica.

Las bentonitas están compuestas por un 77% a 87% de minerales arcillosos, en menor proporción se identificaron los minerales acompañantes en el siguiente orden de abundancia decreciente: cristobalita, feldespatos, cuarzo y micas; como traza (<1%) yeso, calcita y ceolita (Fig. 50).

Además, la observación en lupa binocular de los minerales acompañantes, fracción #120 y #230, permitió corroborar estos minerales acompañantes como así también aquellos minoritarios no fácilmente diferenciables por DRX, tales como escasas trizas de vidrio volcánico, magnetita y micas (Fig. 49).

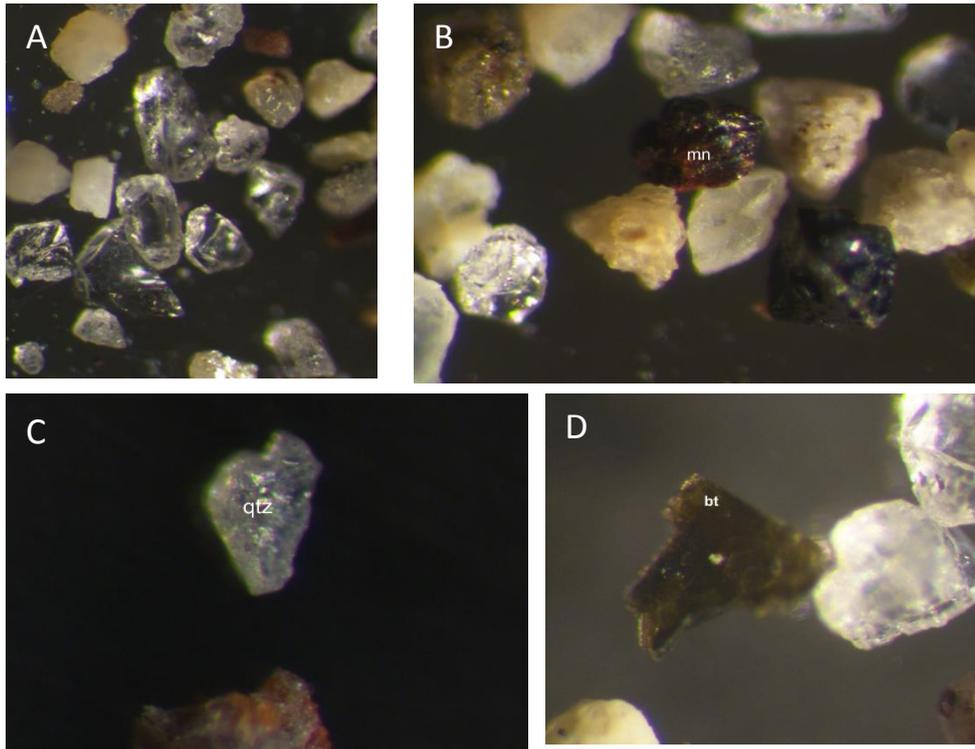


Figura 49. A- Vidrio volcánico. B- Mn: Magnetita. C- Qtz: Cuarzo D- Bt: Biotita

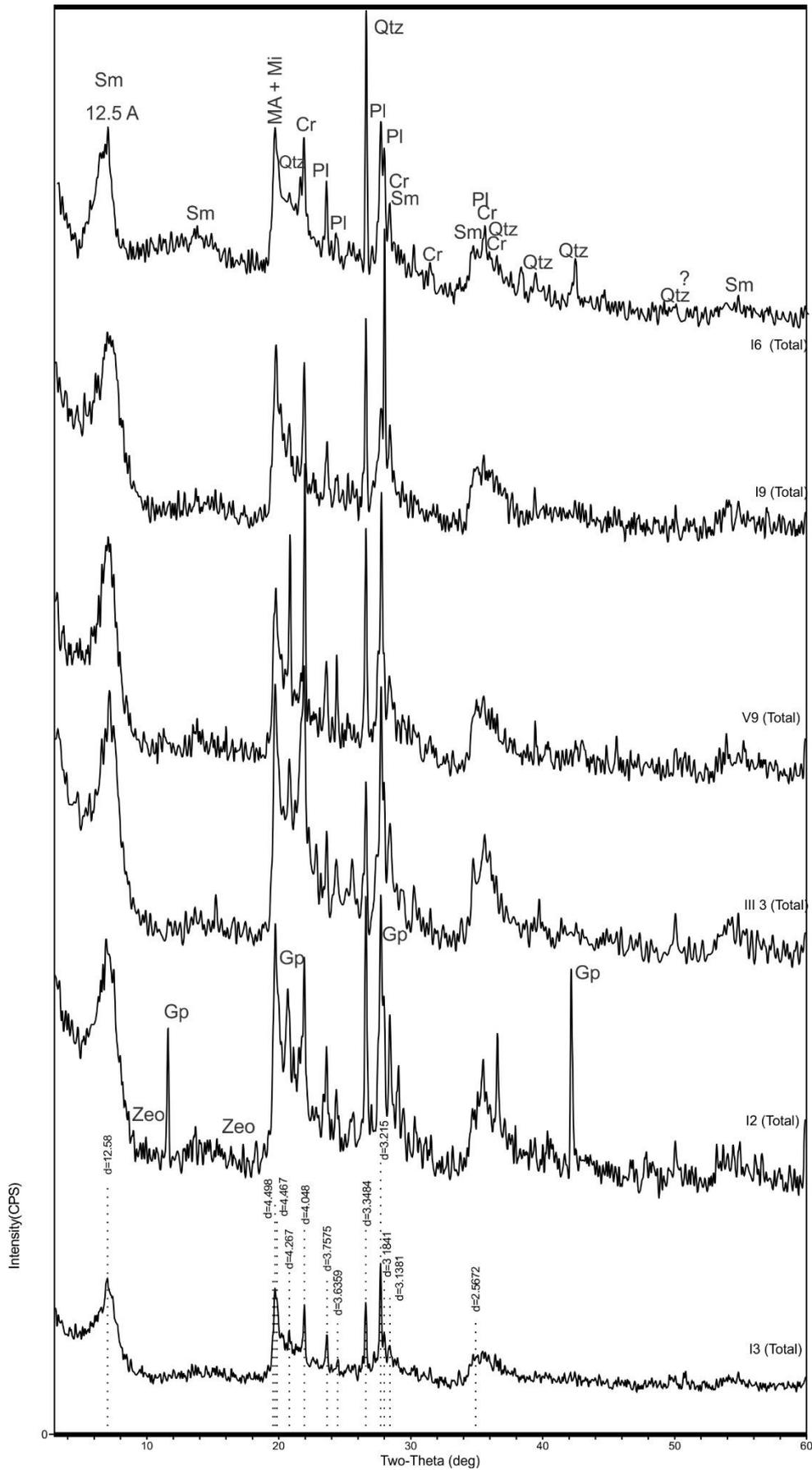


Figura 50. Diagrama de rayos X de la muestra total de seis muestras. Qtz: Cuarzo. Gp: Yeso. Zeo: Ceolita. Pl: Plagioclasa. Cr: Cristobalita. Sm: esmectita. MA + Mi: Minerales arcillosos + mica

5.4.2 Mineralogía de la fracción arcillosa

En la fracción $<2\mu$ se observó un desplazamiento hacia los altos ángulos de las reflexiones basales del mineral arcilloso expuesta a vapores de etilen-glicol, respecto a la muestra secada al aire. Allí la reflexión 001 ($d=16.79 \text{ \AA}$) es simétrica y aguda, mostrando el difractograma un patrón de racionalidad, es decir, el resto de los órdenes se encuentran a: 002 ($d= 8.51\text{\AA}$), 003 ($d=5.64 \text{ \AA}$), 004 ($d=3.37 \text{ \AA}$) y 006 ($d=2.82\text{\AA}$), representada por una esmectita, especie montmorillonita. Además, se observó que la reflexión 002 tiene mayor intensidad que la de 003, esto está asociado a mayor presencia de Fe en los sitios octaédricos (Moore y Reynolds, 1997) (Fig.51).

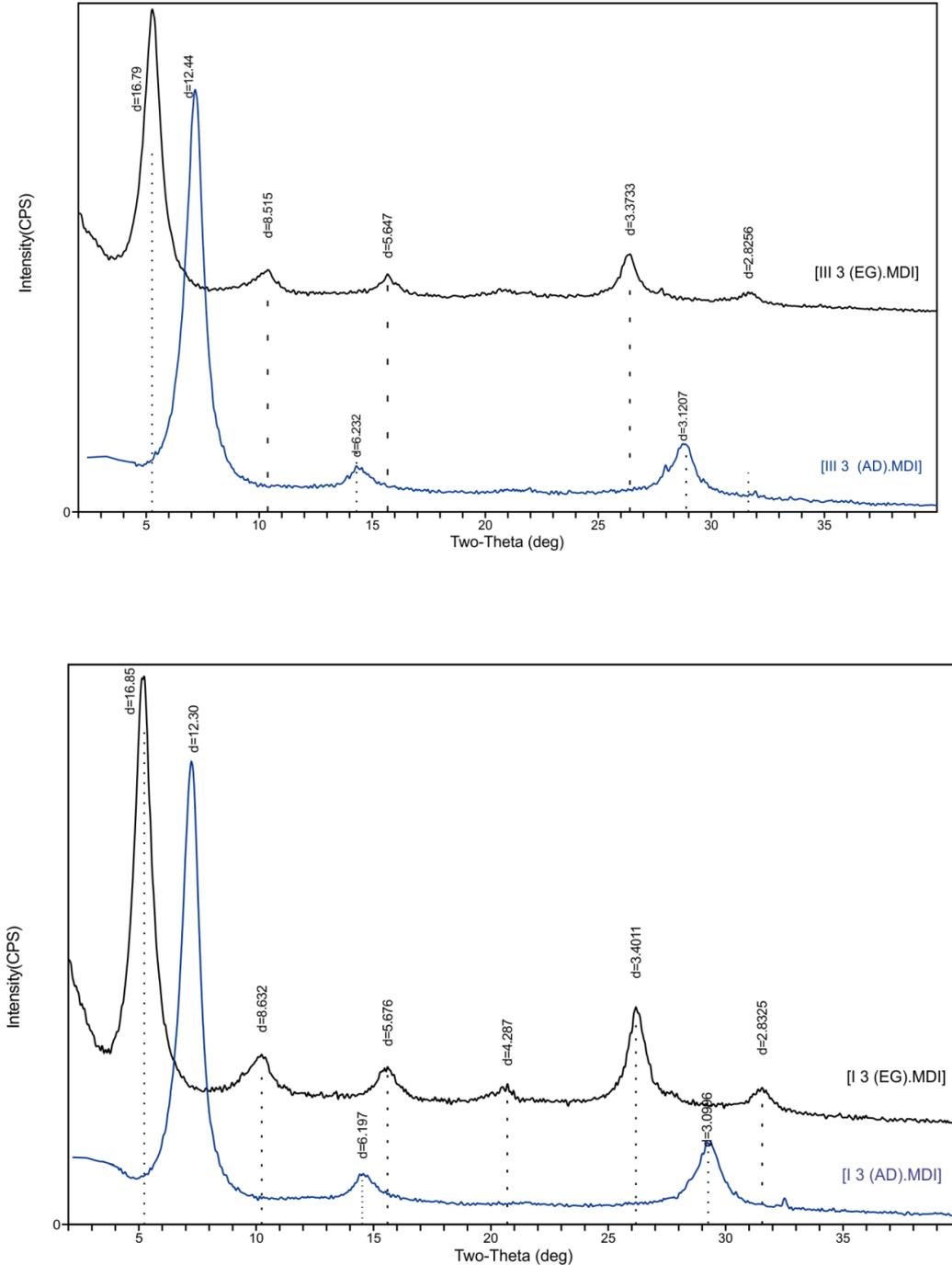


Figura 51. Diagrama de Rayos X de fracción $<2\mu$

Cristalinidad de las esmectitas

Todas las muestras analizadas presentan valores V/P que, según Biscaye (1965), corresponden a esmectitas perfectamente cristalizadas, variando en un rango de 1,04 a 1,18, con un promedio general de 1,104. En la Fig. 52, se presentan los diagramas de rayos x para seis muestras estudiadas, con sus respectivos valores de V/P.

