



Formación Cerro Negro, Sierras Bayas

ARCILLAS DE TANDILIA

GEOLOGÍA, MINERALOGÍA Y PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

PATRICIA EUGENIA ZALBA
MARTÍN MOROSI
MARÍA SUSANA CONCONI
LAURA SEGOVIA

GEOLOGÍA, MINERALOGÍA Y PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE ARCILLAS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN LAS SIERRAS DE TANDILIA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

**PATRICIA EUGENIA ZALBA^{1,4} MARTÍN MOROSI^{1,2}
MARÍA SUSANA CONCONI^{1,3} LAURA SEGOVIA^{1,5}**

Publicación Especial

**¹ COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS, PROVINCIA DE BUENOS AIRES - CENTRO DE TECNOLOGÍA
DE RECURSOS MINERALES Y CERÁMICA**

² FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO DE LA PLATA

³ FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PLATA

⁴ HIGH SCHOOL OF GEOSCIENCES, MONASH UNIVERSITY, MELBOURNE, AUSTRALIA

⁵ REPSOL - YPF

2009



AUTORIDADES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Gobernador Sr. SCIOLI, Daniel

AUTORIDADES DE LA COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Presidente Ing. Agr. GIANELLA, Carlos Gerónimo

MIEMBROS DEL DIRECTORIO

Dr. BRAVO, Rodolfo Daniel
Prof. BRIOZZO, Alberto Nicolás
Ing. Agr. RODRÍGUEZ SILVEIRA, José María
Lic. BAUM, Gabriel Alfredo

SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Dis. Ind. DE ROSE, Heraldo Roberto

DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN

Sra. DI SOMMA, María Rosa

**DIRECTOR DE SERVICIO DE PLANIFICACIÓN Y
COORDINACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

Ing. OCHOA, José María

Índice...

PRÓLOGO	13
A TODOS AQUELLOS QUE TRABAJAN CON ARCILLAS	13
CONSIDERACIONES GENERALES	17
INTRODUCCIÓN	19
UN POCO DE HISTORIA	21
GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA	23
PARTIDO DE AZUL	29
GEOLOGÍA DE AZUL	31
Sector Chillar	31
<i>Yacimientos residuales. Características, composición mineralógica y química</i>	31
<i>Microscopía electrónica de barrido de arcillas de La Concepción</i>	40
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas residuales de La Concepción y Santa María</i>	41
PARTIDO DE BENITO JUÁREZ	43
Sector El Ferrugo y Constante 10 - El Cañón	45
<i>Yacimientos residuales. Características, composición mineralógica y química</i>	45
<i>Microscopía electrónica de barrido en arcillas residuales de Constante 10</i>	54
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas residuales de El Ferrugo y Constante 10</i>	56
Sectores Villa Cacique, Sierra La Juanita, Cuchilla de Las Águilas y Sierra de La Tinta	57
Sector Villa Cacique	58
<i>Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica y química</i>	58
<i>Microscopía electrónica de barrido de las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique, Lomada Blanca y calera El Infierno</i>	62
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique</i>	64
Sector Sierra La Juanita	64
<i>Yacimientos sedimentarios y productos de meteorización "in situ". Características, composición mineralógica y química</i>	64

<i>Microscopía electrónica de barrido de las arcillas de la Formación Villa Mónica</i>	73
<i>Edad de la Formación Villa Mónica</i>	73
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Villa Mónica</i>	74
Sector Cuchilla de Las Águilas y Sierra de La Tinta	75
<i>Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica y química</i>	75
<i>Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la Litofacies Media de la Formación Las Águilas</i>	80
<i>Edad de la alunita y fases minerales asociadas: su significado</i>	82
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Las Águilas</i>	83
PARTIDO DE LOBERÍA	85
Sector San Manuel	87
<i>Yacimientos residuales y sedimentarios. Características, composición mineralógica y química</i>	87
<i>Yacimientos residuales</i>	90
<i>Cantera El Palmar</i>	90
<i>Microscopía electrónica de barrido de arcillas residuales de la cantera El Palmar</i>	92
<i>Cantera San Felipe</i>	93
<i>Yacimientos sedimentarios</i>	93
<i>Cantera El Palmar</i>	93
<i>Cantera San Felipe</i>	93
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas residuales (SMR) y sedimentarias (SMC) de San Manuel, cantera San Felipe</i>	95
PARTIDO DE OLAVARRÍA	99
Sector Sierras Bayas	101
<i>Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica y química de la Formación Olavarría</i>	101
<i>Cantera Cruz Pavone</i>	104
<i>Perfil El Tajo, Loma Negra (Ex San Martín)</i>	104
<i>Cantera La Pampita, Loma Negra</i>	106
<i>Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la Formación Olavarría</i>	112
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Olavarría</i>	113
<i>Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica de la Formación Cerro Negro</i>	115
<i>Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la</i>	

<i>Formación Cerro Negro</i>	120
<i>Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Cerro Negro</i>	121
PARTIDOS DE GENERAL PUEYRREDÓN (CHAPADMALAL), BALCARCE Y NECOCHEA	123
Sector Chapadmalal - Balcarce - Necochea	125
<i>Yacimientos residuales. Características, composición mineralógica y química</i>	125
<i>Cerro Segundo y María Eugenia</i>	125
<i>Microscopía electrónica de barrido de arcillas residuales de Cerro Segundo</i>	125
<i>Propiedades Tecnológicas de arcillas residuales de Cerro Segundo</i>	126
<i>Yacimientos sedimentarios. Características y composición mineralógica de la Formación Balcarce</i>	126
<i>Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la Formación Balcarce</i>	130
<i>Propiedades Tecnológicas de arcillas sedimentarias de la Formación Balcarce</i>	133
AGRADECIMIENTOS	135
BIBLIOGRAFÍA	139
GLOSARIO	151

A todos aquellos que
trabajan con arcillas...

A TODOS AQUELLOS QUE TRABAJAN CON ARCILLAS

Es importante para los industriales, artesanos y particulares, que utilizan arcillas como materia prima, saber cómo se comportarán los materiales en la pieza acabada. Para ello es necesario conocer la procedencia de los mismos -características, reservas geológicas- que aseveren la homogeneidad y continuidad del aprovisionamiento, asegurando la producción. Además, se debe contar con análisis mineralógicos y tecnológicos básicos orientadores. Ello redundará en un aprovechamiento fundado de los recursos y, por ende, en una economía racional.

Las propiedades fisicoquímicas de los materiales están íntimamente ligadas a su estructura cristalina, a su composición mineralógica y a su vez, al origen de los depósitos.

No es lo mismo utilizar yacimientos de distinto origen. Los depósitos residuales (formados "*in situ*", sin transporte), tendrán en su composición distintos componentes primarios (de origen ígneo o metamórfico) y un rango de tamaño de partícula muy diferente al de aquellos producidos por procesos sedimentarios.

En el caso de las Sierras de Tandilia, hay depósitos de las dos clases. Los residuales son el producto insoluble de la meteorización que, sin haber experimentado transporte, permanecen en las rocas de las que han derivado, entendiéndose por meteorización a la destrucción de las rocas por acción de agentes físicos -no dinámicos- y químicos de la atmósfera que producen cambios en la composición mineral.

Los depósitos sedimentarios se formaron por destrucción de rocas preexistentes, transporte de los detritos (o fragmentos), depositación como sedimentos en una cuenca, y posterior diagénesis, entendiéndose por diagénesis, en forma amplia, a los cambios producidos en los sedimentos a partir de su depositación (oxidación, reducción, cementación, transformación de minerales, neoformación de minerales etc.), provocados, por ejemplo, por infiltración de aguas superficiales, o por expulsión de fluidos atrapados, entre otros procesos.

Los sedimentos de Tandilia se depositaron en distintos ambientes marinos costaneros y tienen distinta selección en el tamaño de partícula, así como diferente composición mineralógica con respecto a los primeros (residuales), debido a los mecanismos de depositación y distancia recorrida, como a la fuente de origen del material transportado respectivamente.

Ambos tipos de depósitos (residuales y sedimentarios) experimentaron, a lo largo del tiempo geológico, medido en millones de años, cambios en su composición mineral.

Muchos de estos cambios mineralógicos importantes pueden ser detectados mediante análisis de laboratorio específicos (análisis granulométricos, microscopía óptica, difracción de rayos X, análisis térmico diferencial y termo gravimétrico, microscopía electrónica de barrido o de transmisión, análisis químicos, espectroscopia infrarroja, etc.).

Por ejemplo, se puede conocer el tamaño del cuarzo presente en sedimentos, la composición de los minerales de las arcillas (argilominerales) y la presencia de impurezas (óxidos e hidróxidos de hierro, carbonato de calcio, feldespatos, etc.) tanto cualitativa como cuantitativamente.

En el caso de todos los depósitos de arcillas sedimentarios de Tandilia, el cuarzo (que es abrasivo) está presente en una gran variedad de tamaños de partícula, y el mismo no puede ser separado por medios mecánicos. Esta característica, hace, por ejemplo, que estas materias primas no puedan ser utilizadas en la industria del papel.

La composición de los minerales de las arcillas es también crucial. El poder identificar la especie mineral dickita (argilomineral), que en algunos casos acompaña a caolinita (otra especie de argilominerales) en depósitos de Tandilia, es muy importante ya que, la primera, al ser una especie de mayor temperatura que la caolinita, le conferirá mayores propiedades refractarias a la pieza, según su abundancia.

En el caso de los yacimientos residuales del partido de Azul, los mismos poseen dickita, además de caolinita, lo cual favorece su utilización como materiales refractarios. Sin embargo, existen fracturas rellenas de óxidos de hierro (y/o cuarzo) que, por supuesto, afectan el comportamiento del material, sin que puedan separarse en una explotación minera.

Por otro lado, estos depósitos con dickita pueden tener una elevada concentración de cuarzo, imposible de separar, además de minerales primarios no alterados, según el nivel de explotación (silicatos tales como: micas, anfíboles, feldspatos) que producirán un comportamiento tecnológico diferente al de aquellos que solamente presenten minerales de las arcillas y cuarzo variable.

Por otra parte, la presencia dominante del argilomineral illita disminuirá la plasticidad de la arcilla, mientras que la de esmectita (arcillas expansivas) la aumentará considerablemente. Materiales que, por sí solos, no resultarían aptos para un uso específico, se comportarán adecuadamente si son mezclados en forma apropiada, realizando estudios tecnológicos específicos.

Los óxidos e hidróxidos de hierro (hematita, goethita, limonita) confieren una coloración rojiza o puntos negros a la pieza terminada. Solamente un 1 % de óxido férrico presente resultará en una coloración rojiza u ocre de la pieza manufacturada. La eliminación del mismo, por procesos fisicoquímicos, es muy costosa. Lamentablemente en las Sierras de Tandilia, la mayor parte de las arcillas son rojizas, y muy escasas materias primas son blancas, rosadas, amarillentas o hasta verdosas. Estas últimas, al contener óxidos de hierro, aún en escasa proporción, solamente permitirán la obtención de cerámicas claras.

En relación a las calizas de las Sierras de Tandilia, el problema más evidente es el tenor de carbonato de calcio, ya aquí relacionado con la utilización de las mismas para la fabricación de cemento, fundamentalmente. Las calizas de las Sierras de Tandilia tienen diferentes calidades (como sucede también con las arcillas) de acuerdo a su nivel de explotación en el yacimiento. ¿Por qué se produce esta diferencia? Porque, generalmente, las calizas no son homogéneas, debido a cambios en las condiciones de depositación, y también porque el tope de las secuencias, o su base, muchas veces estuvieron expuestos a fenómenos de erosión. Esto se refleja en un mayor o menor contenido de carbonato de calcio respecto de otros componentes, fundamentalmente sílice, óxido férrico y arcillas, dando como resultado calizas impuras o margas.

Lo antedicho lleva a plantear un estudio detallado de los depósitos disponibles, teniendo en cuenta el tipo de producto a obtener, y donde deberá estudiarse la génesis, extensión lateral y vertical del yacimiento, su homogeneidad, composición mineralógica y propiedades fisicoquímicas para su correcto aprovechamiento industrial.

Por otra parte, identificar en forma precisa a qué unidad litoestratigráfica (Ej. formación geológica) corresponde el yacimiento en estudio o explotación, permite, de acuerdo al conocimiento que se tiene actualmente de la posición de estas formaciones en secuencia (qué hay arriba o debajo de un depósito que aflora, o ha sido encontrado por perforaciones) discernir si corresponde efectuar perforaciones para encontrar, en profundidad, un nivel específico. Esto redundará en una economía racional de la industria específica.

PATRICIA E. ZALBA

Consideraciones
generales...

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló dentro del marco del “Programa de Subsidios para Proyectos de Investigación y Desarrollo y Transferencia con organismos públicos de la Provincia de Buenos Aires”, otorgado por la Comisión de Investigaciones Científicas, firmado en septiembre de 2004 y concluido en diciembre de 2005. Este proyecto (modalidad A), bajo la dirección de P. E. Zalba, tuvo como contraparte a la Municipalidad de Azul y organismos dependientes de la misma, y consistió en el relevamiento de yacimientos de arcilla de importancia económica de las Sierras de Tandilia, con el objeto de brindar información geológica, mineralógica y tecnológica destinada a organismos oficiales, pequeñas y medianas empresas y artesanos, como contribución para un conocimiento más detallado que pueda servir como base de consulta para los interesados en estas materias primas. Para la publicación de este trabajo se realizó una actualización del mismo con datos obtenidos por los autores hasta el año 2007.

Como es bien conocido, la Provincia de Buenos Aires es el principal productor del país en rocas de aplicación (granitos, arcillas, calizas, dolomías, cuarcitas; estas últimas conocidas como “piedra Mar del Plata”) en cuanto a volumen de explotación.

Los yacimientos de arcillas más importantes conocidos hasta el momento se distribuyen en las Sierras de Tandilia, o Sierras Septentrionales de Buenos Aires, principalmente en los alrededores de Olavarría y Tandil. Se encuentran en secuencias sedimentarias precámbricas y eopaleozoicas que suprayacen a las rocas del basamento cristalino (rocas ígneas y metamórficas). En estas últimas, por procesos de alteración, también se han formado, en algunos casos, depósitos económicamente explotables de arcillas (depósitos residuales).

Las rocas del basamento cristalino (granitos, migmatitas, gneises, tonalitas, anfibolitas, etc.) están cubiertas por rocas de origen sedimentario, constituidas por depósitos clásticos (derivados de la destrucción de rocas preexistentes) de distinta granulometría y composición mineralógica (psefitas: conglomerados; areniscas: cuarcitas; pelitas: limolitas y arcilitas), depósitos carbonáticos (calizas, margas y dolomías), en una sucesión que comprende distintas formaciones geológicas, de diferente edad, algunas de las cuales tienen gran importancia, principalmente, en la industria de la construcción.

Los depósitos sedimentarios, que forman parte de diferentes formaciones geológicas, son perfectamente identificables y están separados por paleosuperficies (discordancias) cuyo reconocimiento ha contribuido a explicar su diferente edad y distribución areal, así como correlacionarlas geológicamente en distintas áreas de las sierras donde afloran, o han sido identificadas por perforaciones y, fundamentalmente, por la apertura de canteras.

El conocimiento detallado de los depósitos sedimentarios es importante por varios motivos. En primer lugar por la importancia económica que representan y además, por su ubicación estratégica respecto de los grandes centros urbanos, así como por la calidad de las materias primas que contienen. Por otra parte, dichos depósitos constituyen uno de los más antiguos de la Tierra (Proterozoico: desde 2000 millones de años, Neoproterozoico: 760-600 millones de años y Paleozoico inferior: 500 a 435 millones de años) cuyas propiedades fisicoquímicas se han conservado prácticamente intactas para ser utilizadas en la industria.

La geología de Tandilia no es simple, los movimientos epirogénicos ocurridos en el Precámbrico dieron lugar al ascenso y descenso diferencial de bloques que fracturaron los depósitos sedimentarios de la cuenca original, así como de las rocas del basamento cristalino infrayacente. Este fenómeno de ascenso y descenso de bloques condiciona la explotación, ya que afecta la continuidad lateral de los depósitos. Los bloques ascendidos experimentaron erosión y aquellos descendidos quedaron ocultos a profundidades variables.

También este fenómeno es responsable de las dificultades existentes cuando se trata de reconocer los mismos depósitos en distintas áreas. Por lo tanto, para interpretar la geología de una zona de las sierras debe conocerse, inevitablemente, la de las demás áreas.

La información aquí brindada es producto de la investigación realizada específicamente para este trabajo; de proyectos de investigación propios realizados a través de la CIC provincia de Buenos Aires; de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, y de la cooperación con grupos de investigación interdisciplinarios, fundamentalmente con investigadores de CONICET, a través del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), de la Universidad de Buenos Aires (UBA), del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), y de proyectos de cooperación internacional con la Universidad de Poitiers, Francia, además de haber consultado bibliografía de investigadores que trabajaron en el área de estudio, disponible al final del trabajo.

Se incluyen fotografías, perfiles estratigráficos, dibujos, análisis químicos, análisis mineralógicos por microscopía óptica y electrónica de barrido, así como análisis tecnológicos propios y extraídos de la bibliografía.

Se ha incluido, además, un **Glosario**, para facilitar la comprensión de términos geológicos y tecnológicos por parte del lector.

El trabajo se ha organizado a partir de una síntesis de la geología y estratigrafía de Tandilia, tratándose los yacimientos de arcilla de importancia económica por partidos y por sectores de la siguiente manera:

Partido de Azul:

Sector Chillar

Partido de Benito Juárez:

Sector El Ferrugo y Constante 10 - El Cañón

Sector Villa Cacique

Sector Sierra La Juanita

Sector Cuchilla de Las Águilas, Sierra de LaTinta

Partido de Olavarría:

Sector Sierras Bayas

Partido de Lobería:

Sector San Manuel

Partidos de Gral. Pueyrredón (Chapadmalal), Balcarce y Necochea:

Sector Chapadmalal, Balcarce y Necochea

UN POCO DE HISTORIA

Hoy, la cuenca de Tandilia, Provincia de Buenos Aires, es pequeña, en relación a sus dimensiones originales, gran parte de la cual quedó restringida a Sud África, luego de la separación de los continentes, que comenzó en el período Jurásico (hace aproximadamente 183 millones de años).

Por esta razón, Tandilia representa, tan sólo, algunas piezas de un rompecabezas mayor que no tiene forma de recomponerse en Sud América, sino por correlaciones estratigráficas con el continente africano. Y este ha sido un problema mayor a la hora de reconstruir su historia geológica.

Mucho se ha hecho al respecto, a través de numerosos estudios (geológicos, estratigráficos, bioestratigráficos, sedimentológicos, paleoambientales, mineralógicos, estructurales, geocronológicos y, más recientemente, diagenéticos) que comenzaron con el trabajo pionero de Heusser y Claraz (1863) en las Sierras de Tandilia.

En la década del '70 comenzaron los estudios de detalle y esto representó un hito, relacionado con nuevas interpretaciones y la reformulación de un esquema estratigráfico a partir del clásico, vigente por más de 140 años.

El cambio no fue fortuito. El vuelco trascendental en el enfoque de la sedimentología, ocurrido en la década del '50 a nivel mundial, sentó nuevas bases para los estudios de detalle. En la década del '70 también se comenzó a realizar el levantamiento geológico de Tandilia a escala 1:50.000, conocido como Plan Tandilia, dirigido por el Dr. Adrián Mario Iñíguez, auspiciado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires y realizado por el Centro de Investigaciones Geológicas y la participación del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica. Las hojas geológicas relevadas fueron presentadas en forma completa en las Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, realizadas en Tandil en 1985. Este mapa representó un avance extraordinario en el conocimiento geológico de las sierras, sin embargo, lamentablemente, nunca fue publicado completo.

Por otra parte, el nacimiento en el país de instituciones como CIC en la provincia de Buenos Aires, seguida de la creación de CONICET, la implementación de la carrera del investigador, el otorgamiento de becas de grado y postgrado internas y externas, el nacimiento de centros de investigaciones dependientes de estas instituciones, y el desarrollo de investigaciones en distintas universidades, ofrecieron diversas posibilidades a jóvenes estudiosos de incorporarse al sistema científico, incursionando, entre muchos otros, en trabajos de detalle en las sierras.

A partir de los trabajos de Holmberg (1972); Amos et al. (1972); Dalla Salda et al. (1972); Dalla Salda e Iñíguez (1979), se concretan nuevos avances en la estratigrafía de Tandilia, reconociendo que no había una única secuencia sedimentaria, denominada Serie, Grupo o Formación La Tinta, sino que varias unidades litoestratigráficas, separadas por discordancias y de diferente edad, comenzaban a engrosar el esquema estratigráfico clásico de las sierras.

Borrello (1962) creó la Formación Punta Mogotes (reinterpretada por Marchese y Di Paola, 1975a). Más tarde se reconocieron otras más: la Formación Cerro Negro (Iñíguez y Zalba, 1974a); las Cuarcitas o Formación Balcarce (Amos et al. 1972); el Grupo Sierras Bayas (Dalla Salda e Iñíguez, 1979) y las modificaciones de Poiré, quien crea la Formación Villa Mónica (1987) y luego la Formación Cerro Largo (1993) dentro del Grupo Sierras Bayas; la Formación Las Águilas (Zalba, 1978) y modificaciones posteriores al esquema inicial: Zalba et al. (1982); Zalba et al. (1988); la Formación Olavarría (Andreis et al., 1996), con lo cual, la Formación La Tinta perdió identidad, quedando dividida en distintas unidades litoestratigráficas, de diferente edad. Referirse hoy a la Formación La Tinta es retrotraerse a 142 años atrás.

Una recopilación completa de la geología de Tandilia y de la evolución de la cuenca puede consultarse en la clásica obra de Iñíguez et al. (1989). Trabajos de detalle litoestratigráficos, reali-

zados a través de numerosas publicaciones, de la zona de Chillar-Barker-Villa Cacique-San Manuel, se pueden consultar en Zalba y Andreis (2001), en la Guía de Campo para la 12^o Conferencia Internacional de Arcillas, organizada por la Association Internationale Pour l'Etude des Argilles (AIPEA), realizada por primera vez en Argentina, en Bahía Blanca (2001).

Trabajos más recientes que abarcan distintos aspectos de Tandilia (geología, estratigrafía, sedimentología, mineralogía, diagénesis, etc.) fueron abordados por numerosos autores. En Poiré y Spalletti (2005) y Dalla Salda et al. (2005), puede hallarse una completa y actualizada bibliografía de los trabajos publicados sobre las Sierras de Tandilia en varios de los aspectos mencionados. Estos autores proponen modificaciones al esquema estratigráfico de Iñíguez et al. (1989), correlacionando la Formación Las Águilas con la Formación Olavarría. Sin embargo, este problema es de larga data, y un estudio de detalle es imprescindible para confirmar esta hipótesis. Por lo tanto, en este trabajo se sigue el esquema de Iñíguez et al. (1989) para la ubicación estratigráfica de la Formación Las Águilas y el esquema de Andreis et al. (1996) para la ubicación estratigráfica de la Formación Olavarría.

Los trabajos bioestratigráficos (trazas fósiles, estromatolitos) y geocronológicos (dataciones Rb-Sr y K-Ar) permitieron asignar edades a las diferentes formaciones geológicas de Tandilia, e importantes contribuciones se realizaron en este sentido (cf. Borrello, 1966; Antonioli, 1969; Amos, 1974; Rapela et al., 1974; Bonhomme y Cingolani, 1978, 1980; Aceñolaza, 1978; Alfaro, 1981; Cingolani y Bonhomme, 1982; Pothe de Baldis et al., 1983; Poiré et al., 1984; Cingolani y Rauscher, 1985; del Valle, 1987; Cingolani et al., 1991; Poiré y del Valle, 1996; Poiré et al., 2003), para citar sólo algunos.

El estudio del basamento cristalino (denominado Complejo Buenos Aires por Di Paola y Marchese, 1974), encarado desde diferentes aspectos por autores como Dalla Salda (1979; 1982; 1999); Rapela et al. (1974); Teruggi y Kilmurray (1975; 1980); Varela et al. (1985, 1988); Iñíguez et al. (1989), Dalla Salda (1999) y Dalla Salda et al. (2005), entre otros, ha sido crucial a la hora de entender la composición mineralógica (heredada) de las arcillas que integran las diferentes formaciones geológicas.

Pero a esta composición original del basamento, se suman procesos hidrotermales, de meteorización, diagenéticos, ocurridos a lo largo de millones de años, y que modificaron la mineralogía original del mismo. Ya en 1970 Iñíguez había reconocido la importancia del basamento cristalino como fuente de aporte de materiales a las formaciones sedimentarias, muchas de ellas constituidas por arcillas. Los trabajos de Zimmermann y Spalletti (2005) y Zimmermann et al. (2005), aportan información sobre la procedencia de los materiales clásticos (detríticos) de las distintas unidades litoestratigráficas de Tandilia.

Una vez depositados los sedimentos heredados del basamento, o generados por precipitación química (Ej. calizas) los procesos postdeposicionales (compactación, cementación, óxido-reducción, erosión, levantamiento, fracturación, introducción o expulsión de fluidos, formación o transformación de minerales) ocurridos en las secuencias sedimentarias y en el basamento, impusieron un nuevo sello en la composición de las rocas. Todos estos procesos cambiaron y enriquecieron la mineralogía de las distintas rocas y, algunos casos, han sido estudiados en detalle, aunque todavía quedan muchos problemas por resolver. Por ejemplo, Zalba et al. (2007a) reconocieron regionalmente fenómenos de telodiagénesis ocurridos en el Pérmico medio (254 millones de años) en las Sierras de Tandilia, fenómenos que pudieron ser acotados en el tiempo a partir de la datación radimétrica K-Ar del mineral alunita. El levantamiento y empuje del Sistema de Ventania desde el SO, produjo la fracturación, erosión, introducción de fluidos meteóricos y expulsión de fluidos atrapados en distintas áreas a través de discontinuidades, fallas y fracturas, y la formación de una asociación de minerales tales como alunita, caolinita, halloysita, diásporo y fosfatos de cerio y aluminio (Ce-florencita) y de estroncio y aluminio (svanvergita). Estos últimos son denominados minerales AFS (aluminio-fosfatos-sulfatos), pertenecen al supergrupo de la alunita, y fueron encontrados en la

Formación Las Águilas, Cuchilla de Las Águilas, al NO de Barker.

Dristas et al. (2003), y Martínez y Dristas (2007), identifican también la presencia de minerales AFS, tanto en el basamento como en la discordancia basamento-secuencia sedimentaria en la zona de la Sierra La Juanita y Cuchilla de Las Águilas, pero atribuyéndoles un origen hidrotermal, por acción de fluidos introducidos a través de discontinuidades, fallas y fracturas.

Otro ejemplo de importantes transformaciones y reemplazos minerales, producidos por procesos postdeposicionales sucesivos, es el ocurrido en calizas estromatolíticas columnares y laminares dolomitizadas de la Sierra La Juanita, al noreste de Barker. Las llamadas “arcillas ferruginosas” de la Formación Villa Mónica, en la Sierra La Juanita, Estancia La Siempre Verde, portadoras de megacrystales de cuarzo (de hasta 20 cm. de longitud), conocidas desde hace 40 años en la literatura geológica con esa denominación, y largamente utilizadas en la industria cerámica, resultaron ser dolomías meteorizadas y diagenizadas, con neoformación de minerales interestratificados de illita-smectita (I/S), y muy posteriormente, introducción de arcillas caoliníticas en fracturas, en distintos niveles, preservándose los megacrystales de cuarzo “*in situ*” (Zalba et al., 2007b).

Los investigadores avocados al estudio de problemas geológicos muchas veces discrepan en la interpretación de los procesos ocurridos. Pero esto es normal y sucede debido a la complejidad y superposición de fenómenos fisicoquímicos cuya interpretación se dificulta aún más por la antigüedad de los depósitos de Tandilia. Como decía el Profesor Walter Keller, eminente especialista en arcillas de la Universidad de Missouri, EE.UU., si se reunieran expertos científicos en un afloramiento y se les requiriera su opinión sobre la interpretación de la geología del área, se obtendrían tantas versiones como geólogos se encontraran involucrados. Observaciones numerosas y precisas, y una demostración científica de los procesos ocurridos, cooperarán en la evolución de los conocimientos.

Trabajar en equipo, confrontar y discutir resultados entre pares, en foros nacionales e internacionales, llevarán a un acercamiento a la realidad, aunque nunca ésta será definitiva. Siempre habrá nuevos descubrimientos, nuevas teorías, nuevas técnicas, que permitirán evolucionar en una dirección correcta, hacia una mayor convicción. Y este es el desafío de la Geología.

GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

Las Sierras de Tandilia, también conocidas como Sierras Septentrionales de Buenos Aires, están localizadas entre los 36°30' y 38° de latitud sur y los 58° y 62° de longitud oeste. Constituyen un cordón orográfico discontinuo que se extiende con rumbo general NO-SE a lo largo de 300 km, desde Blanca Grande hasta Mar del Plata (Cabo Corrientes), alcanzando alturas máximas de 490 m. sobre el nivel del mar y un ancho máximo de 60 km a la altura de Tandil (**Fig. 1**).

Las sierras muestran en su núcleo central un relieve redondeado y suave, vinculado con afloramientos del basamento granítico-metamórfico, mientras que los depósitos sedimentarios muestran aspectos mesetiformes, con un frente escarpado hacia el Norte (**Fig. 2**).

Las sedimentitas de Tandilia están integradas por un conjunto de rocas de edad precámbrica en las áreas de Olavarría y Barker-San Manuel y otro de edad paleozoica inferior, aflorante en los sectores SE y NO de las sierras.

Las sedimentitas se apoyan sobre un basamento cristalino, denominado Complejo Buenos Aires, distribuido en el sector septentrional de las sierras, el cual se compone principalmente de rocas granitoides, migmatitas, milonitas y ectinitas, encontrándose además anfíbolitas y rocas filonianas, con edades que van desde los 2000 a los 600 millones de años, aproximadamente, en diferentes sectores de las sierras.

El avance del conocimiento estratigráfico de las secuencias sedimentarias de Tandilia, facilitado por la explotación de canteras y el acceso a datos de perforaciones, permitió realizar la propuesta de un esquema estratigráfico por regiones. El esquema adoptado aquí se basa en las propuestas de Iñíguez et al. (1989), Poiré (1987; 1993) y Andreis et al. (1996), y divide a las unidades estratigráficas en seis secuencias o ciclos de depositación, definidos a partir de cambios relativos en el nivel del mar. Cada una de estas secuencias está limitada por discordancias regionales (discontinuidades).

La **Figura 3** corresponde al esquema estratigráfico adoptado que, de base a techo, muestra las secuencias depositacionales identificadas en cuatro sectores geológicos mayores:

1. Sierras Bayas
2. Villa Caciue; Sierra La Juanita - Cuchilla de Las Águilas; Sierra de La Tinta
3. San Manuel
4. Balcarce - Mar del Plata

La secuencia depositacional más antigua corresponde al Grupo Sierras Bayas, conformado por las siguientes formaciones:

Formación Villa Mónica o Formación La Juanita (Cuarцитas Inferiores, dolomías, dolomías meteorizadas (reemplazadas por arcillas), areniscas, arcillas
Formación Cerro Largo (Cuarцитas Superiores).
Formación Olavarría (areniscas, arcilitas, limolitas).
Formación Loma Negra (calizas y margas).

Sobrepuestas al Grupo Sierras Bayas, en algunos sectores, se encuentran: la Formación Cerro Negro (brechas de ftanita, cuarcitas, arcilitas, limolitas, margas), o bien la Formación Las Águilas (brechas de ftanita, arcilitas, limolitas, alternancia de cuarcitas y limolitas o arcilitas).

Finalmente, con la Formación Balcarce (cuarcitas con arcilitas intercaladas), culmina la secuencia sedimentaria de Tandilia.

El Grupo Sierras Bayas aflora principalmente en el área de Olavarría-Sierras Bayas y en el área de Barker.

Para el área de Sierra La Juanita-Cuchilla de Las Águilas-Sierra de La Tinta, la Formación La Juanita es considerada una variación lateral de la Formación Villa Mónica. En cambio, la Formación Las Águilas ha sido considerada, sucesivamente, una unidad independiente por encima de la Formación Loma Negra (Zalba 1978); una variación lateral de la Formación Cerro Negro, con la misma posición estratigráfica que en el caso anterior (Iñíguez et al., 1989), y también, una variación lateral de la Formación Olavarría, ubicada estratigráficamente por debajo de las calizas (Poiré y Spalletti, 2005).

Todas estas secuencias sedimentarias son de edad neoproterozoica y están cubiertas, en algunos de los sectores mencionados, en discordancia, por depósitos siliciclásticos (cuarcitas y arcilitas intercaladas) correspondientes a la Formación Balcarce, de edad paleozoica inferior (Ordovícico).

No hay dudas entre los distintos autores sobre la existencia de Formación Balcarce en el área de Balcarce-Mar del Plata y Villa Caciue. Sin embargo, no todos están de acuerdo en la presencia de esta unidad en el área de la Cuchilla de Las Águilas-Sierra de La Tinta. Zalba et al. (1988) observaron una discordancia angular entre los depósitos de la Formación Las Águilas y un paquete de cuarcitas suprayacente, en la Cuchilla de Las Águilas, atribuyendo estos últimos depósitos mencionados a la Formación Balcarce. En la zona de Olavarría, en cambio, la Formación Balcarce no se ha encontrado. O bien nunca se depositó, o fue completamente erosionada. No se tiene datos que avalen una u otra

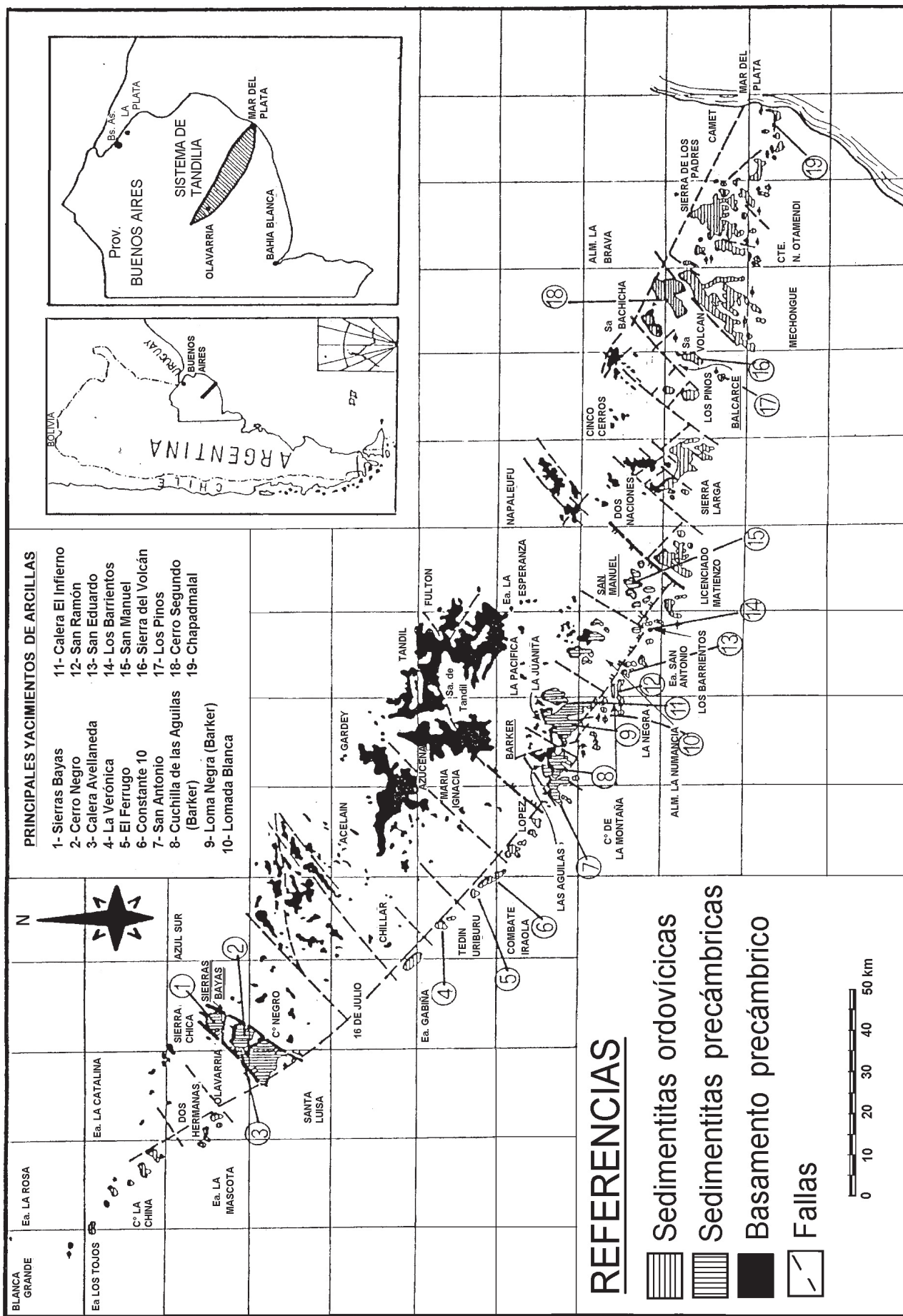


Figura 1. Ubicación de yacimientos en el mapa geológico del sistema de Tandilia. (Iñiguez et al., 1989).



Figura 2. Relieve redondeado y suave, vinculado con afloramientos del basamento granítico-metamórfico, mientras que los depósitos sedimentarios muestran aspectos mesetiformes.

	OLAVARRÍA SIERRAS BAYAS (1)	VILLA CACIQUE LOMA NEGRA QUARRY (2)	LAS AGUILAS LA JUANITA (3)	C° LA CHINA LOPEZ LOS BARRIENTOS (2)	Sa del VOLCAN PUNTA MOGOTES (4)	
ORDOVÍCICO INFERIOR		F. BALCARCE	F. BALCARCE	F. BALCARCE	F. BALCARCE	
NEO PROTEROZOICO	F. C° NEGRO	F. C° NEGRO	F. LAS AGUILAS			
	GRUPO SIERRAS BAYAS	CALIZA LOMA NEGRA	CALIZA LOMA NEGRA			
		F. OLAVARRIA	F. OLAVARRIA			
		F. C° LARGO	F. C° LARGO	F. C° LARGO		
		F. VILLA MONICA	F. VILLA MONICA	F. LA JUANITA		
PALEO PROTEROZOICO	COMPLEJO BUENOS AIRES	COMPLEJO BUENOS AIRES	COMPLEJO BUENOS AIRES	COMPLEJO BUENOS AIRES	METAPELITAS PUNTA MO GOTES COMPLEJO BUENOS AIRES	

Figura 3. Esquema estratigráfico que muestra las secuencias depositacionales de las áreas de estudio. (Iñiguez et al. (1989), Poiré (1987, 1993) y Andreis et al. (1996).

hipótesis.

El basamento cristalino de cada área ha sido la fuente principal de los sedimentos acarreados a la cuenca de depositación de Tandilia, aunque, procesos postdepositacionales (erosión, levantamiento, fracturación, meteorización y diagénesis) han producido la transformación o neoformación de minerales. De ahí que la composición mineralógica local de las rocas del basamento, así como fenómenos postdepositacionales ocurridos, hayan producido distintas asociaciones de minerales de las arcillas y fases relacionadas, dando lugar a variaciones particulares.

En relación a los depósitos arcillosos, producto de la alteración del basamento, (residuales) es importante destacar que éstos son de composición caolinítica-pirofilitica (Sierra La Juanita y San Manuel) o bien de composición illítica (Olavarría-Sierras Bayas) cuando el basamento está cubierto por sedimentitas de edad precámbrica (Grupo Sierras Bayas). Por otra parte, la composición de las arcillas residuales es básicamente caolinítica, con illita e interestratificados de illita-esmectita subordinados, cuando el basamento alterado está cubierto por sedimentitas paleozoicas (Formación Balcarce). Estos hechos ya fueron reconocidos por Iñíguez et al. (1989).

Partido de Azul...

GEOLOGÍA DE AZUL

El partido de Azul, limita al norte con Tapalqué y Las Flores, al sur con Benito Juárez, al este con Rauch y Tandil, y al oeste con Olavarría.

Casi la totalidad de las rocas aflorantes en el área de Azul corresponde al basamento cristalino (Complejo Buenos Aires), de 2200 a 1800 Ma, pertenecientes al ciclo Transamazónico (Teruggi y Kilmurray, 1975; 1980; Dalla Salda et al., 1988; 1992). El área serrana se caracteriza por la presencia de rocas metamórficas de grados medio y alto (gneises y migmatitas) y rocas de naturaleza granítica, en ocasiones con grados variables de milonización sobreimpuesta, producidas por zonas de cizalla de rumbo E-O.

Además se destacan potentes fajas de cataclasitas de composición principalmente granítica. En este conjunto de rocas que componen el basamento ígneo-metamórfico local, se emplazan diques de diabasa de dimensiones regulares, a menudo anfibolitizados, que presentan un rumbo predominante NO (Dalla Salda, 1981; Kilmurray et al., 1985; Echeveste et al., 1997).

Por su parte, las secuencias sedimentarias paleozoicas (Formación Balcarce, **Fig. 3**) están restringidas al sector de Chillar (60 km al S de Azul y 75 km al oeste de Tandil). En esta zona, la Formación Balcarce está constituida por espesores variables (entre 8 y 20 metros) de psefitas y psamitas que se apoyan sobre un basamento cristalino, alterado por meteorización en arcillas (saprolitizado).

Los depósitos psefíticos (conglomerados) consisten de estratos gruesos y muy gruesos de morfología tabular o lenticular, de colores claros (grises, blanquecinos) y clastos subredondeados de composición fanítica (sílice microcristalina = calcedonia).

La secuencia completa, que tiene aproximadamente 8 metros de espesor en el área, culmina con psamitas (areniscas) cuarcíticas, con abundantes estructuras entrecruzadas.

La estructura se hunde regionalmente, con bajo ángulo, hacia el sudeste.

Sector Chillar

Yacimientos residuales. Características, composición mineralógica y química

En el área de Azul, los depósitos de arcillas se localizan en campos de las Estancias Santa María y La Concepción, en las cercanías de la Ruta Nacional Nº 3, a 3 y 5 km al SSE de la localidad de Chillar, respectivamente. Estos depósitos son producto de la meteorización del basamento cristalino (depósitos residuales) y se encuentran cubiertos por las sedimentitas siliciclásticas de la Formación Balcarce (conglomerados y areniscas cuarcíticas).

La explotación principal corresponde al yacimiento La Concepción (ex La Verónica) donde el nivel arcilloso explotado representa un pasaje transicional hacia las rocas infrayacentes del basamento inalterado y posee espesores variables de entre 1 y 4 metros (**Fig. 4a**). La **Fig. 4b** representa el perfil estratigráfico realizado en la cantera La Concepción, en donde pueden observarse las distintas zonas de meteorización del basamento y, en discordancia erosiva sobre el mismo, la secuencia sedimentaria de la Formación Balcarce.

De acuerdo a los análisis de cortes delgados bajo el microscopio óptico (análisis petrográficos) el basamento cristalino aflorante en el piso de la cantera La Concepción corresponde al nivel de meteorización conocido como saprock, ya que la excavación de la cantera no llega hasta el basamento sin alterar (bedrock).