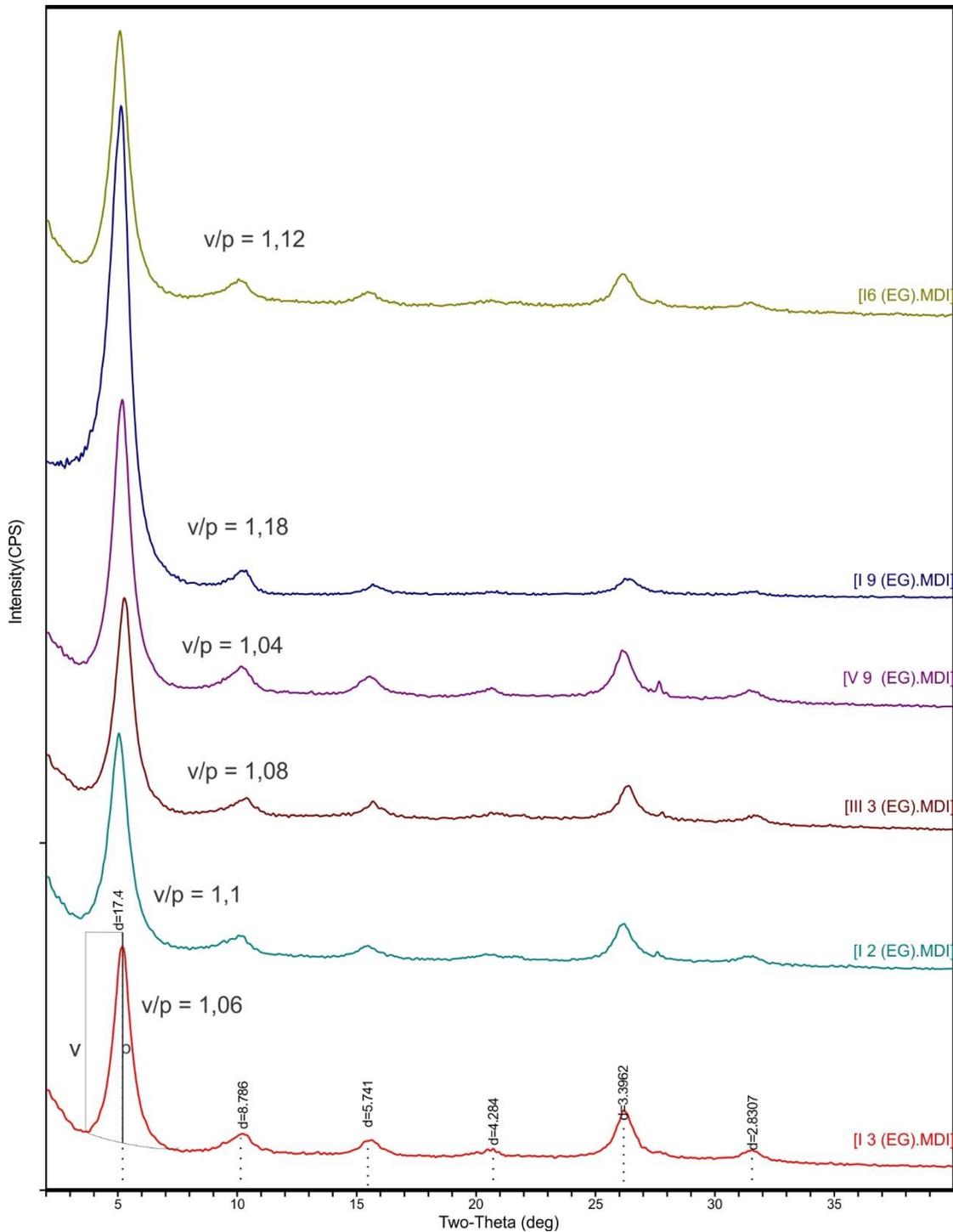


Figura 52. Diagrama de rayos X de fracción $<2 \mu$ de seis muestras, etilen-glicol, sumado al resultado del cálculo de v/p según Biscaye (1965)

5.4.3 Microscopia electrónica de barrido

La muestra analizada corresponde a la muestra I3 de la litofacies b1. El aspecto general es de tipo compacto. El principal mineral constituyente de las arcilitas estudiadas es la esmectita, la cual fue determinada por DRX. La microscopia electrónica de barrido permitió observar que este argilomineral tiene un tamaño de 2 micrones, sus bordes son crenulados y se dispone de forma cara-borde dando un aspecto “panal de abejas” (Fig. 53-1). En menor proporción se hallaron con disposición cara-cara (Fig. 53-2). Las asociaciones de partículas constituyen dominios floculados (Fig. 53-5). Se midieron poros inter- agregados de 20 micrones x 5 micrones y otros de menor tamaño 5 x 2 micrones, en general presentan morfologías alargadas a irregulares (Fig. 53-3). Además, fue posible diferenciar poros intraagregados, de tamaño 2 x 2 micrones, en general (Fig. 53-4).

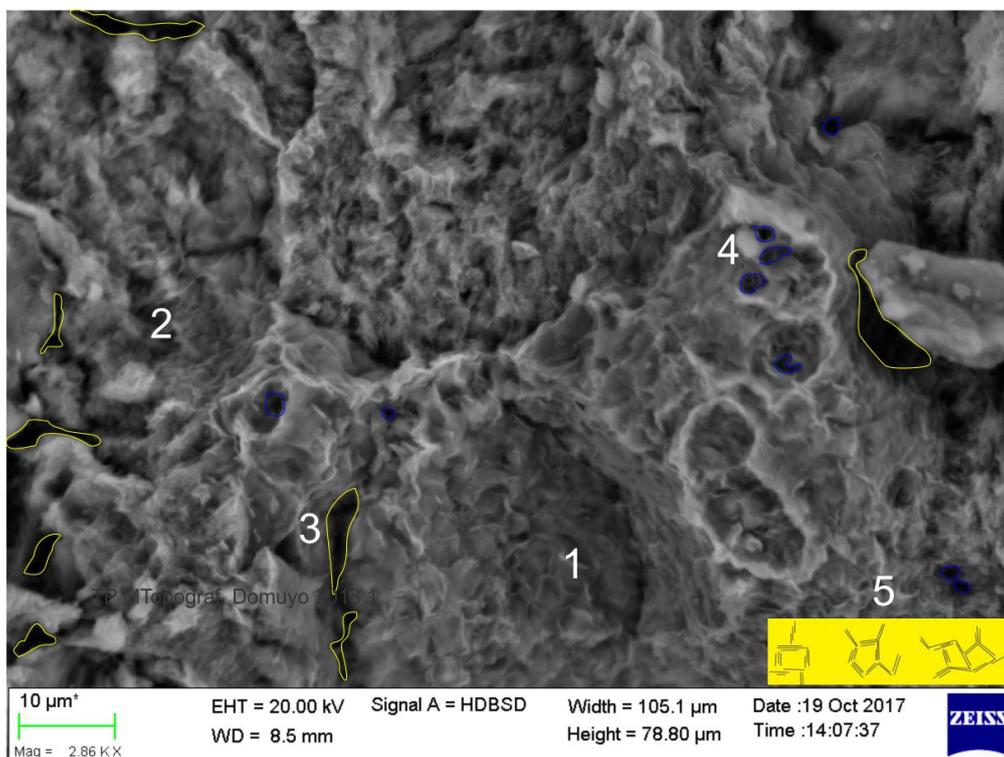


Figura 53. 1. Disposición cara-cara. 2. disposición cara-borde. 3. poros interagregados (amarillo). 4- Poros intraagregados (azul). 5- Dominios floculados

Entre los minerales acompañantes de estas arcilitas se identificaron:

- Biotita de 375 x 397 micrones con signos de alteración (Fig. 54)
- Cuarzo 68 x 46 micrones (Fig. 55).
- Cristobalita/Ópalo CT (Fig. 56), se pudieron observar cristobalita/ópalo CT de formas esféricas por pequeñas laminillas entrecruzadas y de un tamaño de 2 micrones asociados a esmectita, ambas de carácter autigénico. La sílice fue corroborada por análisis EDS y por DRX (Fig. 56c, 56d).
- Plagioclasas de 106 x 57 micrones con argilitización (Fig. 57).

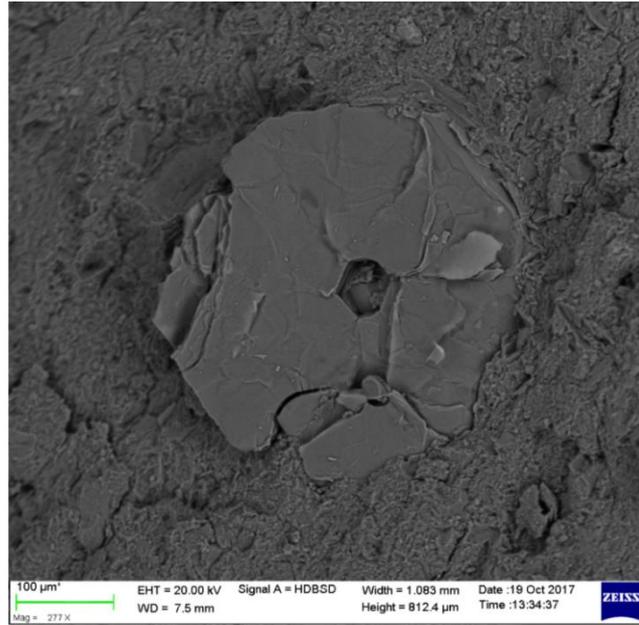


Figura 54. Biotita con signos de alteración

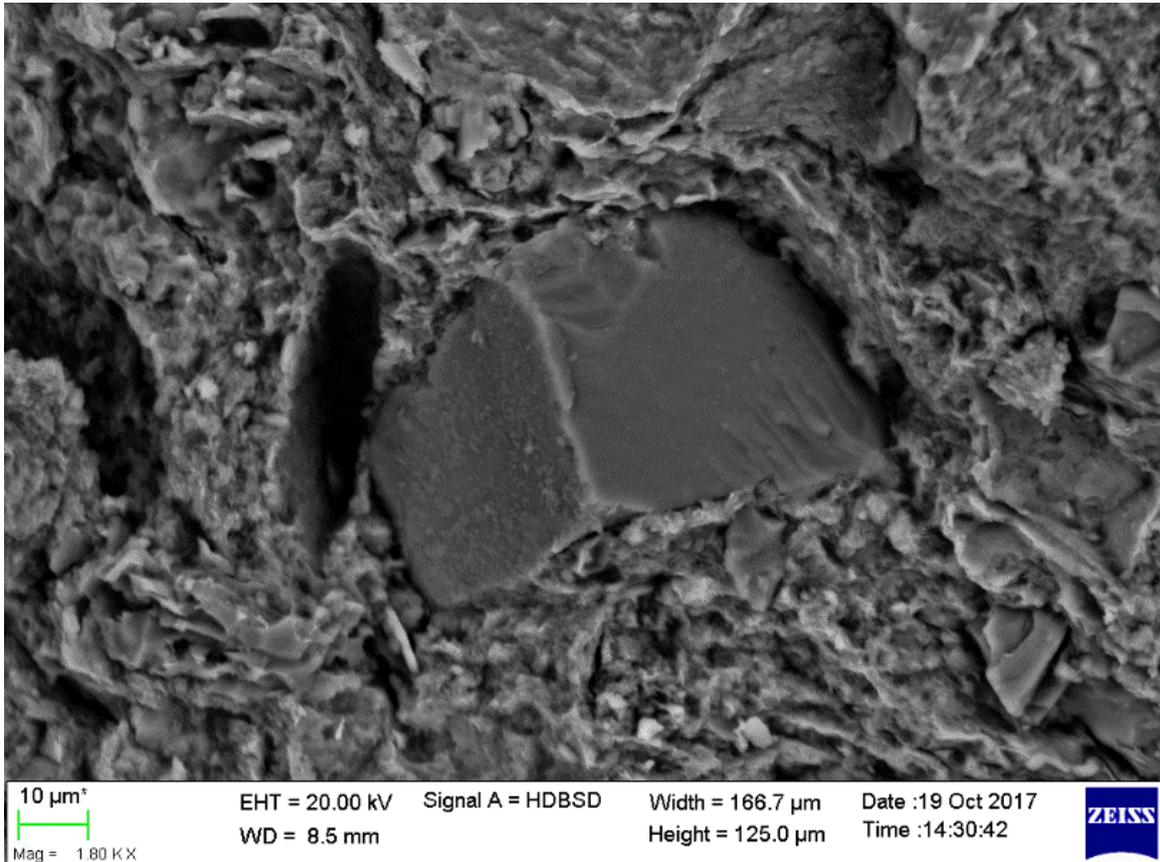
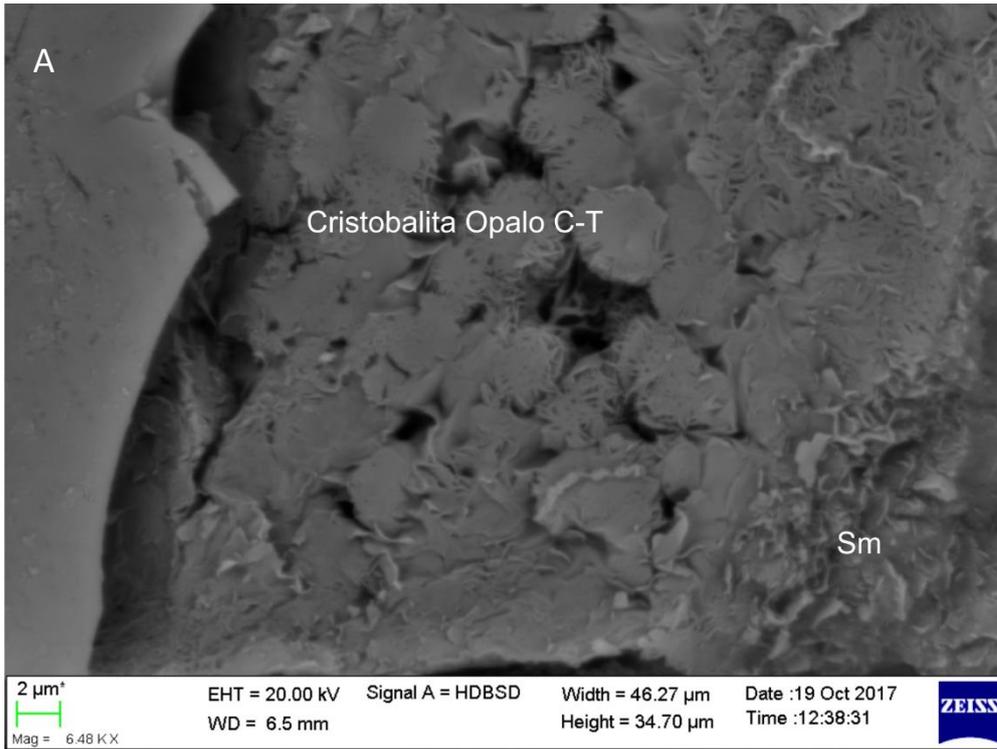


Figura 55. Cuarzo.



Electron Image 2

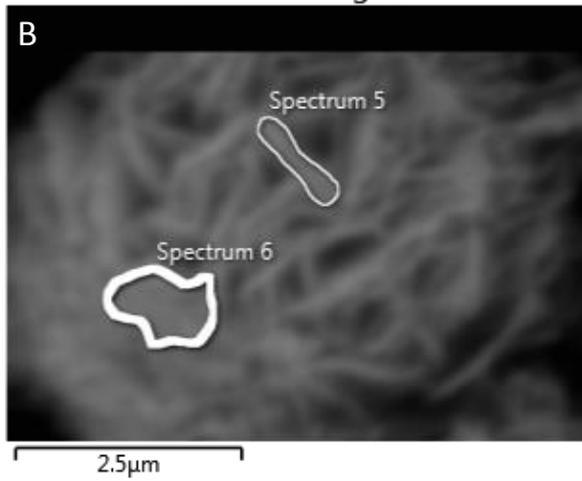
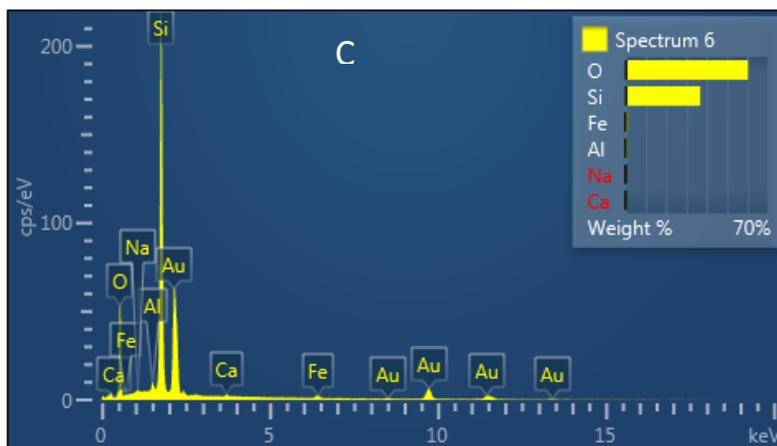


Figura 56. A- Cristobalita/Ópalo C-T + Esmeclita. B. Imagen en detalle de la porción de muestra tomada para el espectro. C y D. Espectro químico y tabla química correspondiente.



D

Elemento	Wt%
O	60.39
Na	0.41
Al	0.88
Si	36.76
Ca	0.39
Fe	1.16
Total:	100.00

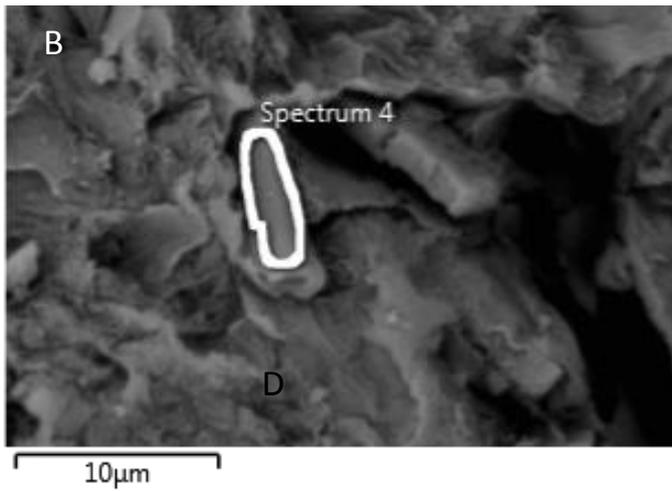
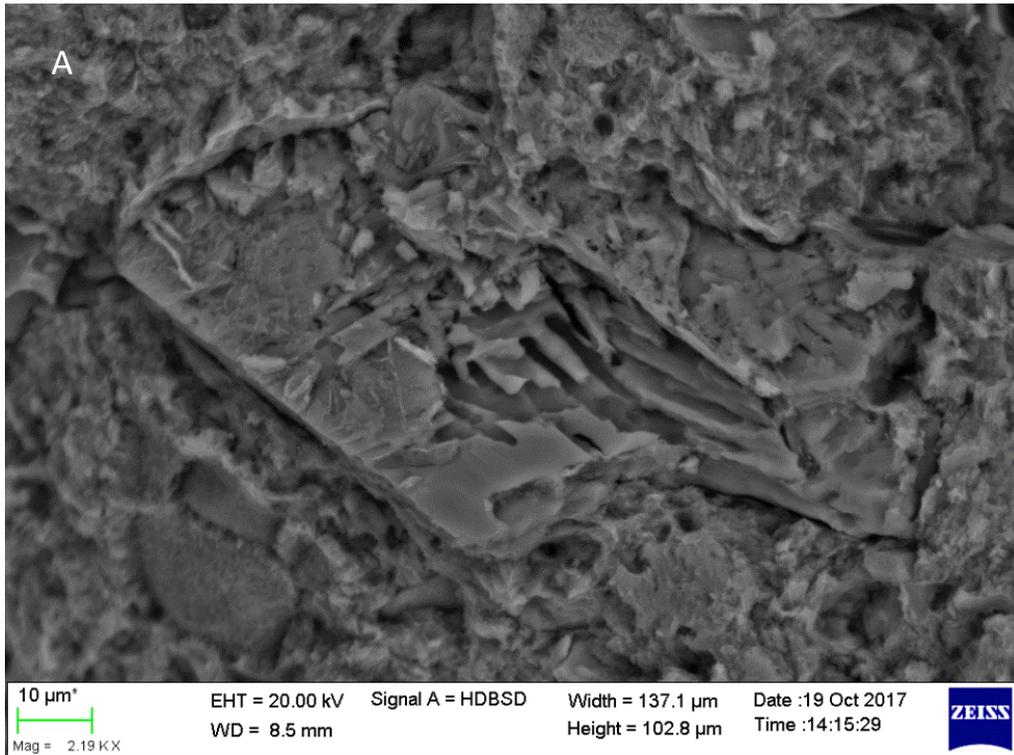
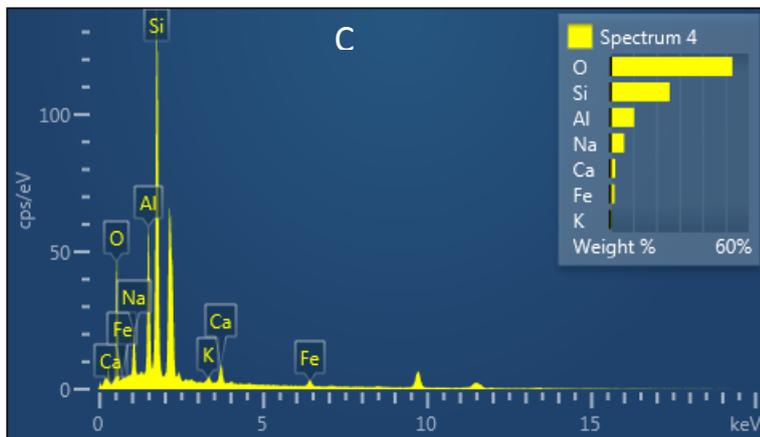


Figura 57. A- Argilitización en feldespato. B- Imagen en de talle de la porción de muestra tomada para el espectro. C y D – Espectro y tabla química correspondiente



D

Elemento	Wt%
O	52.90
Na	6.05
Al	10.45
Si	25.79
K	0.65
Ca	2.25
Fe	1.92
Total:	100.00

5.5 Análisis químico

En la Tabla 6 se exponen los resultados de los análisis químicos sobre muestra total y fracción <2 μ .

	I2	%	III3	%	I6	%	I6	CATAE*	Wyoming*
Litofacies	b2	corregido	b2	corregido	b2a	corregido	b2a		
	Total		Total		Total		< 2 μ	Total	<2 μ
ppc	10,76		10,11		11,12		15,41	11,3	
SiO ₂	57,786	64,754	60,394	67,187	57,271	64,436	51,767	56,66	61,46
Al ₂ O ₃	18,004	20,175	16,536	18,396	17,206	19,359	18,262	18,72	22,05
Fe ₂ O ₃	6,084	6,818	5,557	6,182	6,161	6,932	8,971	4,9	4,37
CaO	2,314	2,593	1,989	2,213	2,75	3,094	1,38	1,18	1,18
Na ₂ O	1,146	1,284	1,965	2,186	1,699	1,912	0,749	3,11	1,47
SO ₃	0,421	0,472	0,117	0,130	0,907	1,020	0,042	0,56	—
TiO ₂	0,737	0,826	0,596	0,663	0,743	0,836	1,275	0,43	0,09
Cl	0,688	0,771	0,844	0,939	0,739	0,831	-	-	—
MgO	1,315	1,474	1,274	1,417	0,736	0,828	1,693	2,68	2,94
K ₂ O	0,643	0,721	0,524	0,583	0,561	0,631	0,326	0,36	0,2
SrO	0,031	0,035	0,024	0,027	0,028	0,032	0,016	—	—
V ₂ O ₅	0,02	0,022	0,011	0,012	0,025	0,028	0,036	—	—
MnO	0,021	0,024	0,022	0,024	0,022	0,025	0,023	0,06	—
CuO	0,015	0,017	0,01	0,011	0,013	0,015	0,018	—	—
ZrO ₂	0,014	0,016	0,015	0,017	0,013	0,015	0,016	—	—
ZnO	0	0,000	0,012	0,013	0,006	0,007	0,015	—	—

Tabla 6. Resultado de análisis químico sobre muestra total y fracción <2 μ . *Bentonitas de referencia: CATAE (Musso *et al.* 2010). Wyoming (Costanzo y Guggenheim, 2001).

Los resultados de análisis de %SiO₂ en las muestras seleccionadas dieron un promedio de %SiO₂ = 65,46, %Al₂O₃ = 19,31, %CaO = 2,633, %Na₂O = 1,794, %MgO = 1,24, %K₂O = 0,645 y %Fe₂O₃ = 6,645. En comparación con muestras de bentonita tipo Wyoming (montmorillonita) y bentonita CATAE (Lago Pellegrini) también montmorillonita tipo Wyoming, los rangos de los óxidos son en general cercanos a estos dos tipos, a excepción de los valores de Na₂O y MgO. En el caso del óxido de sodio, el valor promedio se encuentra por debajo de la bentonita tipo Wyoming; y en el caso del óxido de magnesio del área de estudio, se encuentra por debajo de las dos bentonitas de referencia *, valores que podrían indicar la salinidad de las aguas con las que estuvieron en contacto durante su transformación a minerales arcillosos.

Por otra parte la utilización de un diagrama ternario propuesto por Englund y Jorgensen (1973) permitió establecer el grado de meteorización de estas sedimentitas a partir de la sumatoria de los óxidos de Na, Ca, K en el vértice superior; Fe y Mg vértice inferior izquierdo, y en el restante Al. En el diagrama, las muestras analizadas se clasificaron dentro del campo de la meteorización intensa, debido a su alto contenido de aluminio (Fig. 58).

Además, y reafirmando estos resultados, el índice de alteración química (CIA) para las mismas muestras, se encuentra en valores entre 77 y 81, teniendo en cuenta que el máximo valor (100) refleja el mayor grado de alteración química, vemos que un alto %Al₂O₃ y de la relación K₂O/NaO estaría asociado a la aparición de minerales arcillosos de tipo 2:1 como la esmectita (Englund y Jorgensen, 1973).