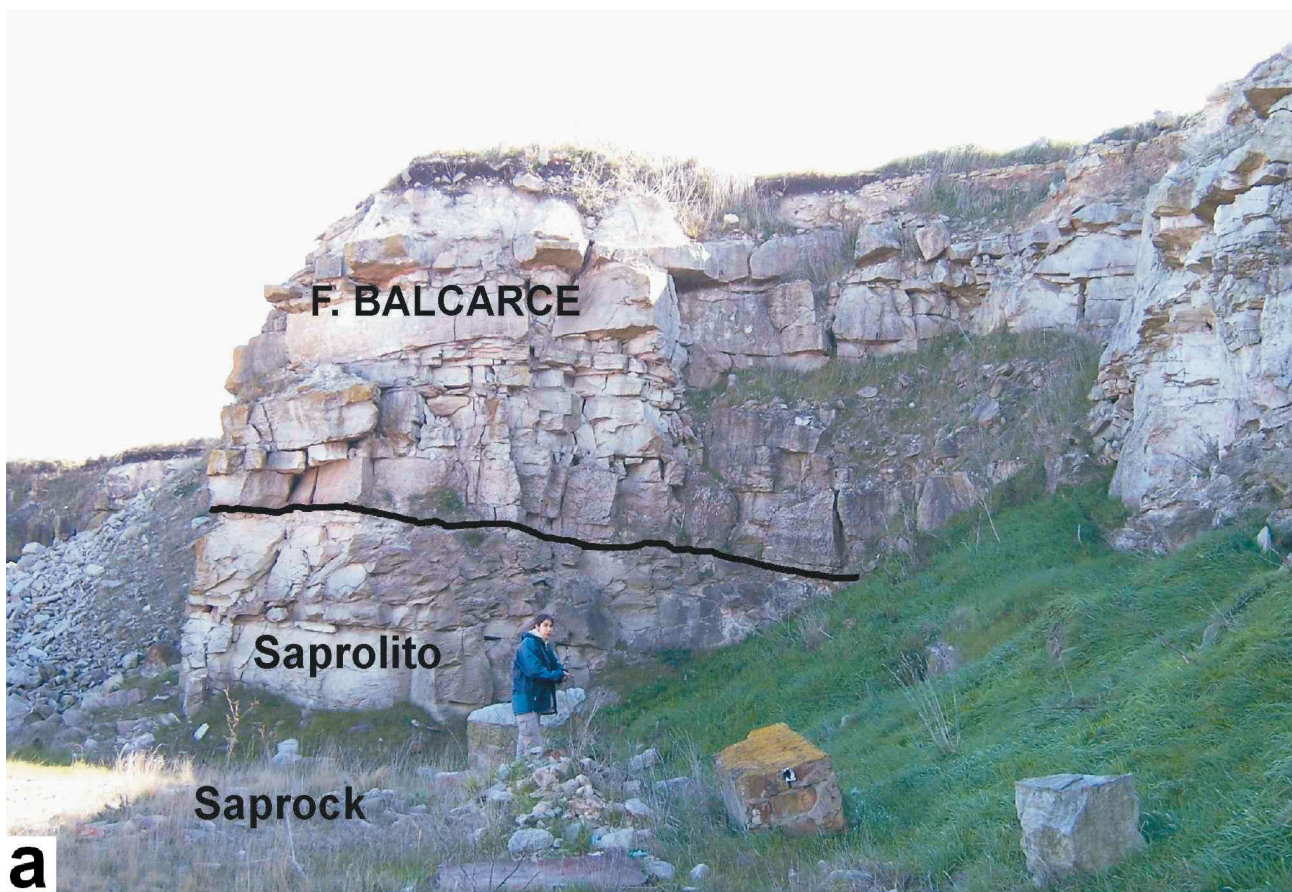


Figura 4a. Cantera La Concepción, Chillar. Las arcillas en explotación corresponden al saprolito (Basamento alterado).

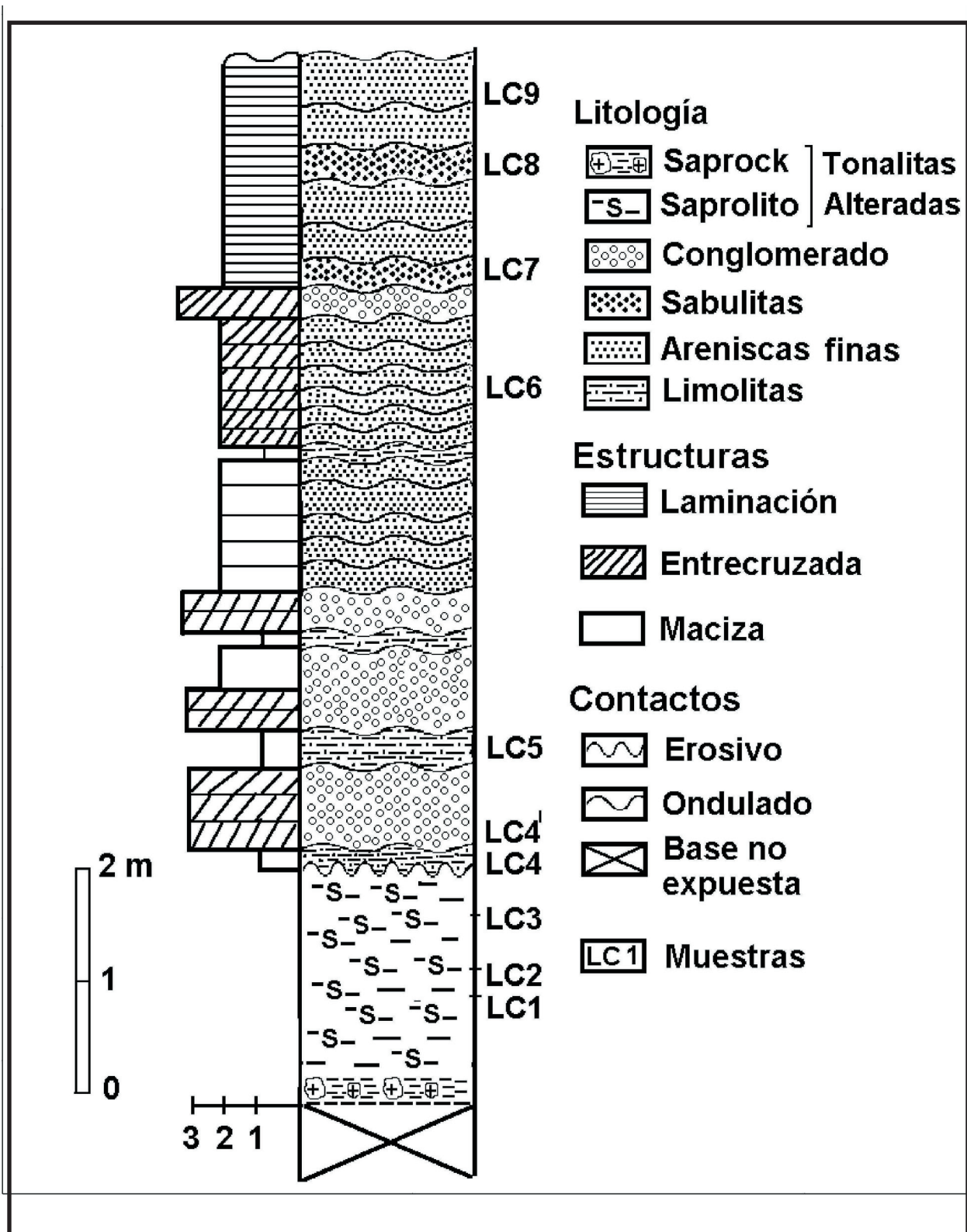


Figura 4b. Perfil estratigráfico realizado en la cantera La Concepción, Chillar. En el mismo se pueden observar las distintas zonas de alteración del Basamento y el nivel sedimentario (Formación Balcarce). LC1/ 9: muestras.

El nivel denominado saprock se reconoce porque, si bien las especies minerales originales subsisten como tales, la roca ya tiene un reconocible grado de alteración de los minerales originales.

Las especies minerales reconocidas en este nivel por microscopía óptica son: plagioclasas (oligoclasa: An 17-22 %), algunas de ellas macladas y sin alteración y, las más abundantes, no tienen maclas y están alteradas a caolinita-dickita y, en menor proporción, a illita, la cual aparece como puntos blancuecinos (hasta amarillentos) dentro de las plagioclasas (**Fig. 5a**). También se reconoció la presencia de escaso microclino fresco. El cuarzo se presenta como monocristalino (**Fig. 5b**). La abundante mica (biotita, **Fig. 5c**) en forma de libros curvados, de alta birrefringencia, comienza a alterarse en caolinita y se distingue por los colores grisáceos. Los clivajes se abren y constituyen la vía de escape del hierro contenido en la estructura de la misma (**Fig. 5d**). Como minerales accesorios se identificó circón.

Hacia arriba, se pasa al nivel de alteración del basamento conocido como saprolito. Aquí los minerales originales (plagioclasas, biotita) no existen como tales. La alteración a minerales de las arcillas llega a su grado máximo. Los libros de caolinita tampoco existen, en su mayoría, como tales, pierden definición y se hacen “fantasmales” (**Fig. 5e**). De las biotitas sólo queda el óxido de hierro, en algunos casos formando una textura laminar, resabio de la textura original de las mismas, o bien cristaliza en formas prismáticas (**Fig. 5d**). La hematita migra hacia las grietas y fisuras al igual que las arcillas, que, además, rodean a los cristales de cuarzo (**Fig. 5f**).

La roca de basamento alterada (saprolito) es compacta, con fractura concoide y color gris a gris verdoso, ocasionalmente rojizo hacia la base por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro. La coloración grisácea a verdosa se debe a los minerales de las arcillas. Este constituye el nivel de explotación de la cantera.

Por otra parte, las arcillas de los primeros niveles sedimentarios, sobre el conglomerado de la Formación Balcarce, (no se explotan) muestran una textura completamente diferente, con aporte de micas sin alterar, cuarzo monocristalino, hornblenda fresca (**Fig. 5g**) y arcillas.

La composición mineralógica de las arcillas en la Cantera La Concepción (ex- La Verónica) analizada por difracción de rayos X, para este trabajo (**Tabla 1**), es coherente con la interpretación de los análisis petrográficos. La misma es esencialmente caolinítica, en algunos sectores con elevado grado de pureza, la cual está acompañada por escasos argilominerales interestratificados de illita-esmectita (I/S) y muy escasa esmectita. Las impurezas más comunes son óxidos de hierro y cuarzo, este último se encuentra en proporciones variables (12- 56 %) en cristales angulosos, de tamaños que, en algunos casos, superan el milímetro. Las arcillas muestran un alto grado de compactación. La presencia de anatasa denota un elevado grado de meteorización.

En cuanto al yacimiento de la Estancia Santa María (muestras SM) las rocas corresponden al mismo tipo que las descritas en La Concepción, aunque con algunas variaciones. La **Fig. 6** muestra un frente de explotación, con espesores similares a los de La Concepción.

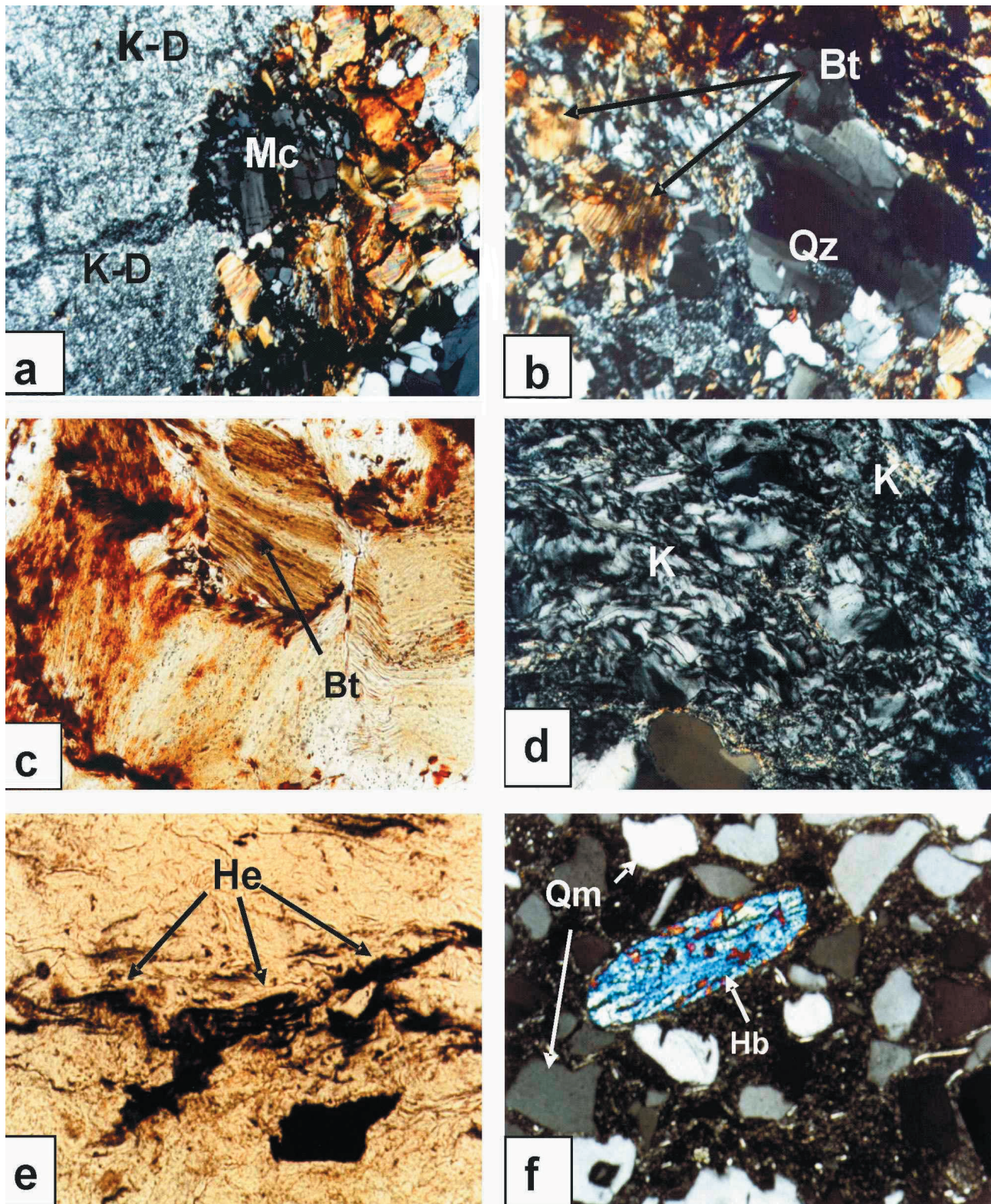


Figura 5. Estudio petrográfico. Cantera La Concepción, Chillar. a) Saprock: plagioclasa alterada a caolinita-dickita (K-D) y escaso microclino fresco (Mc), (x 40). b) Cuarzo monocristalino con extinción ondulante (Qz), biotita en forma de libros curvados (Bt) de alta birrefringencia, (x 40). c) Escape de hierro a través de los clivajes abiertos en la biotita (Bt), (x 200). d) Libros de caolinita (K) poco definidos, fantasmales, (x 200). e) Saprolito: migración de hematita (He) hacia grietas y fisuras, (x 200). f) Nivel sedimentario con cuarzo monocristalino (Qm) y hornblenda fresca (Hb), (x 100). Con analizador.

Muestra	Cuarzo (%)	Caolinita (%)	I / S (%)	Esmectita (%)	Anatasa (%)
LC1	14	77	6	3	---
LC2	12	80	5	3	---
LC3	17	75	5	3	Trazas
LC4	24	70	4	2	Trazas
LC5	21	73	3	2	1

Tabla 1. Composición mineralógica por difracción de rayos X en por ciento de las muestras estudiadas para este trabajo en la Cantera La Concepción (ex- La Verónica). Las muestras LC 1, 2, 3 y 4 corresponden a niveles de alteración del basamento. La muestra LC5 es del primer nivel arcilloso sedimentario, sobre el conglomerado de la Formación Balcarce.



Figura 6. Cantera Estancia Santa María, Chillar. El nivel arcilloso en explotación corresponde al saprolito. El saprock constituye la base de explotación de la cantera.

La roca de base (Santa María) corresponde a un nivel del basamento alterado (saprock). Los estudios petrográficos realizados para este trabajo muestran que las micas negras (biotitas) son abundantes y en mucha menor proporción se observan muscovitas (micas blancas).

Las biotitas están parcialmente desferrizadas, con colores de interferencia amarillentos, y muestran distintos grados de alteración (**Fig. 7a**). Algunos cristales de biotita muestran flexuración

y orientación alrededor de cristales de cuarzo monocristalino, muy abundante. El óxido férrico (producto de la desferrización de la biotita) se ubica en los clivajes abiertos de la misma, y ocupando fracturas y fisuras intracristalinas e intercristalinas.

Las plagioclasas en este nivel de saprock son muy abundantes, la mayoría de ellas están frescas y comienza una incipiente alteración a caolinita-dickita.

Los minerales accesorios son cristales prismáticos de circón, en algunos casos, zonados.

Siguiendo hacia arriba en el perfil de las rocas alteradas del basamento, se pasa a la zona del saprolito. Aquí se observan abundantes plagioclasas con distinto grado de alteración a argilominerales (caolinita-dickita; interestratificados de illita-esmectita) en forma de agregados de coloraciones grisáceas hasta amarillentas, sobre todo a lo largo de los clivajes (**Fig. 7b**). Las biotitas se encuentran en menor proporción, también desferrizadas y alteradas a argilominerales. Los óxidos de hierro se disponen en las líneas de clivaje de la biotita o formando agregados irregulares en espacios porales. El circón es un componente accesorio. Las arcillas migran a las fisuras y rodean abundantemente a las distintas especies de minerales.

Al continuar hacia arriba en el perfil estratigráfico, y por encima del conglomerado de la Formación Balcarce, se pasa a los niveles sedimentarios de limolitas arenosas. Se nota un cambio drástico en la textura de la roca (**Fig. 7c**). Se observa laminación y disposición alternante de niveles con abundante cuarzo y niveles con abundante arcilla. El cuarzo monocristalino es muy abundante y la arcilla rodea los clastos (**Fig. 7c**). El óxido de hierro cristaliza en hematita, de formas irregulares hasta prismáticas y también observadas en secciones hexagonales (**Fig. 7d**). El circón es más abundante y de formas redondeadas. La presencia de anatasa en niveles sedimentarios es producto de removilización de la misma, formada en la parte superior del saprolito. Estos niveles no se explotan.

La composición mineralógica por difracción de rayos X (DRX) de las muestras del saprolito, estudiadas para este trabajo en la Cantera de la Estancia Santa María, se puede consultar en la **Tabla 2**.

Como puede apreciarse, hay variaciones laterales en los dos yacimientos, fundamentalmente en los niveles inferiores, correspondientes al saprock. Con respecto al cuarzo, éste es notoriamente más abundante en la Estancia Santa María, probablemente por variaciones locales de la roca original. La variación en la cantidad de cuarzo en LC5 y SM3 (niveles sedimentarios) se debe a procesos de erosión y removilización de materiales transportados.

Sobre la base de los análisis petrográficos, las rocas del basamento (bedrock) de ambos perfiles corresponderían a tonalitas biotíticas.

En cuanto a los análisis químicos realizados en las muestras de La Concepción y Estancia Santa María, los resultados de ambos pueden consultarse en la **Tabla 3**.

Los análisis químicos de elementos mayoritarios indican que las rocas poseen variable contenido de Al_2O_3 (15-31,6 %) debido a la destrucción de las plagioclasas y de las micas y concentración de Al_2O_3 en los argilominerales en niveles superiores del basamento alterado. Los contenidos en SiO_2 corresponden a la incorporación de sílice a los argilominerales y a la cristalización de cuarzo en grietas, excepto en SM3 y LC5 (niveles sedimentarios) con procesos de erosión y transporte en los mismos.

El bajo contenido de Fe_2O_3 (0,4-1,24 %) se debe a que éste es el primer elemento que se solubiliza en un perfil de meteorización. Los bajos contenidos en Na, Mg y Ca y sus variaciones, se corresponden, también, con la pérdida de estos elementos en un perfil de meteorización, excepto en las muestras LC5 y SM3 (niveles sedimentarios) en donde su aumento se debe a la presencia de micas sin alterar, transportadas a la cuenca. En cuanto a la variación en el contenido de K, éste es coherente con la destrucción de las micas a medida que avanza la meteorización en las rocas del basamento. Su aumento en LC5 y SM3 (niveles sedimentarios) es coherente con el aporte de micas sin alterar, materiales transportados a la cuenca. El aumento de TiO_2 en los niveles sedimentarios (LC5

y SM3) se debe a la removilización del mismo, contenido originalmente en las micas y la formación de anatasa por un lado, y al transporte a la cuenca de micas sin alterar que lo contienen.

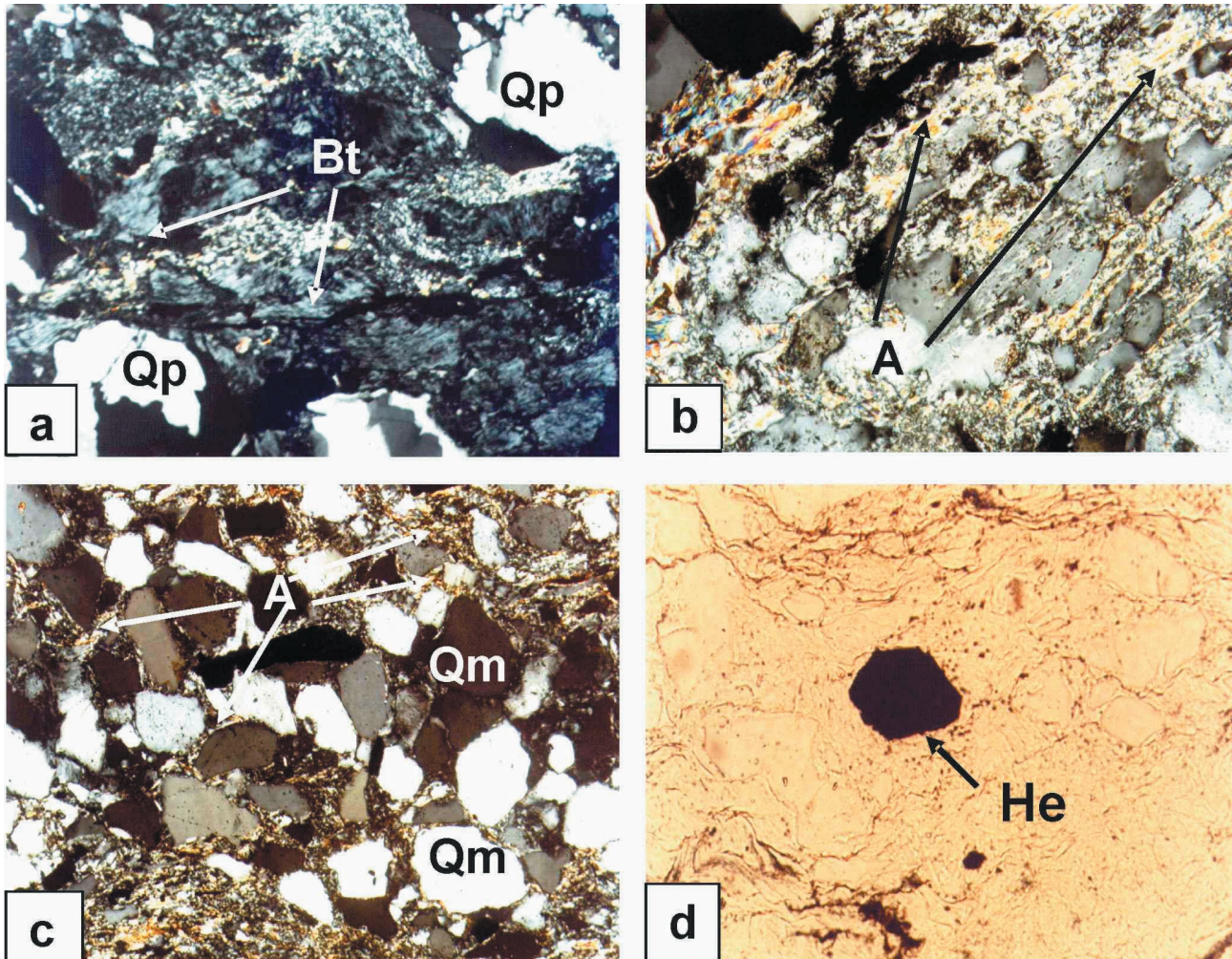


Figura 7. Estudio petrográfico. Cantera Santa María, Chillar. a) Saprock: biotitas parcialmente desferrizadas y flexuradas (Bt); cuarzo policristalino (Qp). Fotografía tomada con analizador, aumento x 200. b) Saprolito: argilominerales (A) formando agregados a lo largo del clivaje (K-D). Fotografía tomada con analizador, aumento x 200. c) Nivel sedimentario: laminación y disposición alternante de zonas con cuarzo monocristalino y niveles arcillosos. Fotografía tomada con analizador, aumento x 200. Arcilla (A) rodeando a los cristales de cuarzo monocristalino (Qm). Fotografía tomada con analizador, aumento x 200. d) Nivel sedimentario: Hematita (He) de sección hexagonal. Fotografía tomada sin analizador, aumento x 100.

Muestra	Cuarzo (%)	Caolinita (%)	I / S (%)	Esmectita (%)	Anatasa (%)
SM0	56	---	43	1	---
SM1	39	56	4	1	---
SM2	44	50	5	1	---
SM3	38	54	5	1	2

Tabla 2. Composición mineralógica por DRX (en por ciento) de muestras estudiadas para este trabajo de la cantera Santa María. Las muestras SM0, SM1 y SM2 corresponden al yacimiento residual y la SM3 a niveles sedimentarios de la Formación Balcarce.

Muestra	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	SM0	SM1	SM2	SM3
SiO ₂ %	51,1	53,8	56,2	53,3	54,2	76,1	72,6	71,2	61,3
Al ₂ O ₃ %	31,9	30	28,9	31,6	30	15,1	18,85	19,55	23
Fe ₂ O ₃ %	1,24	1	1,07	1,12	0,7	0,43	0,44	0,43	0,69
CaO %	0,21	0,3	0,16	0,17	0,41	0,21	0,09	0,3	0,61
MgO %	0,2	0,24	0,14	0,15	0,26	0,17	0,14	0,14	0,44
Na ₂ O %	0,02	0,01	0,01	0,01	0,06	0,02	<0,01	0,01	0,03
K ₂ O %	0,83	0,8	0,41	0,38	0,63	3,89	0,85	0,67	1,34
Cr ₂ O ₃ %	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,03
TiO ₂ %	1,79	1,34	1,19	1,08	1,25	0,37	0,39	0,36	2,26
MnO %	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,05	<0,01	0,01	<0,01
P ₂ O ₅ %	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	0,01	0,06	<0,01	0,02	0,09
SrO %	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01
BaO %	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,05	0,05
H ₂ O- %	0,85	1,16	0,7	1,05	0,98	0,7	0,39	0,44	1,23
H ₂ O+ %	11,75	11,35	11,05	12,5	10,9	2,4	6,55	6,97	7,82
LOI %	12,45	12,25	11,35	12,6	12,4	3,24	6,88	7,32	9,47
Total %	99,8	99,8	99,6	100,5	100	99,7	100	100	99,3

Tabla 3: Composición química en por ciento de elementos mayoritarios, agua de constitución (H₂O +) agua de absorción (H₂O -) y pérdida por calcinación (LOI), de las muestras estudiadas para este trabajo. Cantera La Concepción (muestras LC) y Estancia Santa María (muestras SM).

Microscopía electrónica de barrido de arcillas de La Concepción

El análisis por microscopía electrónica de barrido sobre muestras del saprock de La Concepción ejemplifica la textura de la roca. Se observan cristales de caolinita hexagonales naciendo de un feldespato (plagioclasa). Los cristales se agrupan formando “acordeones” o “libros”, típico cuando se trata de minerales neoformados. Además puede verse, en el extremo derecho medio de la foto, un cristal de goethita (G), con los bordes aserrados (**Fig. 8a**). La **Fig. 8b**, también pertenece al saprock y muestra un cristal muy delgado y redondeado de goethita creciendo sobre cristales de cuarzo, y demostrando la secuencia de formación. Pasando al saprolito, paquetes de ex-micas, parcialmente desferrizadas, con los clivajes abiertos y transformadas en caolinita pueden verse en la **Fig. 8c**. En cambio, la **Fig. 8d** exhibe el crecimiento diagenético de “acordeones” de caolinita, de formas regulares, hexagonales, en los poros de areniscas (cuarcitas), además de interestratificados de illita-esmectita (sector superior izquierdo de la imagen), de formas filamentosas, en los depósitos sedimentarios de la Formación Balcarce, superpuestos al saprolito.

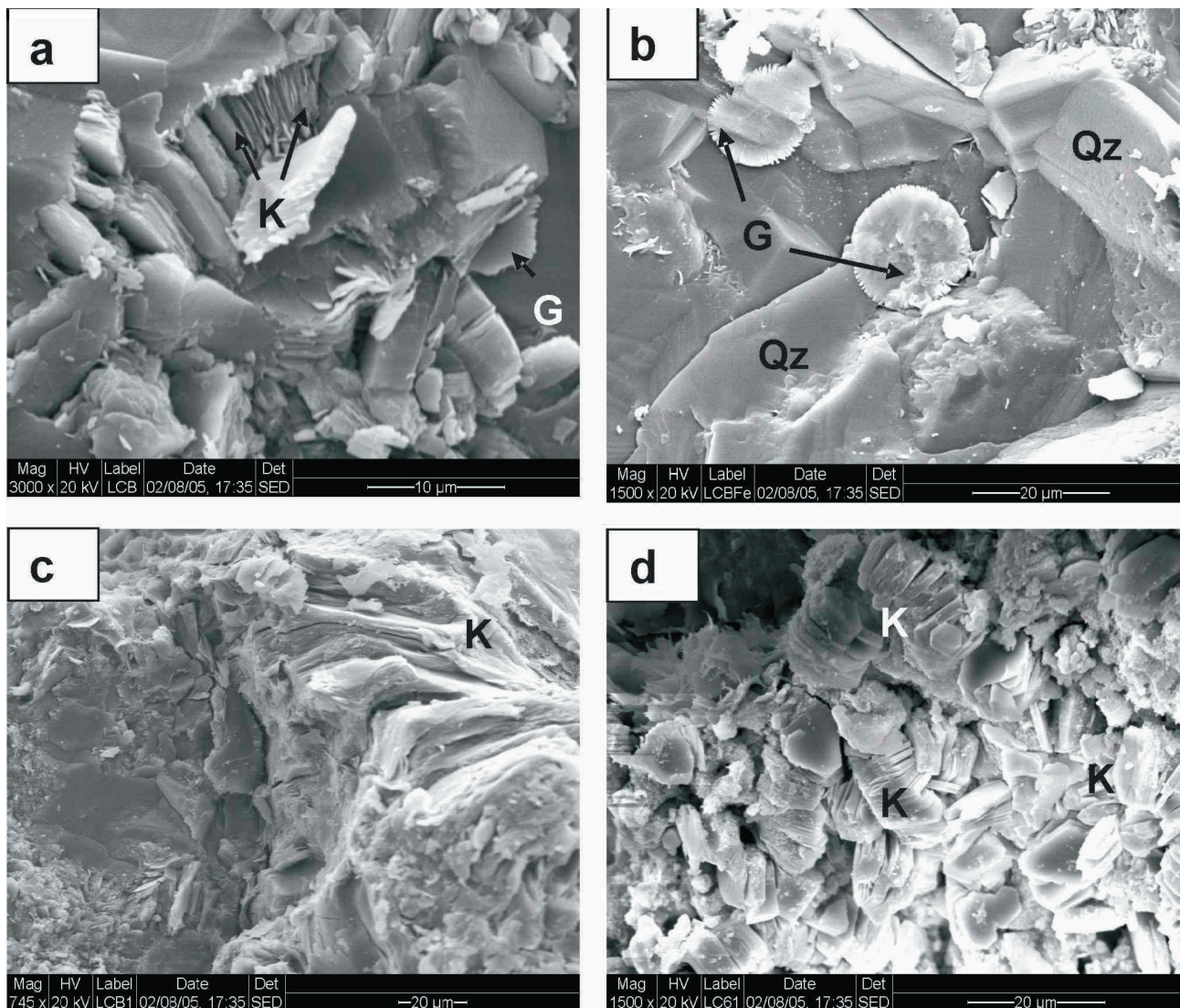


Figura 8. Microfotografías electrónicas de barrido. Cantera La Concepción. a) Saprock: cristales de caolinita naciendo de una plagioclasa. b) Saprock: cristales redondeados y delgados de goethita creciendo sobre cristales de cuarzo. c) Saprolito: micas parcialmente desferrizadas con clivajes abiertos y transformadas en caolinita. d) Nivel sedimentario: acordeones de caolinita diagenética, de contorno hexagonal. La barra en las fotos indica la escala.

Propiedades tecnológicas de las arcillas residuales de La Concepción y Santa María

Sobre la base del resultado de los análisis mineralógicos y fisicoquímicos obtenidos de Schalamuk et al. (1992), y de los realizados por los autores para este trabajo, podemos concluir que las arcillas del saprolito de la zona de Chillar son similares y tienen un Índice de plasticidad entre 3 y 5, una densidad aparente entre 2,05 y 2,1, porosidad aparente entre 18,3-23,2 % y un cono pirométrico equivalente (CPE) entre 26 y 34. La refractariedad de un material aumenta cuanto menor es el contenido en álcalis. Estos valores se representan en la **Tabla 4**.

El ensayo de Cono Pirométrico Equivalente (CPE), para la caracterización de materiales refractarios, permite conocer la temperatura de ablandamiento de un material por la acción del calor. Se efectuó con el método detallado según norma IRAM 12507.

El color después de quemado es blanco marfil, que resultará en una cerámica clara como producto final.

Se clasifican como arcillas refractarias de elevada (CPE 31 a 34) y mediana (CPE 26 y 27) calidad, en coincidencia con los elevados porcentajes de Al_2O_3 observados en los análisis químicos y la abundante presencia de caolinita, con dickita subordinada, como argilominerales predominantes en los niveles del saprock y saprolito.

Muestra	Temperatura ° C	C.P.E
LC1	1680	31
LC2	1765	34
LC3	1700	31,5
LC4	1665	30
LC5	1680	31
SM0	1621	26
SM1	1680	31
SM2	1680	31
SM3	1640	27

Tabla 4. Cono pirométrico equivalente (CPE) y temperatura en grados centígrados de las muestras analizadas en la cantera La Concepción y Santa María.

Partido de Benito Juárez...

Sector El Ferrugo y Constante 10 - El Cañón.

Yacimientos residuales. Características, composición mineralógica y química

Hacia el sureste de los anteriores yacimientos descriptos, se encuentran los depósitos de arcillas de El Ferrugo, en la estancia Tres Lomas, 11 km al este de la ruta nacional Nº 3, y las minas Constante 10-El Cañón, ubicadas 4,3 km al NO de la Estación López, partido de Benito Juárez; sobre el faldeo NE del Cerro La Tortuga (la Estación López se encuentra a 42 km al SE de Chillar) que forman parte de una serie de afloramientos alineados en dirección NO-SE (Fig. 9).

En Constante 10, es posible ver que el basamento cristalino ha sido alterado por procesos de meteorización que dieron como resultado una secuencia, de abajo hacia arriba, de: bedrock, saprock, saprolito y dos paleosuelos superpuestos. La Fig. 10A muestra la ubicación de la zona estudiada en el mapa de las Sierras de Tandilia. La Fig. 10B muestra la reconstrucción inferida de la distribución de distintas zonas de alteración del basamento y paleosuelos, cubierto, a su vez por la Formación Balcarce.

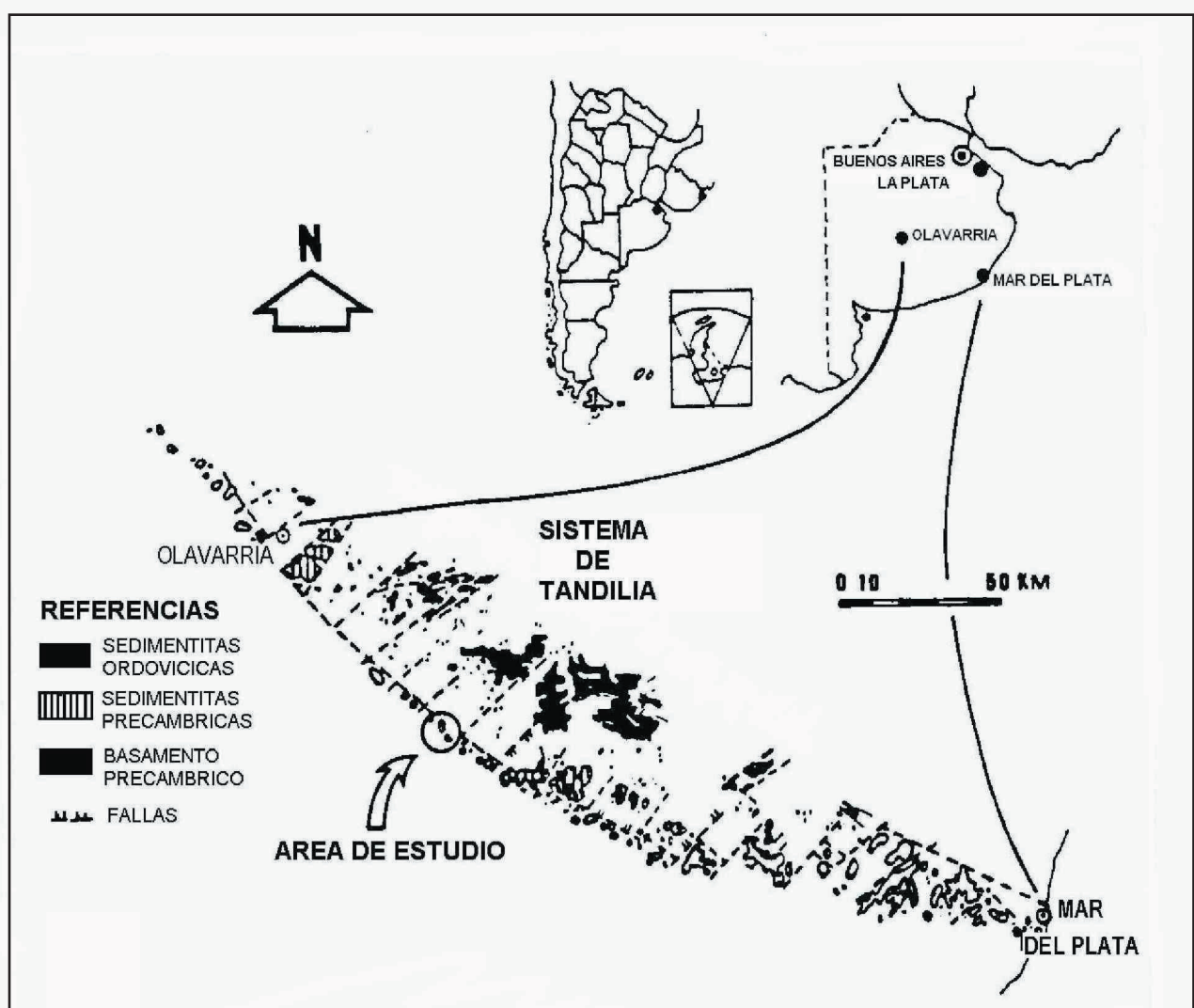


Figura 9. Área de estudio de afloramientos alineados en dirección NO-SE, de alteración del basamento.

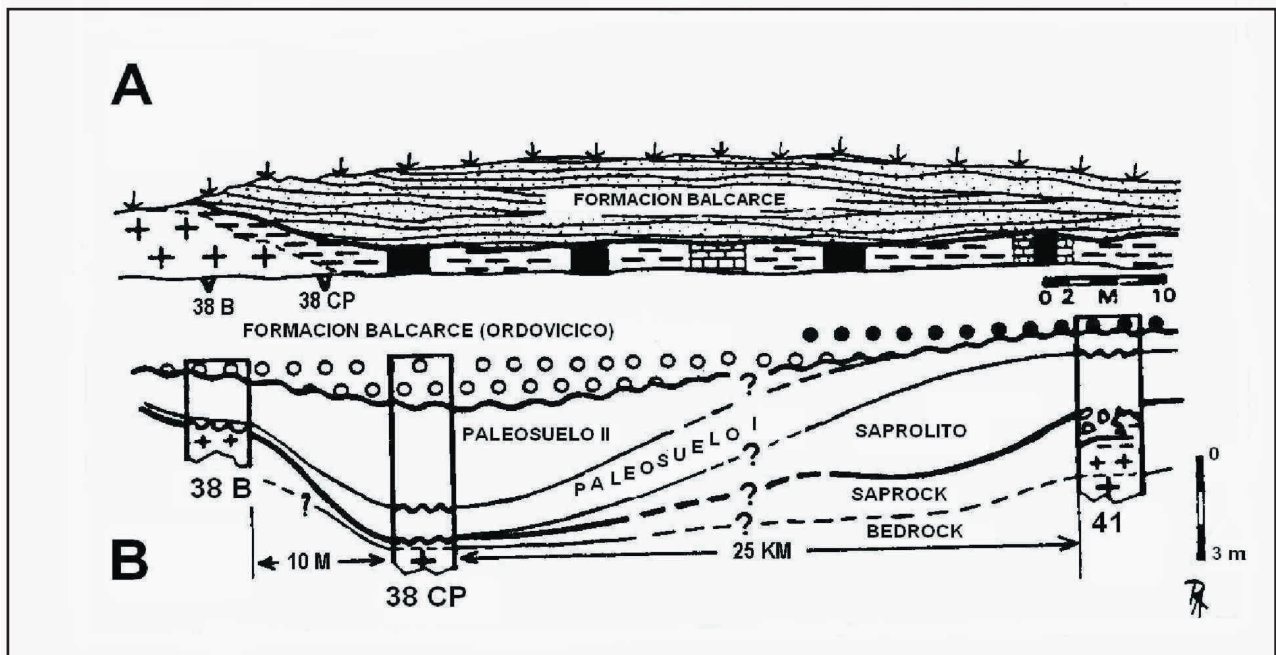


Figura 10. A) Esquema de la cantera de Constante 10, mostrando el basamento alterado y las cuarcitas de la Formación Balcarce. B) Reconstrucción inferida a partir de las distintas zonas de alteración del basamento y paleosuelos cubiertos por la Formación Balcarce (Iñíguez et al., 1990).

Sin embargo, en El Cañón sólo es posible reconocer bedrock y saprock, probablemente debido a procesos de erosión relacionados con la trasgresión del Ordovícico temprano.

En El Ferrugo las arcillas son esencialmente similares en yacencia, espesores y características a los de Constante 10-El Cañón y también a los de La Concepción y Santa María, éstos últimos descritos anteriormente.

En cuanto a su modo de yacencia, las rocas argilizadas del basamento cristalino en Constante 10 (objeto de explotación), al estar cubiertas por conglomerados de la Formación Balcarce, de gran resistencia, han hecho posible la extracción de material dejando pilares como sostén del techo de la mina, siendo uno de los pocos yacimientos de la provincia de Buenos Aires que se ha explotado por sistema de galerías.

Los estudios petrográficos realizados en colaboración (Iñíguez et al., 1990) permiten observar que las rocas del basamento, con el menor grado de alteración (bedrock) de Constante 10, son de grano fino, de colores rojizos y castaños. Están compuestas por plagioclasa (oligoclasa: An 17-22%), hornblenda, cuarzo monocristalino, micas biotíticas y escasa apatita. Las biotitas están desferrizadas y el óxido de hierro liberado resultante rellena grietas y fisuras. También hay escasa presencia de muscovita (mica blanca). La hornblenda, de color castaño verdoso, está parcialmente alterada y muestra inclusiones de circón. Fisuras irregulares atraviesan la roca y están generalmente rellenas con caolinita. Abundante esmectita (arcillas expansivas) producida por la alteración por meteorización de la hornblenda, así como minerales interstratificados del tipo I/S (illita-esmectita) e illita-vermiculita, constituyen la fracción fina (**Fig. 11a**).

Transicionalmente, hacia arriba, se pasa a un sector más alterado del basamento (saprock). El mismo muestra relictos de la textura de la roca original, pero la mayoría de las plagioclasas han sido transformadas en caolinita, mientras los interstratificados I/S persisten aún, y la esmectita desaparece. Las micas están alteradas a I/S y el contenido de cuarzo disminuye (**Fig. 11b**). Los minerales accesorios son circón, hematita, titanita y anatasa autigénica. En esta zona se encuentran abundan-

tes agregados en roseta, de grano muy fino, de dickita, caracterizada por espectroscopia infrarroja. La meteorización de la biotita produjo, en primer término, la formación de vermiculita y de illita-vermiculita.

Subsiguiente alteración dio lugar a la formación, principalmente, de caolinita, hematita y goethita, rellenando grietas y fisuras.

Siguiendo hacia arriba en el perfil de meteorización del basamento se encuentra una zona completamente argilizada: el saprolito. Está formado por abundante caolinita-dickita y, en menor cantidad, por I/S. Escasos cristales de plagioclasa, aún distinguibles externamente, han sido totalmente transformados en caolinita. Las micas ya se han alterado también, completamente a caolinita. El cuarzo varía entre 20 y 30 %, y disminuye hacia arriba.

En algunas zonas se han detectado hasta dos niveles de paleosuelos, producto de la removilización del material infrayacente, además de aporte sedimentario. Su composición es de abundantes agregados vermiformes de dickita insertos en una masa fina de caolinita (**Fig. 11c**) y menor proporción de I/S. La biotita está totalmente desferrizada y alterada. Anatasa (**Fig. 11d**) y titanita son comunes. Las grietas y fisuras están rellenas con caolinita e hidróxidos de hierro (goethita). El efecto de elutriación (transporte de materiales sólidos desde niveles más superiores en el perfil y su deposición a lo largo de fisuras y grietas) es responsable del relleno de fracturas con caolinita y óxidos e hidróxidos de hierro en todos los niveles del perfil de meteorización; excelente indicio de que se trata de un perfil de meteorización.

De acuerdo a los estudios petrográficos realizados, las rocas del basamento cristalino de la zona del Ferrugo y Constante 10 son muy similares a los de La Concepción. Las rocas se clasifican, en este caso, como tonalitas biotíticas y tonalitas.