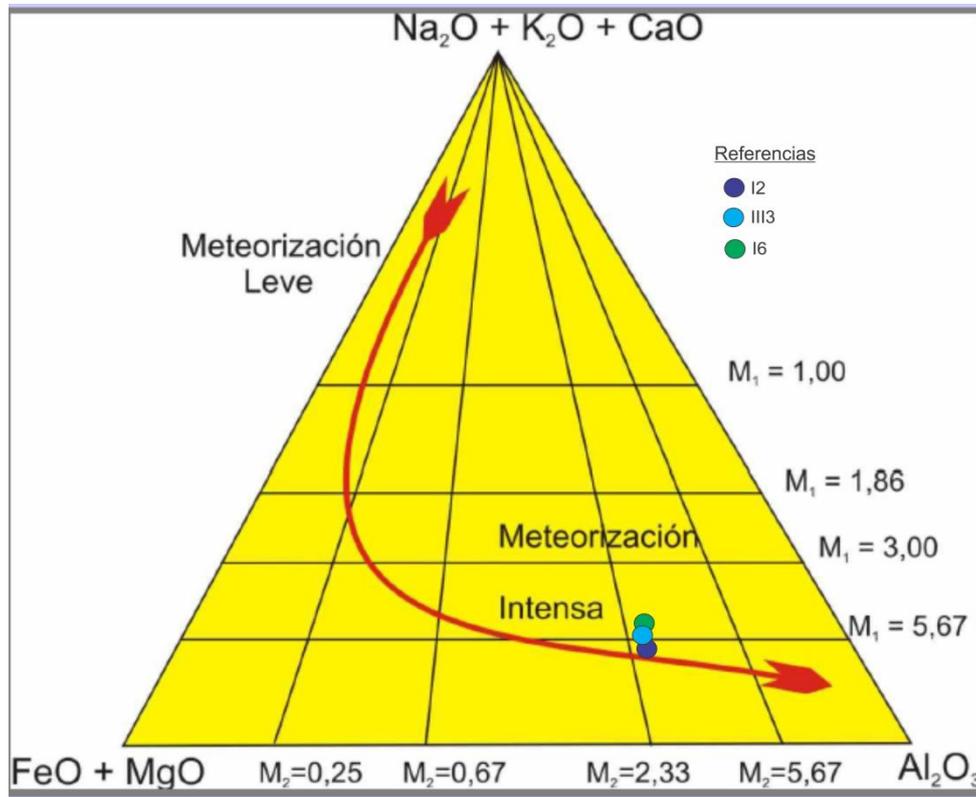


Figura 58. Diagrama de meteorización (Englund y Jorgensen 1973 extraído de Scasso y Limarino, 1997)

El análisis químico de la fracción 2μ permitió obtener la fórmula estructural, la cual se comparó con tres bentonitas: montmorillonita sódica tipo Wyoming, Beidellita y montmorillonita-beidellita CATAE como referencias.

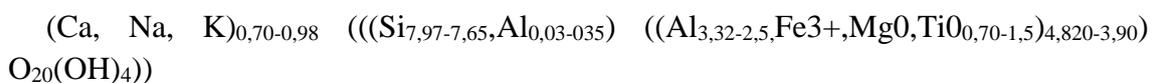
Fórmula estructural (media celda) muestra I6



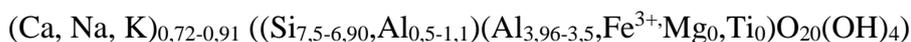
Formula estructural CATAE (homoionizada con Ca)



Formula celda unitaria ideal Montmorillonita



Fórmula celda unitaria Beidellita



La muestra I6 tiene similitudes con las fórmulas de referencia de la montmorillonita, los cationes de intercambio se encuentran en similar proporción entre ellos de Ca y Na, más de la mitad de la carga se origina en el sitio octaédrico, además tiene Fe como reemplazo en el sitio octaédrico. La carga en la hoja tetraédrica tiene valores más cercanos a una beidelita. Por lo tanto la muestra analizada podría denominarse montmorillonita férrica. Como complemento a este análisis se volcaron los valores de la muestra I2 y de CATAE a un diagrama ternario (Palin *et al.*, 2014) (Fig. 59) y allí se observó que en forma coincidente con las fórmulas estructurales I2 se encuentra en el campo de las montmorillonitas férricas y CATAE se incluye en el campo de las montmorillonitas.

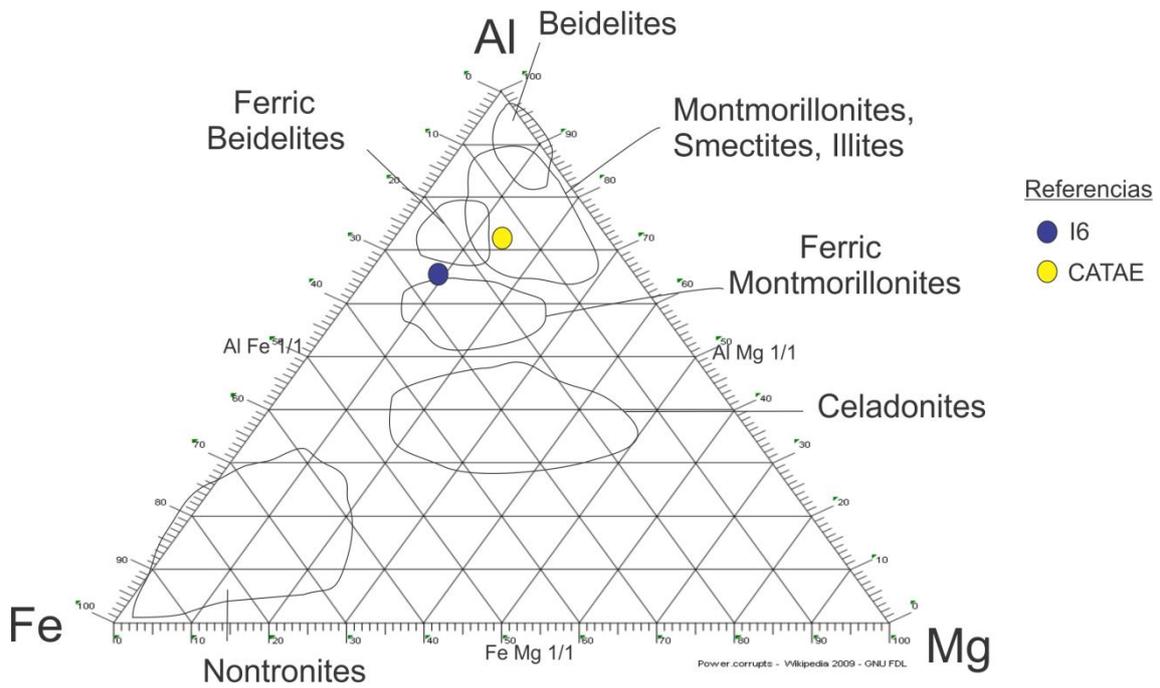


Figura 59. Diagrama Al-Fe-Mg para la fracción $<2\mu$ (Palin *et al.* 2014)

5.6 Ambiente sedimentario y génesis de las bentonitas

Ambiente sedimentario

En el área de estudio, situada al suroeste del yacimiento Martín Fierro, se identificaron cinco litofacies: las litofacies bentoníticas b1 y b2; la litofacies b2a bentonita con arenisca; la litofacies c1 conglomerado y la litofacies a1 arenisca. La litofacies b1 aflora en los sectores sur y oeste, de manera reducida; b2 es la de mayor continuidad lateral, presente solo en sector sur; b2a únicamente en el sector norte/oeste; c1 y a1 afloran en conjunto en los márgenes norte-sur en forma discontinua.

El ambiente de depositación de la Fm. Cerro Bandera fue definido por Leanza y Hugo (1997) como un ambiente lacustre, de baja energía, en el cual también drenaban algunos cursos fluviales. Corralés *et al.* (1977), plantea que la fracción fina (limos y arcillas) se encuentra en la zona externa del lago junto con los detríticos gruesos, pero que hacia el centro pasan a ser los únicos sedimentos detríticos. En este mismo sentido, Spaletti (1980) caracteriza el paleoambiente lacustre, en donde los depósitos de tamaño grueso, conglomerádicos – areniscosos, son frecuentes en las zonas periféricas del paleoambiente; mientras que los de grano fino (limo-arcillosos) son frecuentes en las regiones más profundas, ya que se acumulan por debajo de la influencia del oleaje; de allí que su geometría sea regionalmente extensa. En el área de estudio, en el sector norte, donde se encuentran las arcilitas bentoníticas interdigitadas con areniscas (litofacies b2a), representarían la zona externa del lago; y el sector sur, donde solo se observan arcilitas (litofacies b1 y b2), estaría ubicada en la zona central de un lago, presentando todo ello además una geometría alargada en sentido NE-SW (Fig. 60).

Según Reeves (1968), las gravas y arenas que llegan a un lago por medio de corrientes fluviales, no son de extensión amplia, generalmente las acumulaciones adoptarán forma de cuña y su tamaño dependerá de la capacidad de transporte de la corriente. En la litofacies b2a, los pulsos de arenisca interdigitados con bentonita exhiben estructuras paralelas y estratificación entrecruzada, lo que evidencia un aumento de energía en el ambiente deposicional. Cabe destacar la ausencia de estos depósitos en el sector sur del afloramiento. El conglomerado de base erosiva, aflora en forma discontinua en los dos frentes expuestos del área, lo que podría indicar la presencia de un canal fluvial, de mayor energía. Además, en concordancia con lo planteado con el autor, no tiene una extensión areal amplia, y las areniscas que se interdigitan con las bentonitas también sufren un proceso de acuñaamiento hacia el oeste.

Por todo lo mencionado anteriormente, se reafirma la propuesta de Leanza y Hugo (1997) caracterizando al área del presente trabajo como de ambiente lacustre, en donde drenaban algunos cursos fluviales.

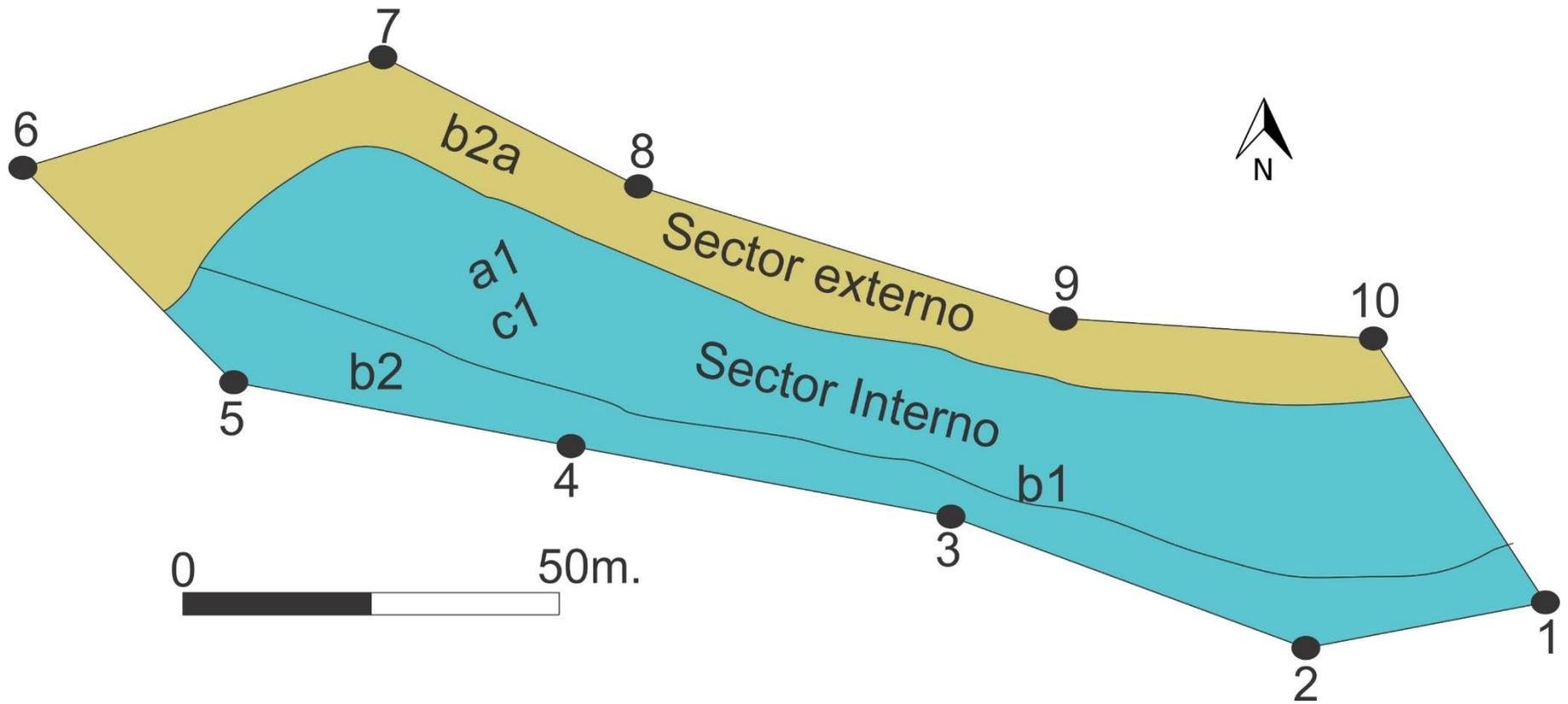


Figura 60. Mapa de sectores de un paleoambiente lacustre, con la ubicación de las litofacies y posible distribución en el área de estudio.

Génesis de las bentonitas

El origen de las bentonitas del Depto. Zapala está descripto como desvitrificación *in situ* de los componentes piroclásticos de composición dacítica contenidos en la Fm. Cerro Bandera. Las tobas fueron retrabajadas o 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 de pre relieve labrado sobre las sedimentitas del Grupo Neuquén (Impiccini y Vallés 1999, 2002, 2011).

En el área, hay escasa evidencia de componentes piroclásticos, teniendo en cuenta que la Fm. Cerro Bandera se extiende en forma de cubeta angosta de 1 a 2 km de ancho; el sector de estudio está restringida a un perímetro de 600 m, por lo que explicaría la ausencia local de rocas piroclásticas. Sin embargo, alrededor del lugar de trabajo, en un radio aproximado de 100 m (Torres, F., 2018, *com. verbal*), se han observado niveles de tobas blanquecinas de hasta 60 m de espesor. Además, en la mineralogía de la fracción arena de los niveles de bentonita se encontraron escasas trizas de vidrio relíctico, como también la presencia de cristobalita / ópalo CT. Por otra parte, el pH de estas bentonitas es neutro o ligeramente alcalino, en correspondencia con el tipo de cationes de intercambio (Ca, Na), asociado a un tipo de sistema hidrológico confinado. La presencia de hierro como producto de alteración y también en la estructura del mineral arcilloso podría ser una evidencia, además, de una meteorización intensa. En este sentido, otros autores han explicitado extensamente este tipo de procesos en donde la esmectita es un mineral autigénico común en lagos de agua salada y dulce. La transformación se puede producir gracias a tobas silíceas que entran en contacto con aguas de salinidad moderada y ligeramente alcalinas (como es el caso del trabajo actual). La formación de esmectitas autigénicas está directamente relacionada con la composición química de las aguas originales (Hillier, 1995), (Scasso y Limarino, 1997).

Por lo tanto todos los resultados hallados son indicadores de la ocurrencia de un mineral arcilloso como la montmorillonita férrica autigénica como principal constituyente de las bentonitas estudiadas.

5.7 Límites de Atterberg

Se realizaron los ensayos para obtener los límites de Atterberg a la muestra I3 perteneciente a la litofacies b1. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

TIPO DE ENSAYO	LL	LL	LL	LL	LP	LP
Nº de golpes	48	27	21	11		
Pesafiltro	1	2	3	4	5	6
Peso Pesafiltro + Mat. Húmedo (g)	35,86	37,43	40,95	39,15	23,99	19,47
Peso Pesafiltro + Mat. Seco (g)	28,77	27,86	30,67	25,40	23,18	18,64
Peso Pesafiltro (g)	23,37	21,04	23,51	16,19	21,27	16,69
Peso del Agua (g)	7,10	9,57	10,29	13,75	0,81	0,83
Peso Material Seco (g)	5,39	6,82	7,16	9,21	1,91	1,95
Humedad (%)	131,5	140,4	143,7	149,2	42,4	42,3

Tabla 7. Resultados de ensayo para obtener límites de Atterberg.

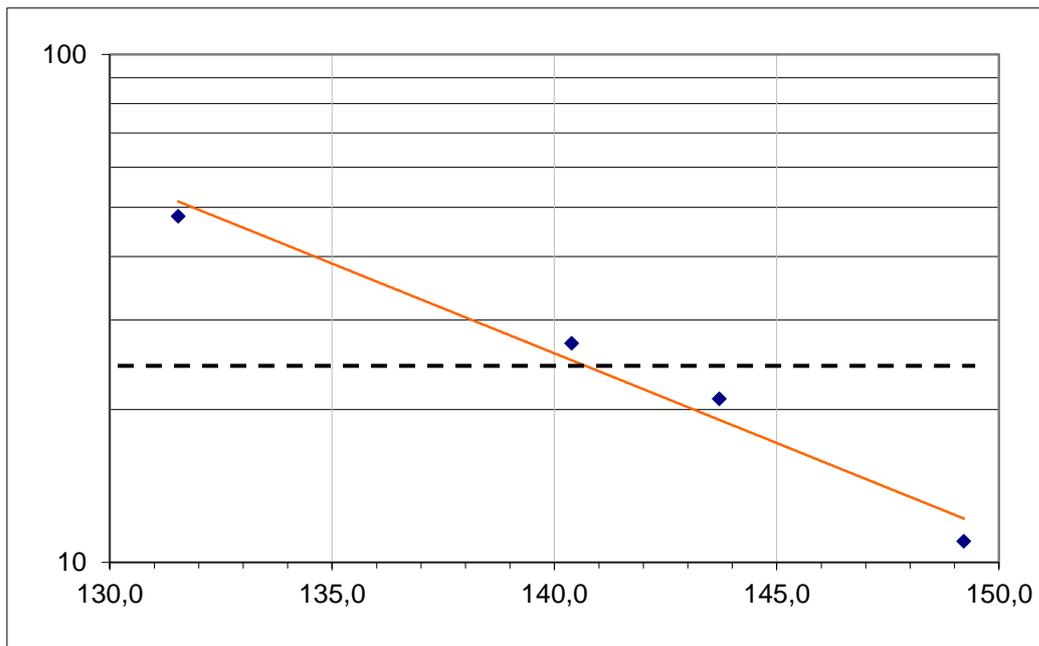


Figura 61. Curva de golpes en donde se determinó el valor de límite líquido para n=25

Resultados:

LL (%)	LP (%)	IP (%)
141,0	42,4	99

LL: Límite líquido. LP: Límite plástico. IP: Índice de plasticidad.

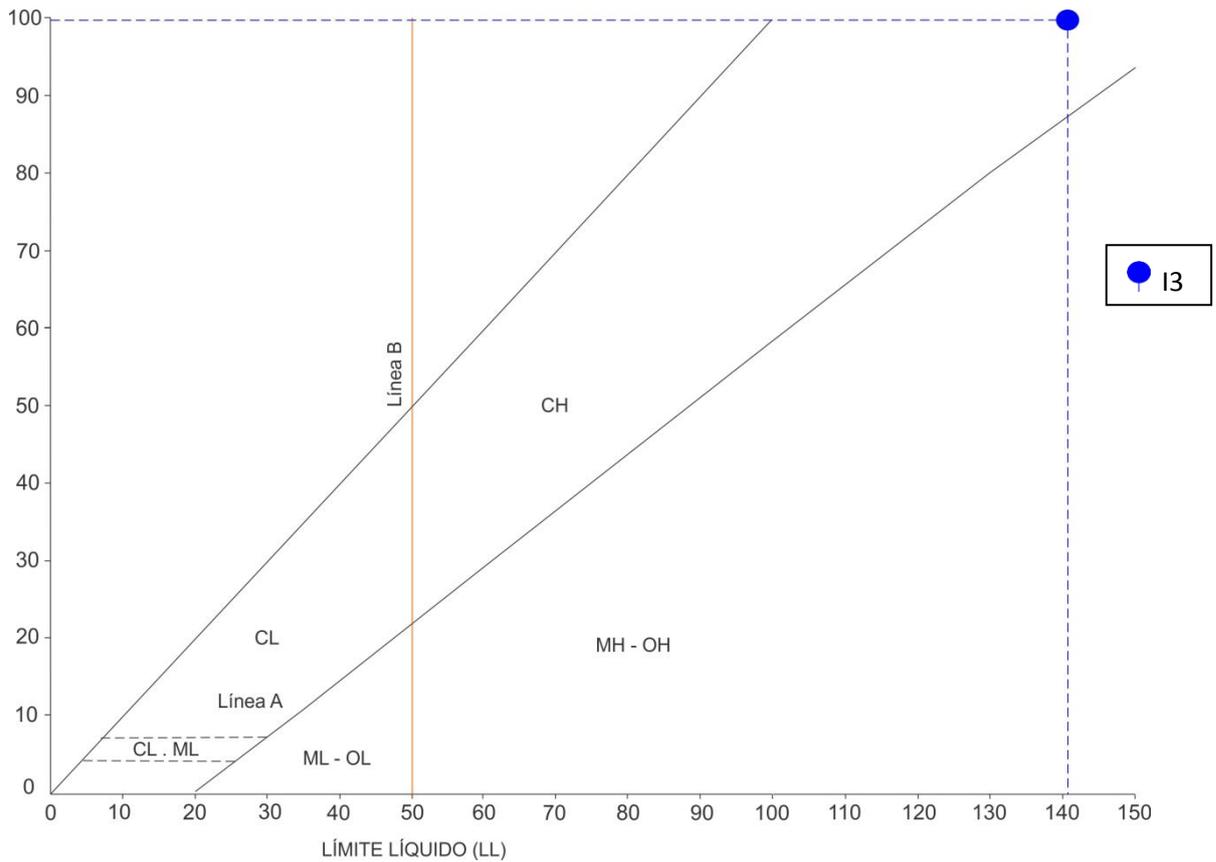


Figura 62. Curva de Casagrande (modificado de Day, 1999). Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL). Arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH). Limo inorgánico de baja plasticidad (ML). Suelo con materia orgánica coloidal y baja plasticidad (OL). Limo orgánico de alta plasticidad (MH). Suelo con materia orgánica coloidal y alta plasticidad (OH).

La muestra analizada arrojó como resultado un valor de límite líquido de 141% (Fig. 61), un límite plástico de 42,4% y un índice de plasticidad de 99%.

Los valores de límite líquido y del índice de plasticidad, proyectados en el gráfico de Casagrande, ubican a la muestra analizada en el campo de “Arcillas Inorgánicas de Alta Plasticidad” (Fig. 62). Se clasifica a la muestra I3, según su índice de plasticidad de 99%, dentro de un suelo altamente plástico.

T A B L A 1.6

LIMITES DE ATTERBERG PARA MINERALES ARCILLOSOS

MINERAL	ION CAMBIABLE	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	LIMITE DE RETRACCION
Montmorillonita	Na	710	54	656	9,9
	K	660	98	562	9,3
	Ca	510	81	429	10,5
	Mg	410	60	350	14,7
	Fe	290	75	215	10,3
	Fe*	140	73	67	-
Illita	Na	120	53	67	15,4
	K	120	60	60	17,5
	Ca	100	45	55	16,8
	Mg	95	46	49	14,7
	Fe	110	49	61	15,3
	Fe*	79	46	33	-
Caolinita	Na	53	32	21	26,8
	K	49	29	20	-
	Ca	38	27	11	24,5
	Mg	54	31	23	28,7
	Fe	59	37	22	29,2
	Fe*	56	35	21	-

* Luego de 5 ciclos de humectación y secado. (1)

Tabla 8. Límites de Atterberg para minerales arcillosos (Cornell, 1951).

Los resultados de límite líquido e índice de plasticidad obtenidos ubican a la muestra dentro de los parámetros de la montmorillonita férrica, según Tabla 8. El valor de límite plástico, en cambio, se encuadra cercano dentro de lo que se considera una montmorillonita con el ion Na⁺ como principal catión de intercambio.

5.8. Aptitud de uso

5.8.1. Ensayos para uso en perforación

Aproximadamente el 53% de la bentonita obtenida mundialmente es utilizada en la industria petrolera como aditivo en lodos de perforación. El principal objetivo es aumentar el grado de viscosidad del lodo, permitiendo transportar eficientemente el *cutting* desde el pozo hacia la superficie (Roskill, 1997). Los geles de las bentonitas, además, tienen el objetivo de lubricar la herramienta cortante, construir una película impermeable en la pared del pozo que impida la penetración del agua del barro en las formaciones atravesadas, y dar cierta cohesión a los sedimentos no consolidados para controlar la abrasión de las paredes por las barras durante la perforación (Hevia 2007).

Para realizar los ensayos de calidad se tienen en cuenta los parámetros más importantes en cuanto a lodos de perforación, entre ellos: la viscosidad y el filtrado. La viscosidad está relacionada a las propiedades del flujo del lodo, éste debe ser lo suficientemente espeso como para acarrear los recortes hacia la superficie y lo suficientemente delgado como para fluir libremente a través del sistema superficial. El régimen de filtración es una de las propiedades más importantes, ya que es una medida de la cantidad relativa de agua en el lodo perdido en las formaciones permeables y por consiguiente de la cantidad relativa de la costra de lodo depositada sobre las paredes permeables del pozo (Peña, 2007).

En la Tabla 9 se presentan los resultados de la evaluación reológica y de filtrado realizada a las muestras en estudio según normas API. Las bentonitas destinadas para uso en perforaciones deben cumplir los requerimientos físicos específicos según Normas API STD 13A.

Determinaciones	Muestras en estudio								Normas API STD 13A
	I3	VI6	I2	III3	V9	I9	IV8	I6	
Litofacies	b1	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a	b2a	
Viscosidad Fann, lectura a 600rpm	94	63	28	25	27	22	6	7	Mínimo 30
Viscosidad Fann, lectura a 300rpm	87	58	22	20	21	16	2	4	-
Viscosidad plástica (Cps)	7	5	6	5	6	6	4	3	
Punto de Fluencia (lb/100pies ²)	80	53	16	15	15	10	-2	1	Máximo 40
Viscosidad aparente	47	31,5	14	12,5	13,5	11	3	3,5	
Pf / Vp	11,42	10,60	2,67	3,00	2,50	1,67	-0,50	0,33	Máximo 3
Filtrado (cm ³)	11	17,5	13	13	16,5	17	17,5	24	Máximo 15
Humedad (%)	8,5	7,37	8,1	5,98	7,4	6,19	5,02	6,8	Máximo 13,5

Tabla 9. Resultados obtenidos de ensayos reológicos según Normas API, junto con las especificaciones físicas de las bentonitas según Normas API STD 13A.