Las arcillas de El Ferrugo son de colores blanquecinos y, en Constante 10, blanquecinos hasta verdosos, y rojizos -en la parte inferior- debido al aumento, en profundidad, de la concentración de óxidos de hierro (hematita).

Las rocas son macizas, muy compactadas, con “ojos” de material verdoso diseminado irregularmente y se observa, a simple vista, presencia variable de cuarzo.

La composición mineralógica por difracción de rayos X de las arcillas de El Ferrugo y Constante 10 es similar, y puede consultarse en la **Tabla 5**. La caolinita es el argilomineral más abundante, seguido de menor cantidad de I/S.

En cuanto a la composición química de elementos mayoritarios de las arcillas de El Ferrugo y Constante 10, la misma se muestra en la **Tabla 6**.

Las variaciones en los porcentajes son atribuidas a que las muestras de El Ferrugo corresponden a niveles del saprock, y las de Constante 10 al saprolito. En efecto, la caolinita (con dickita) es más abundante en Constante 10, y la illita-esmectita y micas, son más escasas. Al tratarse de arcillas formadas “*in situ*”, ricas en caolinita, se ha llegado a un grado de transformación más avanzado de los feldespatos originales del basamento en argilominerales caoliníticos y, a su vez, una mayor transformación de illita-esmectita y de las micas, también en minerales caoliníticos hacia la parte superior del depósito.

Para demostrar estas aseveraciones, estudios detallados en Constante 10, (Iñíguez et al., 1990) han permitido corroborar lo antedicho.

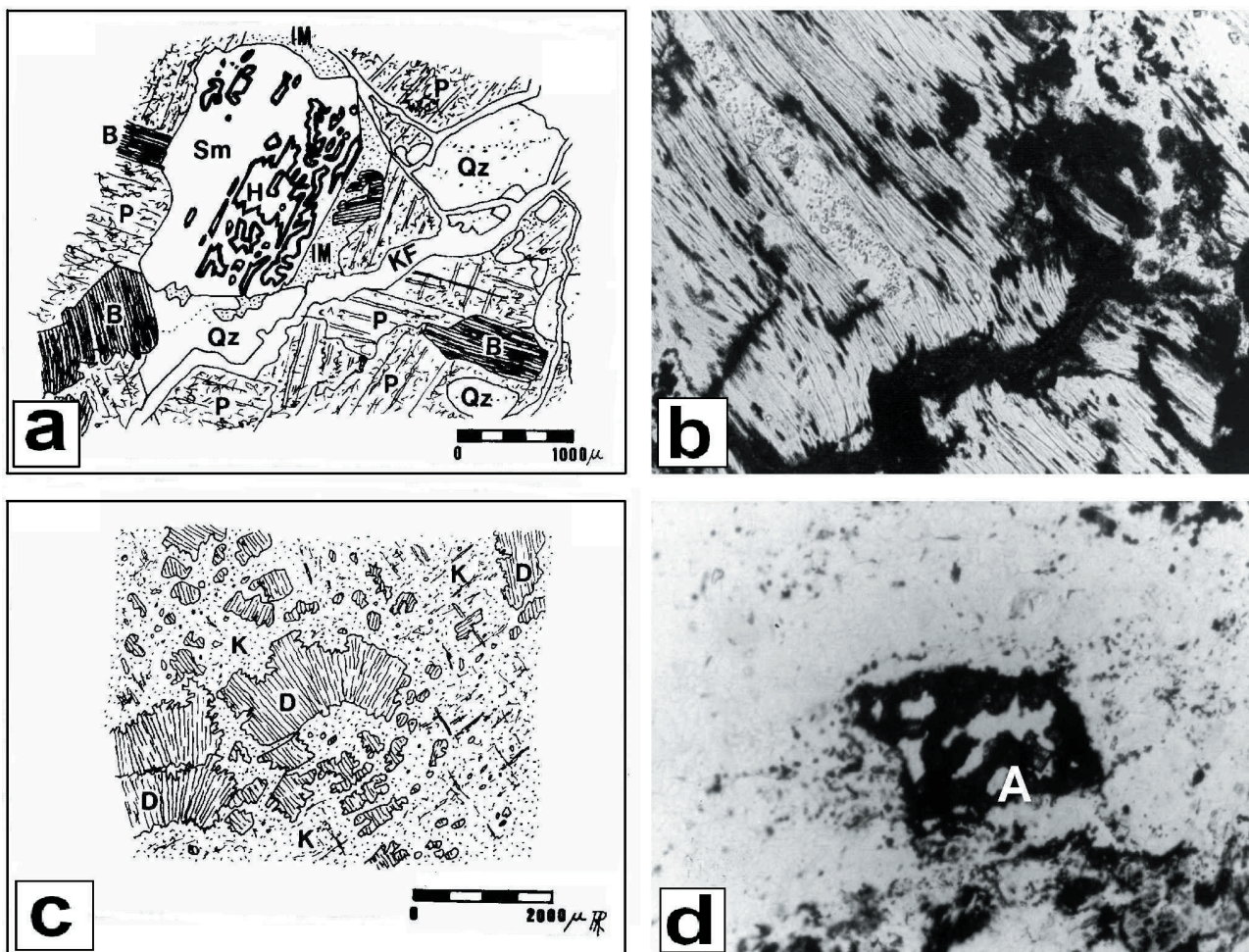


Figura 11. Petrografía de muestras de Constante 10. a) Bedrock: abundante cuarzo (Qz), plagioclasa sericitizada (P), biotita (Bt), hornblenda (H) alterada a esmectita (Sm). b) Saprock: biotita desferrizada (Bt) y alterada a material Illítico, (x160). c) Paleosuelo II, agregados largos vermiformes de dickita (D) en medio de finos agregados de caolinita (K). d) Paleosuelo I, Cristales de anatasa diagenética, tamaño de 100 micrones, (x40) (Zalba y Andreis, 2001).

Composición mineralógica	El Ferrugo	Constante 10
Caolinita %	63	70
Illita-esmectita y/o muscovita %	6	21
Cuarzo %	31	9

Tabla 5. Composición mineralógica (en por ciento) de las arcillas de El Ferrugo y Constante 10 (Garrido et al., 1984).

Elementos mayoritarios	El Ferrugo	Constante 10
SiO ₂	60,3	46,8
Al ₂ O ₃	25,5	36,0
Fe ₂ O ₃	1,4	0,7
TiO ₂	1,4	1,5
CaO	2,2	1,0
MgO	0,6	0,3
MnO	-	-
Na ₂ O	0,58	0,22
K ₂ O	0,44	1,45
H ₂ O ⁻	-	-
H ₂ O ⁺	9,0	11,8

Tabla 6. Composición química de las arcillas de El Ferrugo y Constante 10 en muestra total expresada en porcentaje en peso (Garrido et al., 1984).

Las **Figs. 12 y 13** muestran tres perfiles de detalle (P38CP, P38B y P41), donde pueden apreciarse análisis modales y la variación vertical en la composición mineralógica y química y la separación, sobre la base de diversos análisis, de diferentes zonas de meteorización en el basamento (bedrock, saprock, saprolito y paleosuelos).

La **Tabla 7** muestra la variación en los porcentajes de argilominerales en las distintas zonas de meteorización.

La **Tabla 8** muestra los análisis químicos correspondientes a estos perfiles. El perfil P41, el más completo, sirve para resumir las variaciones encontradas. El aluminio permanece prácticamente inmóvil durante la meteorización y fue incorporado en los argilominerales resultantes. El enriquecimiento en aluminio en los paleosuelos, formados por meteorización de las rocas originales del basamento, no es pronunciado, como sucedería en otro tipo de rocas que tuvieran una similar composición total. Su aumento es interpretado como derivado de su removilización, a partir de la biotita, y subsiguiente incorporación a los argilominerales.

Por un lado, el silicio es conservativo, con algunas variaciones que atestiguan condiciones ácidas de meteorización. Por el otro lado, su aumento en el paleosuelo 1 (P1), es consistente con la incorporación de componentes detríticos (sedimentarios).

El aumento de titanio se interpreta como derivado de la movilización a partir de la biotita. Niobio e ytrio se comportan como el titanio, y, presumiblemente estaban contenidos en minerales de titanio y en las micas.

Calcio y sodio, los elementos más móviles, muestran pérdidas de 99,76 % y 89 % respectivamente, cuando se pasa desde el bedrock a los paleosuelos. Las grandes pérdidas de estos elementos marcan la base de la meteorización química del perfil, y el límite entre el bedrock y el saprock. La pronunciada pérdida hacia arriba del perfil en sodio es la característica más consistente de los paleosuelos de todas las edades geológicas.

La pérdida de magnesio es consistente con la destrucción de las micas y con la formación de caolinita-dickita. Esto sugiere un intenso proceso de descomposición que tuvo lugar con suficiente agua en los poros de la roca para permitir la remoción de estos elementos (calcio, sodio, magnesio) y también indica un clima húmedo durante la meteorización. El hierro decrece desde el bedrock hacia arriba, pero aumenta en forma pronunciada en la base del paleosuelo. Durante la formación del saprolito, las soluciones deben haber sido ácidas y, cuando el paleosuelo se formó, debe haber habido una mejor oxigenación y tuvo lugar la precipitación de hierro diagenético. El comportamiento del hierro es similar al del manganeso, excepto para la parte más superior del perfil (paleosuelo). Hay una pérdida correlativa, aunque mayor de manganeso, como debería esperarse si el hierro hubiera sido removido por procesos de meteorización.

Como el potasio y rubidio son abundantes en muestras profundas del bedrock y saprock y disminuyen en el paleosuelo y, como no se han encontrado feldespatos potásicos, estos elementos químicos deben haber estado contenidos en las micas, y su decrecimiento es coherente con la destrucción de las mismas hacia los niveles superiores. Fenómenos postdeposicionales (diagénesis temprana) pueden ser responsables del aumento del potasio en el saprock y en el saprolito, por formación de I/S.

La pérdida de fósforo es coherente con la ausencia de organismos capaces de fijarlo en el suelo. El comportamiento del circonio, que aumenta, en general, hacia arriba, es el esperado, debido a su alta estabilidad durante la meteorización.

El aumento notable del fósforo en el paleosuelo es un fenómeno normal. Finalmente el estroncio se pierde progresivamente hacia arriba, fenómeno consistente con la gran movilidad de este elemento químico durante la meteorización.

En cuanto al perfil P38CP, el mayor enriquecimiento en aluminio observado se relaciona con un mayor contenido en caolinita-dickita en los paleosuelos de este perfil. (P1 y P2). El titanio se conserva, salvo en la transición entre el bedrock y el saprock. La pérdida de silicio entre P1 y P2 coincide con una gran concentración de hierro porque, como los procesos de meteorización alcanzaron esta profundidad, avalado por el contenido de sodio, la concentración de hierro debe haber sido causada por removilización y precipitación diagenética.

Tendencias erráticas de algunos de los óxidos en el perfil P38B se interpretan como causadas por la existencia de dos paleosuelos superpuestos, que experimentaron procesos erosivos y aporte sedimentario. Estos datos representan un resumen de las interpretaciones publicadas en Iñiguez et al. (1990).

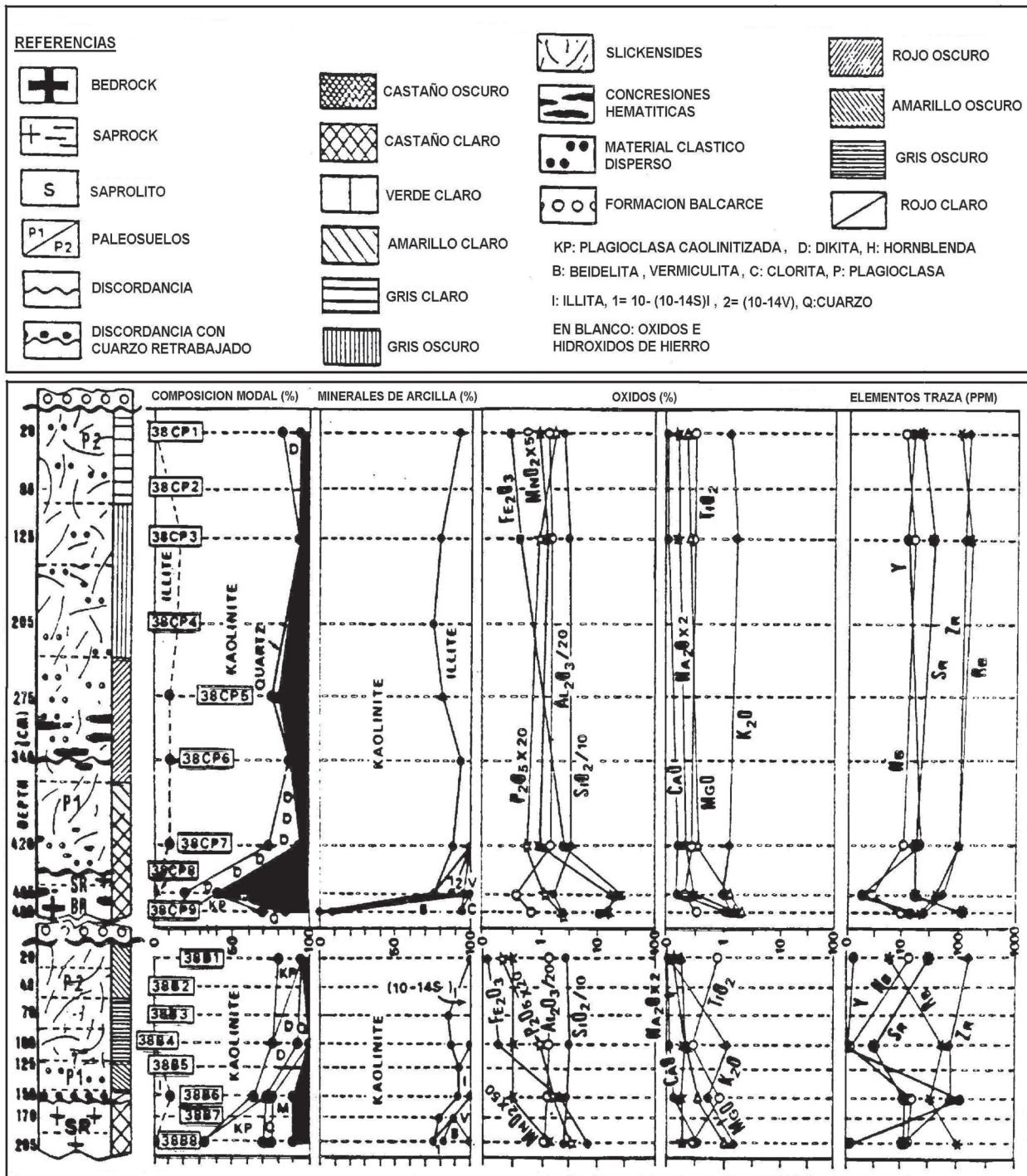


Figura 12. Constante 10. Dos perfiles (38CP y 38B) de detalle de la composición modal de las rocas del basamento alterado y los paleosuelos I y II, mineralogía de arcilla, porcentaje en peso de óxidos y elementos traza (Iñíguez et al. 1990).

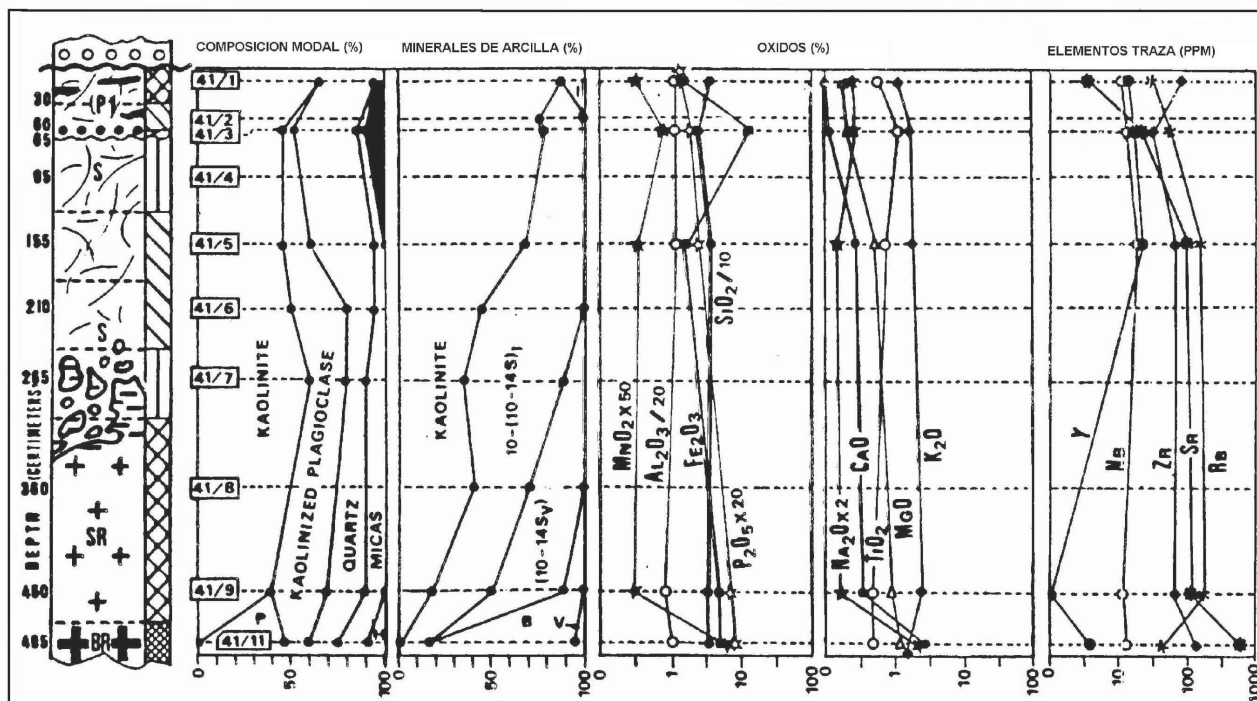
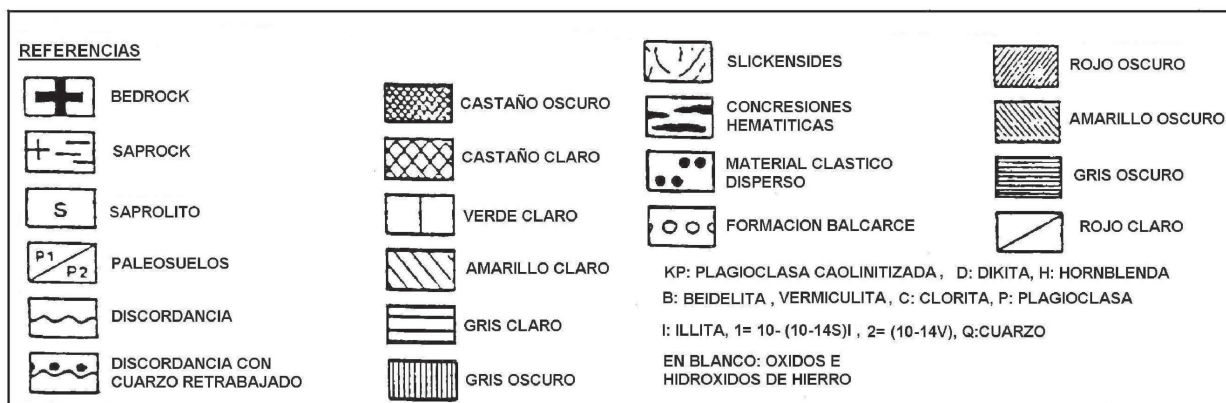


Figura 13: Constante 10. Un perfil de detalle (P41) de la composición modal de las rocas del basamento y el paleosuelo I, mineralogía de arcilla, porcentaje en peso de óxidos y elementos traza (Iñiguez et al. 1990).

Profundidad (m)	Zonas de meteorización	Muestra	Caolinita	10-(10-14S)	Illita	(10-14v)	Montmorillonita	Vermiculita	Clorita
0,20	P1	41/1	88	---	12	---	---	---	---
0,65	S	41/3	83	---	---	---	---	---	---
1,55		41/5	67	---	---	---	---	---	---
3,60	SR	41/8	40	30	---	30	---	---	---
4,50		41/9	18	32	---	41	10	---	---
4,95	BR		---	15	---	---	81	4	---
0,20	P2	38CP1	95	---	5	---	---	---	---
1,25		38CP3	83	---	17	---	---	---	---
4,20	P1	38CP7	88*	---	12	---	---	---	---
4,65	SR	38CP8	74*	12	---	6	---	8	---
4,80	BR	38CP9	---	5	---	---	84	4	7
0,20		38B1	100	---	---	---	---	---	---
0,70	P2	38B3	88	12	---	---	---	---	---
1,00		38B4	86*	14	---	---	---	---	---
1,50	P1	38B6	92	---	8	---	---	---	---
1,70	SR	38B7	79	---	9	---	---	12	---
2,0		38B8	70	11	---	---	19	---	---

Tabla 7. Variación vertical de argilominerales, por difracción de rayos X sobre muestra orientada (< 2 micrones) en por ciento, en los perfiles P41; P38CP y P38B, Constante 10. BD= bedrock, SR = saprock; S= saprolito; P1= paleosuelo 1; P2= paleosuelo 2. * dickita presente; 10- (10-14S) = illita; illita/ esmectita; (10-14v)= illita/vermiculita (Iñíguez et al., 1990).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	Total	Zr	Nb	Rb	Y	Sr
41/1	60,96	0,80	24,25	1,48	0,01	0,28	0,01	0,20	1,30	0,07	10,28	99,64	95	15	45	15	5
41/3	46,38	1,03	23,15	17,40	0,02	0,33	0,02	0,18	1,66	0,16	9,53	99,86	40	17	72	20	36
41/5	57,04	0,88	22,85	1,38	0,01	0,74	0,41	0,10	2,55	0,19	12,9	99,05	42	29	135	36	104
41/9	54,17	0,63	18,60	6,36	0,01	0,98	0,56	0,10	3,72	0,44	13,98	99,55	75	10	218	-	158
41/11	52,75	0,65	19,85	6,26	0,15	1,82	4,18	1,80	1,84	0,47	9,8	99,58	178	13	64	6	850
38CP1	44,94	0,55	35,90	0,48	0,02	0,31	0,01	0,10	2,10	0,11	15,15	99,57	208	11	100	20	32
38CP3	45,40	0,55	36,50	0,63	0,03	0,41	0,01	0,10	3,36	0,06	12,58	99,63	130	25	168	12	54
38CP7	46,25	0,50	31,50	3,39	0,02	0,58	0,17	0,13	2,28	0,04	14,75	99,62	100	14	108	25	25
38CP8	22,85	0,29	12,05	46,50	0,65	1,20	0,11	0,21	1,12	0,07	14,95	100,0	62	5	56	2	24
38CP9	47,30	0,59	16,65	12,88	0,40	2,50	0,47	1,12	2,02	0,24	14,23	99,50	34	10	32	25	122
38B1	46,85	0,91	35,90	0,08	0,01	0,09	0,01	0,10	0,01	0,02	14,10	99,09	222	26	8	2	56
38B4	53,08	0,42	32,50	0,33	0,01	0,25	0,01	0,12	1,39	0,05	11,38	99,54	88	-	81	-	6
38B6	48,30	0,97	31,55	2,99	0,01	0,58	0,05	0,10	0,76	0,08	14,23	99,62	90	20	54	150	16
38B8	48,20	0,46	28,10	8,62	0,03	1,28	0,56	0,10	1,57	0,27	10,40	99,59	15	12	112	2	14

Tabla 8. Análisis químicos de elementos mayoritarios de tres perfiles realizados en la zona de Constante 10: P41; P38CP y P38B. Zr, Nb, Y y Sr se encuentran expresados en ppm (partes por millón). Todas las demás concentraciones son en por ciento (Iñíguez et al., 1990).

Microscopía electrónica de barrido en arcillas residuales de Constante 10

Las observaciones por microscopía electrónica de barrido en Constante 10 muestran en el saprock, del Perfil 41 (muestra 41/8), tres microfotografías electrónicas que permiten observar: un agregado de esmectita, con textura “en panal de abeja” (**Fig. 14a**); disolución diagenética de cuarzo piramidal (**Fig. 14b**), y un pellet de Fe₂O₃ diagenético, sobre cristales de mica (**Fig. 14c**). Ya en el saprolito, “acordeones” de caolinita, formados a partir de mica, son claramente visibles (**Fig. 14d**). También en el Perfil 41 (muestra 41/1; paleosuelo 1), se observan agregados de arcillas, predominantemente caolinita, y un pellet de Fe₂O₃ (**Fig. 14e**).

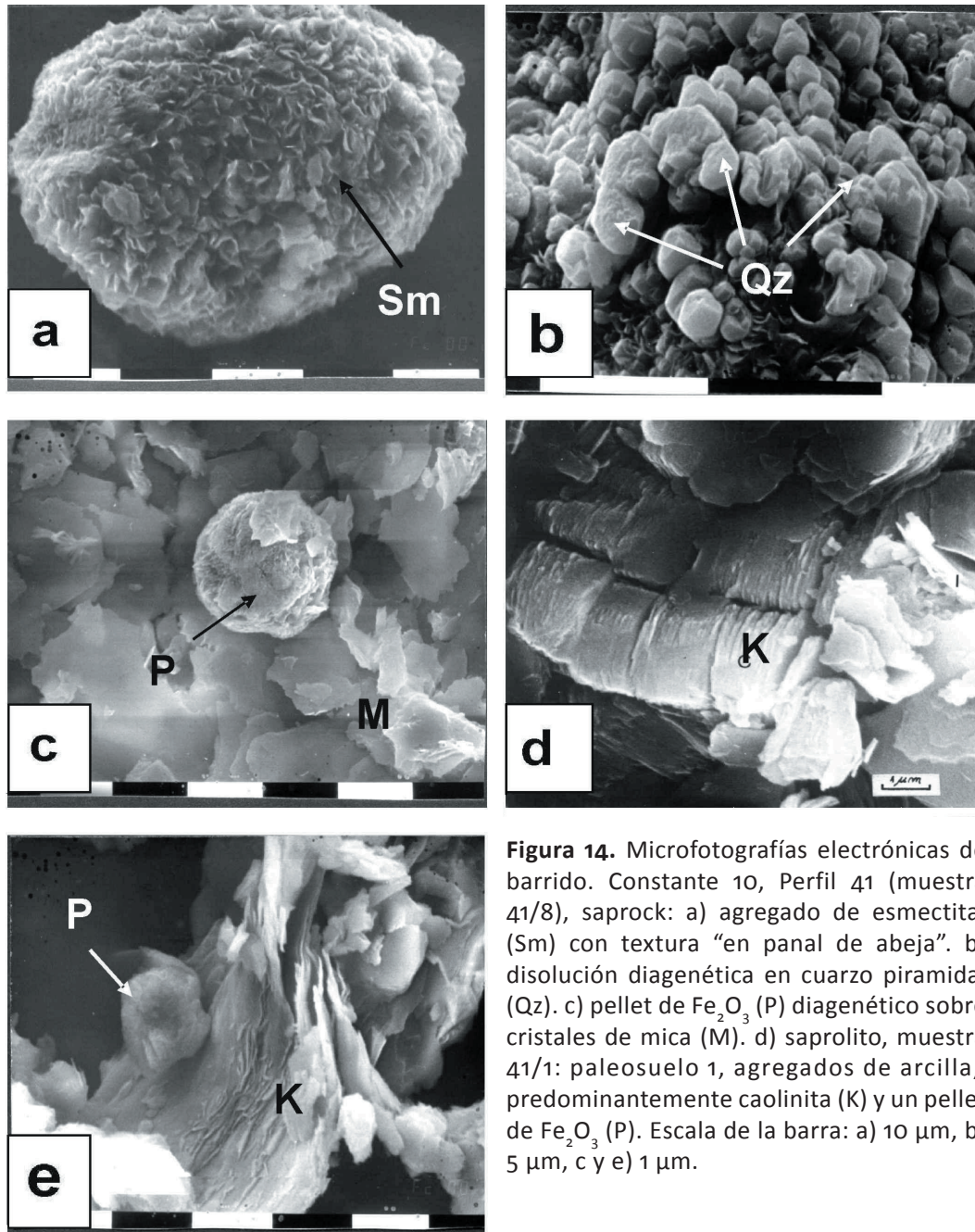


Figura 14. Microfotografías electrónicas de barrido. Constante 10, Perfil 41 (muestra 41/8), saprock: a) agregado de esmectita, (Sm) con textura “en panal de abeja”. b) disolución diagenética en cuarzo piramidal (Qz). c) pellet de Fe_2O_3 (P) diagenético sobre cristales de mica (M). d) saprolito, muestra 41/1: paleosuelo 1, agregados de arcilla, predominantemente caolinita (K) y un pellet de Fe_2O_3 (P). Escala de la barra: a) 10 μm , b) 5 μm , c y e) 1 μm .

Propiedades tecnológicas de las arcillas residuales de El Ferrugo y Constante 10

Cabe destacar que en las arcillas blanquecinas de Constante 10 la dickita (mineral del grupo de la caolinita, de mayor temperatura que la primera) alcanza hasta un 10 %, y probablemente está distribuida en los “ojos” mencionados. La presencia de este mineral eleva las propiedades refractarias de las arcillas.

Las técnicas normalizadas utilizadas para medir las propiedades tecnológicas corresponden a: cono pirométrico equivalente (CPE), variación lineal permanente por calentamiento, peso específico aparente, porosidad aparente, absorción de agua, determinación de la resistencia a la rotura por compresión y plasticidad. Del análisis de la **Tabla 9** -que relaciona la cantidad de miliequivalentes intercambiados por 100 gramos de arcilla (valor T) con el índice de plasticidad y la distribución granulométrica del material- se observa la correlación entre las propiedades mencionadas. En general, el valor T obtenido corresponde al esperado para materiales caoliníficos. En las arcillas de El Ferrugo, y Constante 10 (LGX 1032), con alto porcentaje de partículas mayores que 74 micrones, es baja su capacidad de intercambio y a ellas les corresponde un índice de plasticidad bajo.

Muestra	Valor T	Índice de plasticidad	Cantidad de partículas (%) > 74 μ	Cantidad de partículas (%) < 2 μ
El Ferrugo	3,8	3,9	13,0	29,6
LGX 1032	5,8	6,6	9,6	35,0

Tabla 9. Relación entre la capacidad de intercambio iónico, el índice de plasticidad y la granulometría (Garrido et al., 1984).

Los resultados obtenidos para los ensayos tecnológicos efectuados para distintas temperaturas de quema se detallan en las **Tablas 10 y 11** para cada arcilla y sobre probetas en semi-seco y barro plástico.

Las probetas calcinadas de la arcilla El Ferrugo (cono pirométrico equivalente: CPE 29) a 1200-1300 °C, presentan muy buen aspecto, sin fisuras ni agrietamientos, pocos signos de vitrificación y porosidad alrededor del 20 %. Cuando se calcina a temperaturas superiores a 1500 °C, las probetas obtenidas son muy compactas (porosidad 1,6 %), duras (alto módulo de rotura) y con poca contracción debido al alto contenido de cuarzo en este material.

	Temperatura de tratamiento (°C)	Contracción lineal (%)	Porosidad aparente (%)	Absorción de agua (%)	Peso específico aparente (10 ⁻³ Kg./m ³)	Módulo de rotura por compresión (Kpa)
Semi- seco	105-110	--	--	--	--	67,6
	1230	1,1	26,6	13,3	2,0	252,7
	1300	1,1	27,3	13,3	2,0	--
	1400	5,4	27,6	14,0	1,9	342,11
	1500	5,8	1,6	0,7	2,4	1394,4
	1600	2,6	1,0	0,4	2,3	961,5

Tabla 10. Ensayos tecnológicos. Arcilla El Ferrugo. Color después del calcinado a 1230° C: blanco (2,5 Y 8/2 Munsell Soil Color Chart). Refractariedad: CPE 29 (1650 ° C) (Garrido et al., 1984).

	Temperatura de tratamiento (° C)	Contracción lineal (%)	Porosidad aparente (%)	Absorción de agua (%)	Peso específico aparente (10 ⁻³ Kg./m ³)	Módulo de rotura por compresión (Kpa)
Semiseco	105-110	--	--	--	--	41,22
	1230	3,2	19,5	9,1	2,1	723,3
	1300	5,8	12,9	4,6	2,8	749,9
	1400	6,4	5,5	2,3	2,4	1665,5
	1500	6,4	0,3	0,6	2,4	1436,7
	1600	4,7	1,0	0,4	2,3	1070,7
Barro plástico	105-110	4,3	--	--	--	--
	1230	6,4	32,2	19,1	1,7	--
	1300	8,3	24,2	13,3	1,8	182,6

Tabla 11. Ensayos tecnológicos. Arcilla LGX 1032 (Constante 10). Color después del calcinado a 1230° C: blanco 10 YR 8/2 (Munsell Soil Color Chart). Refractariedad: CPE 31 (1683° C) (Garrido et al., 1984).

La arcilla de Constante 10 (LGX 1032) es una arcilla refractaria a la que le corresponde un CPE 31. Las probetas prensadas en semi-seco, presentan buena resistencia “en verde”. Se calcinaron hasta 1600° C. A la temperatura de 1230° C se observa poca contracción y porosidad de 19 %, mientras que a temperaturas superiores a 1400° C, resultan piezas sinterizadas con porosidad entre 0,3 y 1 %, aunque sin deformaciones ni agrietamientos y elevada resistencia mecánica.

El análisis del conjunto de las características mineralógicas, químicas, físicas y cerámicas permite establecer que las arcillas de El Ferrugo, por su refractariedad, relacionada con el alto porcentaje de caolinita y conveniente color claro, son aptas para la fabricación de refractarios de mediana calidad.

La arcilla analizada de Constante 10 (LGX 1032) es una arcilla refractaria, y resulta apta para la fabricación de piezas altamente refractarias. De acuerdo a las características de las arcillas de El Ferrugo y Constante 10, estas se pueden clasificar como “Arcillas plásticas refractarias o “Fire clays” (cf. Garrido et al., 1984).

Sectores Villa Cacique, Sierra La Juanita, Cuchilla de Las Águilas y Sierra de La Tinta

En las inmediaciones de la localidad de Barker, a una distancia de aproximadamente 60 km al SO de la ciudad de Tandil, en el partido de Benito Juárez, se ubican diversos depósitos sedimentarios de arcillas de importancia industrial, pertenecientes a distintas formaciones geológicas, de diferente edad.

Estas formaciones se extienden de NO a SE a lo largo de Villa Cacique; Sierra La Juanita; Cuchilla de Las Águilas y Sierra de La Tinta, habiendo sido detectadas por perforaciones y por la apertura de numerosas canteras, muchas de ellas actualmente en explotación.

De base a techo (ver **Fig. 3**) se han identificado, en estas distintas áreas, las siguientes unidades neoproterozoicas: Grupo Sierras Bayas (integrado por: Formación La Juanita; Formación Cerro Largo; Formación Olavarría; Formación Loma Negra); Formación Las Águilas; Formación Cerro Negro y, por último, la Formación Balcarce (ordovícica).

A continuación se tratarán por separado los tres sectores.

Sector Villa Cacique

Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica y química

En Villa Cacique, a 5 km al SO de la localidad de Barker, las canteras en explotación de Loma Negra CIASA Barker, han dejado al descubierto parte de la secuencia sedimentaria (calizas, arcillas) **Fig. 15**.

A mediados del siglo XX se localiza la fábrica de cemento Loma Negra, funcionando al principio con un sólo horno (1955/56) al cual se le incorpora un segundo horno en 1961. La fábrica de Barker tuvo su auge en las décadas del 60 y 70 y cerró sus puertas durante el 2001. Actualmente los yacimientos de caliza Loma Negra fueron adquiridos por el Grupo empresario Camargo Correa de capitales brasileños.

Las calizas, de coloraciones negras hasta chocolate, con muy delgadas intercalaciones de arcillas illíticas, se han utilizado en la industria del cemento de la provincia de Buenos Aires en los últimos años y tienen un espesor que llega a 25 metros. Estas calizas pertenecen a la Formación Loma Negra (ver **Fig. 3**).

El piso de las canteras, producto de la explotación de las calizas de la Formación Loma Negra, corresponde a la Formación Olavarría (ver **Fig. 3**), constituida por arcillitas laminadas de color turquesa a verdoso claro, de composición illítica, con cristales muy bien desarrollados y visibles a simple vista de pirita sin alterar e impurezas de calcita. Estas arcillas no se explotaron en el área.

Nota: Las arcillas de la Formación Olavarría se describirán, en detalle, en el Sector Sierras Bayas, donde se encuentra la localidad tipo.

En discordancia erosiva sobre las calizas de la Formación Loma Negra se encuentran las arcillas de la Formación Cerro Negro (ver **Fig. 3**) con un espesor medido por perforaciones de 70 metros y coloraciones gris oliva, rosadas, ocre y negras, estas últimas en la base y detectadas sólo por perforaciones en este sector.

La Formación Cerro Negro, o bien suprayace, en posición normal, a la Formación Loma Negra, o bien se encuentra como colapso, producido por disolución cárstica del techo de la caliza, rellenando antiguas cavernas cuyo techo cedió, o bien rellenando cavidades existentes, también por disolución de la caliza, previamente a la depositación de la Formación Cerro Negro. Estas variaciones existen tanto en la cantera Loma Negra de Villa Cacique (**Fig. 16 y Fig. 17**) como en la calera El Infierno, situada a 12 km al SE de Barker, a 10 km al SSE de Villa Cacique, y a 10 km al NE de la Estación La Negra. En este punto confluyen las divisiones políticas de los partidos de Juárez, Tandil y Necochea, encontrándose la calera El Infierno en este último partido. Depósitos de hasta 5 m. de espesor de esta formación también han sido detectados en un corte del camino que lleva de Barker a la calera El Infierno, conocida como Lomada Blanca, situado a 3 km al NO de la calera El Infierno.

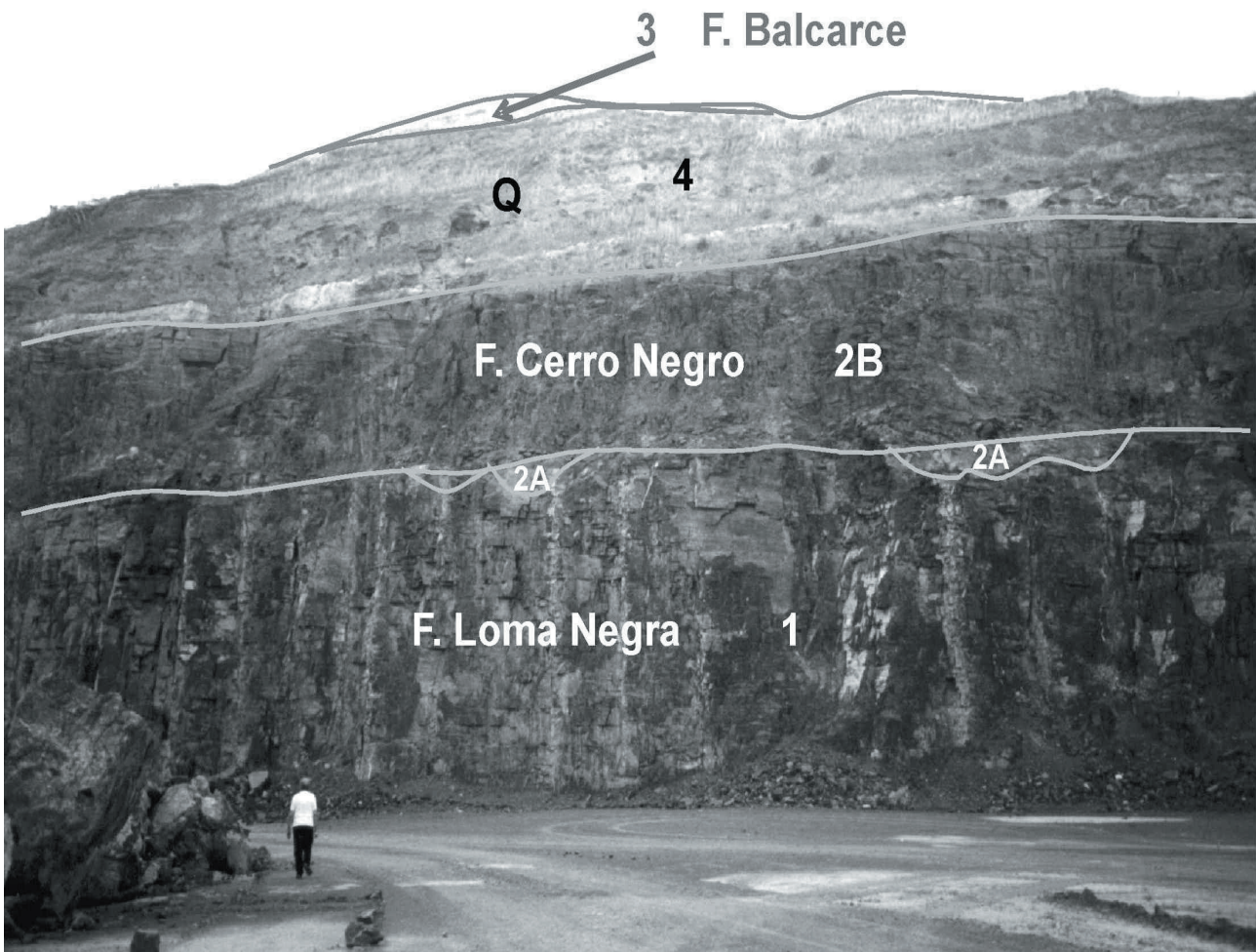


Figura 15. Cantera de calizas de Loma Negra, Villa Cacique, mostrando las siguientes sucesiones neoproterozoicas: Formación Loma Negra (1); Formación Cerro Negro (2A-cuarcitas canalizadas; 2B-sedimentos arcillosos); Formación Balcarce (3); sedimentos cuaternarios (4) (Zalba y Andreis, 2001).

La Formación Cerro Negro fue descrita por primera vez para el área de Cerro Negro, Sierras Bayas (área tipo) y descubierta por uno de los autores de este trabajo recién en 1981 (Zalba, 1981) en la zona de Villa Cacique, por la continuación del laboreo en la cantera de Loma Negra, habiéndoselas correlacionado con las descritas en la localidad de Cerro Negro, en base a criterios de yacencia y composicionales.

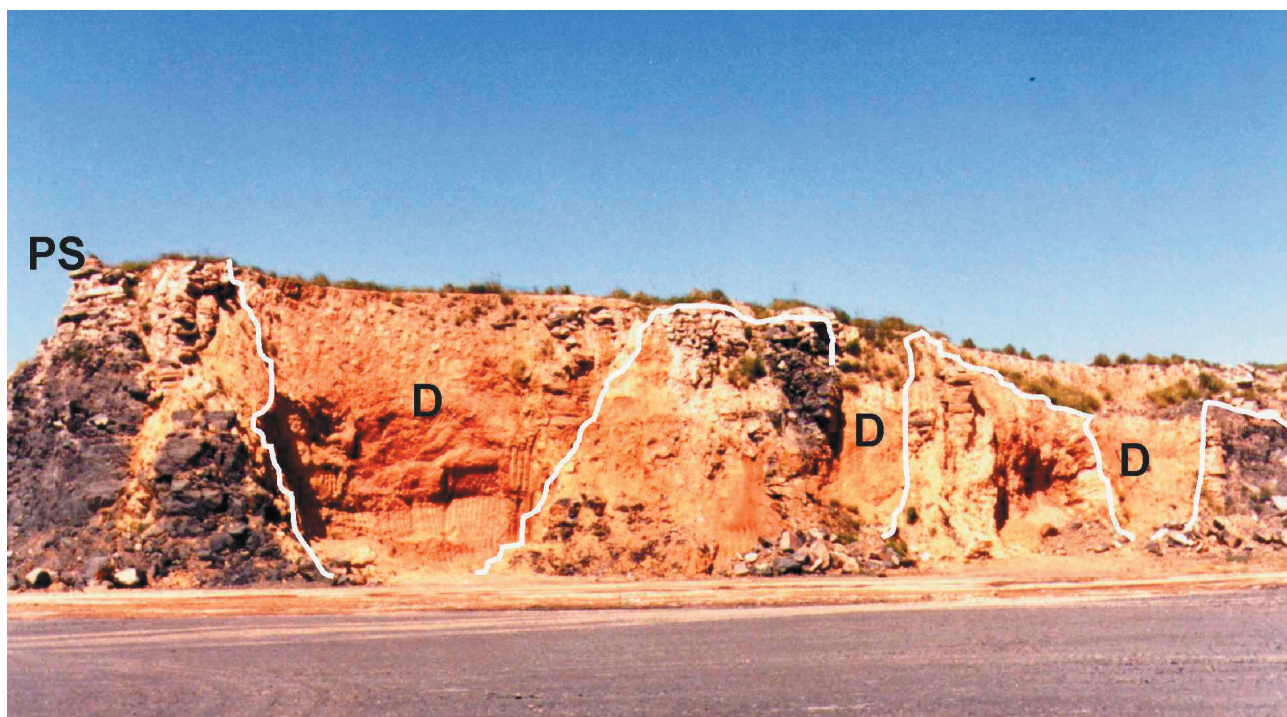


Figura 16. Dolinas (D) en calizas negras de la Formación Loma Negra, rellenas con sedimentitas arcillosas rojizas de la Formación Cerro Negro. Paleosuperficie, en blanco (PS). Villa Cacique (Zalba y Andreis, 2001).