- Solo dos muestras cumplen con el valor mínimo de lectura pedido por la norma, siendo I3 y VI6, con datos de 94 y 68, respectivamente
- Seis de las ocho muestras se encuentran dentro del rango permitido del punto de fluencia, por debajo de 40lb/100pies². Las únicas que no cumplen son I3 y VI6
- I3 y VI6 tampoco cumplen con el rango pedido de la relación punto de fluencia / viscosidad plástica, que establece un valor máximo de 3.
- En cuanto al filtrado, tres de las muestras se encuentran por debajo del valor máximo indicado de 15 cm³ (I2, I3, III3). El resto lo excede, con valores de hasta 24 cm³
- Todas las muestras analizadas se encuentran dentro del límite establecido de humedad, variando en un rango de 5,02% a 8,47%.

Se dividieron a las muestras dentro de tres grupos, según su aptitud para este uso:

Grupo A

Se incluyó aquí a las muestras I3, VI6 e I2, que exhiben valores altos en su viscosidad medida a 600 rpm. Sin embargo, cuando se observan los valores de filtrado, la muestra VI6 sobrepasa el límite establecido por la norma, llegando a 17,5 cm³. Las muestras I3 e I2, en cambio, se mantienen dentro de estos límites, con un valor de 11 y 13 cm³, respectivamente. Para el caso de la relación punto de fluencia / viscosidad plástica, las muestras I3 y VI6 sobrepasan el límite pedido, mientras que la I2 se encuentra dentro del mismo. Estas muestras son las más aptas para el uso en perforación, siendo capaces de ser mezcladas con otras bentonitas para ayudar a corregir las deficiencias y así poder cumplir con los requerimientos establecidos según norma.

Grupo B

Se reunió en este grupo a la muestra III3. No alcanza el valor mínimo de la norma de lectura de viscosidad a 600 rpm, pero cumple y se encuadra dentro de los límites de punto de fluencia, filtrado y relación Pf/Vp.

Las muestras de este grupo podrían llegar a ser usadas en lodos de perforación, con un mayor grado de mezcla con otras bentonitas que ayuden a alcanzar los valores requeridos para la industria.

Grupo C

El resto de las muestras (V9, IV8, I9 e I6) no alcanzan el valor mínimo de viscosidad y exceden el de filtrado. A pesar de que todas ellas estén en los valores correctos de relación Pf / Vp, no se las considera compatibles para el uso en perforación.

5.8.2 Fundición

Los moldes de arena de fundición en verde son los más empleados debido a su versatilidad y a su mayor eficiencia económica. Estos moldes necesitan ser suficientemente estables para mantener la forma de la pieza durante el vaciado del metal fundido y permitir un fácil desmoldeo, una vez enfriada la pieza. Las bentonitas garantizan el adecuado comportamiento del molde durante las distintas fases de la producción de la pieza

Para evaluar la aptitud de las bentonitas en la industria de la fundición, se realizaron determinados ensayos según normas CEMP – ABIFA (1997), cuyos resultados se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Determinaciones	Muestras en estudio								Normas CEMP - ABIFA
	I3	VI6	I2	III3	V9	I9	IV8	I6	
Litofacies	b1	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a	b2a	
pH	7,12	7,43	6,92	7,86	8,42	9,15	8,7	8,34	Entre 6 y 9
Impurezas (% # 200)	2,39	3,727	8,69	5,39	10,22	9,73	19,71	10,64	Máximo 10
Hinchamiento (mL / 2g)	29	24	22	22	20	21	11	9	Mínimo 30
RCV (N/cm ²)*	11,1	13,34		11,08					Mínimo 11
RTH (N/cm ²)*	0,34	0,36		0,29					Mínimo 0,28
Azul de Metileno (mL)	50,048	47,872	45,7	46,784	43,52	48,96	40,26	36,992	Mínimo 50

Tabla 10. Resultados de los ensayos realizados a las bentonitas para la industria metalúrgica, según normas CEMP – ABIFA. RCV: Resistencia a la compresión en verde. RTH: Resistencia a la tracción en húmedo. *Los valores de RCV Y RTH de la muestra I3 fueron provistos por la empresa minera Cholino e hijos (*com. Verbal, 2018*), mientras que los datos de las muestras VI6 e III3 fueron estimados y correlacionados con muestras “La Soledad” y “La Victoria”, respectivamente, de Impiccini y Vallés (2011).

- Todas las muestras se encuentran dentro del rango establecido por la norma en cuanto al pH, estando comprendidas en valores de entre 6 y 9.
- Solo tres de las ocho muestras no cumplen con el valor pedido de impurezas, ya que exceden el 10%. Las muestras I3, VI6, I2, III3 e I9 cumplen esta norma.
- Ninguna muestra cumple con el valor de hinchamiento mínimo querido, siendo la muestra I3 la que se acerca más (29 mL/2 g cuando lo mínimo es 30 mL/2 g)
- La muestras I3, VI6 e III3 arrojaron resultados de resistencia a la compresión en verde y resistencia a la tracción en húmedo que cumplen con la norma pedida
- El valor mínimo de azul de metileno es solo alcanzado por la muestra I3 (50,048 mL)

Grupo A

Se considera a la muestra I3 como la más apta para el uso en fundición, cumpliendo con las normas requeridas de pH, RCV, RTH y Azul de Metileno. El valor de hinchamiento no es alcanzado, por lo que se sugiere una mezcla con otra bentonita para así cumplir con el requerimiento mínimo.

Grupo B

Se incluyen aquí a las muestras, VI6, III3. Esta categoría cumple con las normas requeridas de pH e impurezas, RCV y RTH y se encuentra cercana a alcanzar los valores de hinchamiento y azul de metileno. Se sugiere una mezcla con otras bentonitas para mejor estos aspectos deficientes y volverlas adecuadas para el uso en la industria metalúrgica

Las demás muestras no pueden ser analizadas para el uso en fundición debido a la ausencia de datos de resistencia a la compresión en verde y resistencia a la tracción en húmedo.

5.8.3 Bentonita para industria cerámica

En esta industria, la bentonita se utiliza en el esmalte y elaboración de pastas, ya que aumenta la plasticidad de estos elementos y le otorga a la masa mayor resistencia mecánica, además de mejorar la terminación de aristas, bordes y superficies planas.

Los productos cerámicos y refractarios que utilizan bentonita blanca, facilitan el moldeo, son menos porosos y más homogéneos y se reduce la tendencia al agrietamiento.

En la Tabla 11, se presentan los resultados de los análisis realizados para evaluar si estas bentonitas son aptas para el uso en la industria de la cerámica.

Determinaciones	Muestras en estudio								Normas INTI - SEGEMAR
	I3	VI6	I2	III3	V9	I9	IV8	I6	2007
Litofacies	b1	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a	b2a	
Humedad (%)	8,47	7,37	8,11	5,98	7,39	6,19	5,02	6,8	Máximo 15
Hinchamiento (mL / 2 g)	29	24	22	22	20	21	11	9	Entre 10 y 17
CIC (meq / 100 g)	100,1	95,74	91,39	93,57	87,04	97,92	80,51	73,98	Entre 100 y 120
pH	7,12	7,43	6,92	7,86	8,42	9,15	8,7	8,34	Entre 8,8 y 9,6
Impurezas (% # 200)	2,39	3,727	8,69	5,39	10,22	9,73	19,71	10,64	Máximo 10

Tabla 11. Resultados del análisis de las muestras para el uso en la industria cerámica, según normas INTI-SEGEMAR, 2007. CIC: capacidad de intercambio catiónico.

- Todas las muestras analizadas se encuentran dentro del límite establecido de humedad, variando en un rango de 5,02% a 8,47%.
- El hinchamiento requerido por la norma indica un intervalo entre 10 y 17 mL/2g. La muestra IV8 es la única que se encuentra dentro de estos valores (11 mL/2g).
- El valor mínimo requerido de capacidad de intercambio catiónico es alcanzando únicamente por a muestra I3. El resto no llega a cumplir con la norma solicitada.
- En cuanto al pH, el intervalo establecido (8,8-9,6) es solo cumplido por la muestra I9 (9,15)
- Cinco de las ocho muestras cumplen con tener menos de un 10% de impurezas #200, siendo estas las muestras I2, I3, VI6, III3 e I9.

Se dividió a las muestras en tres grupos, de acuerdo a su aptitud para el uso en cerámica:

Grupo A

Se incluyó aquí a la muestra I9, que cumple con los requerimientos de humedad, pH e impurezas, y se encuentra muy cercana a los valores mínimos de hinchamiento y de CIC indicados. Se sugiere la mezcla con otra bentonita para mejorar estos dos aspectos deficientes.

Grupo B

Se reunió en este grupo a las muestras I3, VI6, III3 e IV8, ya que cumplen con ciertos parámetros, pero en otros no llegan al valor requerido. Se recomienda la mezcla con determinado tipo de bentonitas para ayudar a mejorar las propiedades y así alcanzar los límites establecidos por la norma que las harían aptas para la industria cerámica.

Grupo C

Las muestras I2, V9 e I6 se agruparon aquí. Además de no cumplir determinados parámetros, se encuentran muy lejanas de estos valores mínimos requeridos, lo que las torna no recomendables para este uso.

5.8.4. Bentonitas como adsorbentes de micotoxinas

Los hongos y micotoxinas pueden contaminar diferentes sustratos, entre los cuales se presentan los granos y materias primas empleados en la elaboración de alimentos balanceados de uso pecuario.

Los absorbentes a base de bentonitas, se activan al ponerse en contacto con los jugos digestivos, formando un complejo estable con las micotoxinas a nivel intestinal que es eliminado con las heces. Además, facilitan la aglomeración de los piensos, son deshidratantes y fluidificantes y no compiten con otros minerales y nutrientes presentes en la dieta.

Las bentonitas tienen que cumplir determinadas condiciones, según normas CEMP - ABIFA, para el uso en esta industria. Los ensayos realizados para comprobar la aptitud se presentan a continuación:

Muestras en estudio									
Determinaciones	I3	VI6	I2	III3	V9	I9	IV8	I6	Norma CEMP - ABIFA
Litofacies	b1	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a	b2a	
Humedad en %	8,47	7,37	8,11	5,98	7,39	6,19	5	6,8	Máximo 13,5
Hinchamiento (mL/ 2 g)	29	24	22	22	20	21	11	9	Mínimo 28
Azul de Metileno (mL)	50,1	47,9	45,7	46,8	43,5	49	40,3	37	Mínimo 50

Tabla 12. Resultados de análisis de las bentonitas como adsorbentes de mico-toxinas.

- Todas las muestras estudiadas cumplen con la norma requerida del nivel de humedad en %, estando todas comprendidas entre 5-8,47%.
- En cuanto al ensayo de hinchamiento, se observa que la muestra I3 (29 mL/2 g) es la única que se encuentra por encima del valor mínimo establecido por la norma.
- El límite mínimo de azul de metileno requerido también es solo alcanzado por la muestra I3, con un valor de 50,05 mL

Se dividió a las muestras en tres grandes grupos, de acuerdo a los resultados obtenidos:

Grupo A

La muestra I3 se incluyó dentro de este grupo. Se la considera técnicamente apta para la absorción de micotoxina, cumpliendo con todas las especificaciones exigidas por la norma.

Grupo B

Se reunieron aquí a las muestras I2, VI6, III3 e I9. Estas se encuentran dentro del rango pedido de humedad, pero se ubican muy cercanas a los valores de hinchamiento y azul de metileno, no cumpliendo con los requerimientos de estos ensayos. Se sugiere la mezcla con otras bentonitas para así mejorar los parámetros pedidos y ser aptas para este uso.

Grupo C

Las muestras V9, IV8 e I6 fueron agrupadas aquí, ya que cumplen con los valores de humedad, pero están muy lejanos de los valores mínimos de hinchamiento y azul de metileno, por lo que no serían indicadas para el uso en esta industria.

5.8.5. Bentonita para puesta a Tierra – tipo Electroben

En terreno, la bentonita puede absorber humedad del suelo. Esta propiedad ayuda a estabilizar la impedancia del electrodo a lo largo de su vida útil. Tiene baja resistividad y no es corrosiva. Se usa más a menudo como material de relleno al enterrar barras profundas. Además, se compacta fácilmente y se adhiere fuertemente.

Teniendo en cuenta las propiedades de las bentonitas, se realizaron ensayos para evaluar si las muestras son aptas para este uso, según normas API. En la siguiente tabla se exhiben los resultados obtenidos:

Muestras en estudio									
Determinaciones	I3	VI6	I2	III3	V9	I9	IV8	I6	Norma API
Litofacias	b1	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a	b2a	
Humedad en %	8,47	7,37	8,11	5,98	7,39	6,19	5	6,8	Máximo 13,5
Hinchamiento (mL/2 g)	29	24	22	22	20	21	11	9	Mínimo 32
Azul de Metileno (mL)	50,05	47,87	45,7	46,78	43,52	48,96	40,26	36,99	Mínimo 50

Tabla 13. Resultados de análisis para el uso de la bentonita tipo “Electroben”, según normas API.

- Todas las muestras cumplen con la norma específica de humedad, manteniéndose por debajo del valor de 13,5% establecido por la norma.
- Ninguna de las muestras analizadas cumplen con el valor requerido para hinchamiento, de 16 veces su volumen (32 mL/2 g). La muestra I3 es la que más se aproxima a este valor, con 29 mL/2 g.
- El límite de azul de metileno de 50 mL es solo alcanzado por la muestra I3. El resto de las muestras se encuentran por debajo del nivel requerido.

Se agrupó a las muestras en tres diferentes categorías, según su aptitud para este uso:

Grupo A

Se incluyó aquí a la muestra I3, ya que es la única que cumple con los valores de humedad (8,47%) y azul de metileno (50,05 mL) requeridos por la norma, y la más cercana a la especificación de hinchamiento pedida (la muestra tiene 29 mL/2g y la norma exige 30 mL/2g). Se la considera la más apta para este uso. Sin embargo, se sugiere una mezcla con otras bentonitas para así alcanzar este límite mínimo de hinchamiento.

Grupo B

Las muestras I2, VI6 e III3 son clasificadas dentro de este grupo, ya que cumplen con el rango permitido de humedad, pero no así con el de hinchamiento y azul de metileno. Sin embargo, al no encontrarse tan lejanas de las cifras requeridas, se aconseja la mezcla con otras bentonitas para mejorar sus propiedades y volverlas aptas para el uso.

Grupo C

Las muestras V9, I9, IV8 e I6 cumplen con la norma de humedad pero se encuentran muy lejanas de los límites de hinchamiento y azul de metileno, por lo que no se las considera adecuadas para el uso en esta industria.

5.8.6. Bentonitas para alimentos balanceados para animales

Agregada en la etapa de elaboración de alimento, su capacidad para atrapar las partículas tóxicas confiere al producto características antimicrobianas que facilitan y mejoran el proceso digestivo. Se emplea en la alimentación de pollos, cerdos, pavos, cabras, corderos, y ganado vacuno, fundamentalmente. Actúa como ligante y sirve de soporte de vitaminas, sales minerales, antibióticos y de otros aditivos.

Para este tipo de uso, las bentonitas deberán cumplir con determinadas condiciones siguiendo las normas ABIFA. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla a continuación:

Muestras en estudio									
Determinaciones	I3	VI6	I2	III3	V9	I9	IV8	I6	Norma ABIFA
Litofacies	b1	b1	b2	b2	b2a	b2a	b2a	b2a	
Humedad en %	8,47	7,37	8,11	5,98	7,39	6,19	5	6,8	Máximo 13,5
Hinchamiento (mL/ 2 g)	29	24	22	22	20	21	11	9	Mínimo 25
Azul de Metileno (mL)	50,05	47,87	45,7	46,78	43,52	48,96	40,26	36,99	Mínimo 48

Tabla 14. Resultados del análisis de las muestras para el uso en el alimento balanceados para animales, según normas ABIFA.

- Las muestras estudiadas cumplen en su totalidad con la normas para el contenido de humedad, estando por debajo del 13,5%.
- La muestra I3 es la única que cumple con el valor de hinchamiento expuesto en la norma
- Las muestras I3 e I9 presentan valores de azul de metileno que están dentro de los requerimientos pedidos.

Se dividió a las muestras, de acuerdo a los resultados obtenidos, en cuatro grupos:

Grupo A

La muestra I3 es contenida dentro de este grupo. Es la única muestra que cumple con todas las normas requeridas, lo que la vuelve la más apta de ellas para el uso en alimento balanceado

Grupo B

La muestra I9 se encuadra aquí. Sus valores se encuentran dentro de los límites establecidos de humedad y azul de metileno, pero no así con el de hinchamiento. Esta bentonita podría ser apta para el uso siendo mezclada con otras, para así mejorar el valor de humedad.

Grupo C

Las muestras I2, VI6 e III3 se incluyeron dentro de este grupo. Son competentes por los valores de humedad, pero no se encuentran dentro de los resultados pedidos por la norma de hinchamiento y azul de metileno. Se sugiere la mezcla con otras bentonitas para así cumplir con los valores demandados para el uso en esta industria.

Grupo D

Las muestras V9, IV8 e I6, a pesar de cumplir con los valores de humedad, en hinchamiento y azul de metileno se encuentran lejanas a los números requeridos, y no se consideran adecuadas para esta utilidad, por lo que se las agrupa en esta categoría.

5.9 Uso de los términos bentonitas / arcillas expansivas

A causa de la posibilidad de encontrar los términos bentonitas / arcilla expansivas utilizados en el sector minero como sinónimos, se cree necesario retomar las definiciones desarrolladas en el capítulo 3.1, donde es clara la diferencia entre ambos términos.

En el caso particular del área de estudio, la muestra I6, correspondiente al nivel superior del perfil 6, litofacies b2a, no se puede comercializar como bentonita según la empresa M. Cholino S.R.L. (2017, *com. verbal*), por no presentar las condiciones necesarias para la venta. En consecuencia, es considerada como una arcilla expansiva y no como bentonita.

Según los estudios realizados a esta litofacies, la caracterización geológica y tecnológica permitió afirmar que cumple parcialmente con la definición de bentonita (CMS, 2018), teniendo un hinchamiento cercano a 5 veces su volumen, quedando encuadrada dentro de los parámetros para ser nombrada dentro de este término, más cercana a una bentonita cálcica que sódica. Es importante destacar que toda bentonita es una arcilla expansiva; pero no toda arcilla expansiva se comporta como bentonita.

5.10. Cálculo de Reservas

Teniendo en cuenta las litofacies correspondientes a la zona de estudio, se realizó el cálculo de reservas según método clásico de los bloques, a través de secciones longitudinales y transversales.

En la tabla 15, se muestran los resultados totales de las reservas para el área de estudio.

Litofacies	Probadas (t)	Probables (t)
b1	13.037	39.112
b2	63.090	189.270
b2a	87.467	262.400
Total t:	163.594	490.782

Tabla 15. Total de estimación de reservas de la zona del presente trabajo.

A continuación en las siguientes tablas (16, 17 y 1819), se muestra el cálculo detallado de reservas probables y probadas. Se las dividió de acuerdo a cada una de las litofacies, teniendo en cuenta los perfiles de detalle realizados. En ello se incluye:

- El espesor medido en el campo de cada uno de los niveles pertenecientes a cada litofacies.
- Distancia medida en el campo y a través del programa google Earth.
- Distancia en planta como $\frac{1}{4}$ de distancia horizontal para reservas probadas y $\frac{3}{4}$ de distancia horizontal para las probables.
- Densidad promedio tomada de los análisis de laboratorio realizados (ver 4.2.6.1). La densidad que debe usarse para cubicar bloques y llevarlos a tonelajes es la densidad aparente, no la obtenida mediante picnómetro. Sin embargo, por experiencias en arcillas y bentonitas, éstas se asimilan bastante, por lo que es válido la utilización de estos datos.

Reservas probadas - Litofacies b1					
Puntos	Distancia (m)	$\frac{1}{4}$ Distancia (m)	Espesor prom. (m)	Densidad prom. (g/cm ³)	Total Reservas (t)
3	60,8	15,20	2	2,26	4.177
6	72,3	18,08	3	2,26	8.860
Total t:					13.037

Reservas probables – Litofacies b1					
Puntos	Distancia (m)	$\frac{3}{4}$ Distancia (m)	Espesor prom. (m)	Densidad prom. (g/cm ³)	Total Reservas (t)
3	60,8	45,60	2	2,26	12.532
6	72,3	54,23	3	2,26	26.581
Total t:					39.112

Tabla 16. Cálculo de reservas probadas y probables de la litofacies b1

Reservas probadas - Litofacies b2					
Puntos	Distancia (m)	¼ Distancia (m)	Espesor prom. (m)	Densidad prom. (g/cm³)	Total Reservas (t)
1	59,1	14,78	3,8	2,26	7.499
2-3	58,4	14,60	7,15	2,26	13.778
3-4	63,2	15,80	8,75	2,26	19.747
4-5	58,3	14,58	10,25	2,26	19.684
5	19,15	4,79	11,5	2,26	2.383
Total t:					63.090

Reservas probables – Litofacies b2					
Puntos	Distancia (m)	¾ Distancia (m)	Espesor prom. (m)	Densidad prom. (g/cm³)	Total Reservas (t)
1	59,1	44,33	3,8	2,26	22.497
2-3	58,4	43,80	7,15	2,26	41.333
3-4	63,2	47,40	8,75	2,26	59.240
4-5	58,3	43,73	10,25	2,26	59.051
5	19,15	14,36	11,5	2,26	7.148
Total t:					189.270

Tabla 17. Estimación de reservas probadas y probables para la litofacies b2.

Reservas probadas - Litofacies b2a					
Puntos	Distancia (m)	¼ Distancia (m)	Espesor prom. (m)	Densidad prom. (g/cm³)	Total Reservas (t)
6	72,3	18,08	9	2,26	26.581
7-8	57,4	14,35	8	2,26	14.892
8-9	80,7	20,18	8,5	2,26	31.276
9-10	54,1	13,53	8,9	2,26	14.717
Total t:					87.467

Reservas probables – Litofacies b2a					
Puntos	Distancia (m)	¾ Distancia (m)	Espesor prom. (m)	Densidad prom. (g/cm³)	Total Reservas (t)
6	72,3	54,23	9	2,26	79.742
7-8	57,4	43,05	8	2,26	44.677
8-9	80,7	60,53	8,5	2,26	93.829
9-10	54,1	40,58	8,9	2,26	44.152
Total t:					262.400

Tabla 18. Reservas probadas y probables para la litofacies b2a.

Conclusiones parciales

- La litofacies b1 ha sido mayormente extraída de la cantera, por lo cual las reservas son mucho menores con respecto a las demás litofacies.
- La litofacies b2 y b2a, son las que afloran con mayor continuidad lateral en la zona de estudio, por lo que tienen presencia mayoritaria en los sectores sur y norte, respectivamente, y son las que presentan un mayor tonelaje.
- Teniendo en cuenta los análisis sedimentológicos y de aptitud de uso correspondientes, se propone (en el caso de continuar la explotación) hacer hincapié en la litofacies b1, para los sectores sur – suroeste del afloramiento.

6. CONCLUSIONES

- Se identificaron cinco litofacies: tres de bentonita (b1, b2 y b2a) una de conglomerado (c1) y la restante de arenisca (a1). La litofacies b1, de 2,5 m de espesor, con un alto grado de consolidación y homogénea (3% de impurezas), posee un 88% de arcilla. La litofacies b2, de 8 m, de aspecto disgregable, heterogénea (7% de impurezas), tiene un 79% de arcilla. La litofacies b2a, de similares características a la b2, pero con varios niveles de arenisca interdigitados con bentonita, lo que le otorga un 12% de arena y menos arcilla (75%).
- Se reafirma la propuesta de Leanza y Hugo (1997), quienes definen para la Fm. Cerro Bandera un ambiente lacustre, de baja energía, en el cual también drenaban algunos cursos fluviales. Las litofacies b1 y b2 son depósitos típicos de zona interna del lago, la litofacies b2a estaría asociada a la zona externa del mismo; las litofacies c1 y a1 son evidencia de estos cursos fluviales.
- La composición mineralógica de las bentonitas está representada por 78% a 87% de minerales arcillosos; en menor proporción se identificaron cristobalita, feldespatos, cuarzo y mica como minerales acompañantes; y como traza, yeso, calcita y ceolita. El argilomineral pertenece al grupo de las esmectitas, especie montmorillonita férrica, de carácter autigénico.
- Aptitud de uso: se destacó a la litofacies b1, particularmente la muestra I3, como apta para lodo en perforación, fundición, adsorbente de micotoxinas, puesta a tierra Electroben y alimento balanceado. En cuanto a la industria cerámica, se destacó particularmente a la muestra I9, perteneciente a litofacies b2a.
 - ✓ La litofacies b1, en general, es la más apta para los usos anteriormente mencionados, sugiriendo una mezcla con otras bentonitas para corregir sus deficiencias y volver al horizonte con interés comercial.
 - ✓ La litofacies b2 es en promedio de aptitud medias para todas las industrias, por lo que se recomienda una mezcla con otras bentonitas, de mayor calidad, para así corregir las propiedades deficitarias y volverlas recomendables para el uso en las industrias mencionadas.
 - ✓ La litofacies b2a es mayormente deficitaria en cuanto a la aptitud tecnológica, por lo que sus propiedades y los resultados de los ensayos no la vuelven recomendable para ningún uso de los aquí analizados. Solo la muestra I9 es específicamente destacada en el uso para la industria cerámica.
- Las reservas probadas y probables fueron calculadas mediante el método de los bloques, con secciones transversales y longitudinales. Se obtuvieron valores de 163.594 t para las reservas probadas; y para las reservas probables un valor de 490.782 t. En cada caso relacionado con las litofacies descritas, se recomienda verificar mediante controles de laboratorio previos la variabilidad de los parámetros físicos referidos en la presente contribución.