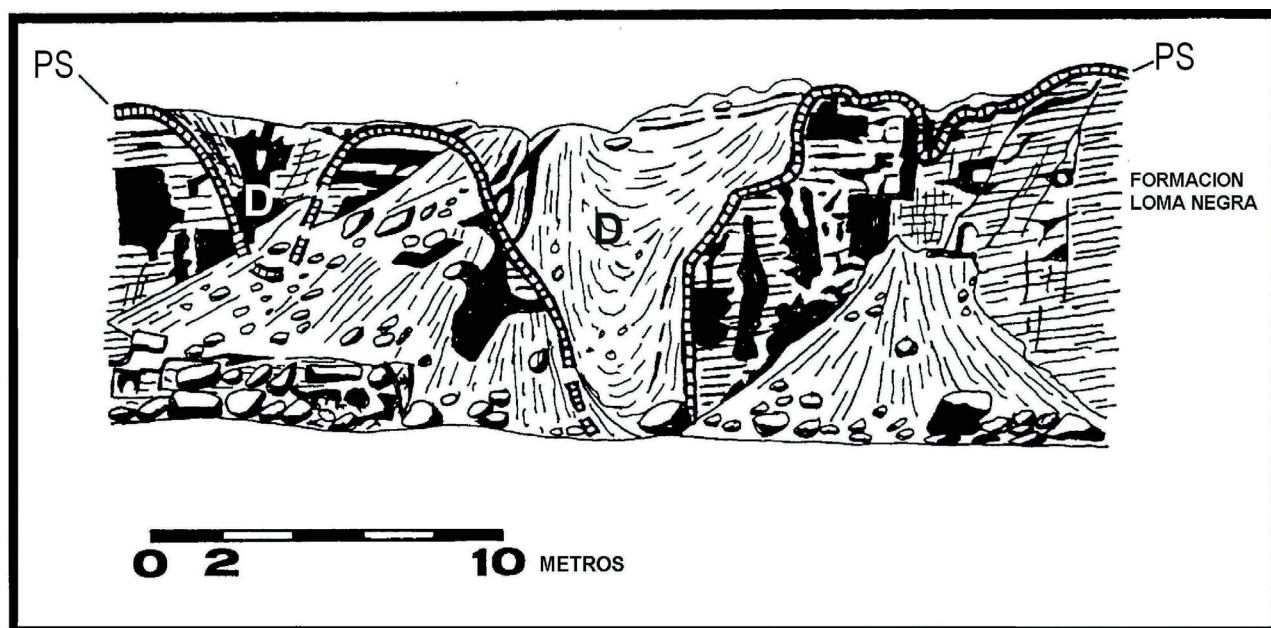


Figura 17. Esquema de dolinas (D) en calizas negras de la Formación Loma Negra, rellenas con sedimentos arcillosos rojizos de la Formación Cerro Negro. Villa Cacique. Paleosuperficie (PS) (Zalba y Andreis, 2001).

La Formación Cerro Negro, en Villa Cacique, comienza con una brecha basal de caliza en una matriz cuarcítica, con abundante pirita fresca (Fig. 18). Continúa con depósitos canalizados, lenticulares, de cuarcitas, de 2 a 5 metros de espesor y sigue, hacia arriba, con depósitos de arcilitas y

limolitas laminadas, con intercalaciones de delgados niveles de margas. El espesor visible de esta secuencia es de hasta 15 metros (**Fig. 19**). Está cubierta, en discordancia erosiva, por cuarcitas portadoras de trazas fósiles de la Formación Balcarce (ver **Fig. 3**) y, a su vez, por depósitos recientes, de espesor variable (loess y limos).



Figura 18. Brecha de caliza negra con matriz arenosa, silicificada, base de la Formación Cerro Negro, Villa Cacique.



Figura 19. Arcilitas gris-oliva, lenticulares, con intercalaciones de margas de la Formación Cerro Negro (15 metros de espesor visible), en discordancia sobre la Formación Loma Negra, Villa Cacique. Por encima, depósitos modernos.

La composición mineralógica de las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique, en un corte de camino entre Barker y calera El Infierno, y en la calera El Infierno, puede verse en la **Tabla 12**. De acuerdo a los análisis por difracción de rayos X realizados, las arcillas están representadas por illita, I/S y clorita-esmectita, con impurezas de abundante cuarzo y escasos feldespatos. También se han detectado, en Villa Cacique, escasas esmectita y alunita en algunos niveles, mientras que trazas de caolinita y halloysita se han identificado en la parte superior de la secuencia.

Los análisis químicos realizados sobre muestras de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique pueden verse en la (**Tabla 13**).

Arcilitas rosadas Villa Cacique	Illita (ab), Montmorillonita (sc), Clorita (tr)
Arcilitas gris-oliva Villa Cacique	Illita, Clorita (tr), Caolinita (tr)
Arcilitas en relleno de calizas "El Infierno"	Illita (ab), Montmorillonita (sc)
Corte de camino hacia "El Infierno"	Illita (ab), Clorita (ab), Interestratificado Clorita-Montmorillonita (sc) Illita, Caolinita, Montmorillonita (sc) Illita (ab), Montmorillonita (sc), Caolinita (sc)

Tabla 12. Mineralogía cualitativa de arcillas de la Formación Cerro Negro en distintos depósitos de la zona de Villa Cacique. Referencias: ab: abundante; sc: escasa; tr: trazas (Zalba, 1981).

Microscopía electrónica de barrido de las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique, Lomada Blanca y calera El Infierno

La microscopía electrónica de barrido muestra la textura de las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique; Lomada Blanca y calera El Infierno. La textura muestra una disposición cara-a-cara de las láminas de arcilla, típico de depósitos sedimentarios en medio marino, de composición clorita-esmectita. Sobre esta base de arcillas, se observan cristales pseudo cúbicos de alunita diagenética (**Fig. 20a**).

En la **Fig. 20b** se muestra una textura "en panal de abeja" de arcillas de la Lomada Blanca, constituida por crecimiento diagenético de illita-esmectita. Las láminas son perpendiculares a la superficie de depositación. En la **Fig. 20c**, superpuestas a la textura heredada de la roca, se observan esmectitas secundarias, probablemente rellenando grietas y de formación muy posterior a la masa detrítica arcillosa.

La **Fig. 20d** es una microfotografía electrónica de la textura de las arcillas esencialmente illíticas, de la misma formación, en la calera El Infierno. Aquí se nota también la disposición de las láminas de illita-esmectita en un diseño cara-a-cara, indicando depositación en medio marino.

Las arcillas de la Formación Cerro Negro no se han explotado en Villa Cacique, en la calera El Infierno ni en Lomada Blanca, por su escaso espesor.

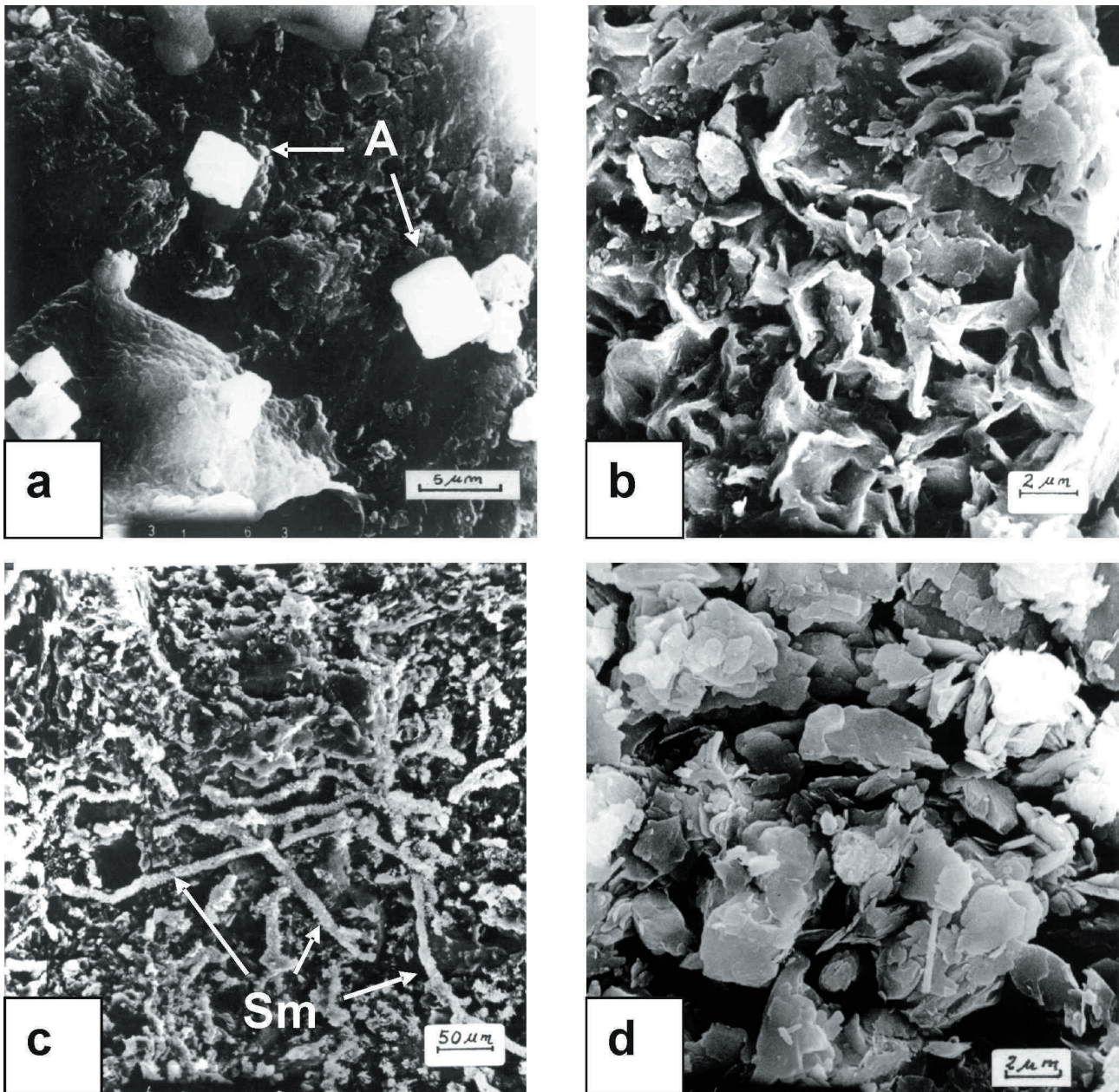


Figura 20. Microfotografías electrónicas de barrido. Formación Cerro Negro. a) arcillas clorito-esmectíticas con cristales pseudos cúbicos de alunita diagenética (A), Villa Cacique. b) típica textura “en panal de abeja” de arcillas illito-esmectíticas, Lomada Blanca. c) arcillas clorito-esmectíticas, con formación muy posterior de esmectitas (Sm) filamentosas, Lomada Blanca. d) arcillas clorito-esmectíticas, típica textura con disposición de las láminas cara-a-cara (medio marino), calera El Infierno (Zalba, 1988).

Muestra	Arcilitas gris-oliva	Arcilitas rosadas
SiO ₂ %	60,50	60,70
Al ₂ O ₃ %	21,80	22,20
Fe ₂ O ₃ %	4,5	4,7
TiO ₂ %	0,75	0,70
CaO %	0,38	0,10
MgO %	1,35	1,45
Na ₂ O %	0,65	0,50
K ₂ O %	4,80	4,30
CO ₃ en (CO ₃ Ca) %	0,50	0,00
P P C	5,23	5,35

Tabla 13. Análisis químicos de arcillas (en por ciento) de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique (Zalba, 1981).

Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique

Los análisis tecnológicos realizados sobre las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique indican que poseen conos pirométricos equivalentes que varían entre 13 y 14. Estos valores tan bajos se deben al elevado contenido en álcalis y, al no haber minerales ricos en alúmina, el material no posee características refractarias y sus temperaturas de fusión son bajas. A esto se le suma el porcentaje de óxido de hierro, que también provoca la disminución de la temperatura de fusión (Zalba, 1981).

Las arcillas de la Formación Cerro Negro en Villa Cacique se clasifican como Arcillas Varias y sus características tecnológicas se darán, en detalle, al tratarse los yacimientos del área tipo de la localidad de Cerro Negro (Sierras Bayas).

Sector Sierra La Juanita

Yacimientos sedimentarios y productos de meteorización "in situ". Características, composición mineralógica y química

En la Sierra La Juanita, depósitos de la Formación Villa Mónica (**ver Fig. 3**), han sido explotados para la industria cerámica, hasta hace pocos años, en campos de la Estancia La Siempre Verde, y en las canteras La Placeres y Don Camilo, ubicadas a 4,5 km, al este; 14 km al este y 20 km al sudeste respectivamente de la localidad de Barker.

La Formación Villa Mónica (localmente conocida también como Formación La Juanita) suprayace, en discordancia erosiva, a rocas del basamento cristalino granítico, de coloraciones grisáceas, muy alterado y deleznable. Ha sido definida por Poiré (1987) en las Sierras Bayas, donde fue denominada también como secuencia Tofolletti (Poiré y Spalletti, 2005), con 52 a 70 m de espesor y limitada por discordancias en la base y en el techo de la unidad. En Sierras Bayas, estos autores describen a la secuencia más antigua del Grupo Sierras Bayas, como compuesta por dos asociaciones de facies: 1) arenitas cuarzo-arcósicas que, localmente afloran con 16 m de espesor (Cuarcitas Inferiores) y otra, superpuesta a la anterior: 2) dolomías biogénicas (36 m) con estromatolitos (estructuras algales) columnares o laminares. También reconocen arcilitas y calcipelitas (pelitas carbonáticas) laminadas

rojizas en el tope (arcilitas rojizas supradolomíticas con fangolitas -arcilitas y limolitas- asociadas). Las dolomitas muestran intercalaciones de arcilitas verdosas laminadas.

En la Sierra La Juanita, Schauer y Venier (1967) fueron los primeros autores en reconocer 10 metros de dolomías en el cerro de La Cruz, 2 km al este de la cantera de la Estancia La Siempre Verde, en la misma posición estratigráfica que las dolomías encontradas en Sierras Bayas. Desde esa fecha (hace más de 40 años) estas rocas nunca volvieron a encontrarse hasta ahora en el área. En efecto, Manassero (1986) describió asociaciones de arcilitas ferruginosas intercaladas entre las Cuarcitas Inferiores y las Cuarcitas Superiores. Además, encontró cristales de cuarzo idiomórficos piramidales, de gran desarrollo, aunque aclarando que nunca se hallaron “*in situ*”. Alló et al. (1996) también describieron megacristales de cuarzo, que según los autores estaban contenidos en “arcillas ferruginosas”, asignándoles un origen diagenético. Alló (tesis inédita 2001), Alló y Domínguez (2002), López et al. (2002) y López (tesis inédita, 2006) también describieron en la Sierra La Juanita “arcillas ferruginosas”, ocre y amarillentas, con intercalaciones de arcillas verdes y rojizas, sobre las Cuarcitas Inferiores, como únicas litologías presentes en la Formación Villa Mónica. Cabe destacar que Alló (2001, tesis inédita) muestra cortes delgados de dolomías, pero aclara que las encontró sueltas y, por lo tanto, no pudieron ser ubicadas en la secuencia estratigráfica.

Nuevos perfiles estratigráficos realizados en la Formación Villa Mónica: cantera La Siempre Verde, La Placeres y Don Camilo (Manassero et al., 2007 y Zalba et al., 2007b), integrados aquí en un sólo perfil (**Fig. 21**), permitieron redefinir las litologías existentes por encima de la Facies Cuarcítica (Cuarcitas Inferiores), las cuales quedan integradas por: Facies Carbonáticas, compuestas por dolomías estromatolíticas frescas (**Fig. 22a**); Facies Carbonáticas-Siliciclásticas, integradas por dolomías (depósitos algales laminares) meteorizadas (**Fig. 22b**), con intercalaciones de arcilitas verdes (**Fig. 22c**), y, separadas de las anteriores por una superficie de meteorización (discontinuidad), y Facies Heterolíticas (**Fig. 22d**), formadas por una sucesión de arcilitas verdosas y areniscas cuarcíticas. Tanto la Facies Carbonática como la Facies Carbonática-Siliciclástica contienen megacristales de cuarzo (ver **Fig. 21**). Los cristales de cuarzo, de hasta 20 cm de longitud, fueron encontrados “*in situ*” por primera vez (Manassero et al., 2007; Zalba et al., 2007b) en dolomías frescas (**Fig. 22e**) como en dolomías meteorizadas (**Fig. 22f**), tanto en agregados como en cristales individuales piramidales.

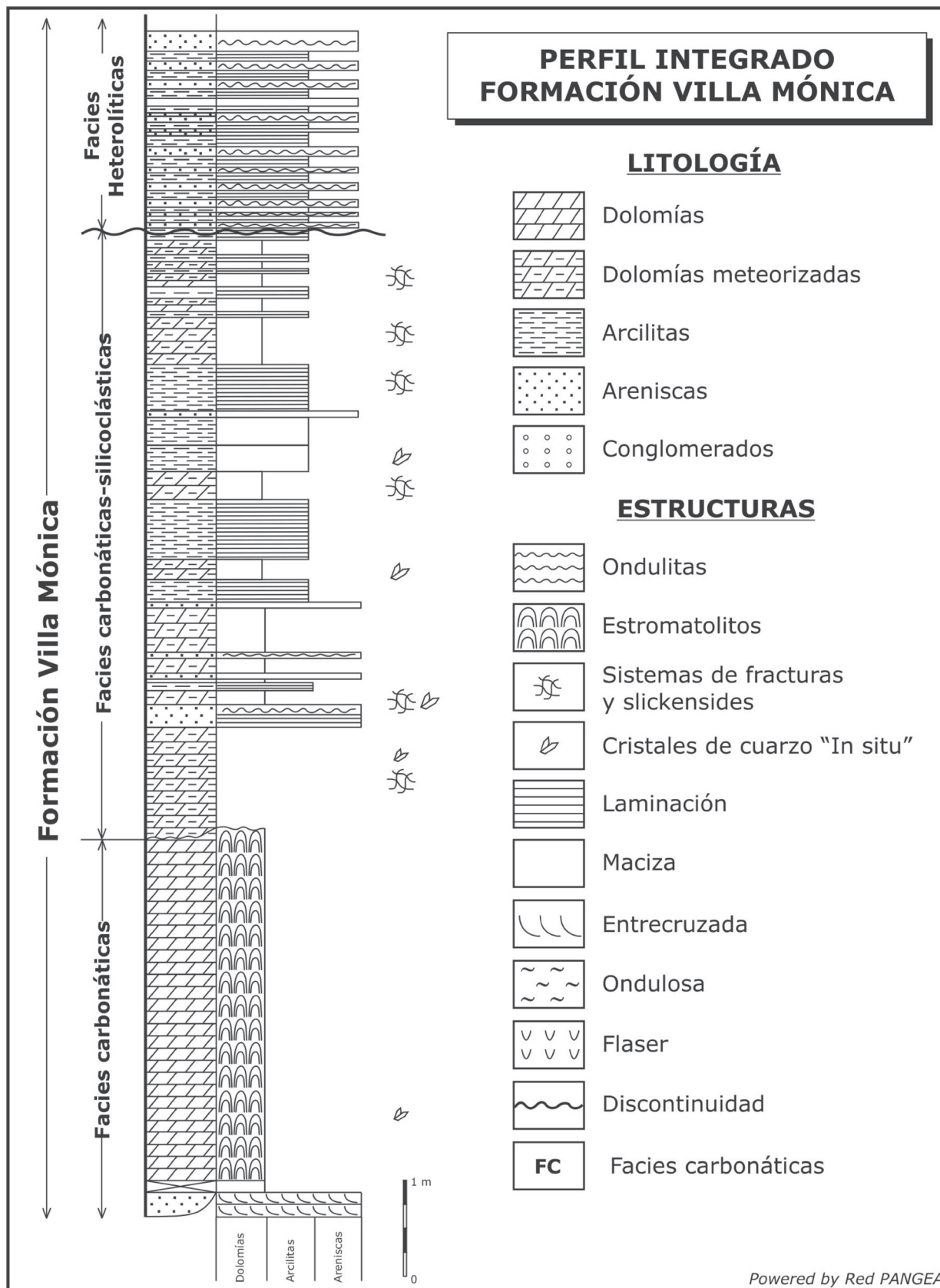


Figura 21. Perfil integrado de la Formación Villa Mónica, Sierra La Juanita.

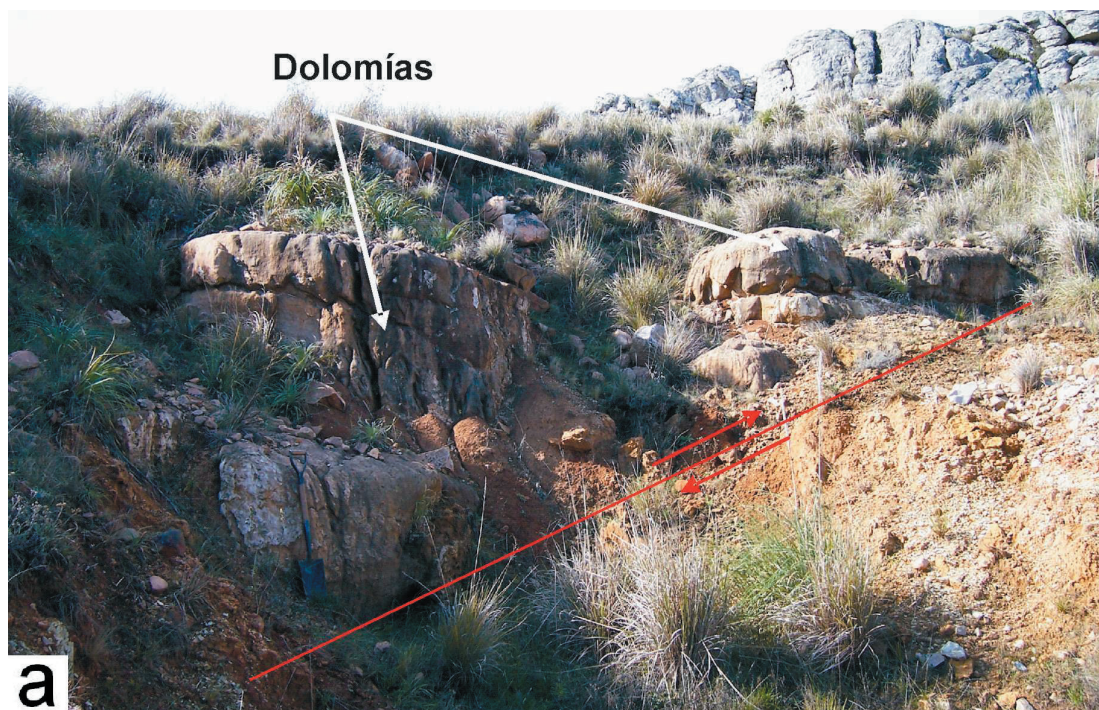


Figura 22a. Facies Carbonáticas (dolomías estromatolíticas frescas) de la Formación Villa Mónica en Sierra La Juanita. Ver perfil integrado de la Fig. 21. Falla (línea roja) con los movimientos indicados a ambos lados de la misma (flechas).



Figura 22b. Facies Carbonáticas-Siliciclásticas: dolomías (depósitos algales laminares) meteorizadas de la Formación Villa Mónica en Sierra La Juanita. Ver perfil integrado de la Fig. 21.

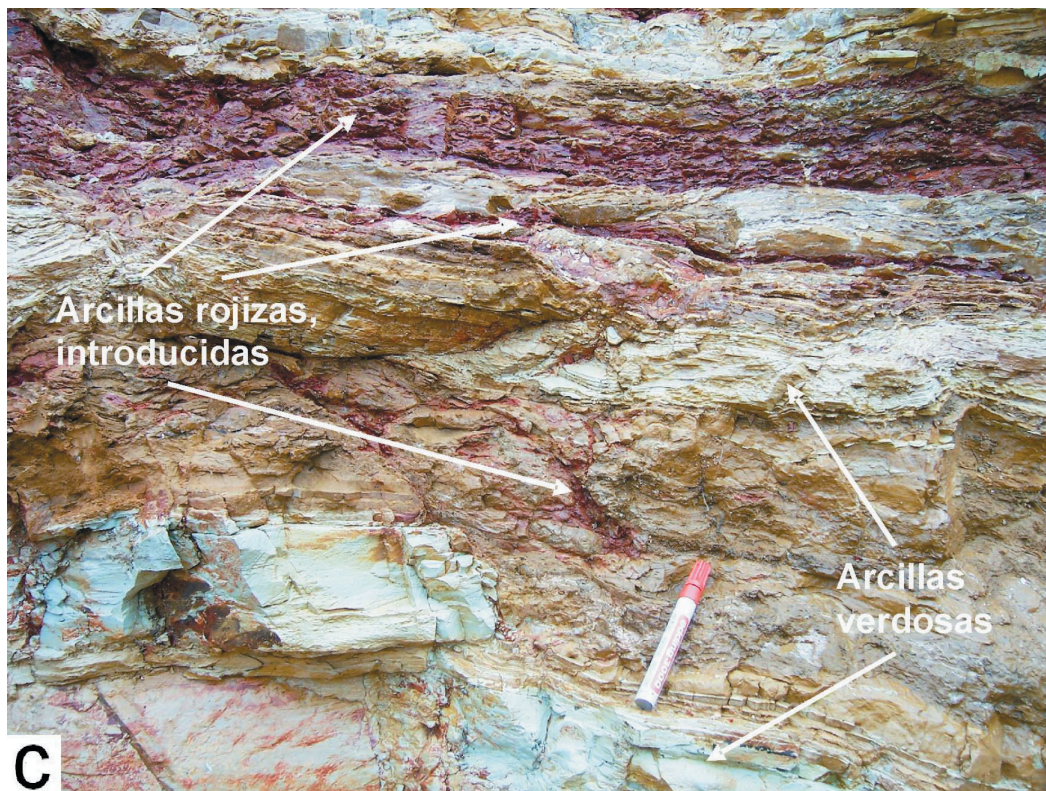


Figura 22c. Facies Siliciclásticas: arcillas de coloración verdosa (dentro de las Facies Carbonáticas-Siliciclásticas) de la Formación Villa Mónica en Sierra La Juanita. Las arcillas rojizas han sido introducidas en los depósitos sedimentarios a través de discontinuidades, fracturas y grietas. Ver perfil integrado de la Fig. 21.



Figura 22d. Facies Heterolíticas de la Formación Villa Mónica en Sierra La Juanita. Ver Perfil integrado de la Fig. 21.

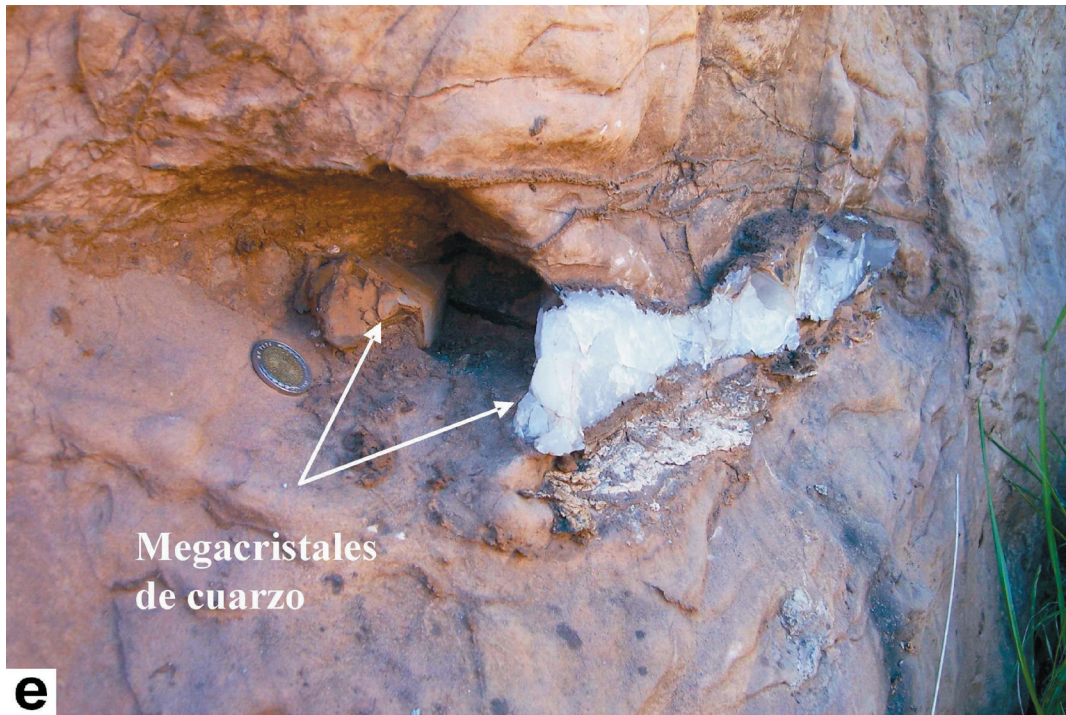


Figura 22e. Megacrystales de cuarzo “*in situ*” en cavidades de dolomías estromatolíticas frescas (Facies Carbonáticas) de la Formación Villa Mónica, Estancia La Siempre Verde, Sierra La Juanita.

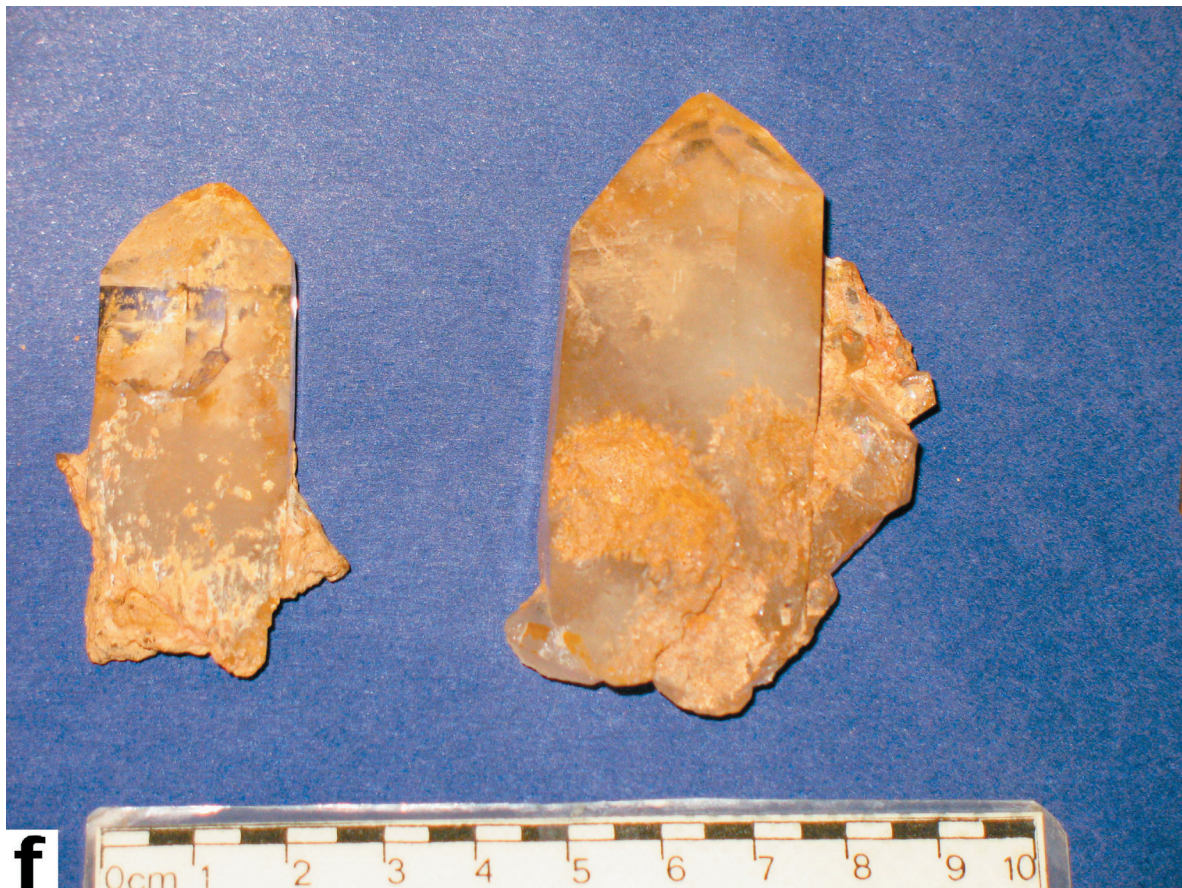


Figura 22f. Megacrystales de cuarzo piramidales, encontrados en dolomías (depósitos algales laminares) meteorizadas (Facies Carbonáticas-Siliciclásticas) de la Formación Villa Mónica, Estancia La Siempre Verde, Sierra La Juanita.

La microscopía óptica muestra las texturas de los diferentes tipos litológicos encontrados: dolomías estromatolíticas frescas (**Fig. 23-I a**), dolomías con estructuras algales laminares meteorizadas (**Fig. 23-I b, c, d y e**) y con niveles intercalados de arcillas detríticas verdosas (**Fig. 23-I e**).

Entre los minerales neoformados (diagenéticos) se observan agujas de rutilo, en este caso, en arcillas illíticas que reemplazan a dolomías meteorizadas (**Fig. 23-I d**); arcillas caoliníticas mezcladas con hidróxidos de hierro (cutanes: ferriargilanes) que rellenaron espacios porales disponibles, o grietas y fracturas orientadas en todas direcciones, en los depósitos, por procesos de iluviación (**Figs. 23-I b, c y f**). Estos minerales, aparentemente asociados en los depósitos, fueron formados por procesos separados en el tiempo por millones de años.

Las dolomías estromatolíticas frescas están constituidas por hasta un 79% de dolomita, la calcita es inferior al 10% y presentan impurezas de goethita, illita y cuarzo. La composición mineralógica de las dolomías meteorizadas es actualmente illítica (hasta 94 %), con proporciones variables de caolinita, halloysita y esmectita. El contenido de caolinita y esmectita está vinculado a la presencia de arcilla introducida en estos depósitos (arcilla rojiza) y puede llegar a 73 % y 10 % respectivamente. Entre los minerales no arcillosos se encuentran: cuarzo, óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y goethita respectivamente) y minerales de titanio: rutilo (y, en menor proporción, anatasa). En ocasiones, la goethita forma el 100 % de la muestra. Los niveles de arcillas verdes intercalados en las dolomías meteorizadas se caracterizan por su composición illítica (más del 90 %) y, en general, contienen cuarzo aunque este último, en algunas muestras, está ausente.

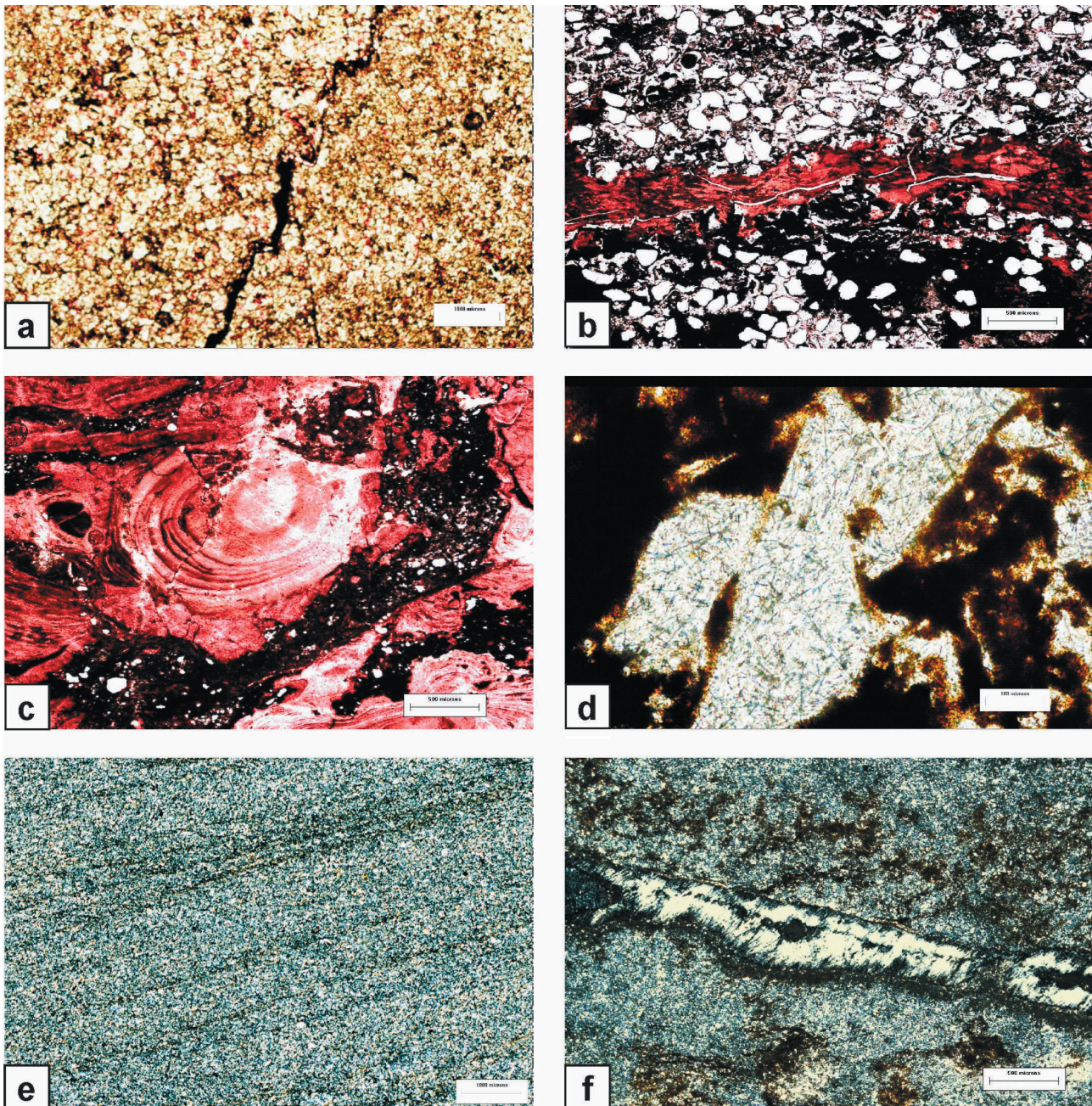


Figura 23-I a) Dolomías estromatolíticas frescas (teñidas con rojo de Alizarina) en la base de la Formación La Juanita. En rojo: calcita (Ea. La Siempre Verde). b y c) dolomía (depósitos algales laminares) meteorizada (en negro), con cuarzo entrampado (en blanco) y arcillas caoliníticas e hidróxidos de hierro (en rojo), introducidas (cutanes: ferriargilanes). d) dolomías meteorizadas, reemplazadas por arcillas illíticas con agujas de rutilo, ambos diagenéticos. e) arcilla detrítica verdosa, laminada. f) fracturas en dolomías meteorizadas, rellenas con hematita (en negro) y arcillas caoliníticas (cutanes), diagenéticas. La barra en las fotos indica la escala.

Datos de composición mineralógica por difracción de rayos X sobre muestras de la Estancia La Siempre Verde, La Placeres, La Milli (en frente de la cantera Don Camilo), pueden consultarse en la **Tabla 14** y han sido extraídos de Alló (2001). La mineralogía de las muestras de la **Tabla 14**, corresponde, según lo antedicho, a: 1) arcillas detríticas illíticas (amarilla y verde), intercaladas en las dolomías meteorizadas, y 2) arcillas introducidas en fracturas, grietas y espacios porales disponibles (roja, blanca).

		Mineralogía %				
Cantera	Muestra	Esmectita	Illita	Caolinita	Cuarzo	Hematita
LSV	1 amarilla		51	11	18	20
LSV	2 amarilla		75	4	13	8
LSV	3 amarilla		66	6	13	15
LSV	4 amarilla		74	4	9	13
LSV	5 amarilla		67	3	12	18
LP	12 amarilla		69		22	9
LP	14 amarilla		79		14	7
Milli	27 amarilla		46		17	37
Milli	31 amarilla		76		18	6
Milli	34 amarilla		78		14	8
LSV	8 verde		90		10	
LP	15 verde		83		17	
Milli	28 verde		76		24	
Milli	32 verde		65		35	
LSV	9 roja		24	40	3	33
LSV	7 roja	15	20	33	5	27
LP	20 roja		14	74	3	8
Milli	26 roja	18	19	43	3	17
Milli	33 roja			85	3	12
LP	11 blanca	23		73	4	
LP	21 blanca		41	57	2	
LP	13 limosa		76		24	
LP	22 limosa		28		72	

Tabla 14. Mineralogía semicuantitativa (en por ciento) de las muestras amarillas, verdes, rojas y blancas en las canteras LSV: La Siempre Verde; LP: La Placeres y Milli (Alló, 2001).

Análisis químicos de las mismas muestras en las que se efectuó el análisis mineralógico por difracción de rayos X se presentan en la **Tabla 15**, según datos de Alló (2001).

Cantera	Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
LSV	1 amarilla	44,86	14,13	26,37	0,25	1,07	0,20	0,05	4,34	0,94	0,35	7,43
LSV	2 amarilla	56,08	15,54	15,90	0,19	0,76	0,14	0,06	3,56	0,83	0,17	6,78
LSV	3 amarilla	39,90	14,87	29,75	0,27	1,06	0,23	0,11	4,30	0,90	0,27	8,33
LSV	5 amarilla	44,94	15,77	24,17	0,82	0,95	0,29	0,10	3,80	0,80	0,18	8,17
LP	12 amarilla	59,51	13,65	14,71	0,16	1,03	0,20	0,09	4,11	0,82	0,30	5,41
LP	15 amarilla	60,31	18,74	7,33	0,04	1,25	0,22	0,09	6,10	1,13	0,23	4,56
Milli	27 amarilla	47,14	9,48	31,33	0,21	0,88	0,32	0,05	2,59	0,60	0,34	7,06
Milli	29 amarilla	55,06	16,43	15,66	0,12	1,50	0,42	0,04	5,50	1,06	0,29	3,92
LSV	4 verde	47,86	29,28	2,64	0,01	1,43	0,26	0,07	5,38	1,49	0,1	10,97
LSV	6 verde	57,73	22,38	3,22	-0,01	1,53	0,30	0,10	7,05	1,53	0,10	6,07
LSV	8 verde	50,04	28,10	2,61	0,00	1,69	0,22	0,10	9,24	1,98	0,07	5,95
Milli	24 verde	66,74	17,60	4,89	0,00	1,39	0,07	0,04	7,17	1,21	0,03	0,86
LSV	5 roja	47,61	26,50	9,73	0,05	0,67	0,50	0,06	1,69	0,87	0,19	12,14
LSV	7 roja	39,08	24,96	17,81	0,23	0,71	0,58	0,05	1,47	0,61	0,18	14,31
LSV	9 roja	40,31	27,50	15,28	0,07	0,51	0,56	0,05	1,69	0,72	0,27	13,06
LP	20 roja	45,20	32,09	7,16	0,01	0,37	0,26	0,04	1,12	0,62	0,14	12,98
Milli	26 roja	44,82	29,34	7,27	-0,02	0,86	0,68	0,08	2,05	0,74	0,44	13,71
LP	21 blanca	46,57	34,52	1,52	-0,01	0,17	0,17	0,04	3,64	1,37	0,05	11,29

Tabla 15. Análisis químicos (expresados en por ciento en peso), de muestras de las canteras La Siempre Verde, (LSV), La Placeres (LP) y Milli (Alló, 2001).

Microscopía electrónica de barrido de las arcillas de la Formación Villa Mónica

La microscopía electrónica de barrido (SEM) muestra: la textura de las arcillas verdes (illíticas), intercaladas tanto en dolomías frescas como en dolomías meteorizadas de la Facies Carbonáticas-Siliciclásticas; con una disposición de las láminas cara a cara y un diseño típico de depositación en medio marino (**Fig. 23-IIa**). Acordeones de caolinita diagenética en arcillas rojizas formadas en las Facies Carbonáticas-Siliciclásticas se observan en grietas, fracturas y rellenando espacios porales disponibles (**Fig. 23-IIb**). Goethita diagenética se dispone formando masas redondeadas de cristales laminares en dolomías meteorizadas (**Fig. 23-IIc**), y halloysita diagenética, se observa creciendo en forma de tubos sobre cristales previos de caolinita en arcillas rojizas, ambas formadas en la Facies Carbonáticas-Siliciclásticas (**Fig. 23-IId**).

En la zona de la Cuchilla de Las Águilas, a escasos 7 km al oeste de la Sierra La Juanita, se presentan variaciones laterales del cuerpo dolomítico de la Formación Villa Mónica, donde las dolomías son reemplazadas por areniscas amarillentas (ver Sector Cuchilla de Las Águilas-Sierra de La Tinta) y en la zona de San Manuel (ver Sector San Manuel) vuelven a aparecer las mismas facies de arcillas illíticas (detriticas) de la Sierra La Juanita (Zalba y Andreis, 1998).

Edad de la Formación Villa Mónica

La edad de la Formación Villa Mónica, es considerada Rifeana, sobre la base del tipo de estromatolitos (Poiré, 1993), y también sobre la base de dataciones Rb-Sr de las arcillas asociadas a dolomías en Sierras Bayas, dando como resultado una edad de 793 ± 32 Ma para la edad de la diagénesis de esta unidad (Cingolani y Bonhomme, 1982). Esta datación se llevó a cabo sobre las arcillas detriticas verdosas. Esta edad Rifeana correspondería a la edad de la diagénesis por enterramiento. Quedan por datar los procesos de telodiagénesis en esta área, responsables de la formación de arcillas caoliníticas, entre otros minerales neoformados. Zalba et al. (2007a) dataron procesos de te-

lodiagénesis para la Formación Las Águilas en 254 Ma (Pérmico medio); y siendo dichos procesos de extensión regional, es coherente que los mismos también actuaran en la Formación Villa Mónica.

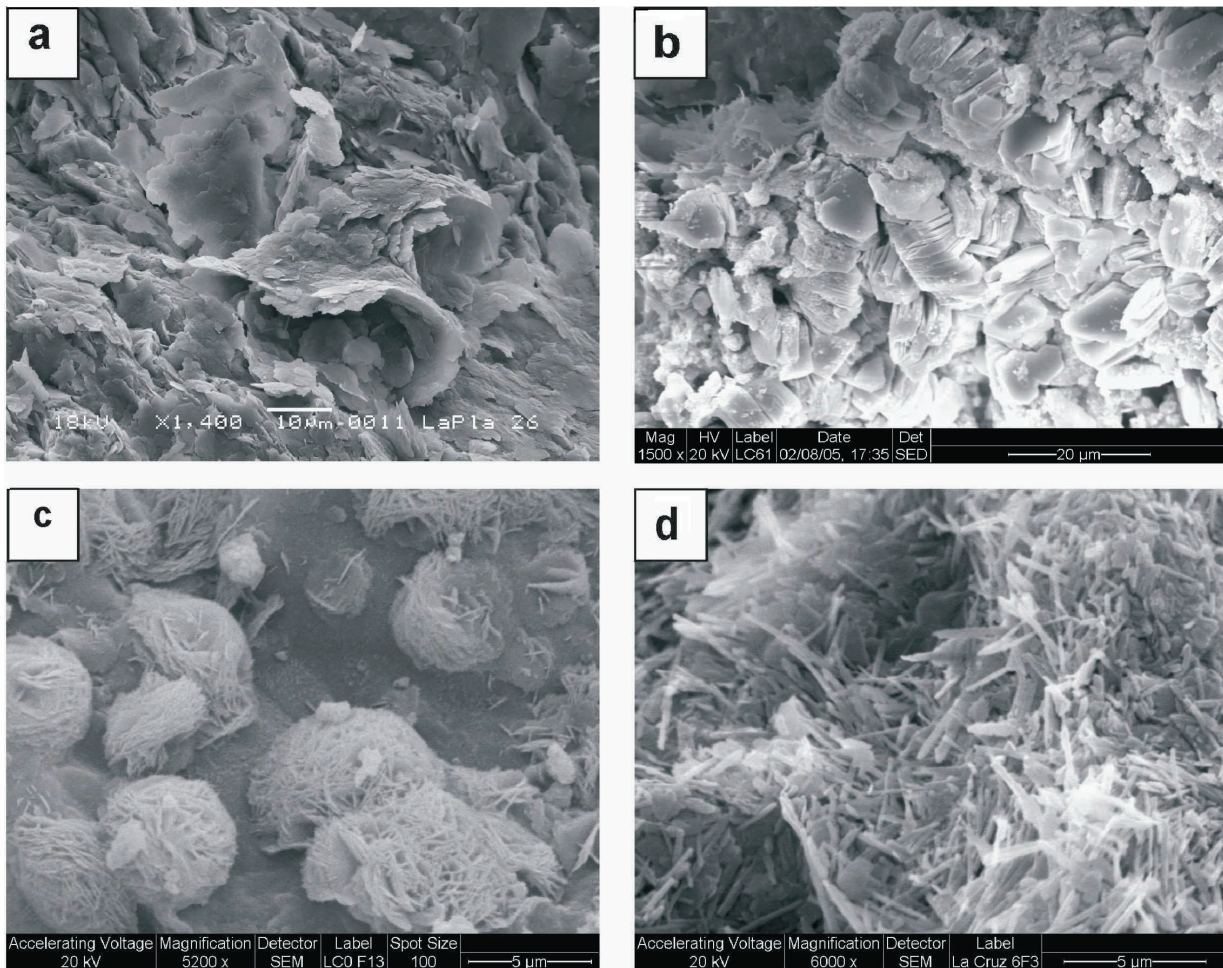


Figura 23-II a) Textura de arcillas verdes illíticas (Facies Carbonáticas-Siliciclásticas) de la Formación Villa Mónica, Sierra La Juanita, con disposición de láminas cara a cara, por depositación en medio marino. b) Acordeones de caolinita diagenética en arcillas rojizas formadas en las Facies Carbonáticas-Siliciclásticas en grietas, fracturas y rellenando espacios porales. c) Goethita diagenética en masas de cristales laminares en dolomías meteorizadas (Facies Carbonáticas-Siliciclásticas). d) Halloysita diagenética, creciendo en forma de tubos sobre cristales previos de caolinita en arcillas rojizas (Facies Carbonáticas-Siliciclásticas). La barra en las fotos indica la escala.

Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Villa Mónica

La arcilla illítica amarilla (o verde) de la Formación Villa Mónica en la Sierra La Juanita presenta un índice de plasticidad con valores que oscilan entre 10 y 13, mientras que la arcilla roja tiene un índice de plasticidad de 43. Estos últimos valores elevados de plasticidad se deben a la mezcla de la arcilla amarilla (con plasticidad similar a las del resto de las arcillas de la provincia de Buenos Aires) con la arcilla roja de composición caolinítica-esmectítica, por lo que puede utilizarse como aditivo plástico en la fabricación de cerámica roja. Los óxidos de hierro no sólo aportan color a las pastas sino que bajan su punto de fusión, vitrificándose totalmente a los 1200 ° C. La mezcla que se produce en la extracción a granel de la arcilla amarilla con la roja da como resultado un material con características óptimas para el moldeo. En la cantera La Placeres el material no demostró tener las mismas aptitudes debido a la presencia de lentes limosas con altos porcentajes de cuarzo. Las características

mecánicas hacen a estas arcillas aptas para su utilización en la composición de pastas cerámicas, ya que presentan muy buena carga de rotura y resistencia a la flexión, tanto en seco como en cocido. Esta arcilla se utiliza como ingrediente plastificante en las pastas de tejas en la provincia de Buenos Aires, utilizándose más de 15.000 toneladas/año. Este material se explotó hasta hace poco en la cantera La Siempre Verde y también en Don Camilo y se utiliza en la fabricación de tejas denominándose comercialmente como arcilla LA-AM (Domínguez y Schalamuk, 1999; Alló, 2001).

Por todo lo antedicho, las arcillas de la Formación Villa Mónica, en la Sierra La Juanita, se clasifican como arcillas plásticas.

Sector Cuchilla de Las Águilas y Sierra de La Tinta

Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica y química

En la Cuchilla de Las Águilas y Sierra de La Tinta, a 3 km hacia el oeste de la localidad de Barker, y a 7 km al oeste de la Sierra La Juanita, se encuentran importantes depósitos de arcillas sedimentarias en explotación. Estas secuencias sedimentarias yacen, en discordancia, sobre rocas del basamento cristalino precámbrico.

El basamento cristalino está constituido por tonalitas, que, al pie del cerro ubicado inmediatamente al SO del Cerro El Sombrerito, está descubierto por laboreos y se presenta de color verdoso, muy alterado y deleznable.

La secuencia sedimentaria suprayacente al basamento está integrada por el Grupo Sierras Bayas (constituida aquí por la Formación Villa Mónica y por la Formación Cerro Largo); cubierto a su vez por la Formación Las Águilas y ésta, por la Formación Balcarce, las dos en discordancia erosiva (**Fig. 24**).

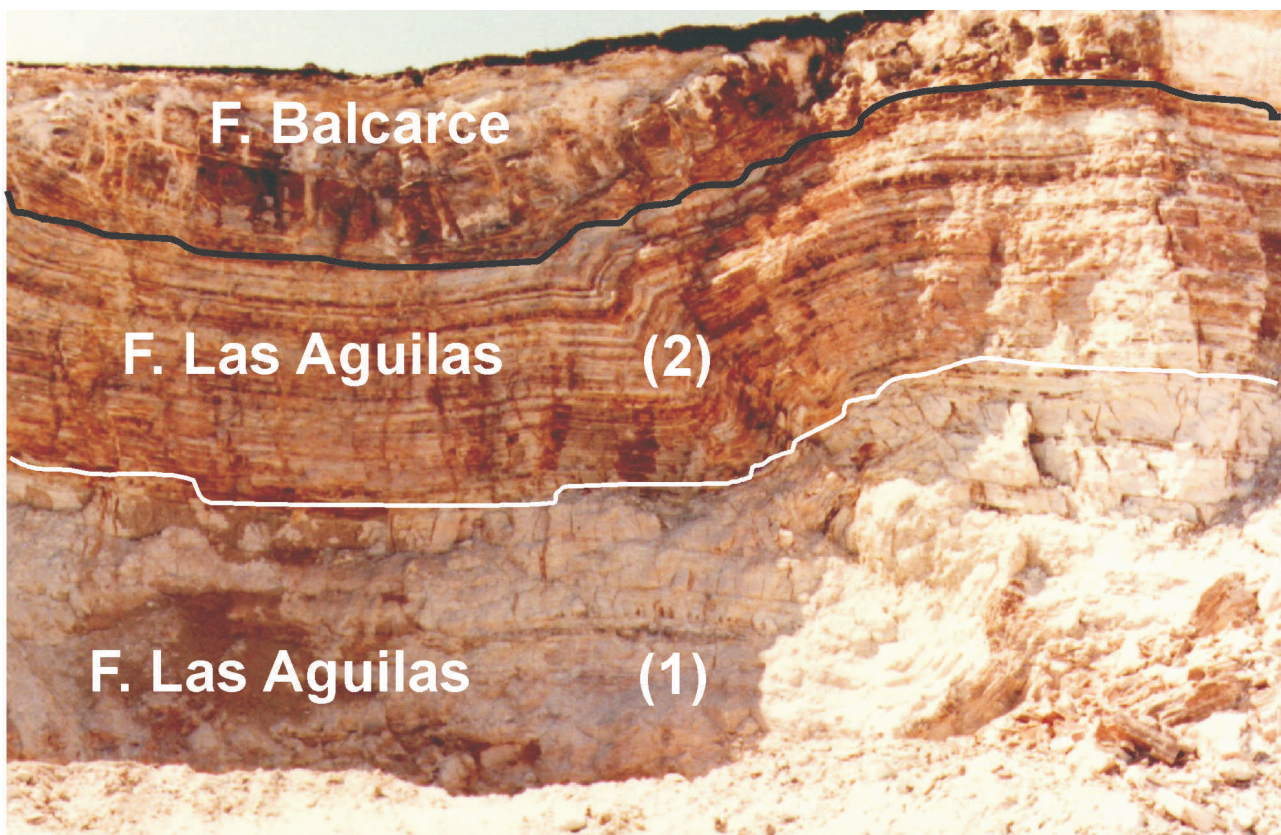


Figura 24. Formación Las Águilas: Litofacies Media (1) y Litofacies Superior (2), separada por una discordancia erosiva de la suprayacente Formación Balcarce (línea negra).

Como ya se dijo anteriormente, en este sector, la Formación Villa Mónica tiene 4 m de espesor y está compuesta por areniscas amarillentas muy friables, sobre las Cuarcitas Inferiores, en lugar de arcillas o dolomías, como sucede en otros sectores.

La Formación Balcarce, en este sector, tiene espesores muy reducidos (hasta 10 m) y está cubierta a su vez, por sedimentos modernos, de escasos metros de potencia.

La Formación Las Águilas, portadora de las arcillas que se explotan industrialmente, se extiende por la Sierra de La Tinta y la Cuchilla de Las Águilas, al O de Barker y, hacia el E, en las estribaciones del sur de la Sierra La Juanita y ha sido considerada como una facies lateral de la Formación Cerro Negro (hallada en el Sector de Villa Cacique y en el Sector Sierras Bayas) por Iñíguez et al. (1989) y también correlacionada con la Formación Olavarría (Poiré y Spalletti, 2005).

La Formación Las Águilas ha sido motivo de numerosos estudios por algunos de los autores de este trabajo a lo largo de varios años de investigación (Zalba, 1979, 1982, 1988; Zalba et al., 1982, 1988; Andreis y Zalba, 1989; Iñíguez et al., 1989). La **Fig. 25** es un perfil estratigráfico representativo de esta formación que está constituida por tres litofacies, con espesores medidos que oscilan entre los 3 y los 20 metros como máximo, que, desde la base hacia el techo son las siguientes:

Litofacies Inferior: brechas de ftanita silicificadas (hasta 5 m de espesor)

Litofacies Media: secuencias mayormente arcilíticas, con intercalaciones de limolitas y areniscas finas (hasta 7 m de espesor) de colores violáceos hasta rojizos y blanquecinos (estos últimos son los menos abundantes).

Litofacies Superior: alternancia de areniscas finas, arcilitas y limolitas (hasta 9 m de espesor).

La Litofacies Inferior (brechas de ftanita) no se explota y su techo constituye el piso de explotación de las canteras.

La litofacies Media comprende los depósitos de arcillas más importantes explotados industrialmente

Los niveles de arcillas de la Litofacies Media están cubiertos por una fina alternancia de areniscas y arcillas (Litofacies Superior) con estratos desde 0,5 a 50 cm. de espesor, crecientes hacia el techo y, en muchos casos, bancos de cuarcitas (0,9 a 9m de espesor) coronando los depósitos, que dificultan y encarecen su explotación. En la Litofacies Superior existen niveles lenticulares de concreciones de sílice (SiO_2), de hasta 10 cm. de longitud mayor.

La Formación Balcarce se apoya en discordancia erosiva sobre la Litofacies Superior de la Formación Las Águilas, aunque, la mayoría de las veces ambos depósitos son difíciles de distinguir, por la gran similitud que presentan composicionalmente los niveles de cuarcitas, y porque hay una aparente concordancia (paraconcordancia) entre ellos (ver **Fig. 24**).

Las arcillas de la Litofacies Media (en explotación) de la Formación Las Águilas están compuestas, fundamentalmente, por caolinita (en algunos niveles con halloysita), pirofilita, illita e interestratificados de illita-esmectita (I/S) en proporciones variables.

La Litofacies Superior, formada por intercalaciones de delgados niveles de pelitas blanquecinas hasta amarillentas y de cuarcitas, tiene una composición variable, muy parecida a la de la Litofacies Media y, según Domínguez y Ullmann (2005), la composición promedio es de illita 45 %, pirofilita 4 % y cuarzo 50 %, aunque los autores de este trabajo han detectado también, variables proporciones de caolinita.

y Superior, la alunita se presenta en niveles de arcillas “blanqueadas” o decoloradas (blancas o grises), de 1 a 2 metros de espesor. Observaciones de campo y petrográficas indican que los cristales de alunita que forman los lentes presentan hábito columnar, típico de cristalización en paredes de espacios abiertos, de acuerdo al principio de selección geométrica generalmente invocado para el crecimiento de cristales drúsicos (Grigor’ev, 1965). Lentes de nódulos de sílice (actualmente cuarzo) se observan en la parte “blanqueada”, portadora de alunita de la Litofacies Superior (**Fig. 26c**).

La difracción de rayos X de las arcillas de la Litofacies Media de la Formación Las Águilas, con diferentes coloraciones, indica cambios mineralógicos significativos. Caolinita predominante y variables proporciones de pirofilita están presentes, aunque la última decrece hacia arriba. Las arcillas castaño-rojizas, amarillentas y grisáceas contienen illita e I/S ordenado, el cual decrece hacia arriba, con la aparición de alunita. Alunita está asociada a diásporo, halloysita y goethita. Variables proporciones de cuarzo, con crecimientos secundarios, y muy escasos feldespatos, se encuentran presentes.

La pirofilita, cuarzo y feldespatos son considerados de origen detrítico y derivados de la meteorización, transporte y sedimentación de rocas del basamento cristalino (gneises) previamente hidrotermalizado, que afloran en el cerro de la Cruz, a 3 km al E de la Cuchilla de Las Águilas y en el área de San Manuel (60 km al E de la Cuchilla de Las Águilas), como fuera sostenido por Zalba (1982), Zalba et al. (1988), y Zalba y Andreis (1998).

Alunita, caolinita, diásporo y goethita, fueron previamente considerados como fases minerales diagenéticas (Zalba, 1982; Zalba et al., 1982; Zalba et al., 1988; Iñíguez et al., 1989). Las sedimentitas de la base contienen una gran concentración de óxidos de hierro (hematita), y abundante pirita, totalmente hematitizada, ha sido reconocida en los niveles de arcillas grisáceos o verdosos (**Fig. 26d**) del tope de la Litofacies Media.

Otros autores: Marchese y Di Paola (1975b); Frisicale (1991); Dristas y Frisicale (1983; 1984; 1996; 2003) y Frisicale y Dristas (1993; 2000) postulan una alteración hidrotermal de sedimentitas piroclásticas intercaladas en estos depósitos de la Formación Las Águilas, que habrían llevado a la formación de caolinita, illita, pirofilita, alunita, diásporo y halloysita.

Lamentablemente, estos depósitos de alunita no pueden explotarse individualmente por su escaso desarrollo vertical. Sin embargo, la presencia de éstos en la extracción general del material arcilloso de las canteras que los poseen, podría influir en una mayor concentración local de Al_2O_3 y de SO_3 , fundamentalmente.

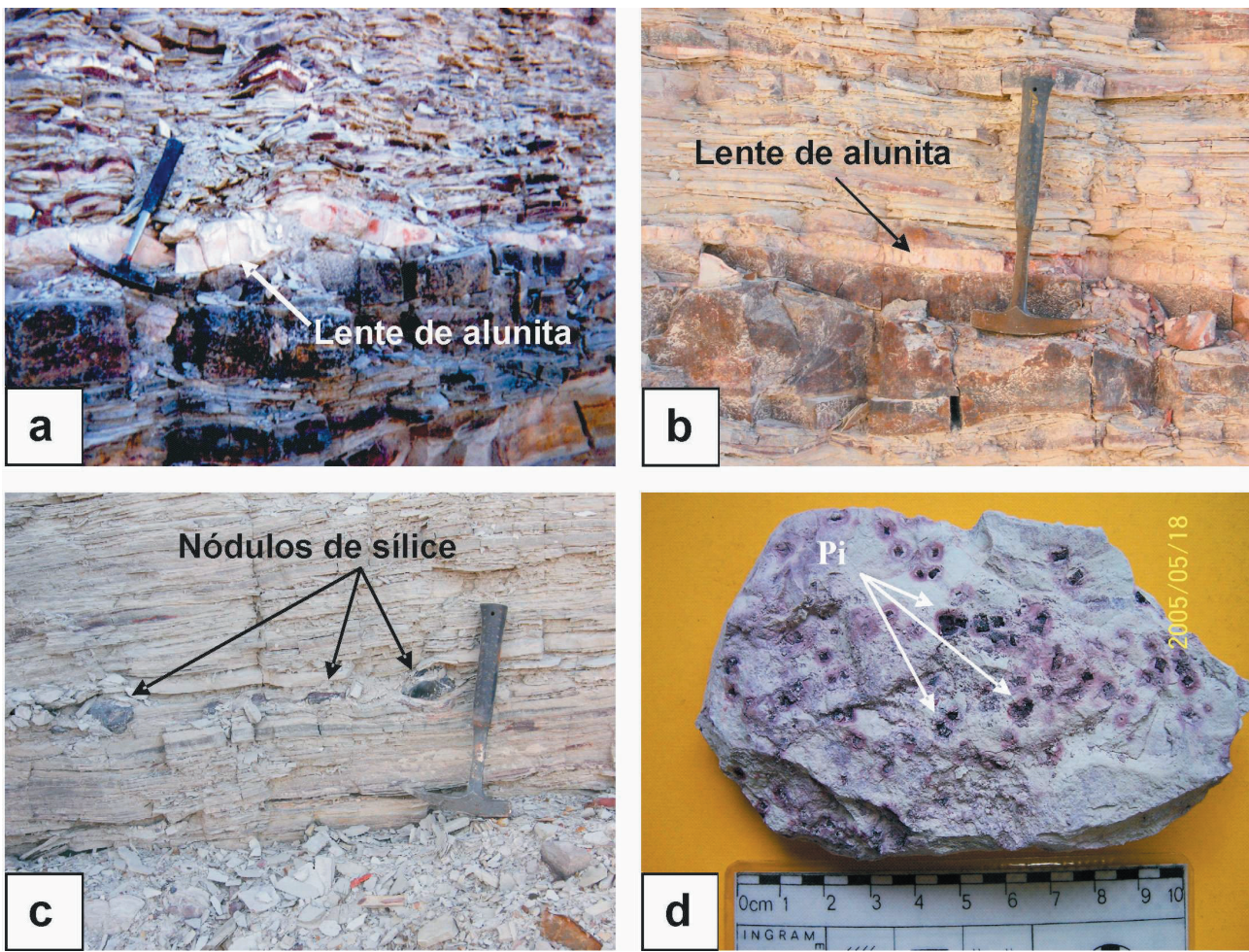


Figura 26. a) Niveles lenticulares de alunita en el techo de la Litofacies Media de la Formación Las Águilas. Cuchilla de Las Águilas. b) ídem en la base de la Litofacies Superior. c) Lentes de nódulos de sílice se observan en la parte “blanqueada”, portadora de alunita de la Litofacies Superior. d) abundantes cubos de pirita, totalmente hematizada (Pi), en arcillas grisáceas o verdosas del tope de la Litofacies Media (Zalba et al., 2007a).

Algunos análisis por difracción de rayos X de muestras seleccionadas de la Litofacies Media se presentan en la **Tabla 16**.

Los correspondientes análisis químicos se detallan en la **Tabla 17**.

Muestra	Caolinita	Pirofilita	Illita	Clorita	Cuarzo	Feldspatos
6	42	33	25	---	escaso	escasos
12	25	15	50	---	escaso	escasos
25	60	20	20	---	escaso	escasos
35 “B”	48	20	25	7	escaso	escasos
36	45	45	10	---	escaso	escasos

Tabla 16. Estimación cuantitativa (en por ciento) de arcillas por difracción de rayos X (muestras seleccionadas) de la Formación Las Águilas (Zalba, 1979). Las muestras con caolinita pueden contener halloysita, no diferenciada por difracción de rayos X.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O-	H ₂ O+
6	48,6	34,8	2,00	0,50	0,03	0,16	---	0,64	3,40	1,05	8,10
12	46	34,5	2,00	1,50	0,20	0,60	---	0,76	7,22	1,08	6,30
25	45,9	39,2	0,80	1,70	---	0,30	---	0,23	2,76	0,75	8,96
35 "B"	35,7	38,1	11,2	0,42	0,05	---	0,97	0,39	1,95	1,54	11,1
36	18,1	12,1	58,0	0,98	0,05	0,04	0,71	0,40	0,89	1,73	8,76

Tabla 17. Composición química de arcillas de la **Tabla 16**. Formación Las Águilas (Zalba, 1979).

Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la Litofacies Media de la Formación Las Águilas

La microscopía electrónica de barrido realizada sobre arcillas de la Litofacies Media de la Formación Las Águilas muestra la típica textura de láminas con disposición cara-a-cara, borde-a-cara y diseño "en remolino" de depósitos sedimentarios de arcillas (**Fig. 27a**). La **Fig. 27b** es una textura "en pasto mojado", donde la arcilla es, fundamentalmente, halloysita, con forma de tubos. En la **Fig. 27c** se ve la asociación caolinita (cristales hexagonales), halloysita (cristales tubulares), alunita (cristales pseudo cúbicos). Niveles con mayor concentración de alunita se ejemplifican en la **Fig. 27d**, mientras que, en la **Fig. 27e**, puede verse la disposición geométrica de cristales de diásporo en arcillas predominantemente caoliníticas, asociadas a halloysita y alunita.

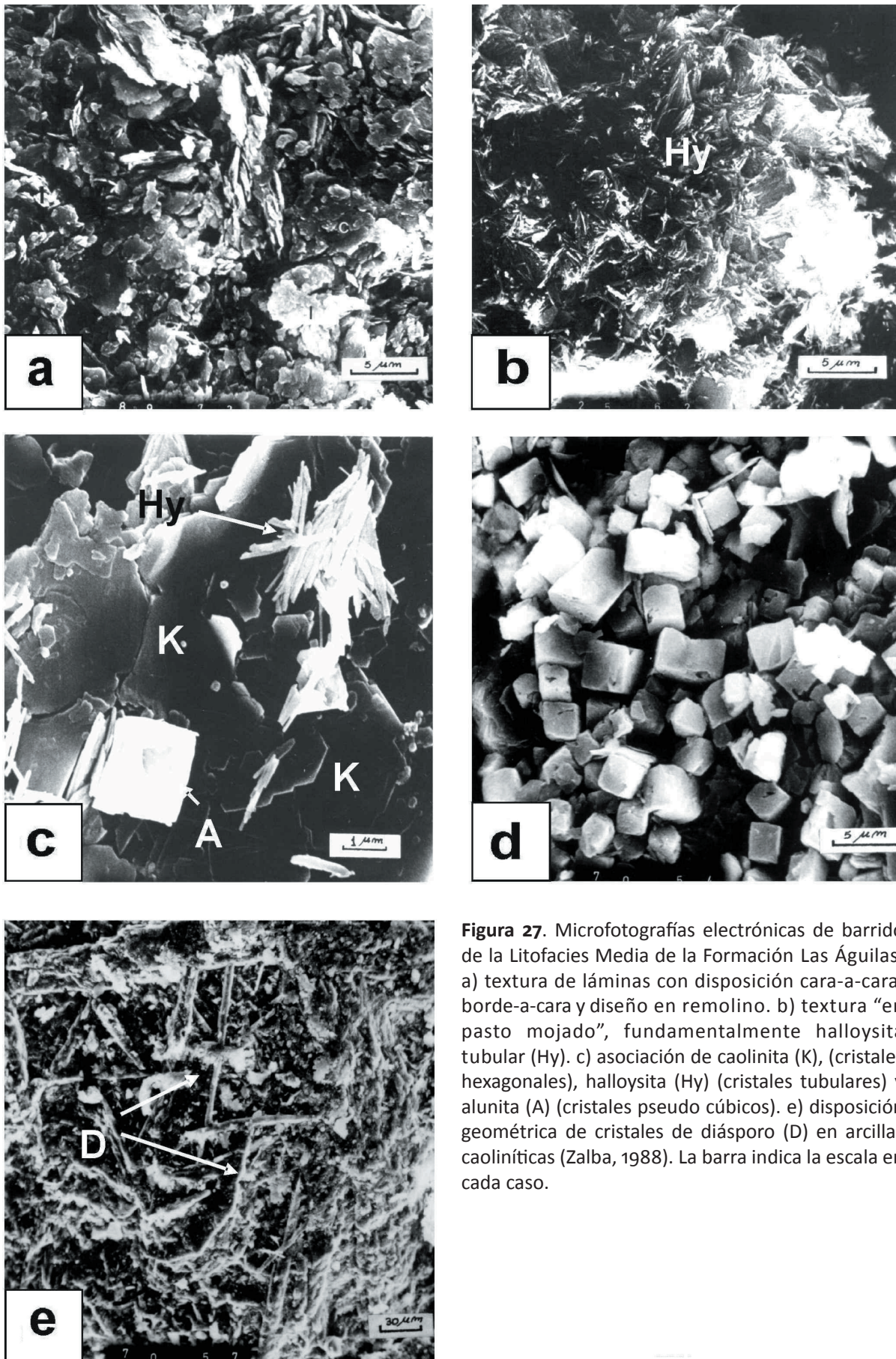


Figura 27. Microfotografías electrónicas de barrido de la Litofacies Media de la Formación Las Águilas. a) textura de láminas con disposición cara-a-cara, borde-a-cara y diseño en remolino. b) textura “en pasto mojado”, fundamentalmente halloysita tubular (Hy). c) asociación de caolinita (K), (cristales hexagonales), halloysita (Hy) (cristales tubulares) y alunita (A) (cristales pseudo cúbicos). e) disposición geométrica de cristales de diásporo (D) en arcillas caoliníticas (Zalba, 1988). La barra indica la escala en cada caso.

En un trabajo reciente (Zalba et al., 2007a), la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el análisis de microsonda electrónica sobre cortes delgados de rocas conteniendo alunita, han permitido identificar cristales diseminados de aluminio-fosfato-sulfato (minerales AFS) en la matriz arcillosa (**Fig. 28a**), cuyo análisis por microsonda electrónica (**Fig. 28b**), en porcentajes (Al_2O_3 : $30, 57 \pm 0,59$; P_2O_5 : $22, 58 \pm 0,26$; SO_3 : $5, 89 \pm 0,17$; SrO : $8, 33 \pm 0,62$; CaO : $1, 23 \pm 0,06$ Ce_2O_3 : $14, 86 \pm 0,51$) cae en el campo composicional de una solución sólida entre svanvergita ($\text{SrAl}_3(\text{PO}_4, \text{SO}_4)(\text{OH})_6$) y Ce-floren-cita ($\text{CeAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$), dos minerales AFS correspondientes a los grupos beudantita y crandalita, respectivamente.

El origen de alunita y fases minerales asociadas (minerales AFS, caolinita, halloysita, diásporo, pirita hematizada) ha sido tratado en detalle y puede consultarse en Zalba et al. (2007a). En resumen, estos autores consideran que la alunita y minerales AFS se han formado en un ambiente de rocas sedimentarias aluminosas por alteración de silicatos aluminosos en condiciones de pH ácidos. Los procesos son iniciados por un drástico decrecimiento en el pH, por infiltración de fluidos a través de discontinuidades, produciendo la oxidación de sulfuros en las rocas hospedadoras, como lo señala la presencia de abundante pirita completamente oxidada, y de minerales AFS acompañando a alunita. Los minerales AFS comúnmente cristalizan durante un estadio avanzado de argilización en un pH ácido y son fuertemente dependientes del pH. La tendencia general es un decrecimiento en el contenido de S y Sr y un incremento en P y tierras raras de los minerales AFS, con el decrecimiento del pH.

Edad de la alunita y fases minerales asociadas: su significado

La datación K-Ar realizada sobre tres muestras seleccionadas de alunita se llevó a cabo analizando su pureza por difracción de rayos X, que indicó que la alunita esta mezclada con halloysita y caolinita, dos minerales que no contiene potasio y que no pueden influir en el cálculo del contenido de potasio en alunita. Los resultados fueron ploteados en un diagrama de isocronas de $40\text{Ar}/36\text{Ar}$ versus $40\text{K}/36\text{Ar}$ (**Fig. 28c**). Estos resultados indican una edad de 254 ± 7 Ma para la alunita de la Formación Las Águilas, y que corresponde al Pérmico medio (Zalba et al., 2007a).

La edad de la alunita, que sitúa a los procesos formadores de este mineral y sus fases asociadas en el Pérmico medio, ha sido interpretado por Zalba et al. (2007a) como relacionado con el levantamiento del Sistema de Ventania, ocurrido durante este período y su influencia en el empuje desde el SO sobre el Sistema de Tandilia. Los procesos ocurridos a partir del levantamiento de Ventania son complejos (compresión, fracturación, erosión, inyección/expulsión de fluidos, formación de nuevos minerales, entre los más importantes) y quedan comprendidos dentro de la Telodiagénesis.

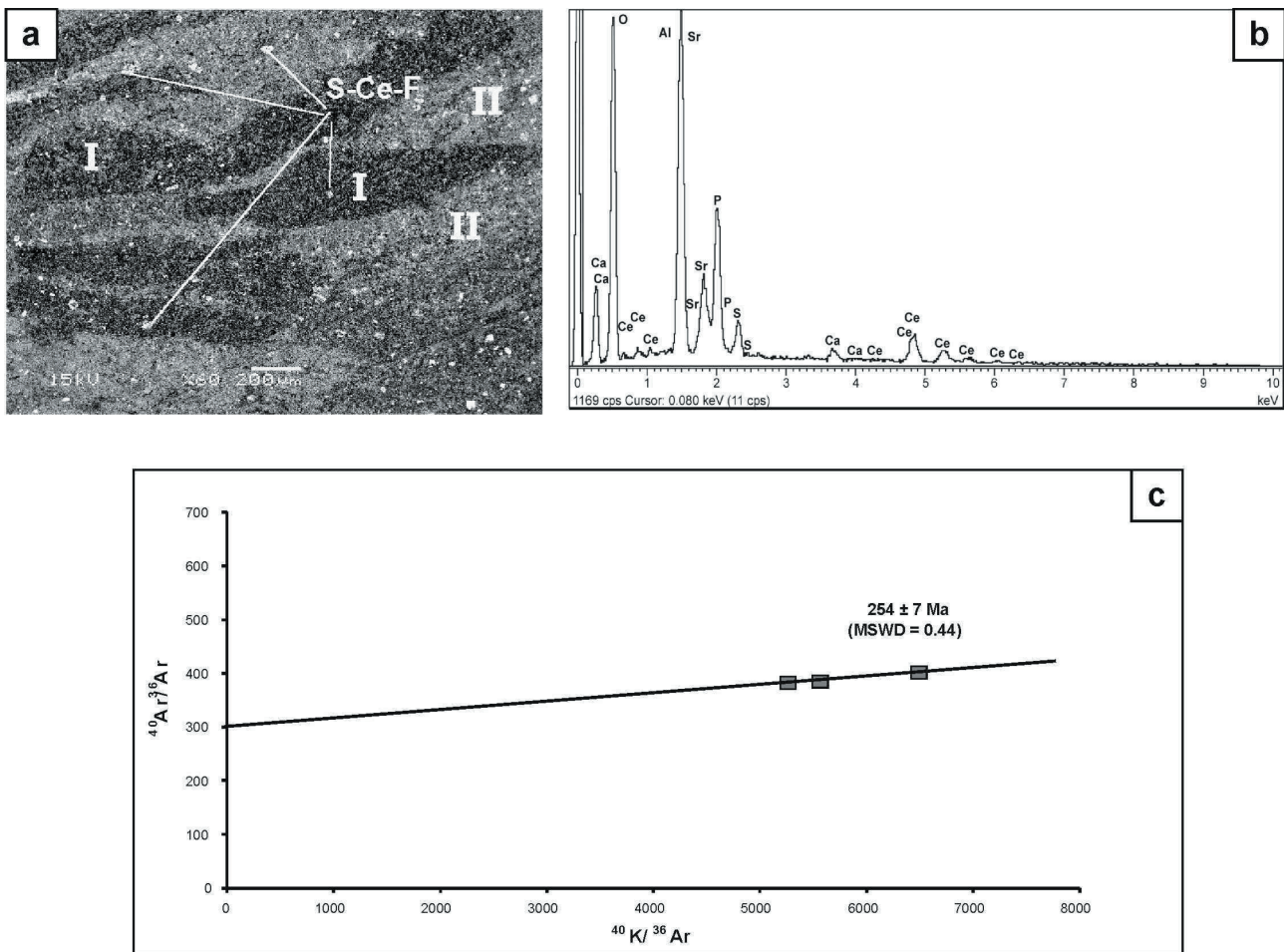


Figura 28 a) Microscopía electrónica en el modo backscattering de alunita con zonas más porosas (en gris) y menos porosas (en negro) con cristales de minerales AFS: S-Ce-F (svanvergita-Ce-florencita). Litofacies Media de la Formación Las Águilas. b) Análisis por microsonda electrónica de minerales AFS: S-Ce-F (svanvergita-Ce-florencita). c) Diagrama de isocronas de $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ versus $^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ que indican una edad de 254 ± 7 Ma para la alunita de la Formación Las Águilas, y que corresponde al Pérmico medio (Zalba et al., 2007a).

Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Las Águilas

Litofacies Media

De acuerdo a numerosos análisis tecnológicos realizados en trabajos de investigación propios, dependiendo de sus características fisicoquímicas y de su coloración (contenido de Fe_2O_3) las arcillas se clasifican como:

1- Aptas para refractarios de alta calidad: Arcillas refractarias con 43-55% SiO_2 ; 33-38% Al_2O_3 ; 0,6 y 1,2% Fe_2O_3 y un cono pirométrico equivalente entre 31 y 32,5. Los minerales presentes son caolinita y/o halloysita con menores proporciones de pirofilita e illita e I/S. Estas variedades son muy escasas.

2- Aptas para cerámica blanca, loza azulejos y refractarios de mediana calidad: Arcillas plás-

ticas blancas y verdosas con 45-46% SiO_2 , 34-36% Al_2O_3 , 0,9-2% Fe_2O_3 y con un cono pirométrico equivalente entre 29 y 26. Los minerales de las arcillas son caolinita, illita, I/S y pirofilita. Estas arcillas son muy escasas.

3- Aptas para cerámica roja: Arcillas con (8-18 % Fe_2O_3); 47% SiO_2 , 31-33% Al_2O_3 y un cono pirométrico equivalente entre 21 y 29. Los minerales son caolinita, pirofilita e illita e I/S. Su uso como refractarios está limitado por el porcentaje de hierro. Este es el tipo de arcilla más abundante en el área.

4- De uso tecnológico limitado: (Fe_2O_3 variable), conteniendo 55-60 % SiO_2 , 23-28 % Al_2O_3 y cono pirométrico equivalente entre 21 y 23. Presentan pirofilita, caolinita e illita e I/S.

En general, las arcillas de la Litofacies Media de la Formación Las Águilas poseen tenores de Fe_2O_3 superiores a los recomendados para la confección de materiales refractarios de alta calidad (no deben exceder el 1%), por lo cual, si bien los valores de Al_2O_3 son altos, no pueden ser destinadas para tal fin.

Todas son arcillas plásticas, con variedades refractarias y semiplásticas. Son intensamente explotadas y utilizadas en las industrias de cerámica roja y cemento, y constituyen uno de los recursos más importantes en cuanto a reservas y calidad.

Litofacies Superior

Las pelitas de esta litofacies, intercaladas con niveles de cuarcitas, forman estratos de reducido espesor y raramente alcanzan una potencia de hasta 9 metros en total.

Las pelitas son arcillitas y limolitas blanquecinas hasta amarillentas, semiduras, semiplásticas y medianamente resistentes al fuego. En general se mezclan con arcillas pirofilíticas blancas, de alta calidad, generando una buena combinación para pastas de "porcellanatos" (Domínguez y Ullman, 2005).

Partido de Lobería...



Figura 30a. San Manuel. Cantera El Palmar, el nivel arcilloso en explotación corresponde al saprolito

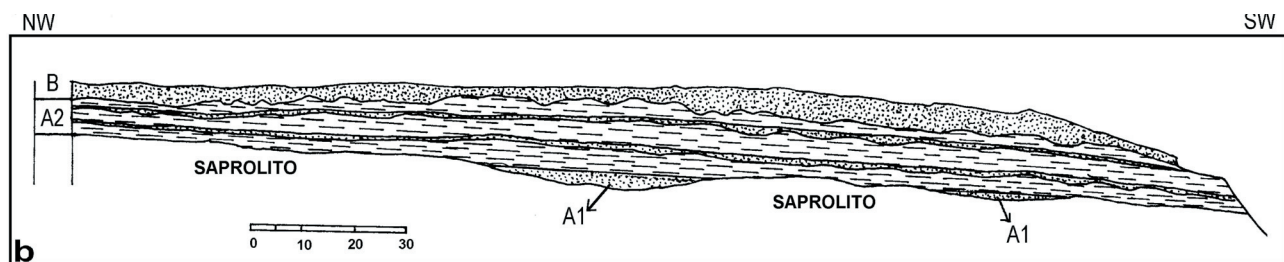


Figura 30b. Sección de la Cantera El Palmar esquematizando a la **Figura 30a**, donde se observa un basamento saprolitizado y una secuencia sedimentaria neoproterozoica. Formación La Juanita: Cuarcitas inferiores (A1) y Miembro dolomías (A2), Formación Cerro Largo (B) (Zalba y Andreis, 1998).

Los estudios realizados por Zalba y Andreis (1998) se llevaron a cabo en las canteras El Palmar, San Felipe y La Primavera, en el cerro Reconquista.

Según estos autores, el basamento cristalino (Complejo Buenos Aires) está representado en el área por rocas migmatíticas (de composición granodiorítica) que muestran evidencias de alteración. Las bandas subparalelas (foliación) y raros pliegues ptigmáticos, que caracterizan a la roca en los sectores menos alterados, desaparecen hacia arriba debido a procesos de saprolitización (meteorización) y las migmatitas adquieren un aspecto homogéneo y macizo. Este proceso es particularmente visible en el cerro Reconquista, en las canteras El Palmar y San Felipe, debido a la extracción de arcillas. Las rocas del basamento, con espesores entre 10 y 22 metros, presentan coloraciones rojizas o violáceas, con evidencias de alteración cada vez mayor hacia arriba, mostrando sucesivamente, zonas muy poco alteradas, seguidas, hacia arriba, de relictos de la roca original *in situ*, inmersos en partes macizas (argilizadas) y, finalmente, partes totalmente transformadas en arcillas, de carácter macizo.

Sobre el basamento alterado (**Fig. 31 BC**) se apoya una sucesión sedimentaria siliciclástica (**Fig. 31: A1; A2 y B**), con espesores de hasta 40 m (Cerro Reconquista), dispuesta subhorizontalmente o con variable inclinación (hasta 15°) hacia el oeste.

Las sedimentitas que cubren el basamento cristalino son de carácter cuarzoso y corresponden a las Cuarcitas Inferiores (**Fig. 31, A1**). Estudios realizados (Zalba y Andreis, 1998) demostraron que estos depósitos se acuñan en las canteras El Palmar y San Felipe hasta desaparecer, lo cual dificultó, durante muchos años, su correlación geológica y por ende el conocimiento de la geología de San Manuel.

La secuencia continúa, hacia arriba, con arcilitas y limolitas amarillentas, con niveles de cuarcitas subordinadas, también pertenecientes a la Formación La Juanita (o Formación Villa Mónica), y con espesores de hasta 8 m (**Fig. 31, A2**).

Hacia arriba, separadas por una superficie de erosión irregular, continúan las cuarcitas de la Formación Cerro Largo (**Fig. 31, B: Cuarcitas Superiores**) con un espesor aflorante de 33 m (Cerro Reconquista).

Solamente se explotan las arcillas que resultan de la alteración del basamento cristalino.

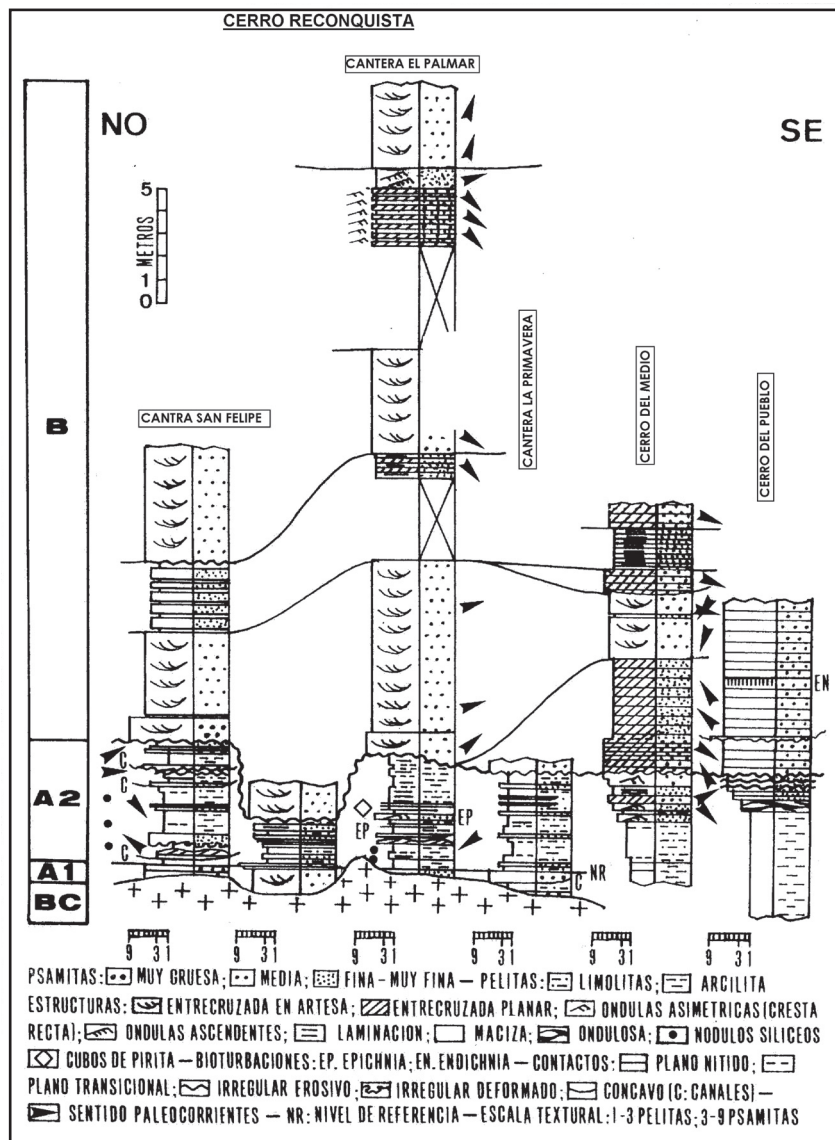


Figura 31. Área de San Manuel. Sucesión sedimentaria proterozoica. Formación La Juanita: Cuarcitas Inferiores (A1) y Miembro dolomías (A2); Formación Cerro Largo (B); Basamento Cristalino (BC) (Zalba y Andreis, 1998).