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. Specification for Drilling-Fluid Materials, Sixteenth Edition and ISO 13500:1998(Modified) Petroleum and Natural Gas Industries - Drilling Fluid Materials-Specification and Tests.
- ASTM Standard D4318-10, 2010. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ASTM Standard D5890-11, 2011. Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners.
- ASTM Standard D854-02, 2002. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Arregui, C., Carbone, O. y Leanza H.A. 2011a. Contexto Tectosedimentario. En: Leanza, H., Vallés, J., Arregui, C. y Danieli, J.C. (Eds.). Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén 3: 29-37. Neuquén.
- Arregui, C., Carbone, O. y Martínez, R. 2011b. El Grupo Cuyo (Jurásico temprano – medio) en la cuenca Neuquina. En: Leanza, H.A., C., Arregui, O., Carbone, J.C., Danieli y J.M. Vallés (Eds.), Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén. 8: 77-89.
- Bailey, S.W. 1980a. Summary and recommendations of AIPEA nomenclature committee: Clays and Clays Minerals. 28, 73-78.
- Bailey, S.W. 1980b. Structures of layer silicates: in Brindley, G.W. y Brown G., (Eds.) Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray identification. Monograph No. 5, Mineralogical Society, London. 1-123.
- Bergaya F. y Lagaly, 2006. General introduction: clays, clay minerals, and clay science. En: Bergaya, F., Theng, G. (Eds.). Developments in Clay Science; Handbook of Clay Science, Vol. 1, Elsevier, New York, pp. 1–18.
- 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.
- Braccini, O. 1970. Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 25(2): 275-284. Buenos Aires.

- Brindley, G. W. 1981. X-Ray identification (with ancillary techniques) of clay minerals. En: Longstaffe, F. J., editor. Short Course in clays for the Resource Geologist: Mineralogical Association of Canada, Toronto, 22-38.
- Bustillo M. y López Jimeno C. 1997. Manual de Evaluación y diseño de explotaciones mineras Madrid: ETSI Minas Madrid.
- Carver, J., 1971 -Procedures in sedimentary petrology. Ed. Wiley & Sons.645pp
- CEMP-ABIFA (1997). Características de las bentonitas para fundición. Comisión de Estudio de Materias Primas (CEMP) de la Asociación Brasileira de Fundición (ABIFA).
- Cingolani, C.A., Zanettini, J.C.M. y Leanza, H.A. 2011. El basamento ígneo y metamórfico. 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. 4: 37-49. Neuquén.
- CMS Nomenclature 2013/2014. Committee: Stephen Guggenheim (Chair), G. Beall, E. Daniels, M. Herpfer, W. Jaynes, J. Stucki.
- CMS Nomenclature 2017/2018. Committee: Stephen Guggenheim (Chair), Y. Deng, J. Greathouse, J. Stucki (ex officio member), L. Williams, G. Zhang.
- Constanzo, R.A. y Guggenheim, S. 2001. Baseline studies of the clay minerals Society Source Clays. Clay and clays minerals, Vol. 49, Nro. 5.
- Cornell University, 1951. Final Report on Soil Solidification Research. Ithaca, New York.
- Corralés, I., Rosell, J., Sánchez, J.A., Vera, J.A y Vilas. L. 1977. Medio sedimentario Lacustre. Estratigrafía. Ed. Rueda. Madrid.
- Danieli, J.C. 1997. En: Geología y Recursos Minerales del Departamento Zapala. Cartas Geológicas y de Recursos Minerales de la Provincia del Neuquén. Dirección Provincial de Minería de la Provincia del Neuquén. 1997. Boletín N° 2.
- Danieli, J.C., Coppolecchia, M. & Elissondo, M. 2011. El Grupo Andacollo (Paleozoico Tardío). 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. 5: 49-53. Neuquén.
- Day, R.W. 1999. Geotechnical and foundation engineering. McGraw – Hill.
- Delpino, D., Giusiano, A., Deza, M. 1995. Mapa Geológico del Departamento Zapala. Dirección Provincial de Minería. Zapala, Neuquén, Argentina.
- Delpino, D., Giusiano, A. y Deza, M. 1997. Geología y Recursos Minerales del Departamento Zapala. Mapa Geológico del Departamento Zapala (escala 1:200.000)...

- Dirección Provincial de Minería de la Provincia de Neuquén, 2017. Estadística minera. Subsecretaría de energía, minera e hidrocarburos. Ministerio de energía y recursos naturales. Gobierno de la provincia de Neuquén. http://hidrocarburos.energianeiquen.gov.ar/?page_id=599.
- Domínguez, E., 1981. Estudio Geológico de la mina de bentonita "Don Jaime". Cerro Bandera, provincia de Neuquén. Actas 8º Congreso Geológico Argentino, 2: 755-767. San Luis.
- Englund, J. y Jorgensen, P. 1973. A chemical classification system for argillaceous sediments and factors affecting their composition. Geol. För. Stockh. Forh. 95, pp. 87-97.
- Folguera, A., Rojas Vera, E., Spagnuolo, M., García Morabito, E., Zamora Valcarce, G., Bottesi, G. Zapata, T y Ramos .V.A. 2011a. Depósitos sinorogénicos y tafrogénicos Neógenos a cuaternarios. 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. 25: 287-294. Neuquén.
- Folguera, A., Spagnuolo, M., Rojas Vera, E., Litvak, V., Orts, D. y Ramos, V.A. 2011b. Magmatismo neógeno y cuaternario. 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. 24: 275-286. Neuquén.
- Folk, R.L. y Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Jour. Sed. Petrol., 27(1): 3-27.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of Sedimentary Rocks: Austin, Texas. Hemphills, 170 p.
- Fundación Okita, 2007. Estudio sobre Cadenas Productivas Seleccionadas en la República Argentina. Industria de los minerales no-metalíferos. Informe Inédito. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), Secretaría de Industria Comercio y Minería, Argentina, 118pp.
- Galan, E. 2006. Genesis of Clay Minerals. En: Bergaya, F., Theng, G. y Lagaly, G. (eds.) Handbook of Clay Science. Developments in Clay Science, Vol. 1. Chapter 14.
- Gentili, C.A., 1950. Descripción geológica de la Hoja 35c, Ramón M. Castro, Neuquén. Boletín de la Dirección General de Industria Minera 72: 1-42.
- Giusiano, A. y Ludueña, D. 1990. Plan Arcilla. Limos arcillosos del Grupo Neuquén, Informe Final. Dirección General de Minería, Zapala, Neuquén.
- Grim, R.E. and Guven, N. 1978. Bentonites- Geology, Mineralogy, properties and Uses, Developments in sedimentology. Elsevier, New York, 596 pp.
- Guggenheim, Stephen, y R.T. Martin. 1995. Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. Clays and Clay Minerals 43 (2): 255-56.

- Gulisano, C.A. 1981. El ciclo cuyano en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. 8° Congreso Geológico Argentino. 3: 573-592. San Luis.
- Harben P. w., Kuzvart M. (1997): Industrial minerals - global geology. 462 pp., Industrial Minerals Information Ltd. (IMIL), Worcester Park, Surrey, UK. Annex 2.
- Herrero Ducloux, A. 1946. Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extrandino. Boletín Informaciones Petroleras 23(226): 245-281, Buenos Aires.
- Hevia, R. 2007. Bentonitas. Propiedades y usos industriales. Informe Inédito. Proyecto INTI- SEGEMAR, Unión Europea, 13pp
- Hillier S. 1995. Mafic phyllosilicates in low-grade metabasites. Characterization using deconvolution analysis -- discussion. Clay Miner. 30, 67-73.
- Howell, J.A., Schwarz, E., Spaletti, L.A. y Veiga, G.D. 2005. The Neuquen Basin: an overview. En: Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A. y Schwarz, E. (eds.). The Neuquen basin, Argentina: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics, Geological Society, London. Special Publications. 252: 83-107.
- Hower, J. y Mowatt T.C. 1966. The mineralogy of illite and mixed-layer illite/montmorillonite: Amer. Minerol. 51, 825-54.
- Impiccini, A. y Vallés, J. 1999. Geología, mineralogía y propiedades tecnológicas de las bentonitas del departamento Zapala, Neuquén.
- 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.
- Knight, W.E. 1898. Bentonite. Eng. Min. J., 66. 49.
- Kraglievich, L. 1930. La formación friasana del río Frías, río Fénix, Laguna Blanca (Patagonia) y su fauna de mamíferos. Physis 10, Buenos Aires.
- Kramarz, A., Garrido, A., Forasiepi, A., Bond, M y Tambussi, C. 2005. Estratigrafía y vertebrados (Aves y Mammalia) de la Formación Cerro Bandera, Mioceno Temprano de la Provincia del Neuquén, Argentina. Revista Geológica de Chile, Vol. 32, No. 2, p. 273-291. Julio 2005.
- Leanza, H.A. y Hugo C.A. 1997. Hoja Geológica 3969 – III, Picún Leufu, provincias del Neuquén y Rio Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Boletín 218: 1-135. Buenos Aires.

- Maes, A., Stuhl, M.S., and Cremers, A. 1979. Layer charge cation exchange capacity relationships in montmorillonite. *Clay and Clay Minerals*, 27, 387-392.
- Manteca J. I. 2012 Evaluación de recursos minerales (libro). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Manteca J.I. 1993. De la modelización del yacimiento a la producción diaria. Seguimiento y control geológico de una explotación minera. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense.
- Matheron, G. 1965. Les variables régionalisées et leur estimation: une application de la théorie des fonctions aléatoires aux sciences de la nature. Paris. 306pp.
- McKelvey, V.E. 1972. Mineral resource estimates and public policy. *American Science*, Vol. 60, pp 31-40.
- Mendiberri, H., Giusiano, A. y Valdéz, A. 2005. Cuenca Neuquina, reservas y recursos hidrocarbúricos. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: "Ampliando las fronteras". Mar del Plata, Buenos Aires.
- Moore, D.M. y Reynolds, R.C., 1997. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. 2 Ed. Oxford Univ. Press. NY, 378 pp.
- Moreira Toja, R.J. 2016. Propiedades de una bentonita industrial nacional y su caracterización estructural basada en absorción y difracción de rayos X (XANES Y DRX). Trabajo final de grado. Universidad Nacional de La Plata. 79pp.
- Musso, T.B., Roehl, K., Pettinari, G. Vallés, J. 2010. Assesment of smectite-rich claystones from Northpatagonia for their use as liner materials in landfills. *Applied Clay Science*, 48 (3): 438-445.
- Nesbitt H.W. y Young G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 299. 715-717.
- Odom, I. E. 1984. Smectite Clay Minerals: Properties and Uses. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*
- Palin, E.J., Dove, M.T., Sainz-Díaz, C.I., 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., Ferreiro, E.A. y Helmy, A.K., 1972. Estudio mineralógico de una montmorillonita de Cretácica Bandera (provincia de Neuquén, Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 27 (4): 399-406.
- Pelz, P., 1988. Estudio de las bentonitas de la Barda Negra, Neuquén. Dirección de Minería Neuquén. (Inédito).

- Peña, J. 2007. Estudio para la Optimización del Uso de Fluidos de Perforación en el Campo de Petroproducción. Trabajo Inédito. Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Tecnología en Petróleo Equinoccial, Quito, 156 pp.
- Ramos, V.A., Folguera, A. y García Morabito, E. 2011, 'Evolución tectónica de los Andes y el Engolfamiento Neuquino adyacente'. En: Leanza, H.A., C., Arregui, O., Carbone, J.C., Danieli y J.M. Vallés (Eds.), Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén, pp. 335-347, Neuquén .
- Reeves, C.C. 1968. Introduction to paleolimnology. Developments in sedimentology No. 11. American Elsevier, New York. 228pp
- 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. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, 112 pp. Inédito.
- Roskill, 1997. The economics of bentonite. Information 8th Edition, London, 125 pp.
- Scasso, R. y Limarino, C. 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Publicación Especial Numero 1 de la Asociación Argentina de Sedimentología. UBA. 258pp.
- SEGEMAR, y UNSAM. 2007. Seminario de estudios sobre el ciclo minerales-materiales N°14 - Bentonita. Publicación técnica SEGEMAR-UNSAM.
- Spalleti, L. A. 1980. Paleoambientes Sedimentarios en secuencias silicoclásticas. Association Geological Argentina. Buenos Aires. 155p.
- Srodon, J. 1984. X-ray identification of illitic materials: Clays and clay minerals 32, 337-49.
- Stipanovic, P.N., F. Rodrigo, O.L. Baulies & C.G. Martínez. 1968. Las Formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina 23(2): 67-98.
- Uliana, M. 1978. Estratigrafía del Terciario. En: Relatorio Geológico Recursos Naturales, Neuquén. VII Congreso Geológico Argentino: 67-83.
- Vallés, J.M. 1987. Posición estratigráfica y distribución de los horizontes de bentonita en Rio Negro, Neuquén y La Pampa. República Argentina. X Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán, 1987. Actas II: 33.37.
- Vallés, J. M. 2004. Breve historia de las Bentonitas de la Norpatagonia. Historia de la Minería Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 40, 2: 301-304. Buenos Aires.
- Vallés, J.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.M., Giaveno, M.A. y Chiachiarini, P., 1992. Resultados de los ensayos experimentales efectuados sobre bentonitas de la cuenca sedimentaria Neuquina. Actas 4° Congreso Nacional y 1° Latinoamericano de Geología Económica: 334-343. Córdoba.

Yrigoyen, M.R., 1979. Cordillera Principal. En: Turner, J.C.M. (Ed.): 2° Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 1: 651-694. Córdoba.