Yacimientos residuales

Cantera El Palmar

De acuerdo a lo antedicho, las arcillas explotadas en San Manuel constituyen depósitos residuales. Las rocas originales del basamento, de coloraciones rojizas, violáceas y blanquecinas, fueron alteradas hidrotermalmente y luego meteorizadas por exposición subaérea (Andreis y Zalba, 1998). Estas conclusiones, sustentadas en estudios de campo, petrográficos y mineralógicos, han sido corroboradas, después de 9 años de discusión, por Fernández et al. (2007) a través del estudio de elementos de tierras raras en el basamento y en la secuencia sedimentaria sobrepuesta.

En la misma figura que representa el perfil estratigráfico realizado en la cantera El Palmar (Fig. 32A), también se vuelcan los datos de la composición de las arcillas y las impurezas (Fig. 32B) y la frecuencia de los filosilicatos presentes (Fig. 32C). La composición de los filosilicatos (determinada por petrografía y por difracción de rayos X) está constituida por pirofilita y caolinita, con micas, illita e interestratificados de illita-esmectita subordinados. Las impurezas son de abundante hematita y variable proporción de cuarzo, pirita, clinozoicita, anatasa y goethita, según los niveles de explotación (ver Fig. 32B).

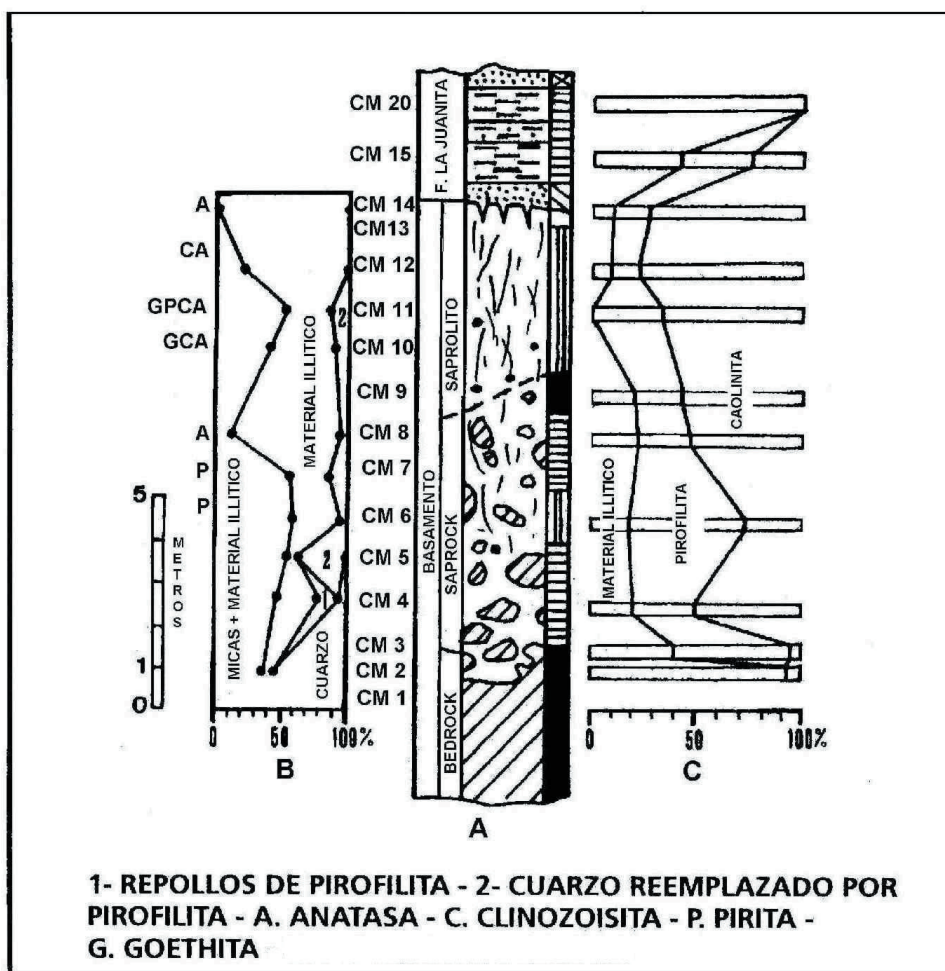


Figura 32. Área de San Manuel, cantera El Palmar. (A): Perfil estratigráfico mostrando el basamento alterado (bedrock, saprock y saprolito) y la secuencia sedimentaria proterozoica. (B): Composición de las rocas del Basamento. (C): Frecuencia de filosilicatos. CM 1-20: muestras (Zalba y Andreis, 1998).

Los análisis petrográficos muestran cristales de escaso cuarzo con texturas de caries (Fig. 33a), ya que éstos han reaccionado hidrotermalmente con la caolinita para dar pirofilita, con una textura “arrepollada” (Fig. 33b).

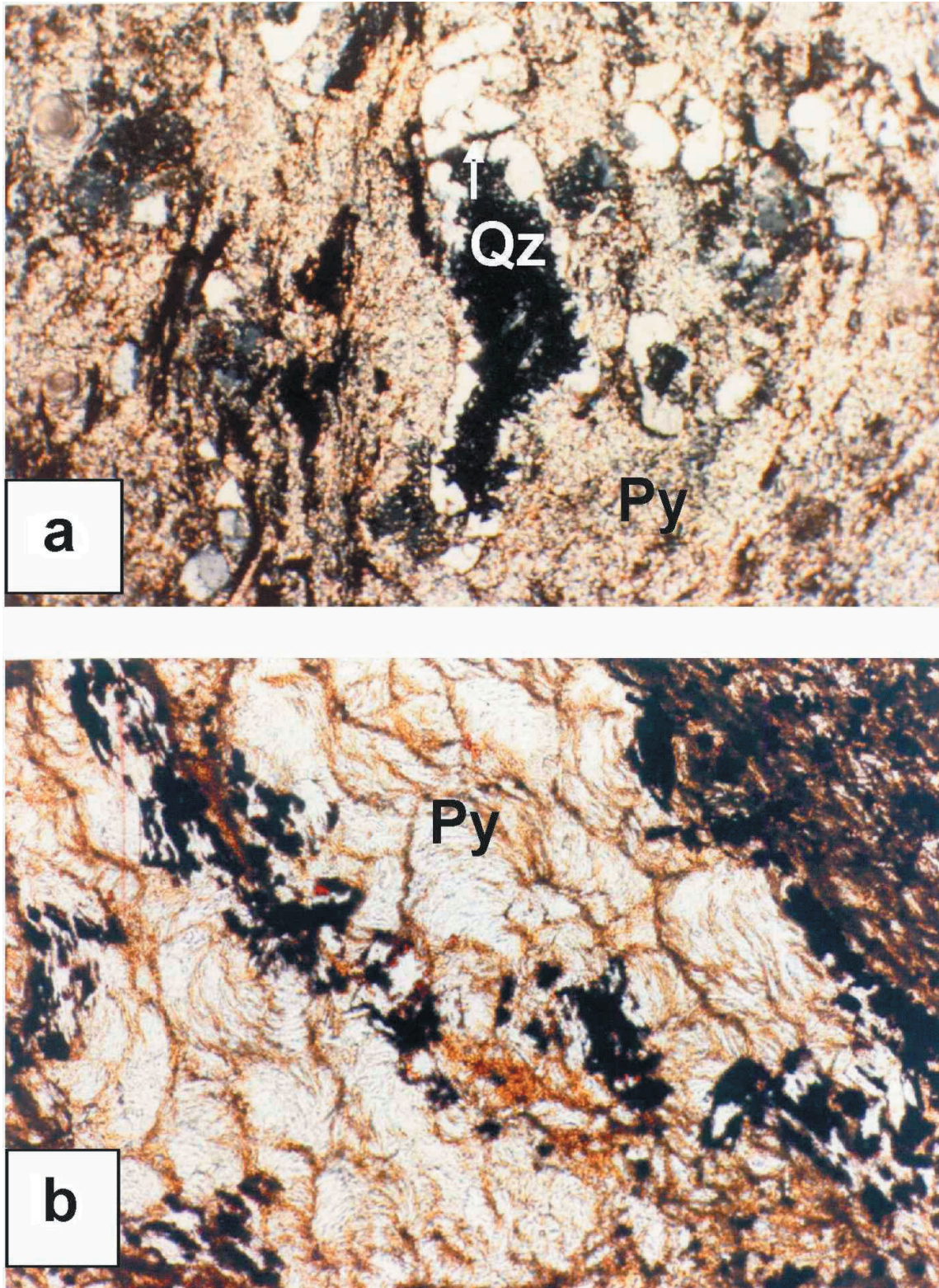


Figura 33. Estudio petrográfico, San Manuel. a) cristales anhedrales de pirofilita (Py) y escasos cristales de cuarzo (Qz) con textura en caries. Con analizador (X 100); b) agregados de pirofilita (Py) formando una textura arrepollada. (X 100) (Zalba y Andreis, 2001).

Microscopía electrónica de barrido de arcillas residuales de la cantera El Palmar

Las microfotografías electrónicas de barrido muestran en el saprock, una textura muy compacta de la roca original del basamento alterado, donde las láminas de pirofilita están “trabadas” e “*in situ*” (Fig. 34a). En cambio, la Fig. 34b representa “libros” de mica, con los clivajes abiertos y parcialmente desferrozada, con bordes aserrados por disolución diagenética. En el saprolito, la goethita, puede verse en agregados arracimados, de una textura muy particular (Fig. 34c).

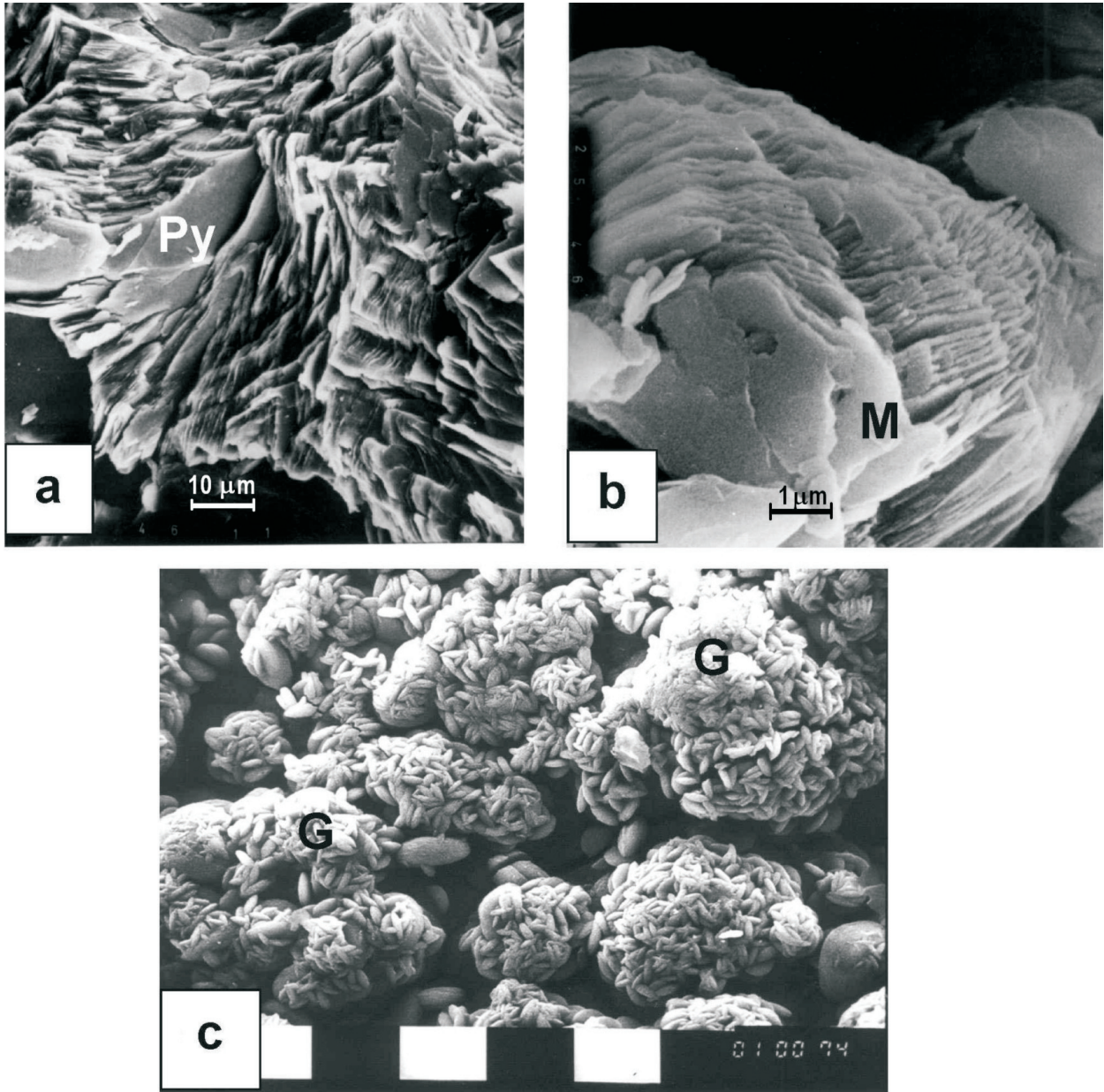


Figura 34. Microfotografías electrónicas de barrido de la cantera El Palmar. Saprock: a) abundantes láminas de pirofilita (Py) trabadas y formadas “*in situ*”. b) Saprock: libros de mica (M) con los clivajes abiertos y bordes aserrados por disolución diagenética. c) saprolito: cristales de goethita (G) en agregados arracimados, de origen diagenético. Escala de la barra: 3 μm .

Cantera San Felipe

Análisis mineralógicos realizados (Zalba y Andreis, 1998) en las arcillas de la parte superior del saprolito, y en la secuencia sedimentaria superpuesta en la cantera San Felipe, arrojan los siguientes resultados:

Muestra SMR (saprolito)	Illita+ illita-esmectita 15 %
	Pirofilita 46 %
	Caolinita 39 %

Impurezas de abundante cuarzo y escasos feldespatos, y escasa presencia de óxidos e hidróxidos de hierro secundarios (hematita y goethita).

*Yacimientos sedimentarios**Cantera El Palmar*

Por otra parte, los niveles arcillosos sedimentarios, que suprayacen a los depósitos residuales, entre bancos de cuarcitas (Formación La Juanita) son de color amarillo, verdoso hasta ocre. Estudios petrográficos realizados sobre estos depósitos (Zalba y Andreis, 1998; Zalba y Andreis, 2001) han permitido determinar una composición fundamentalmente illítica e illito-esmectítica, con escasa participación de caolinita y ocasional pirofilita. Las impurezas son de abundante cuarzo y escasos feldespatos, micas desferrizadas y muy escasa presencia de hematita y goethita. La pirofilita se ha identificado en intraclastos, derivados de la erosión y transporte de las rocas meteorizadas del basamento infrayacente (**Fig. 35a**). Estas sedimentitas muestran una textura formada por bandas de material arcilloso y de cuarzo alineado (**Fig. 35b**) y láminas de mica parcialmente desferrizadas, también con disposición paralela (**Fig. 35c**). Las impurezas están representadas por abundantes cuarzo y feldespatos. Estos niveles no se explotan.

Cantera San Felipe

Los niveles arcillosos sedimentarios (Formación La Juanita) en la cantera San Felipe muestran la siguiente composición mineralógica (fracción < 2 micrones), según Garrido et al. (1998).

Muestra SMC (nivel sedimentario)	Illita 86 %
	Pirofilita trazas
	Caolinita 6%
	Illita-esmectita 6%
	Esmectita 6%

En relación a las impurezas, la muestra SMC se caracteriza por la presencia de abundante cuarzo y feldespatos, micas y muy escasa presencia de hematita y goethita (secundarios).

Los análisis químicos de elementos mayoritarios realizados sobre muestras del basamento alterado (arcilla roja residual en explotación) y de un nivel de la secuencia sedimentaria de la Formación La Juanita (arcilla ocre, potencialmente explotable) en la cantera San Felipe se pueden consultar en la **Tabla 18**.

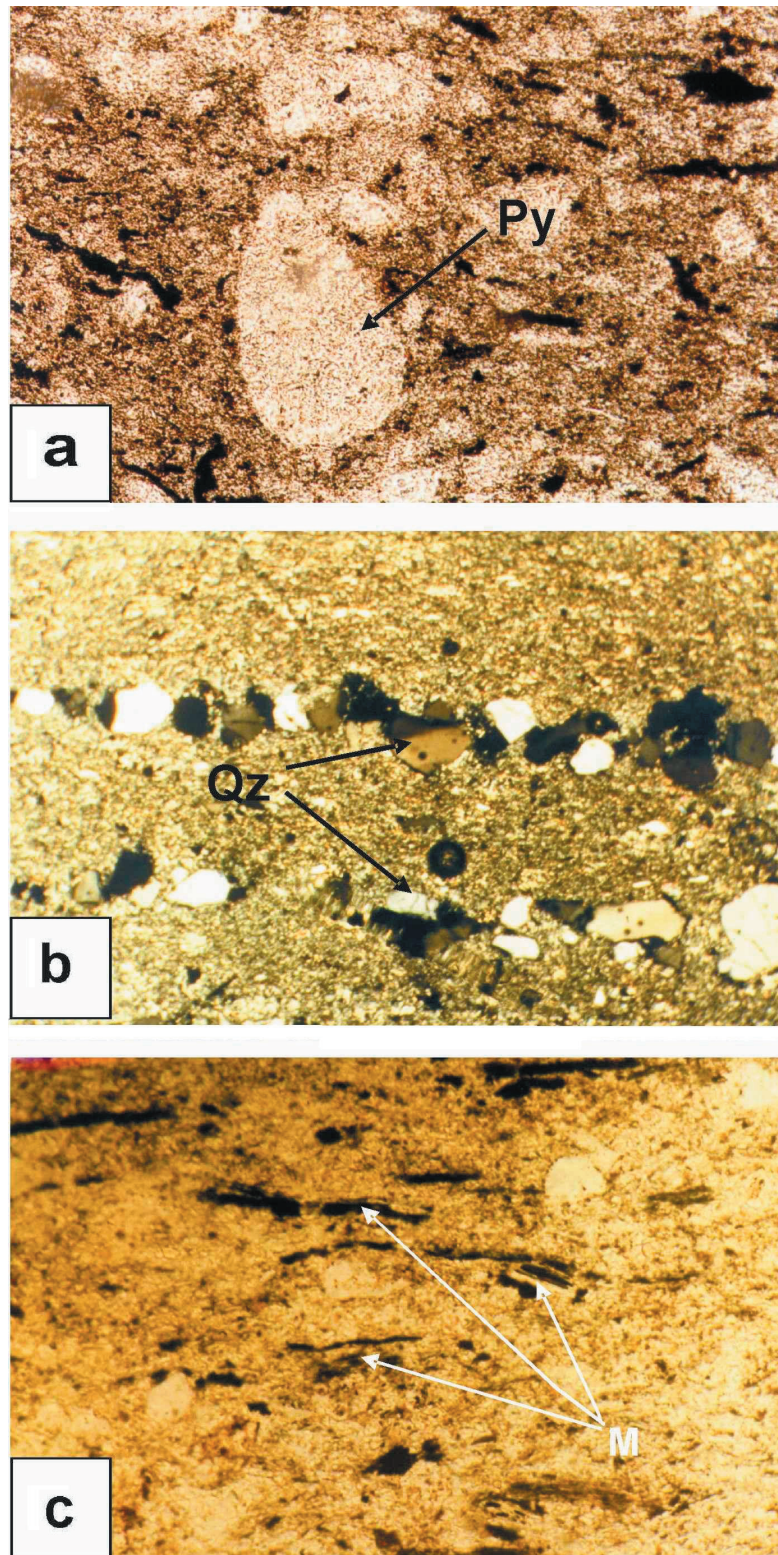


Figura 35. Petrografía de los niveles sedimentarios de la cantera El Palmar. Formación La Juanita. a) intraclastos de pirofilita (Py) en limolitas, derivados de la erosión del basamento. b) bandas de material arcilloso con intercalaciones de cuarzo alineado (Qz). c) láminas de mica (M), parcialmente desferrizadas de disposición paralela. Con analizador. (X 100).

Mues- tra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Pérd. por calcina- ción
SMC	62,01	21,79	3,44	0,9	0,21	0,02	6,89	1,34	4,09
SMR	39,92	29,09	18,00	0,13	0,17	0,63	1,57	2,25	6,76

Tabla 18. Análisis químicos en por ciento de arcillas residuales (SMR) y de arcillas sedimentarias (SMC) de la Formación La Juanita, Sector San Manuel, cantera San Felipe (Garrido et al., 1998).

Estos análisis químicos demuestran que en la roca de basamento alterada, la menor proporción de SiO₂ con respecto al nivel sedimentario, es coherente con la transformación del mismo al reaccionar con caolinita para dar pirofilita, por procesos hidrotermales ocurridos en la roca original. La mayor cantidad de Al₂O₃ en los depósitos residuales se debe a una predominancia de caolinita y pirofilita en los mismos. El óxido de hierro está en relación a la cantidad de micas que comienzan a perderlo por meteorización en el basamento alterado y a la proporción de óxidos de hierro (hematita y goethita) y su disminución en los niveles sedimentarios se debe a la disminución de hematita y goethita en dichos niveles.

El TiO₂, abundante y originalmente contenido en las micas, se debe a la concentración del mismo por destrucción de las micas en el perfil de meteorización.

El aumento en el K₂O en el nivel sedimentario se debe al aumento en la abundancia de illita e illita-esmectita y a la presencia de micas alóctonas, sin alterar, en estos depósitos, como se observó por microscopía óptica. El óxido de calcio es muy escaso en ambos tipos de depósitos (calcita de origen secundario) y el óxido de sodio es mayor en SMC, probablemente contenido en feldespatos calcoalcalinos (plagioclasas), mucho más abundantes en la secuencia sedimentaria.

Propiedades tecnológicas de las arcillas residuales (SMR) y sedimentarias (SMC) de San Manuel, cantera San Felipe

De acuerdo a los estudios de Garrido et al. (1998) una diferencia importante entre los materiales estudiados se encuentra en la distribución de tamaño de partícula, puesto que se trata de un depósito residual “*in situ*” (arcilla roja) y de otro sedimentario (arcilla ocre). Este último presenta granulometría mas fina debido a la selección de sus partículas, ocurrida durante el proceso de transporte a la cuenca de depositación.

Los ensayos tecnológicos tienen por finalidad establecer correlaciones entre las características del producto final, la naturaleza de las materias primas y las condiciones de procesamiento a escala laboratorio.

Para idéntico tratamiento (preparación por moldeo, ciclo térmico, etc.) las propiedades observadas en los productos dependerán, principalmente, de la composición mineralógica (argilominerales y minerales acompañantes) y su granulometría.

Los valores de CPE (cono pirométrico equivalente), porcentaje de tamaño de partículas e índice de plasticidad de las muestras se presentan en la **Tabla 19**. La mayor refractariedad de la muestra SMR la confiere la presencia de pirofilita y el bajo contenido en álcalis.

En cuanto al valor del índice de plasticidad, mayor en la arcilla SMC, el mismo está asociado tanto al contenido de minerales interestratificados de illita-esmectita como al mayor porcentaje de

partículas finas en la muestra.

En las **Tablas 20 y 21** se presentan los resultados de los ensayos de cocción en función de la temperatura. La contracción lineal, absorción de agua, porosidad aparente y la resistencia mecánica (MOR) del producto obtenido indican las diferencias entre ambos materiales.

Como era de esperar, la contracción y la densidad aumentan con el incremento de la temperatura, mientras que la porosidad y la absorción de agua decrecen. Los valores de contracción máxima que se presentan en las **Tablas 20 y 21** son de 8,3% (SMR) y 13,8% (SMC), correspondiendo el mayor a la muestra más plástica. Del mismo modo, la resistencia en verde (MOR) está relacionada con la plasticidad, ya que, generalmente, las arcillas más plásticas exhiben valores más altos de MOR. La resistencia mecánica de las probetas es baja, aunque crece con el aumento de la temperatura. Un importante incremento del MOR a la temperatura máxima para la muestra SMR está probablemente asociado a la formación de mullita, más que al efecto de porosidad. En general, se ha observado que una microestructura densa, con baja porosidad y poros pequeños debido al entrecruzamiento de cristales de mullita en una fase continua, mejora las propiedades mecánicas, la resistencia a la abrasión y la dureza de la pieza calcinada.

Los resultados de la identificación de las fases cristalinas por difracción de rayos X indican que las reflexiones principales de cuarzo, illita-esmectita, feldspatos y de menor cantidad de pirofilita persisten a 950° C y decrecen gradualmente con el aumento de temperatura.

Mullita, cristobalita y hematita se identificaron en la muestra SMR tratada a 1100° C. Este resultado concuerda con los productos de reacción que se desarrollan a partir de la pirofilita, formándose mullita con abundante liberación de sílice.

En el difractograma de la muestra SMC calcinada a 1150° C, se reconoció cuarzo. A partir de los análisis por difracción de rayos X no es posible reconocer otras especies cristalinas presentes a esta temperatura, debido a la baja intensidad de las reflexiones. En la bibliografía actual aún existe discrepancia sobre las fases cristalinas en las que se descompone el material illítico a estas temperaturas.

Los resultados de la **Tabla 20** indican que, con la variedad SMC, se obtienen productos densos y levemente coloreados. Por calcinación a 1150° C, la absorción de agua disminuye a valores < 5%, con regular contracción. Estos materiales podrían emplearse como sustitutos parciales de otras arcillas o fundentes para aumentar la velocidad de sinterización de masas cerámicas de diversos usos (loza, sanitarios, revestimientos para pisos, etc.).

De acuerdo a los resultados obtenidos, la arcilla SMR (**Tabla 21**) presenta la menor contracción y mayor porosidad en los productos calcinados, aún a temperatura máxima de 1150° C. Estos valores están, probablemente, vinculados a la presencia de pirofilita y a la granulometría más gruesa que caracterizan esta muestra. Sin embargo, al determinar su uso posible deberá considerarse la baja plasticidad y resistencia en verde de este material. De acuerdo a la bibliografía existente, este inconveniente podría resolverse, en parte, por la adición de un pequeño porcentaje de plastificante. La calidad del material lo hace adecuado para su uso en mezclas y corregir formulaciones de cerámica roja de excesiva plasticidad y contracción, así como corregir la porosidad (Garrido et al., 1998).

Propiedad	SMR	SMC
Índice de Plasticidad	5,6	8,6
% fracción < 44µm	35,2	74,3
% fracción > 2 µm	9,4	16,3
CPE, temperatura (°C)	1430	1260

Tabla 19. Plasticidad y granulometría de las arcillas de San Manuel. CPE: Cono pirométrico equivalente (Garrido et al., 1998).

Temperatura (°C)	Barro plástico				Prensadas (200 Kg./cm ³)			
	C (%)	AA (%)	PA (%)	MOR (Kg./cm ²)	C (%)	AA (%)	PA (%)	MOR (Kg./cm ²)
100	0,2	---	---	4	0,2	---	---	2
950	0,8	19,7	33,9	77	0,2	14,2	27,4	87
1000	5,0	13,4	25,5	142	0,5	9,9	20,6	148
1050	8,6	6,5	14,3	197	3,8	4,5	10,5	205
1150	13,8	0,5	1,0	244	5,8	0,3	0,7	nd
% de agua de moldeo	24				5			

Tabla 20. Arcilla SMC: contracción lineal (C), absorción de agua (AA), porosidad aparente (PA), módulo de ruptura (MOR) en función de la temperatura de calcinación (Garrido et al., 1998).

Temperatura (°C)	Barro plástico				Prensadas (200 Kg./cm ³)			
	C (%)	AA (%)	PA (%)	MOR (Kg./cm ²)	C (%)	AA (%)	PA (%)	MOR (Kg./cm ²)
100	0,2	---	---	---	0,2	---	---	---
950	2,5	18,7	35,3	21	-2,0	11,3	24,9	52
1000	3,7	17,6	34,0	53	-2,0	9,4	21,6	119
1050	4,5	15,8	31,6	98	-1,0	9,3	20,8	162
1150	8,3	10,7	23,2	208	1,6	5,7	13,0	nd
% de agua de moldeo	20				5			

Tabla 21. Arcilla SMR: contracción lineal (C), absorción de agua (AA), porosidad aparente (PA), módulo de ruptura (MOR) en función de la temperatura de calcinación (Garrido et al., 1998).

Por lo tanto, la presencia de pirofilita, en las arcillas residuales, aumenta el poder refractario de las mismas, aunque contienen entre 15 y 25 % de óxidos e hidróxidos de hierro. Los ensayos tecnológicos indican que los materiales de origen residual son de regular plasticidad y resultan aptos para la confección de cerámica roja o estructural (Schalamuk et al., 1992).

En cuanto a las arcillas sedimentarias, por su alto contenido de cuarzo y predominancia de illita y micas, baja absorción de agua y colores claros luego de calcinadas, son aptas para la fabricación de cerámica clara y loza.

Según datos de Schalamuk et al. (1992) se han determinado otros usos para estas arcillas sedimentarias: como material de carga (goma), las de fácil dispersión, y como fundente, las de alto contenido de álcalis. Aquellas con alto contenido en óxidos de hierro, también podrían ser utilizadas en la confección de ladrillos comunes.

Partido de Olavarría...

Sector Sierras Bayas

Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica y química de la Formación Olavarría

Los depósitos de arcillas de este sector corresponden a la Formación Olavarría (para otros autores incluida en la Formación Cerro Largo) y también a la Formación Cerro Negro (ver **Fig. 3**), ambas de edad neoproterozoica. Representan importantes depósitos sedimentarios de arcillas de las Sierras de Tandilia, tanto por su extensión como por sus aplicaciones tecnológicas.

La Formación Cerro Largo se extiende por las Sierras Bayas y fue descrita (Poiré, 1987; 1993) como constituida por tres unidades (o miembros) separadas por contactos transicionales, que, de abajo hacia arriba son:

- 1- alternancia de pelitas y psamitas (incluyen brechas silíceas, fangolitas y diamictitas)
- 2- Cuarcitas Superiores
- 3- pelitas (arcilitas y limolitas)

Sobre la base de estudios geológico-estratigráficos de detalle, Andreis et al. (1996) redefinieron el *Miembro pelitas* (unidad 3) de la Formación Cerro Largo original, considerándolo como una unidad independiente denominada Formación Olavarría, y los autores del presente trabajo la estudiaron en diversas localidades de las Sierras Bayas: -Ex Cementos San Martín, hoy Loma Negra, donde se definió la localidad tipo: El Tajo-, Cruz Pavone, Cal Moreno; Aust, San Andrés; Cementos Avellaneda, Minera Olavarría, LOSA, y más recientemente (Zalba et al., 2007a) en la cantera La Pampita, Loma Negra, entre otros. En la **Fig. 36** se pueden apreciar las distintas coloraciones de base a techo (gris, ocre y rojizo) de los depósitos de arcillas de esta formación en la cantera Cruz Pavone.

En este trabajo se adopta la denominación de Formación Olavarría para la unidad 3 (pelitas).

La misma se encuentra limitada por discordancias erosivas que las separan de las unidades subyacentes (Cuarcitas Superiores) y suprayacentes (Formación Loma Negra). En la **Fig. 37** se puede apreciar que las pelitas rojas de la Formación Olavarría, en contacto con las calizas de la Formación Loma Negra suprayacente, han descendido por falla. La Formación Olavarría incluye facies pelíticas, heterolíticas (areniscas y pelitas) y arenosas (cuarcitas) con espesores de hasta 25 metros (38 m en el subsuelo).

La Formación Olavarría, en el área tipo de Sierras Bayas (perfil estratigráfico El Tajo **Fig. 38**) se encuentra constituida por tres secciones:

Una sección inferior, con más de 11 m de potencia (arcilitas con intercalaciones de limolitas y areniscas cuarzosas grisáceas, gris amarillentas y ocres).

Una sección media, de hasta 9 metros de espesor (areniscas, alternancia de areniscas y arcilitas además de arcilitas, con coloraciones amarillentas y ocres).

Una sección superior (limolitas y arcilitas subordinadas, rojizas y lilas predominan sobre coloraciones amarillentas o grisáceas). Todas son productivas económicamente.

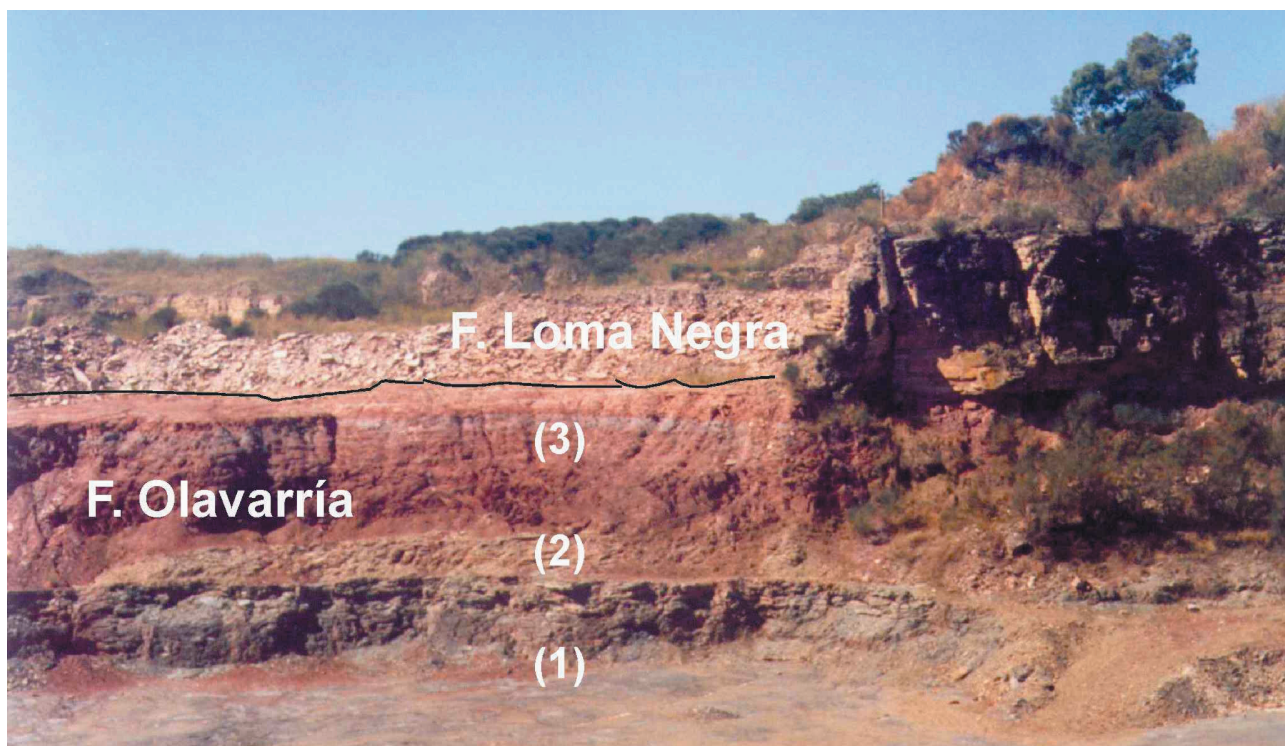


Figura 36. Formación Olavarría, Cantera Cruz Pavone, Sierras Bayas. Pelitas grises (1); pelitas ocreas (2); pelitas rojizas (3). Por encima, y en discordancia, se encuentra la Formación Loma Negra.

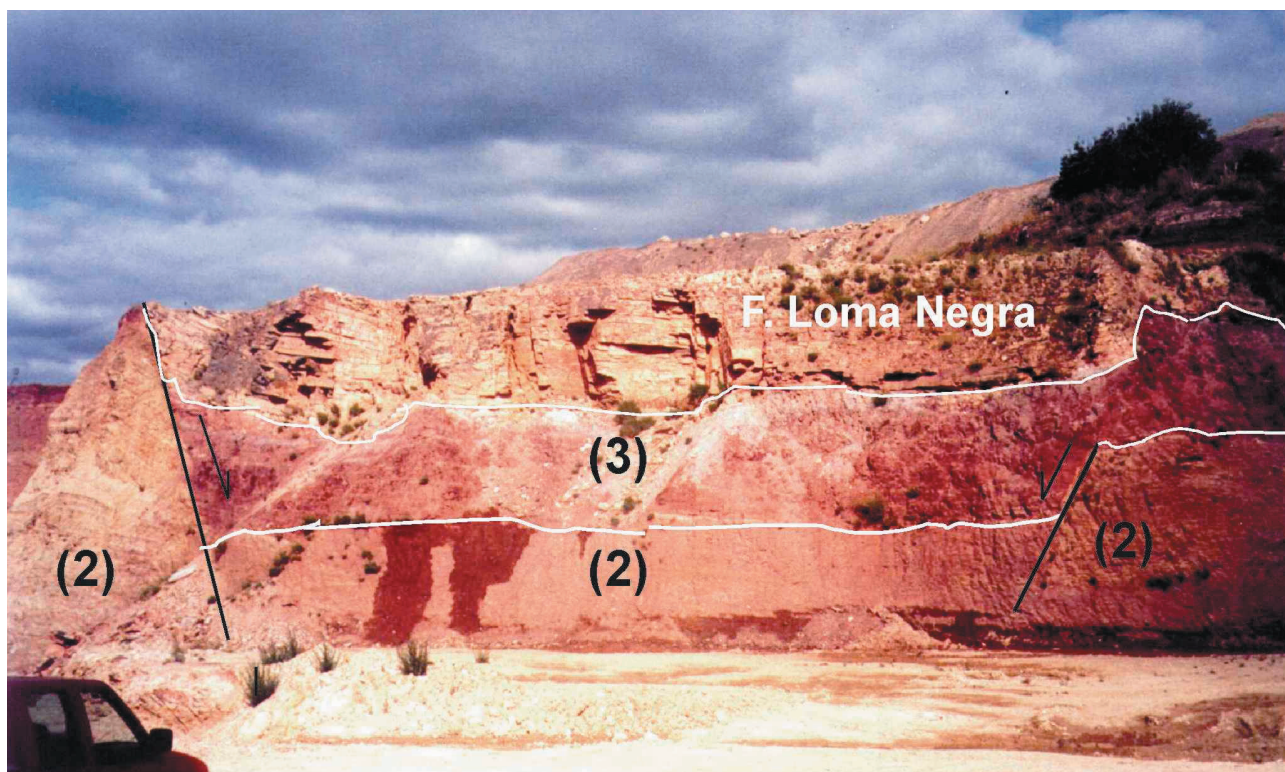


Figura 37. Formación Olavarría, cantera Dos Hermanos, Sierras Bayas. Pelitas ocreas (2); pelitas rojizas (3), cubierta en discordancia por la Formación Loma Negra. Las flechas indican el movimiento relativo de los bloques.

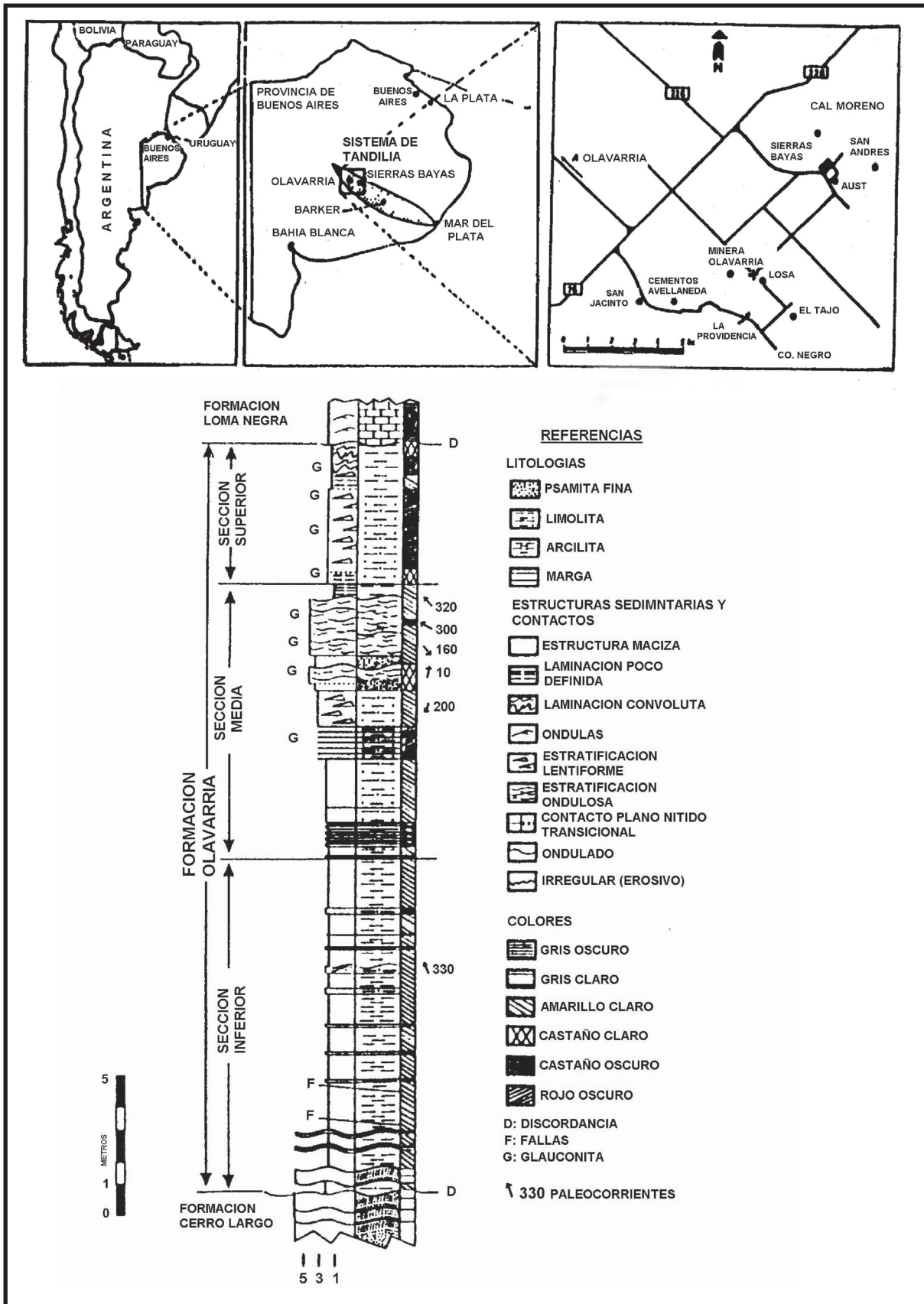


Figura 38. Localización y perfil estratigráfico El Tajo, representando el área tipo de la Formación Olavarría. Sierras Bayas (Andreis et al., 1996).

Cantera Cruz Pavone

Los estudios petrográficos realizados (Zalba et al., 1996) sobre las arcillas de la Formación Olavarría en la cantera Cruz Pavone permiten identificar, en las pelitas grises, una textura donde se aprecia una laminación formada por alternancia de material arcilloso y cuarzo. Cuando predomina el material arcilloso, éste está teñido de óxidos y sulfuros de hierro (hematita y pirita, respectivamente: (Figs. 39a y 39b). La textura de las pelitas ocreas ofrece una laminación más marcada y el óxido de hierro se dispone en la porción más arcillosa, siguiendo grietas y fisuras (Fig. 39c). En las pelitas rojizas, (Fig. 39d), en cambio, además de una laminación marcada, y óxidos de hierro en fisuras, se aprecia abundante cantidad de calcita, por lo cual la roca constituye una limolita calcárea.

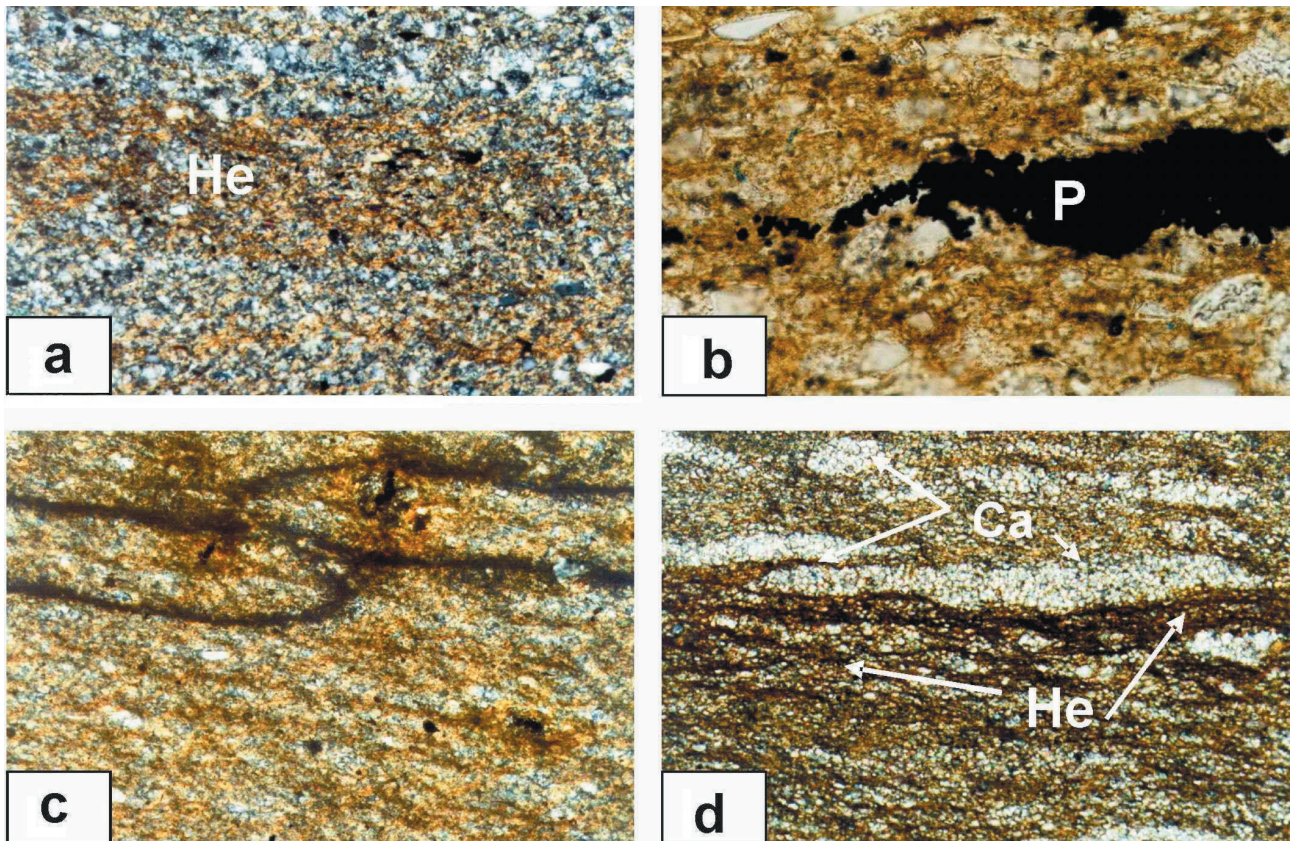


Figura 39. Estudio petrográfico, Formación Olavarría. a y b) pelitas grises, hematita (He); pirita (P) (x 100 y x 400 respectivamente). c) pelitas ocreas con hematita relleno de fisuras (x 100). d) limolita calcárea rojizas, lentes de calcita (Ca) y hematita (He) reemplazando matas algales? (x 40). Con analizador. Cantera Cruz Pavone, Sierras Bayas.

Perfil El Tajo, Loma Negra (Ex San Martín)

Las arcillas de la Formación Olavarría, analizadas por difracción de rayos X, están compuestas por illita + illita-esmectita (I/S), que predominan en las tres secciones, con porcentajes similares. Trazas de calcita, muy abundantes micas y escasos feldespatos, también están presentes en la sección superior. El cuarzo es muy abundante en todas las secciones (Tabla 22). Micas detríticas e illita derivan de la erosión del basamento cristalino mientras que los I/S son producto de diagénesis sobreimpuesta. Escasas caolinita y glauconita se han detectado en la sección media, mientras que trazas, o bien muy escasas esmectitas, se observan en las secciones inferior y media. Óxidos e hidróxidos

de hierro (hematita y goethita, respectivamente) son abundantes en las arcillas rojas mientras que abundante pirita, sin alterar, o alterada a hematita, se detectó en la sección inferior (arcillas grises).

Muestra	Material illítico %	Caolinita %	Esmectita %	Impurezas		
				Cuarzo	Feldespatos	Calcita
T28	100	-	-	m.a	-	m.a
T27	100	-	-	m.a	-	m.a
T26	100	-	-	m.a	m.e	m.a
T25	100	F. Loma Negra	-		m.e	
T24	100	F. Olavarría	-	m.a	m.e	-
T23	100	-	-	m.a	m.e	-
T22	100	-	-	m.a	m.e	-
T20	100	-	-	m.a	m.e	m.e
T19	100	-	-	m.a	m.e	-
T18	100	-	-	m.a	m.e	m.e
T17	96	4	-	m.a	e	-
T16	100	-	trazas	m.a	m.e	-
T15	100	-	trazas	m.a	m.e	-
T13	92	8	-	m.a	-	m.e
T12	94	6	-	m.a	-	e
T11	94	6	-	m.a	-	m.a
T9	80	20	-	m.a	-	m.a
T8	100	-	-	m.a	e	e
T7	95	5	-	m.a	e	e
T6	100	-	-	a	-	e
T4	100	-	-	m.a	-	e
T3	100	-	-	m.a	e	e
T2	100	-	-	m.a	-	-
T1	100	-	-	m.a	e	-
T0	100	siderita	-	m.a	-	-

Tabla 22. Análisis mineralógico semicuantitativo (en por ciento) de arcilla (< 4 micrones) por difracción de rayos X, de muestras del perfil El Tajo, Sierras Bayas. Referencias. m.a: muy abundante; a: abundante; e: escaso; m.e: muy escaso. T0-28: muestras (Zalba et al., 1996).

Los análisis químicos correspondientes a muestras seleccionadas del perfil estratigráfico realizado, El Tajo, se muestran en la **Tabla 23**.

También se realizaron análisis químicos de elementos mayoritarios sobre “acopios” (o muestras compuestas) ocre y rojos de la Formación Olavarría, en Sierras Bayas (Garrido et al., 1996) que se muestran en la **Tabla 24**. Los datos químicos de los “acopios” reflejan diferencias entre ambos materiales. Los contenidos de K_2O , Fe_2O_3 y la relación Al_2O_3/SiO_2 son mayores en la muestra roja respecto de la ocre. En ésta última se registra un incremento en los valores de CaO , por la presencia de calcita.

Muestra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	Pérdida por calcinación
T3	66,90	16,47	3,61	<0,01	1,14	0,35	0,06	5,36	0,90	0,08	4,79
T7	73,19	12,67	4,19	0,02	0,70	0,64	0,04	3,81	0,68	0,06	4,17
T8	67,94	16,44	2,74	<0,01	0,99	0,45	0,06	4,84	0,90	0,06	4,83
T16	66,50	16,29	3,39	<0,01	1,24	0,40	0,05	5,23	0,80	0,07	4,98
T18	63,65	15,37	7,11	<0,01	1,39	0,36	0,06	5,26	0,73	0,11	5,00
T20	67,89	12,04	7,21	<0,01	1,33	1,44	0,06	4,22	0,61	0,99	4,12

Tabla 23. Análisis químicos (en por ciento en peso) de muestras seleccionadas de arcillas del perfil El Tajo, Sierras Bayas. (Zalba et al., 1996).

Muestra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Pérdida por calcinación
Roja	64,4	15,8	7,04	1,33	0,31	0,06	5,74	0,79	4,48
Ocre	67,6	13,14	4,5	0,87	1,48	0,06	4,20	0,77	5,09

Tabla 24. Composición química (en por ciento en peso) de acopios de arcillas rojas y ocre de la Formación Olavarría (Garrido et al., 1996).

La proporción de K₂O en ambos casos es menor a 10 %, e indica la presencia de capas expansivas en la illita, mientras que la cantidad de MgO presente es coherente con la proporción de este óxido contenida en illitas derivadas de la meteorización de feldespatos de rocas graníticas. La relación Al₂O₃/K₂O es relativamente más elevada en la arcilla ocre (próxima a 3).

Los cálculos realizados sobre acopios de las arcillas ocre y rojas (muestra compuesta) arrojan 37 % de illita para el acopio ocre y 50 % de illita para el acopio rojo, respectivamente. La cantidad de sílice incluye al cuarzo (sílice libre), y es cercana al 50 % para la muestra ocre, y 40 % para la muestra roja, respectivamente.

Cantera La Pampita, Loma Negra

Una mención especial merecen los estudios realizados en un frente de cantera abierto en la cantera La Pampita, en las cercanías de la planta Lamali, Loma Negra (**Fig. 40**), ubicada a 14 Km al SO de la ciudad de Olavarría, en las Sierras Bayas. En este afloramiento, Zalba et al. (2007a) encontraron un dique clástico arcilloso, subhorizontal, intercalado entre las calizas de la Formación Loma Negra, y cuyo estudio permitió a los autores la interpretación de complejos procesos de diagénesis ocurridos regionalmente, relacionados con la Formación Olavarría y con la Formación Las Águilas, en la Cuchilla de Las Águilas, vinculados al levantamiento del Sistema de Ventania.

El dique clástico arcilloso subhorizontal tiene una orientación N-S y se extiende por más de 300 m, intercalado en 15 m de calizas negras de la Formación Loma Negra. Tiene un espesor prome-

dio de 1,50 m, con ocasionales adelgazamientos de 0,20 m de espesor (**Fig. 41 a, b**) y suprayace a un nivel de conglomerado polimítico de espesor entre 0,05 m y 0,20 m.



Figura 40. Vista de la apertura de la cantera La Pampita, Loma Negra, Sierras Bayas. Las flechas señalan el frente, de dirección NS, donde se realizó el estudio. (A) Arcillas de la Formación Olavarría. (C): Calizas de la Formación Loma Negra. N: Norte

Rasgos de disolución en la caliza se observan claramente en el contacto con el dique clástico, y la estructura de las calizas varía de acuerdo a su ubicación con respecto al mencionado dique. En efecto, las calizas por debajo del dique clástico son macizas y no disturbadas tectónicamente, mientras que las que lo suprayacen están desplazadas, localmente, a lo largo de fracturas abiertas verticales. Varios *grabens* se observan en las calizas por encima del dique clástico, con bloques colapsados (de hasta 3 m de longitud) que produjeron el adelgazamiento del mismo (**Fig. 41b**). Una falla de dirección NE-SO se observa en el frente de cantera.

Varios diques clásticos verticales han sido identificados también en el mismo afloramiento (**Fig. 41a**) conectados al dique clástico subhorizontal y que intersectan a las calizas con una longitud que varía entre 2 m y 7 m, hasta la superficie actual de erosión de las mismas. Estos diques verticales solamente se encuentran en las calizas ubicadas por encima del dique subhorizontal.

Pequeños bloques de calizas se hallaron en los diques verticales. Los contactos entre los diques verticales y la roca hospedadora (calizas) muestran las siguientes características: (1) marcada deformación de los estratos de calizas fracturadas a ambos lados del dique vertical, con la misma orientación subvertical (**Fig. 41a**) y (2) consecuente disolución de los estratos de calizas deformados. Al menos seis diques clásticos verticales del mismo estilo (**Fig. 41c**) quedan expuestos a lo largo del contacto entre la Formación Olavarría y la Formación Loma Negra, 200 m al NE del frente descrito en La Pampita, y también en Cementos Avellaneda, a 3,2 km al NE de La Pampita. Todos estos otros

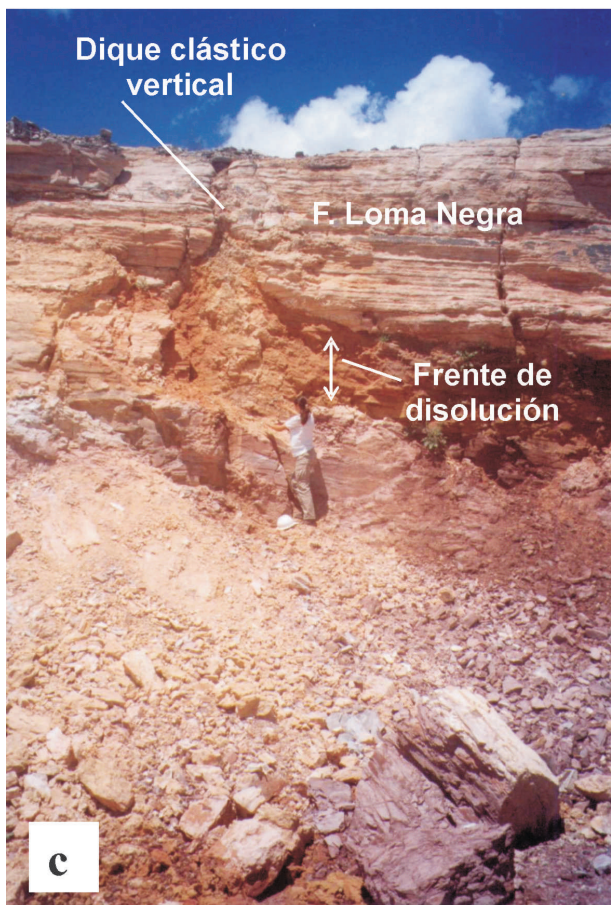
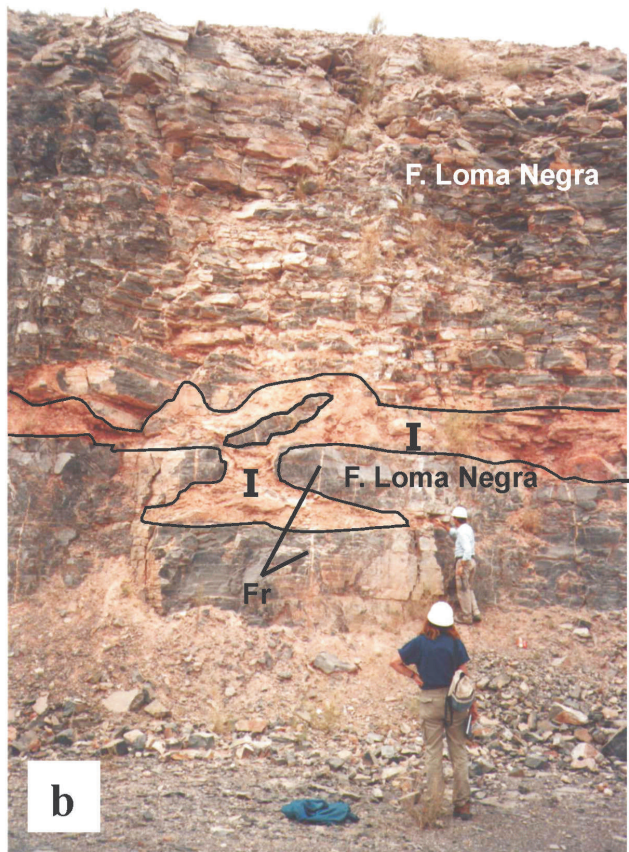
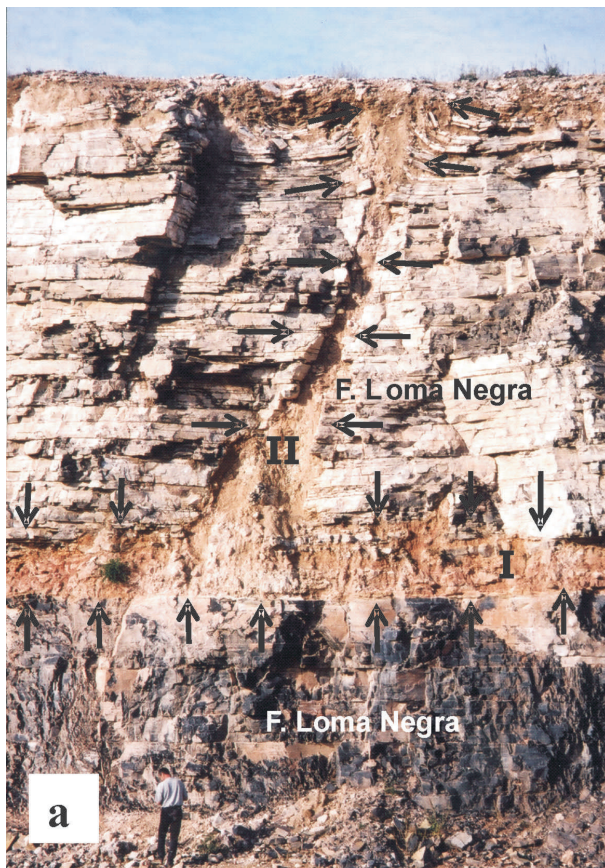


Figura 41. Cantera La Pampita, Sierras Bayas. a) I Dique clástico subhorizontal en la Formación Loma Negra (Flechas verticales). II) Dique clástico vertical asociado al dique horizontal (Flechas horizontales). Deformación hacia arriba de los estratos de caliza a ambos lados del dique vertical (Flechas inclinadas). b) Fractura y desplazamiento de bloques de caliza dentro del dique clástico horizontal. Fracturas verticales (Fr), rellenas con calcita, muestran solo desplazamiento vertical. c) Frente continuo de disolución desarrollado en la base de la Formación Loma Negra. Dique clástico vertical que atraviesa a la formación Loma Negra (caliza).

diques verticales arcillosos están directamente conectados con la Formación Olavarría infrayacente. La discordancia erosiva entre la Formación Olavarría y la Formación Loma Negra, descrita por Andreis et al. (1996) ha sido parcialmente obliterada por el desarrollo de un frente continuo de disolución en las calizas suprayacentes (**Fig. 41c**). Varias características relacionadas con efectos compresivos y plegamiento de los estratos se pueden observar en la Formación Olavarría.

Por otro lado, la fábrica del conglomerado polimíctico, en la base del dique clástico subhorizontal, exhibe rasgos de alteración química: granos de cuarzo corroídos con texturas de disolución, reemplazo de cuarzo y feldespatos por calcita, disolución de feldespatos, y desarrollo de estilolitas intergranulares, paralelas a la estratificación. El cemento es de calcita. La fracturación y desplazamiento de los granos de cuarzo, microclino (feldespatos), clastos de cuarcitas y fragmentos de arcilla (intraclastos), se atribuyen a la presión ejercida por fluidos que produjeron una textura flotante de granos (**Fig. 42a**). Hasta tres pulsos de crecimiento de cemento de calcita se han observado, desplazando y reemplazando la matriz y también rellenando fracturas y pequeñas fisuras (**Fig. 42a**). El contacto entre el conglomerado y la caliza infrayacente muestra signos de disolución-precipitación, llevando a la cristalización de calcedonia y calcita en cavidades. Eventos posteriores de mineralización produjeron la precipitación de hematita en espacios disponibles entre el cemento calcítico. (**Figs. 42b y c**).

El depósito arcilloso por encima del conglomerado (dique clástico) consiste de clastos y pequeños fragmentos de roca (desde milimétricos hasta 3 cm.) soportados por una matriz arcillosa. Cuarzo monocristalino redondeado y feldespatos angulosos (microclino, ortosa, plagioclasa) predominan sobre los clastos líticos (constituidos por fragmentos elongados de arcilla, cataclasitas de granito, ortocuarcita, chert y cuarzo policristalino). Los sedimentos son pobremente seleccionados y texturalmente inmaduros, con signos de fragmentación (**Fig. 42d**). La matriz arcillosa, de color castaño claro, muestra *slickensides*, y una orientación preferencial de minerales de las arcillas se puede observar en la matriz, la cual llena espacios entre granos fragmentados. Recubrimientos (*coatings*) tangenciales de arcilla y de hematita rodean los granos y rellenan fracturas. Son frecuentes los agregados de calcita. Los sedimentos están pobremente litificados y son macizos.

La difracción de rayos X del material arcilloso del dique subhorizontal de la cantera La Pampita (**Fig. 43a**) indica que un interestratificado de illita-esmectita (I/S), con 70 % de esmectita, es el mineral de las arcillas predominante. Un tipo similar de I/S, pero con hasta 90 % de esmectita se identificó en los diques clásticos conectados a la Formación Olavarría (**Fig. 43b**), relacionado al frente de disolución desarrollado en el contacto entre la Formación Olavarría y la Formación Loma Negra. En la base de la Formación Olavarría, los minerales de las arcillas consisten de un interestratificado ordenado I/S, con < 15 % de esmectita, similar a la composición encontrada regionalmente para esta unidad (Zalba et al., 1996).

La interpretación de las características de los depósitos de los diques clásticos permitió llegar a conclusiones expuestas en el trabajo de Zalba et al. (2007a), un resumen de las cuales es el siguiente:

El conglomerado y los diques clásticos contienen fragmentos de rocas derivados del basamento cristalino, de la Formación Cerro Largo, de la Formación Olavarría y de la Formación Loma Negra.

Las características mineralógicas y texturales de los depósitos arcillosos de los diques clásticos, que intersectan a las calizas de la Formación Loma Negra, son consistentes con procesos de inyección de material fino -que puede ocurrir en respuesta a la penetración de fangos sobrepresurizados, fluidizados a lo largo de fallas previamente desarrolladas, fracturas, discontinuidades sedimentarias dentro de las calizas- y también con la precipitación de minerales secundarios en fracturas abiertas y poros. La fragmentación de los granos también es típica de procesos de inyección, como

fuera postulado por Pickering et al. (1988).

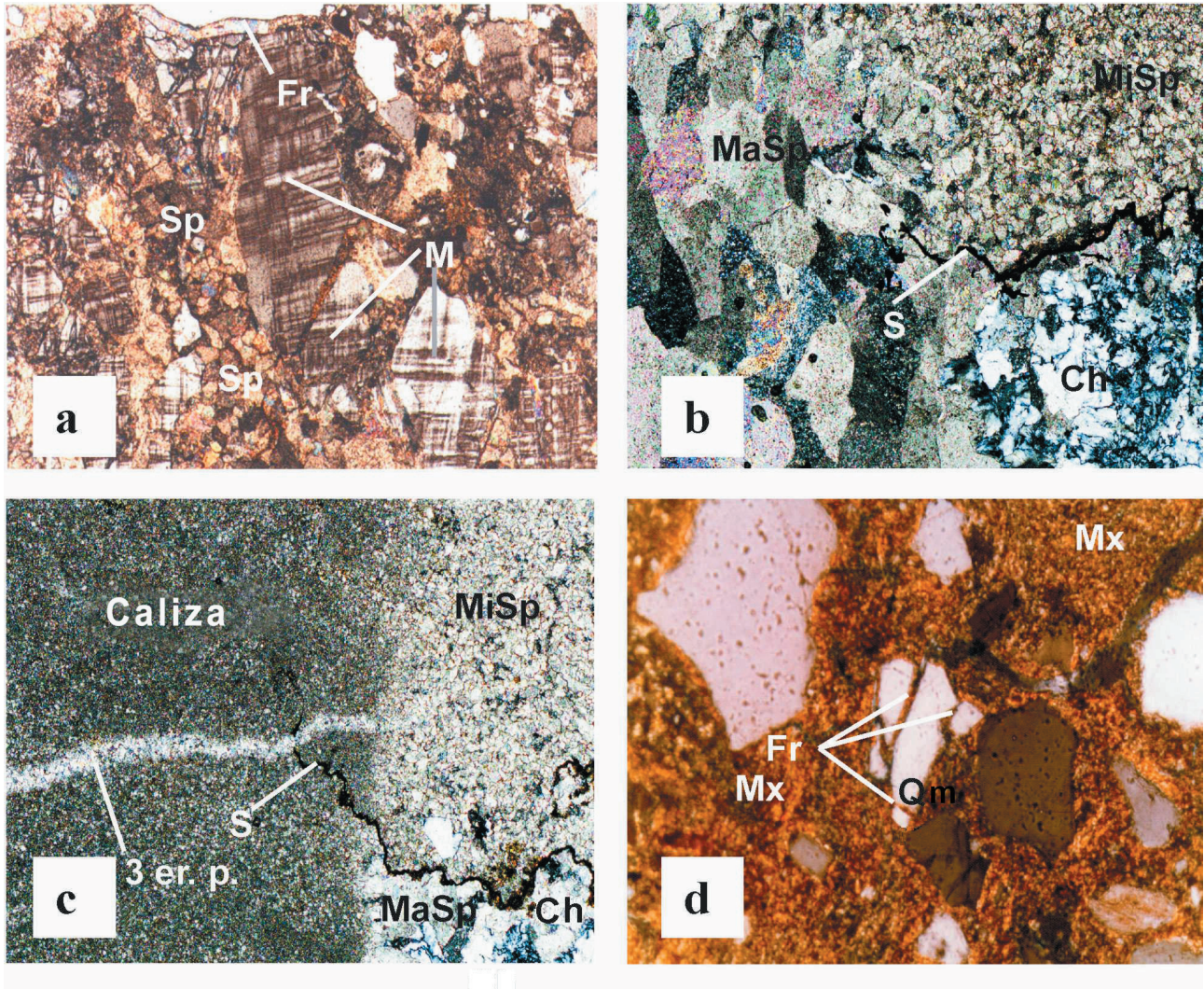


Figura 42. Cantera La Pampita, Sierras Bayas a) conglomerado polimíctico. Cristales de microclino (M) circundado por cemento calcítico esparítico (Sp). Fracturas rellenas con calcita (Fr). b) Detalle de pulsos de microesparita y macroesparita (Mi-Sp y Ma-Sp, respectivamente) y calcedonia (Ch) relleno de espacios porales y cavidades. Estilolitas (S) cortadas por el crecimiento de cemento microesparítico. c) Detalle del tercer pulso de crecimiento (3er.p.) de cemento esparítico relleno de fracturas y cortando a las estilolitas (S) en el contacto entre la caliza y el conglomerado. d) Conglomerado. Cuarzo monocristalino (Qm) fracturado (Fr) y desplazado por inyección de matriz arcillosa (Mx) de composición I/S. Todas las fotografías tomadas con Nícoles cruzados, x100. (Zalba et al., 2007a).

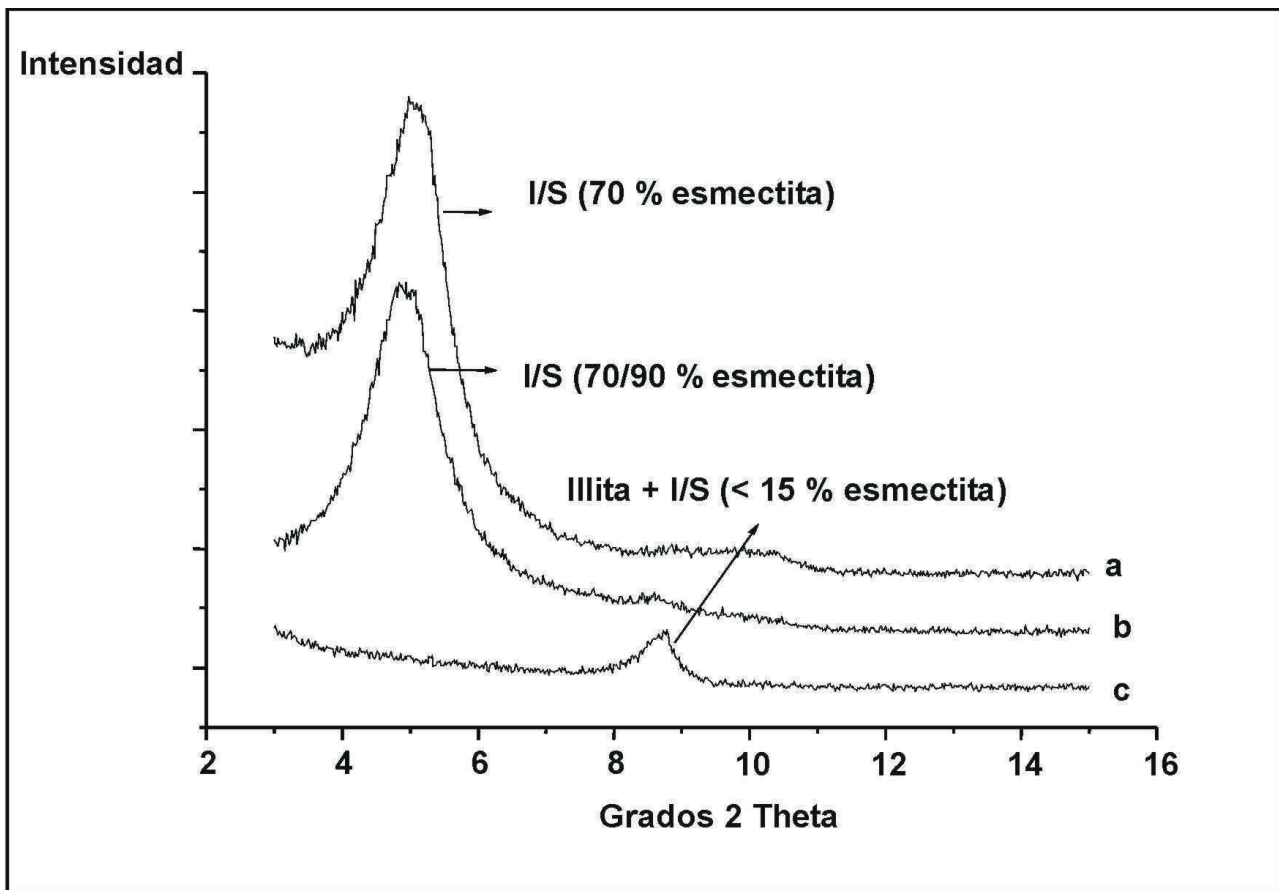


Figura 43-I. Composición mineralógica de argilominerales por difracción de rayos X. Cantera La Pampita, Sierras Bayas. a) dique clástico subhorizontal. I/S irregular (70% esmectita). b) dique clástico directamente conectado con la Formación Olavarría. I/S irregular (70-90% esmectita). c) base de la Formación Olavarría I/S ordenado (<15% esmectita) (Zalba et al., 2007a).

La orientación preferencial de las partículas de arcilla en la matriz que llena espacios entre granos fracturados, así como los recubrimientos tangenciales de arcilla sobre los granos, son fenómenos consistentes con procesos de infiltración mecánica. Las *slickensides* son indicativas de un reordenamiento de las partículas de arcilla debido a expulsión de soluciones y extrusión de una pasta arcillosa remanente altamente viscosa (Higgins y Saunders, 1967).

El mismo estilo estructural de los diques clásticos encontrados a diferentes niveles de la Formación Loma Negra (existencia de estructuras tipo como en los estratos adyacentes a los diques verticales), la directa conexión entre algunos de los diques verticales con la infrayacente Formación Olavarría, y los fenómenos de disolución en las paredes de la roca caliza hospedadora, indican que la inyección de fango se produjo de abajo hacia arriba, originada en la fluidización y transporte de material fino desde la Formación Olavarría. Es probable, también, que la inyección haya estado asociada con una fuerte interacción fluido-roca, la cual resultó en la disolución de la calcita (por fluidos ácidos) y en la recristalización del interestratificado I/S (con 70-90 % de esmectita) a expensas del interestratificado ordenado I/S (con < 15 % de esmectita), previamente formado durante el pico de la diagénesis de la Formación Olavarría. El proceso descrito no se refiere a procesos de meteorización sino a una alteración por inyección de fluidos sobrepresurizados, cuyas propiedades ácidas se originaron por la presencia de materia orgánica en maduración en la roca fuente: la infrayacente Formación Olavarría (Zalba et al., 2007a).

Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la Formación Olavarría

La **Fig. 43-IIa** es una microfotografía electrónica que permite ver la textura de las pelitas grises, de la base de la secuencia, con una disposición de las láminas, cara-a-cara, típicas de depósitos sedimentarios. Están compuestas predominantemente por illita, de origen detrítico, pero además existen illita-esmectita y caolinita; ésta en forma de “libros”, de origen diagenético, en escasa proporción. Las pelitas ocre, que suprayacen a las grises en la secuencia, ofrecen el mismo tipo de textura, pero además se observan agregados aciculares de illita diagenética (**Fig. 43-IIb**). También en las pelitas ocre, se observa la presencia de esmectita (**Fig. 43-IIc**), con la típica textura de este mineral y, además, afectado por grietas debido a desecación del material, que se contrae al perder agua reversiblemente (arcillas expansivas). En tanto, las pelitas rojizas de la parte superior de la secuencia, muestran también una textura de láminas cara-a-cara y están constituidas por illita-esmectita. La **Fig. 43-IId** es un ejemplo de la textura de las pelitas rojizas del techo de la secuencia, con orientación de las láminas cara-a-cara y también con cierto desarrollo de una textura “en remolino”, rasgos característicos de depósitos sedimentarios, en medio marino. La composición de las arcillas es también de tipo illita-esmectita.

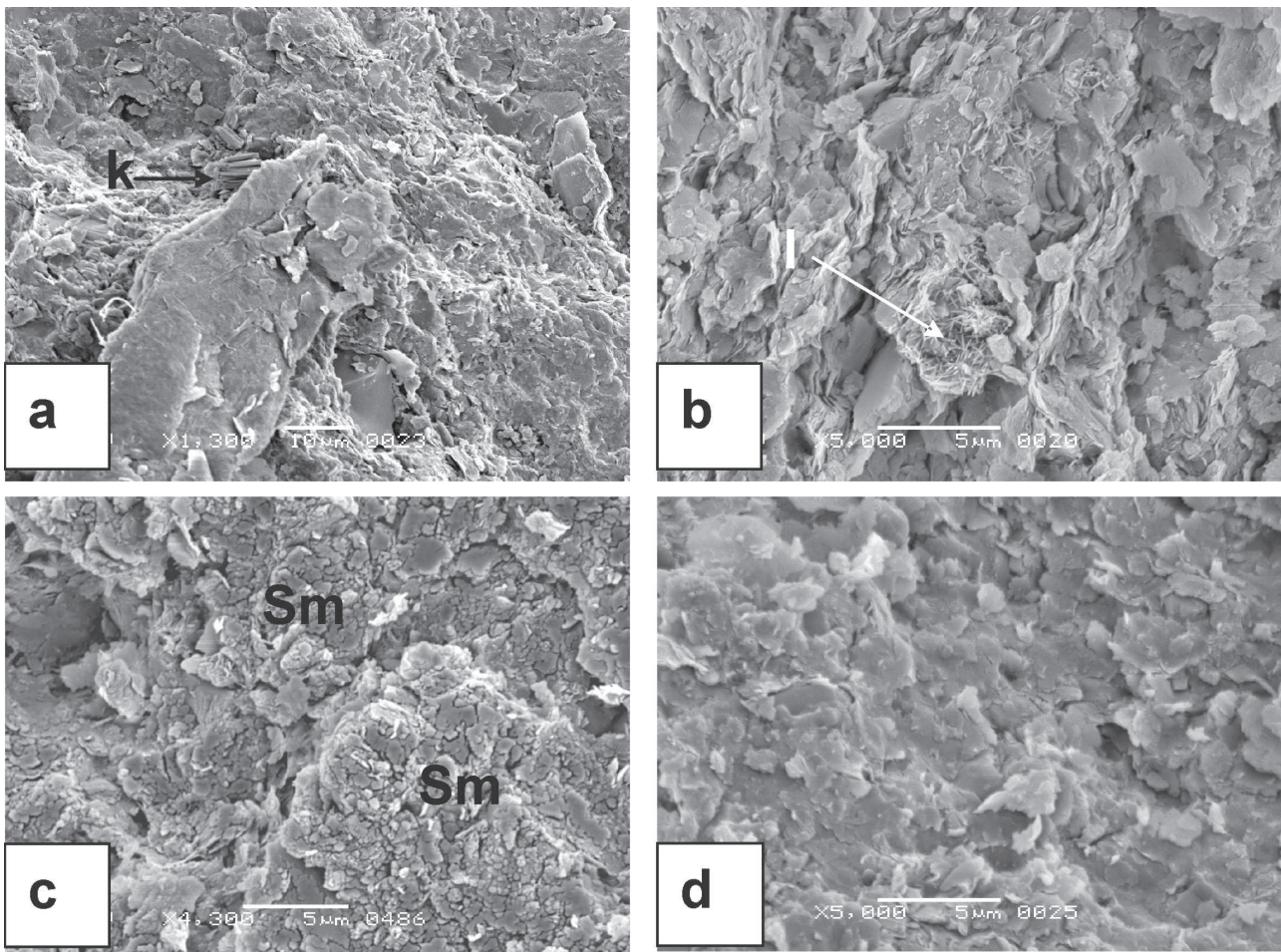


Figura 43-II. Microfotografías electrónicas de barrido de la Formación Olavarría. a) pelitas grises illíticas con caolinita (k) en forma de libros (diagenética), textura con disposición de láminas cara-a-cara. b) pelitas ocre ídem textura anterior, predominantemente illíticas, con agregados aciculares de illita diagenética (l). c) pelitas ocre illíticas, con esmectita (Sm) mostrando grietas de desecación. d) pelitas rojizas con illita e illita-esmectita, textura con disposición de láminas cara-a-cara y también textura “en remolino”. Cantera Cruz Pavone, Sierras Bayas. La barra indica la escala en cada foto.

Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Olavarría

En cuanto a sus propiedades tecnológicas, Garrido et al. (1996) prepararon probetas moldeadas a mano (barro plástico) sobre las muestras de los acopios ocre y rojo. Las piezas, como primer paso de un análisis de moldeabilidad, fueron calcinadas a temperaturas de 950-1000-1050° C. La temperatura máxima está relacionada con la refractariedad del material, que se determina a través del cono pirométrico equivalente (CPE). Los valores de CPE de las muestras son: roja CPE 1250° C y ocre CPE 1280° C.

En cuanto al valor del índice de plasticidad (IP) de la arcilla roja, el mismo está asociado al contenido de illita y de partículas finas en esa muestra: Roja: IP 7,6 y Ocre: IP 4,5 (**Tabla 25**).

En la **Tabla 26**, la contracción final, absorción de agua y porosidad aparente del producto, indican las diferencias entre ambos materiales. La arcilla roja tiene valores altos de contracción y, a la máxima temperatura ensayada, las probetas son de color marrón y están vitrificadas. La temperatura de vitrificación depende de la cantidad y tipo de las fases minerales que actúan como fundentes. El alto contenido de álcalis en las illitas disminuye esta temperatura. Lo mismo sucede con altos contenidos de Fe_2O_3 . La contracción suele estar relacionada con mecanismos de sinterizado entre las partículas y la formación de fases vítreas durante la calcinación.

Por calcinación a 950° C sería factible lograr materiales de uso para la fabricación de tejas (adsorción < 15 %). Calcinada a temperaturas mayores (1000-1050° C) las probetas son poco porosas, pero la contracción excesiva limita su aplicación. Sería entonces apropiado proseguir el estudio con muestras moldeada por prensado (< contenido de agua), para obtener productos para revestimiento en pisos y paredes.

La arcilla ocre presenta menos contracción y mayor porosidad de los productos calcinados con respecto a la arcilla roja. Estos valores están, probablemente, vinculados al alto contenido de cuarzo y a la granulometría más gruesa que caracteriza a esta variedad.

El porcentaje de carbonato reconocido por los datos químicos, mineralogía y la existencia de aglomerados de partículas, favorecería estas características.

De acuerdo con los ensayos realizados, en el rango de temperatura entre 950-1050° C, la arcilla ocre sería adecuada para la preparación de cerámica roja con baja absorción de agua (< 15 %). No obstante, presenta el inconveniente de la baja plasticidad. Esto fue posible de resolver, en parte, por adición de 3-5 % de bentonita. En este último caso (**Tabla 27**) las características son similares a la de la muestra natural, excepto por un aumento en la contracción; aunque no se registran disminuciones marcadas en la absorción de agua con respecto a la del material original.

En razón de la alta contracción que presenta la arcilla roja y con el objeto de mejorar la calidad del producto obtenido, se procedió a preparar mezclas de ambas arcillas: ocre y roja, en proporciones del 13 y 20 % de arcilla roja (**Tabla 28**). Los resultados indican que por mezclado de la arcilla ocre con 20 % de arcilla roja, se pueden obtener adecuadas características para los productos calcinados a 1050° C. La arcilla roja contribuye a disminuir la absorción de agua a valores < 5 % con regular contracción.

En general se trata de arcillas poco plásticas, con bajos índices de plasticidad. Los mismos están asociados al contenido de illita y de partículas finas (fracción arcilla).

Son arcillas de mala refractariedad, clasificadas como arcillas varias rojas (CPE 1250° C) y ocre (CPE 1280° C).

Su baja plasticidad requiere de aditivos para mejorar la trabajabilidad.

Se las utiliza en cerámica roja, tanto en las fábricas locales como en otros centros urbanos de importancia de la provincia y también se emplean en la fabricación de cemento Pórtland participando, junto con las calizas, en la elaboración del polvo crudo.

Existen numerosas canteras en explotación en la actualidad en este sector de Sierras Bayas.

Propiedad	Arcilla roja	Arcilla ocre
Índice de Plasticidad	7,6	4,5
% fracción < 44µm	94	84
% fracción > 2 µm	44	25
CPE, temperatura (°C)	1250	1280

Tabla 25. Plasticidad y granulometría de acopios rojos y ocre de la Formación Olavarría. (Garrido et al., 1996). µm: micrones.

T (°C)		Arcilla roja			Arcilla ocre		
	C (%)	AA (%)	PA (%)	C (%)	AA (%)	PA (%)	
100	5,5	---	---	1,3	---	---	
950	11,5	10	21,6	4,0	14,9	27,7	
1000	15,4	4,1	9,6	7,0	10,7	21,7	
1050	17,0	0,4	1,0	8,2	7,0	15,0	
% de agua de amasado		29			23		

Tabla 26. Contracción lineal (C), absorción de agua (AA), porosidad aparente (PA), de probetas moldeadas a mano, en función de la temperatura de calcinación, de acopios rojos y ocre de la Formación Olavarría. (Garrido et al., 1996).

T (°C)	Arcilla ocre + 3 % de bentonita			Arcilla ocre + 5 % de bentonita		
	C (%)	AA (%)	PA (%)	C (%)	AA (%)	PA (%)
100	4,1	---	---	4,3	---	---
950	5,4	14,4	27,2	5,6	14,0	26,5
1000	6,3	13,0	25,3	8,3	11,9	23,4
1050	9,7	8,7	18,0	10,0	8,8	18,3
Plasticidad	7,6			10		

Tabla 27. Características tecnológicas de la mezcla de arcilla ocre con bentonita (Garrido et al., 1996).

T (°C)	Arcilla ocre + 13 % de roja			Arcilla ocre + 20 % de roja		
	C (%)	AA (%)	PA (%)	C (%)	AA (%)	PA (%)
100	1,2	---	---	1,7	---	---
950	3,7	14,5	27,5	5	13,8	26,4
1000	5,2	11,7	23,4	5,3	10,9	22,11
1050	9,1	5,5	12,2	9,6	3,4	8,0
Plasticidad	4,7			5		

Tabla 28. Características tecnológicas de la mezcla de arcilla ocre y roja (Garrido et al., 1996).

Yacimientos sedimentarios. Características, composición mineralógica de la Formación Cerro Negro

La otra formación geológica portadora de depósitos arcillosos de importancia, en la zona de Sierras Bayas, es la Formación Cerro Negro (**ver Fig. 3**) que ha sido encontrada en el subsuelo y por la apertura de numerosas canteras en la localidad de Cerro Negro (**Fig. 44**) situada a 7 km al SSO de Sierras Bayas y a 40 km al O de la ciudad de Azul, en la cantera ex-San Martín (hoy Loma Negra) de Sierras Bayas (**Fig. 45**), así como en la localidad de Villa Cacique y calera El Infierno, ya mencionadas antes (Sector Villa Cacique).

El área tipo es la localidad de Cerro Negro para esta formación, donde fueron descubiertas por primera vez por el Ing. V. Angelelli en 1973, y caracterizadas como Formación Cerro Negro por Iñíguez y Zalba (1974a).

De acuerdo a evidencias estratigráficas y sedimentológicas, la Formación Cerro Negro fue dividida por Andreis et al. (1992) en dos sistemas depositacionales, separados por una paleosuperficie ondulada (**Fig. 46**). Los perfiles estratigráficos realizados permiten inferir que el Sistema Depositacional Inferior (SDI, **Fig. 47a**) aflora en el área de Sierras Bayas, cerca de Olavarría, mientras que el Sistema Depositacional Superior (SDS, **Fig. 47b**) se encuentra en la localidad de Cerro Negro, en distintas zonas de Sierras Bayas, en la calera El Infierno y en Villa Cacique.

EL SDI mide hasta 28 metros de espesor en la cantera ex-San Martín (hoy Loma Negra) de Sierras Bayas y está compuesto principalmente por limolitas y arcilitas gris-oliva y rosadas, macizas o laminadas, y por una brecha de caliza negra fosfatizada en la base.

El SDS mide hasta 90 metros de espesor en la localidad de Cerro Negro y comprende areniscas cuarzosas, limolitas, arcilitas y facies heterolíticas y caóticas. Las pelitas (arcilitas y limolitas) con intercalaciones de margas, poseen coloraciones rojizas y verdosas, con espesores que, por perforaciones, se ha detectado alcanzan los 140 metros, presentando laminación, calcos de carga y concreciones de baritina en forma de nódulos, de hasta 10 cm. de longitud mayor. Poseen marcada fisilidad y son poco plásticas, lo cual es corregido, generalmente, con el agregado de arcillas plásticas, preferentemente de tipo bentonita.



Figura 44. Pelitas rojizas de la Formación Cerro Negro, cantera Cerro Negro, Sierras Bayas.



Figura 45. Formación Cerro Negro, cantera ex-San Martín (hoy Loma Negra), Sierras Bayas.



Figura 46. Formación Cerro Negro, discordancia (línea blanca) entre el Sistema Depositacional Inferior (SDI) y el Sistema Depositacional Superior (SDS), cantera ex-San Martín hoy Loma Negra, Sierras Bayas.

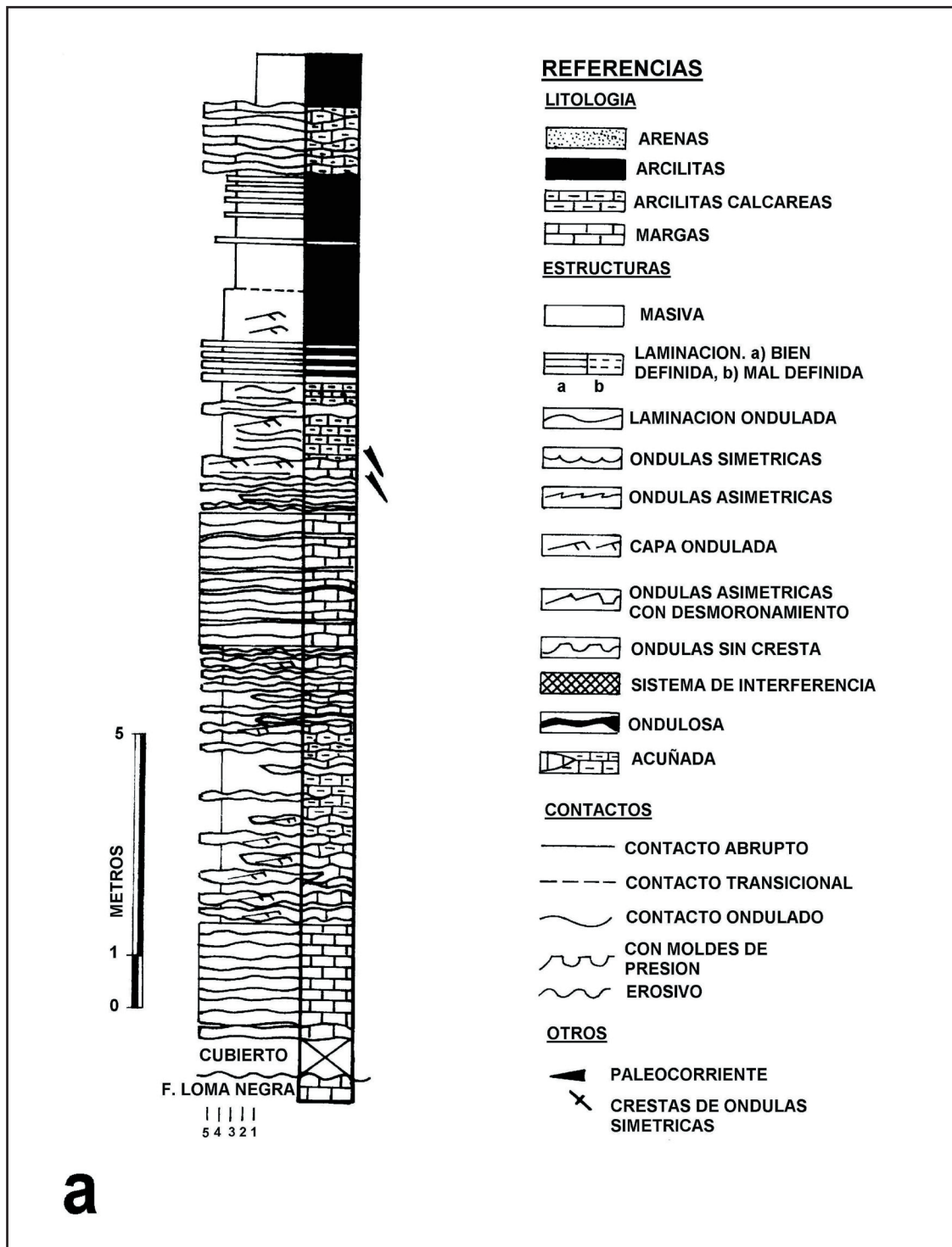


Figura 47a. Formación Cerro Negro, Cantera ex-San Martín, hoy Loma Negra, Sierras Bayas. Perfil estratigráfico del Sistema Depositacional Inferior. (SDI) (Andreis et al., 1992).

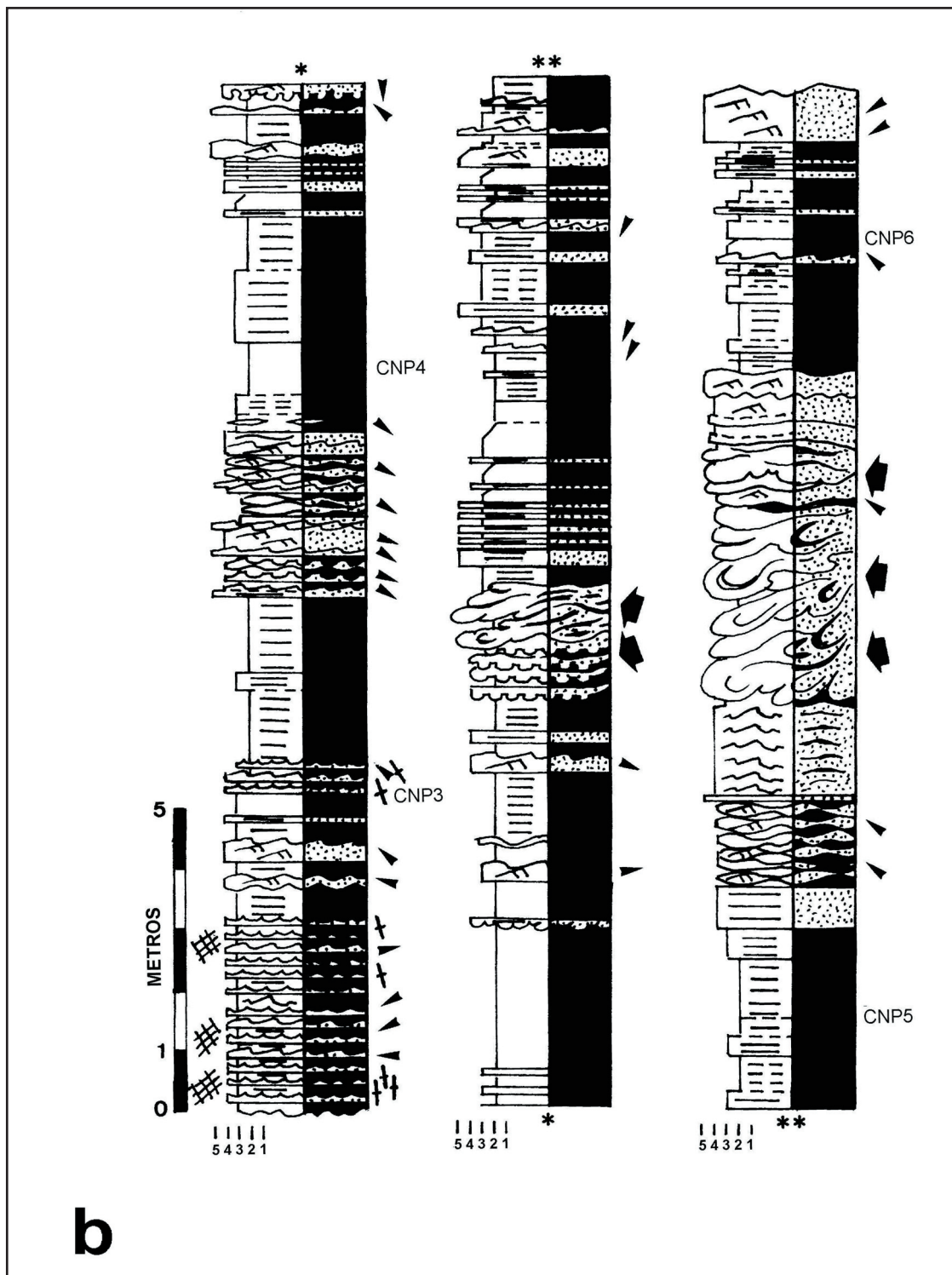


Figura 47 b. Formación Cerro Negro, Cantera ex-San Martín, hoy Loma Negra, Sierras Bayas. Perfil estratigráfico del Sistema Depositacional Superior (SDS) (Andreis et al., 1992).

La composición mineralógica de las arcillas de esta formación es diferente en los dos sistemas depositacionales. La **Tabla 29** muestra que en el SDI las muestras (CSM) están compuestas fundamentalmente por illita + I/S, con impurezas de abundante cuarzo. No se observan feldespatos pero hay presencia de calcita en margas y arcillas calcáreas.

El SDS (muestras CNP) es principalmente illítico, con la presencia sistemática de interestratificados de clorita-esmectita (C/Sm) y escasa montmorillonita. Las impurezas son de muy abundantes cuarzo y feldespatos, además de óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y goethita).

	Muestras orientadas <4 micrones (%)				Otros componentes en muestra total			TIM	P
	Muestra	IM	C/Sm	Sm	Q	F	Cal		
Sistema Depositacional Superior (SDS)	CNP6	65	20	15	m.a	a	-	I+IS(S<15%)	Md/M
	CNP5	65	25	10	m.a	a	-	"	"
	CNP4	75	20	5	m.a	a	-	"	"
	CNP3	70	30	-	m.a	a	m.a	"	"
	CNP2	65	30	5	m.a	a	-	"	"
	CNP1	70	25	5	m.a	a	-	"	"
Sistema Depositacional Inferior (SDI)	CSM9	80	5	15	m.a	-	S	I+IS(S<15%)	Md/M
	CSM8	100	-	-	m.a	-	-	"	"
	CSM7	100	-	-	a	-	m.a	"	"
	CSM6	100	-	-	m.a	-	m.a	"	"
	CSM4	100	-	-	m.a	-	-	"	"
	CSM3	100	-	-	m.a	-	-	"	"

Tabla 29. Caracterización mineralógica de los dos sistemas depositacionales de la Formación Cerro Negro. Referencias: IM: material illítico; C/Sm: clorita-esmectita; Sm: esmectita; Q: cuarzo; F: feldespatos; Cal: calcita; TIM: tipo de material illítico; P: politipo; m.a: muy abundante; a: abundante; s: escaso (Zalba et al., 1994).

Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la Formación Cerro Negro

La microfotografía electrónica de la **Fig. 48a** muestra la textura con un diseño “en remolino”, propio de depósitos sedimentarios en medio marino, de las arcillas illíticas de la Formación Cerro Negro (SDI). En la **Fig. 48b**, también de arcillas illíticas (SDS), se aprecia un agregado de illita-esmectita, con formas filamentosas, de evidente origen diagenético, creciendo sobre una base de cristales de formas irregulares.

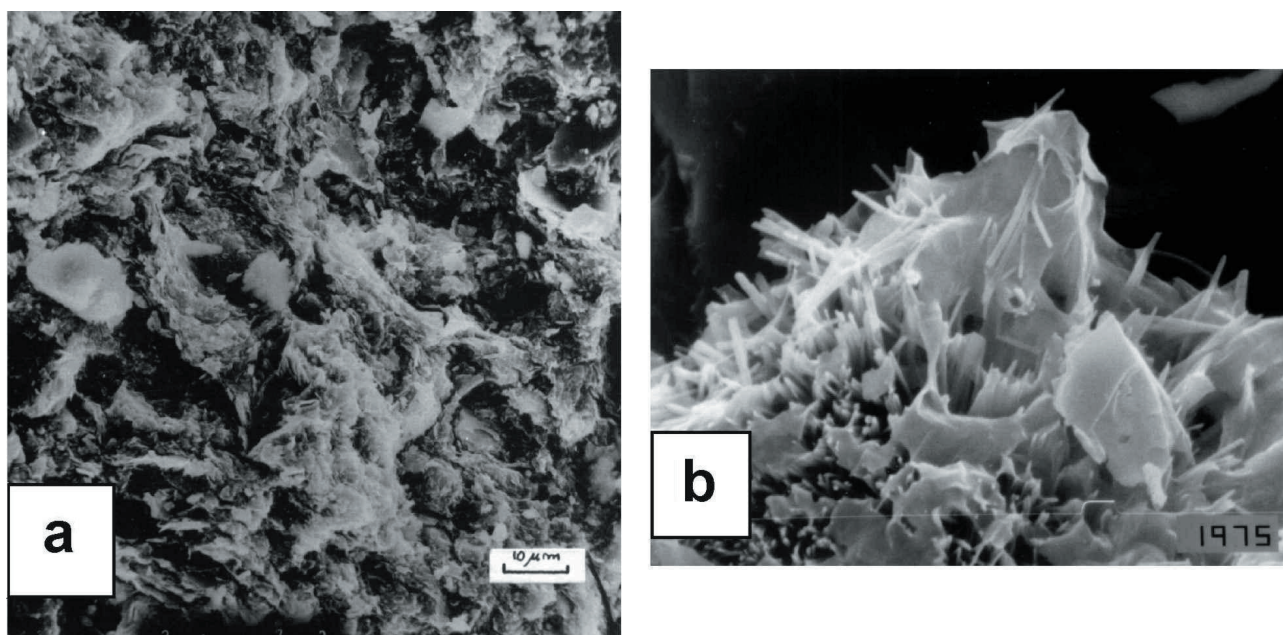


Figura 48. Microfotografías electrónicas de barrido. Formación Cerro Negro. a) Sistema Depositacional Superior, arcilla illíticas mostrando una textura con diseño “en remolino”. b) Sistema Depositacional Inferior. Illita-esmectita, con formas filamentosas, de origen diagenético. Escala: 5 μm .

Propiedades tecnológicas de las arcillas de la Formación Cerro Negro

Ensayos tecnológicos se llevaron a cabo en muestras “compuestas”, o acopios, de cada uno de los sistemas depositacionales. Los resultados obtenidos pueden verse en la **Tabla 30**. Las muestras del SDI son de menor granulometría y mayor IP que las del SDS.

Las arcillas de los dos sistemas depositacionales tienen conos equivalentes similares (CPE alrededor de 15). Como el principal constituyente es illita, los álcalis asociados favorecen una baja refractariedad.

Piezas sometidas a *tests* de secado y calcinación fueron caracterizadas por su contracción lineal, porosidad, absorción de agua y resistencia a la flexión en la muestra compuesta CNP + bentonita y en la muestra compuesta CSM. Los resultados para piezas en semi seco y plásticas se muestran en la **Tabla 30**.

Luego del secado, las piezas no muestran apreciables diferencias. Los valores de contracción fueron bajos y, por lo tanto, indican baja resistencia en verde. Las muestras calcinadas tienen colores rojos uniformes así como buena apariencia, sin fisuras o grietas.

	Sistema Depositacional Superior CNP+Bentonita						Sistema Depositacional Inferior CSM				
	T (°C)	LS (%)	AP (%)	WA (%)	AD (gcm ⁻³)	MOR (kgf.cm ⁻²)	LS (%)	AP (%)	WA (%)	AD (gcm ⁻³)	MOR (kgf.cm ⁻²)
Test de plasticidad	100	3,0	-	-	-	13	4,0	-	-	-	13
	1.000	5,0	25,5	13,0	2,0	147	4,0	-	-	-	13
	1.050	6,8	17,3	6,6	2,1	235	8,9	12,2	5,4	2,2	325
	1.100	11,4	2,6	1,1	2,3	415	10,9	5,0	2,1	2,4	325
Test semi-seco	100	0,0	-	-	-	33	0,0	-	-	-	20
	1.000	0,0	19,2	8,7	2,2	214	0,5	20,1	9,6	2,1	265
	1.050	1,0	12,1	5,2	2,3	421	2,9	12,3	5,3	2,3	357
	1.100	2,5	1,6	0,8	2,4	514	4,7	6,0	2,5	2,4	442

Tabla 30. Comparación de propiedades tecnológicas de la composición de muestras de los dos sistemas depositacionales de la Formación Cerro Negro. Referencias: T: temperatura; LS: línea de contracción; AP: porosidad aparente; WA: absorción de agua; AD: densidad aparente; MOR; módulo de ruptura (Zalba et al., 1994).

La contracción lineal de la muestra compuesta CSM es más alta que la de la muestra compuesta CNP a 1050 ° C y, consecuentemente, la absorción de agua es baja.

Resultados similares se obtienen luego de calcinar ambas muestras a 1100° C. Los productos cerámicos se caracterizan por una contracción lineal de alrededor del 10 %, sin deformación. Son densas, sin porosidad, aunque muestran algunos signos de vitrificación.

Estos resultados preliminares denotan que, tanto las muestras de arcillas compuestas CSM como las CNP, son adecuadas para la manufactura de piezas cerámicas rojas, con baja absorción de agua y se clasifican como Arcillas varias.

Se las explota particularmente en el área de Cerro Negro, con excelentes resultados e importantes reservas (Zalba et al., 1994), para su utilización en la fabricación de revestimientos cerámicos para pisos

Partidos de General
Pueyrredón (Chapadmalal),
Balcarce y Necochea...

Sector Chapadmalal- Balcarce -Necochea

Yacimientos residuales. Características, composición mineralógica y química

Cerro Segundo y María Eugenia

En las Sierras Bachicha y del Volcán, frente a Balcarce, se encuentran yacimientos de arcillas como producto de alteración hidrotermal del basamento. Los dos más conocidos se denominan Cerro Segundo y María Eugenia.

El yacimiento Cerro Segundo se encuentra ubicado en el faldeo oriental de la Sierra de Bachicha (Balcarce), a la altura del km 61 de la ruta 226 que conecta Balcarce con la ciudad de Mar del Plata. Aquí se explotaron arcillas residuales caoliníticas de color blanco, formadas a partir de una roca de tipo gneis.

La mina María Eugenia, inactiva, se encuentra ubicada a 20 km al este de la ciudad de Balcarce, y a 400 m de la ruta 226, sobre el faldeo occidental de la Sierra del Volcán. Esta mina de caolín, fue explotada a cielo abierto mediante la apertura de dos labores; es elongada en sentido N-S, de 85 m por 30 m por 6 m de altura y, la otra, al S de la anterior, de menores dimensiones: 40 m por 45 m por 6 m de altura. En el perímetro de las labores se observan viejas escombreras cubiertas de vegetación que modifican la pendiente natural de la sierra. Este establecimiento minero esta amparado por dos pertenencias, según el padrón minero de la provincia representa un área de 12 hectáreas, del cual sólo el 3,6 % ha sido afectado por la actividad minera. (Extractado de Provincia de Buenos Aires - Recursos Mineros, www.minería.gov.ar)

Estudios de detalle en Cerro Segundo fueron efectuados por Di Paola y García Espiasse (1986). Los análisis mineralógicos por difracción de rayos X de la fracción arcilla en Cerro Segundo revelan la presencia dominante de caolinita con illita + I/S, sericita y esmectitas, asociadas en proporciones variables, e impurezas de cuarzo. Los contenidos de Al_2O_3 varían entre 21 y 38 % y los de Fe_2O_3 entre 1 y 3 % (Iñiguez y Zalba, 1988).

En el yacimiento María Eugenia se registró hasta un 70 % de caolinita, con illita + I/S y esmectitas en proporciones menores (5-15 %) e impurezas de cuarzo. Los tenores de Al_2O_3 varían entre 22 y 37 % y los de Fe_2O_3 entre 2,6 y 4 % (Iñiguez y Zalba, 1988).

Microscopía electrónica de barrido de arcillas residuales de Cerro Segundo

La microfotografía electrónica (**Fig. 49**) muestra “libros” de caolinita incipientes, formándose a partir de feldspatos, fenómeno muy raro de observar.

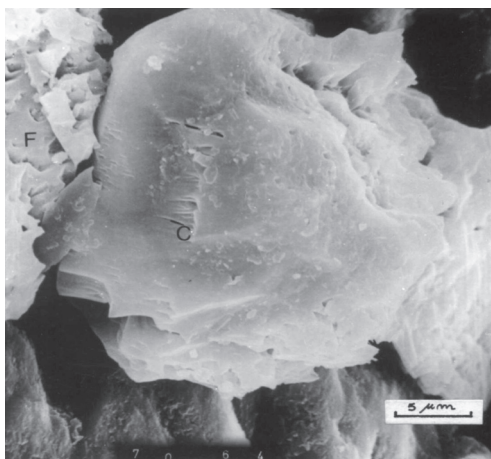


Figura 49. Cerro Segundo. “Libros” de caolinita incipientes (C), formándose a partir de feldspatos (F): parte superior izquierda (Zalba, 1988).

Propiedades Tecnológicas de arcillas residuales de Cerro Segundo

Desde el punto de vista cerámico, las arcillas de Cerro Segundo son arcillas duras, poco plásticas, con alto contenido de alúmina y color de cocción blanco. Los porcentajes de Al_2O_3 y Fe_2O_3 y su comportamiento tecnológico hacen que se clasifiquen como arcillas refractarias. Se las ha utilizado habitualmente como agregado a la cal.

Yacimientos sedimentarios. Características y composición mineralógica de la Formación Balcarce

Desde la zona de Blanca Grande hasta Mar del Plata (a lo largo de 230 km), se encuentran una serie de sedimentitas constituidas por areniscas, sabulitas y conglomerados de composición silíceas, con pelitas (arcilitas y limolitas) intercaladas, que corresponden a la Formación Balcarce, de edad ordovícica (ver **Fig. 3**). Las areniscas predominan, mientras que las sabulitas, conglomerados y pelitas están subordinados (**Fig. 50**).



Figura 50. Vista de las cuarcitas de la Formación Balcarce, Sierra de La China. (Gentileza Marcelo Manassero).

Estas sedimentitas afloran en forma discontinua en casi todo el Sistema de Tandilia, excepto en el Sector Sierras Bayas, pero se encuentran mejor expuestas en el extremo sud oriental, entre Balcarce y Mar del Plata, con espesores que llegan hasta 90 metros (los mayores de todas las sierras). La Formación Balcarce culmina en el sector sud oriental en el Cabo Corrientes (**Fig. 51**). Los afloramientos de Sierra de los Padres pueden verse en la **Fig. 52**.

En el sector nor-occidental (**Sector El Ferrugo-Constante 10-El Cañón, y Sector Chillar**) y central (**Sector Villa Cacique; Sector Sierra La Juanita, Sierra de La Tinta, Cuchilla de Las Águilas**) tiene su base expuesta y su espesor es de escasos metros de potencia (entre 10 y 15 m).



Figura 51. Últimos afloramientos sud orientales de la Formación Balcarce, Cabo Corrientes, Mar del Plata.



Figura 52. Cuarcitas de la Formación Balcarce en Sierra de Los Padres.

La Formación Balcarce puede apoyarse, en discordancia, sobre rocas alteradas del basamento cristalino (Ej. **El Ferrugo, Constante 10 y Chillar**), sobre las Metapelitas Punta Mogotes (en el área de Mar del Plata) o bien suprayace a sedimentitas de la Formación Las Águilas (**en el Sector La Juanita-Cuchilla de Las Águilas, Sierra de La Tinta**) o a los depósitos de la Formación Cerro Negro (**en el Sector Villa Cacique**).

Las areniscas son portadoras de abundantes y variadas trazas fósiles, ampliamente estudiadas por diversos autores, y, según los cuales, se ha atribuido a esta formación una edad paleozoica inferior (Ordovícico temprano). En la **Fig. 53** se observan trazas del ichnogénero *Didymaulichnus*.



Figura 53. Trazas fósiles (*Didymaulichnus*) en cuarcitas con ondulitas de la Formación Balcarce. Cuchilla de Las Águilas.

Las arcillas intercaladas en la Formación Balcarce forman estratos de una potencia máxima de 1 metro en el sector oriental de Tandilia. Son de coloración blanquecina hasta verdosa, y se recuperan, en general, como producto secundario de la explotación de los niveles cuarcíticos, destinados a la construcción típica de la zona (“Piedra Mar del Plata”). La **Fig. 54** muestra un frente de cantera en Batán, a 15 km de Balcarce, donde las cuarcitas llevan intercalados niveles de arcillas que fueron objeto de intensa explotación. En el yacimiento San Ramón, en cambio, han sido objeto de explotación principal.

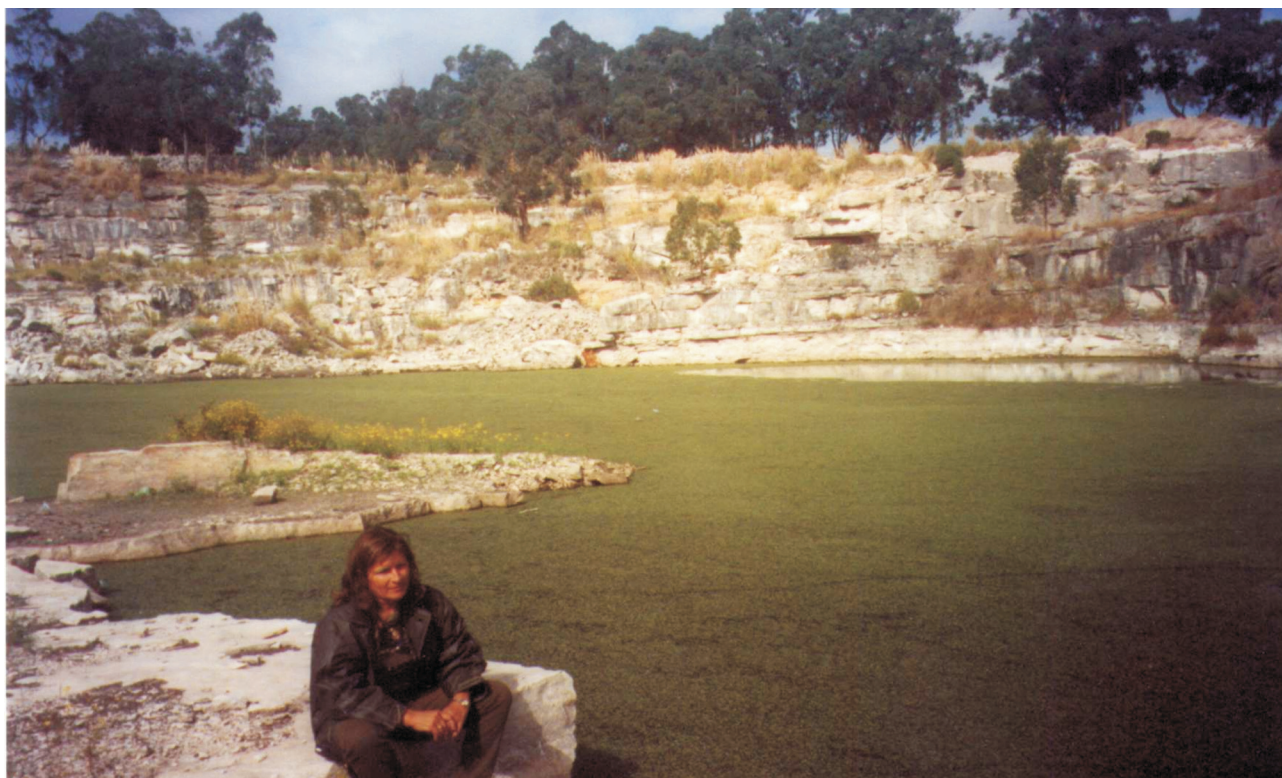


Figura 54. Frente de cantera en Batán, donde se explotaron arcillas intercaladas en la Formación Balcarce.

La composición mineralógica de las arcillas de la Formación Balcarce es fundamentalmente caolinítica, con menores proporciones de illita, interstratificados de illita-esmectita, e impurezas de escaso cuarzo.

Los análisis mineralógicos por difracción de rayos X, realizados sobre muestra total en los yacimientos: La Barrosa, Los Pinos (Balcarce), Los Curros, Iacusa y Defeudo (Chapadmalal) pueden consultarse en la **Tabla 31**. En algunos casos la composición es 100 % caolinita, y también se han encontrado escasas esmectitas y trazas de pirofilita.

%	La Barrosa	Los Pinos	Los Curros	Iacusa	Defeudo
caolinita	65	66	70	72	90
Illita+I/S	25	24	20	22	5
esmectitas	---	---	3	4	2
cuarzo	10	10	7	2	3

Tabla 31. Composición mineralógica por difracción de rayos X, en por ciento, sobre muestra total de arcillas en distintas canteras de la Formación Balcarce: La Barrosa y Los Pinos (Balcarce); Los Curros, Iacusa y Defeudo (Chapadmalal) (Zalba, 1988; Iñiguez y Zalba, 1974b).

San Ramón I y II: Este importante depósito de arcilla refractaria se halla ubicado en el Cerro El Tigre, 18 km al NE de la localidad de Claraz (Necochea). Los trabajos de explotación se localizan en dos zonas bien definidas separadas por un camino vecinal que conduce a la localidad de La Numanicia. El sector sur ha sido explotado combinando minería a cielo abierto y subterránea, utilizando el método de cámaras y pilares, mientras que el norte (agotado), solo se explotó subterráneamente. Las escombreras se encuentran ubicadas en el perímetro de las labores a cielo abierto en el sector sur, en tanto que en el sector norte se encuentran dispuestas sobre la pendiente del cerro rodeando al mismo. En el flanco austral del Cerro El Tigre se observó una densa forestación de pinos que dejan ocultos los laboreos de esa porción del cerro. La superficie de esta propiedad minera alcanza las 294 has (Extractado de Provincia de Buenos Aires - Recursos Mineros, www.mineria.gov.ar).

Las arcillas de San Ramón forman un banco compacto, de color gris claro, con fractura concoide y con espesores que varían entre 1,50 y 2,50 metros. Están intercaladas entre potentes bancos de cuarcitas. Tienen una composición fundamentalmente caolinítica, con dickita asociada en menores proporciones, escasa illita e I/S, e impurezas de cuarzo.

Minas Carin y Mody I: Este grupo de minas se encuentran ubicadas a 9 km de la localidad de La Negra, sobre el faldeo sur occidental de la Sierra del Piojo, Necochea, y a 1,7 km del camino vecinal que conduce a Barker. Sus coordenadas geográficas son 37°44'33" Latitud Sur y 59°14'53" Longitud Oeste.

La explotación se realiza mediante canteras a cielo abierto, en dos sectores, Carin 1 y Carin 2 (no se corresponde con el catastro minero). Carin 1, en etapa de preparación, presenta un frente de 30 m de longitud en dirección N 30° E y 6 m de altura, mientras que Carin 2, de 80 m por 50 m, localizada al este de la anterior y actualmente inactiva, presenta dos bancos de explotación de los cuales el inferior se encuentra inundado y el superior esta formado por 3 m de arcilla cubiertos por 12 m de cuarcita. Las escombreras observadas están dispuestas en el entorno inmediato a las labores de explotación. La superficie ocupada por estas propiedades mineras alcanza a las 72 hectáreas, distribuidas en 12 minas de una pertenencia cada una. (Extraído de www.mineria.gov.ar).

Según Domínguez y Ullman (2005) "en la Loma del Piojo la argilización tiene un espesor de 26 m y se extiende por 900 m a lo largo de una ladera y disminuye con la profundidad. La arcilla es blanda, con matices blancos, amarillos y rojos distribuidos irregularmente y presenta texturas remanentes de tipo volcánico, porfírico. Las arcillas están cubiertas por la Formación Balcarce y su posición estratigráfica es incierta debido a que el detrito de mayor profundidad extraído (-26 m) corresponde a una diabasa cuya posición estratigráfica se desconoce (Basamento o Formación Balcarce?: Rapela et al., 1974). Una descripción de la geología puede consultarse en Domínguez y Silleta (2002). La mineralogía presenta una distribución zonada. En superficie es mayor el contenido de caolinita, en tanto que la esmectita y la hematita aumentan con la profundidad. Una composición media es illita 14 %, caolinita 74 %, cuarzo 12 % y trazas de esmectita. En el yacimiento se han clasificado tres tipos de arcilla de posible uso comercial; un tipo caolinítico, con caolinita > 70 % y esmectita < 20 %; un tipo intermedio, con caolinita entre 30 y 60 % y esmectita < 60 %; y un tipo bentonítico, con esmectita > 70 % y caolinita < 20 %".

Microscopía electrónica de barrido de arcillas de la Formación Balcarce

En la microfotografía electrónica (**Fig. 55a**) se puede ver la textura de arcillas de la cantera La Barrosa (Balcarce) con una aparente distribución bimodal en donde predomina caolinita de contornos hexagonales. En la misma cantera, la **Fig. 55b**, muestra la textura de arcillas caoliníticas, con disposición cara-a-cara y cierta textura en remolino. Las láminas de mayor tamaño son de sericita. La **Fig. 55c** corresponde a una microfotografía electrónica de las arcillas de la cantera Los Pinos (Bal-

carce) donde se observan grandes láminas de sericita. Las arcillas de las canteras de Chapadmalal, muestran una textura con orientación de las láminas cara-a-cara. Los agregados de cristales son de caolinita, con bordes entrantes por disolución diagenética (**Fig. 55d**).

Las cuarcitas de la Formación Balcarce también poseen arcillas en los poros de las rocas. Un ejemplo de ello es la **Fig. 55e**, perteneciente a los depósitos de la zona de Chillar, donde se ha fotografiado un poro totalmente relleno de cristales hexagonales de caolinita formando “libros”, y en mucha menor proporción, agregados de illita-esmectita, con la típica textura de pañuelo arrugado. Ambas texturas representan rasgos inequívocos de origen diagenético.

Las microfotografías electrónicas de las arcillas de San Ramón muestran una textura circular con diseños “en remolino”, típica de depósitos sedimentarios (**Fig. 55f**). La muestra está compuesta por caolinita principalmente y, en menores proporciones, por dickita. En la **Fig. 55g** puede observarse una textura muy trabada y densa, con “libros” de caolinita diagenética, con una disposición sinusoidal.

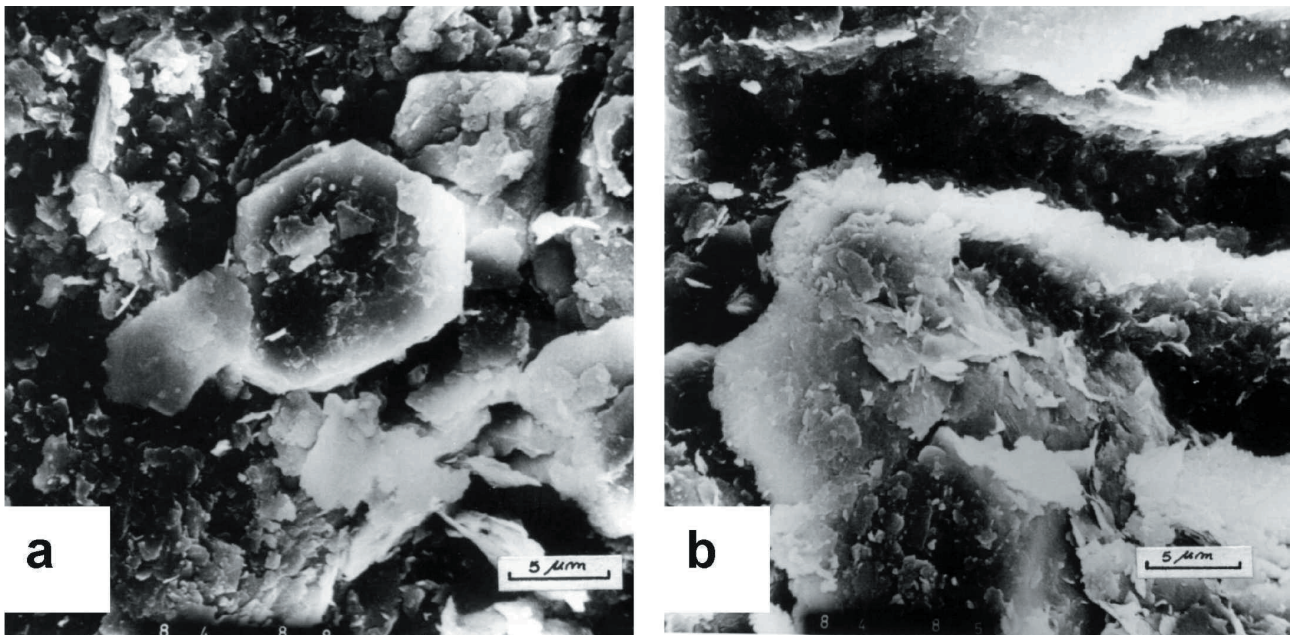


Figura 55a y b. Ver leyenda en la siguiente página

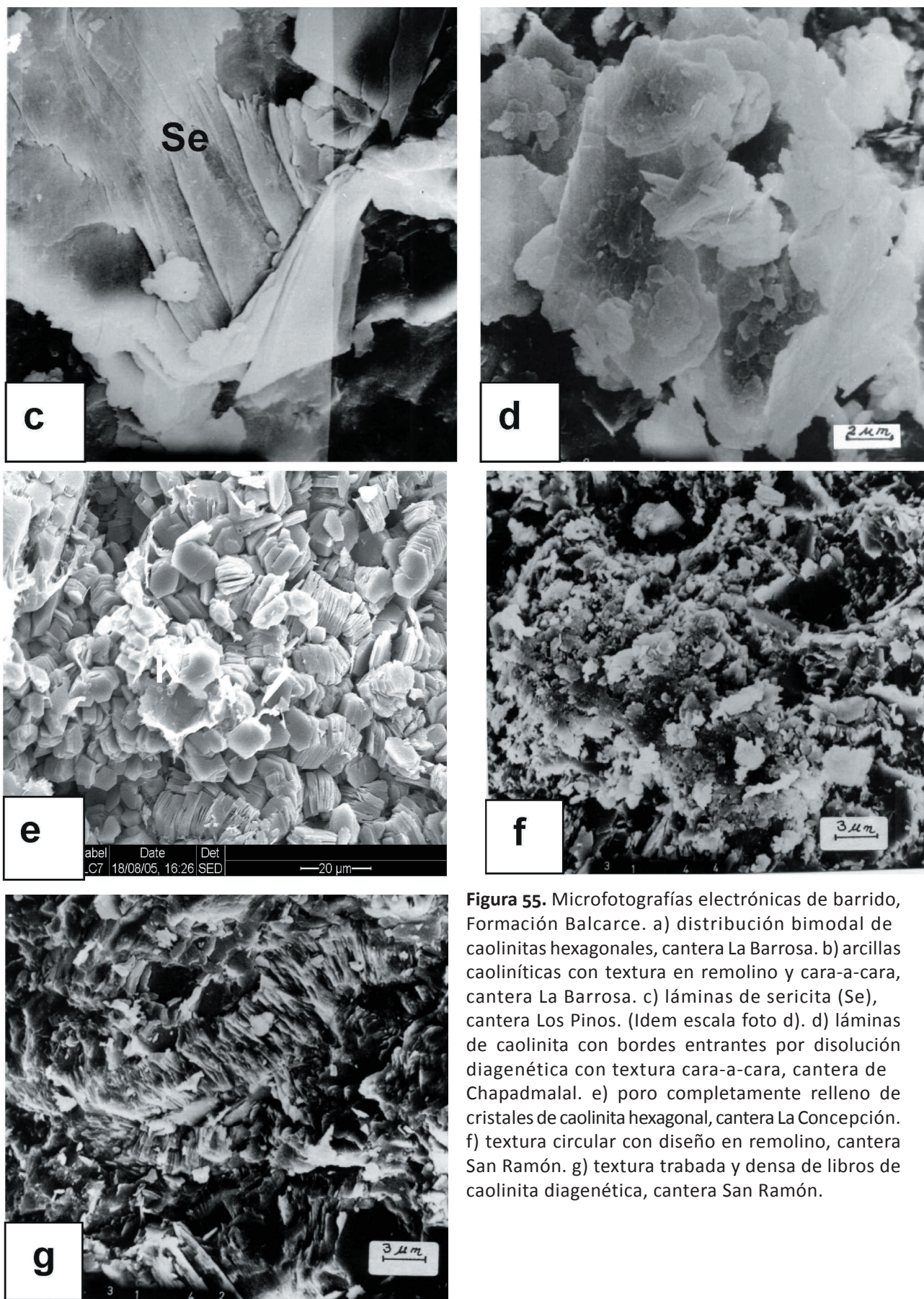


Figura 55. Microfotografías electrónicas de barrido, Formación Balcarce. a) distribución bimodal de caolinitas hexagonales, cantera La Barrosa. b) arcillas caoliníticas con textura en remolino y cara-a-cara, cantera La Barrosa. c) láminas de sericita (Se), cantera Los Pinos. (Idem escala foto d). d) láminas de caolinita con bordes entrantes por disolución diagenética con textura cara-a-cara, cantera de Chapadmalal. e) poro completamente relleno de cristales de caolinita hexagonal, cantera La Concepción. f) textura circular con diseño en remolino, cantera San Ramón. g) textura trabada y densa de libros de caolinita diagenética, cantera San Ramón.

*Propiedades Tecnológicas de arcillas sedimentarias de la Formación Balcarce
(Se incluye el yacimiento de la Loma del Piojo, de posición estratigráfica incierta)*

Las arcillas de la Formación Balcarce son blanquecinas, duras, poco plásticas y refractarias, usadas como chamote y producción de refractarios (Domínguez y Schalamuk, 1999; López et al., 2002). Datos tecnológicos seleccionados de análisis realizados sobre arcillas de San Ramón, Formación Balcarce, para este trabajo, pueden verse en la **Tabla 32**.

Muestra	C.P.E	Temperatura C.P.E (°C)	Contracción lineal	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
San Ramón	35	1785	1100°C	3,5%	13%	15%
			1500°C	6,3%		

Tabla 32. Datos tecnológicos de arcillas de San Ramón. C. P. E. (cono pirométrico equivalente).

Las propiedades fisicoquímicas y tecnológicas de las arcillas de San Ramón hacen que estas se clasifiquen como refractarias, y dentro de estas como tipo “*Flint*”. Superficialmente recuerdan a una ftanita (*flint*). Son arcillas de grano muy fino, compuestas principalmente por caolinita, ordenada o bien ordenada, que se rompen con una característica fractura concoide y tienen una densidad (*Bulk density*) de 2,2 a 2,5.

Típicamente, las arcillas “*flint*” han sufrido un proceso de “digestión” por el cual la textura original de la roca ha sido obliterada. La arcilla parece haber sido digerida hasta llegar a la formación de un gel del cual cristalizará una nueva caolinita. Cuando la reacción llega hasta la formación de dicho gel la arcilla resultante será una “*flint*”. Estas arcillas se caracterizan por una textura micro a criptocristalina de argilominerales que se disponen como un mosaico apretado de granos imbricados.

La plasticidad de estas arcillas es muy baja, la muestra se presenta muy arenosa, sin consistencia, siendo prácticamente no plástica. A 1100° C, no hay sinterización de la probeta, en cambio a 1500° C se logró tener una probeta sólida. Las probetas se tuvieron que preparar con agua y goma arábica para poder moldearlas.

En cuanto a las arcillas de la Loma del Piojo, según Domínguez y Ullman (2005) las arcillas caoliníticas tienen un Índice de plasticidad de 17; las intermedias un índice de 21, y las bentoníticas un índice de 23. Por su granulometría y propiedades cerámicas, son aptas para revestimientos con propiedades de moldeo aceptables. Por su contenido en alúmina tienen una buena resistencia al fuego. En un sector se extrae a cielo abierto una arcilla roja, relativamente refractaria, plástica y con poco cuarzo. Las arcillas de este yacimiento no han sido incorporadas en pastas cerámicas de utilización rutinaria, siendo su problema principal la variación de su mineralogía y su color. Un sector del yacimiento permitiría, con buen control, la extracción de una arcilla clara. El cerro presenta un excelente potencial de exploración.

Su génesis es por intemperismo, basada en datos isotópicos de la caolinita (Domínguez y Silleta, 2002).

Agradecimientos...

Agradecemos a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires por el apoyo económico a través de diversos subsidios recibidos para la realización de trabajos de investigación relacionados con este estudio y especialmente a través del “Programa de Subsidios para Proyectos de Investigación y Transferencia con Organismos Públicos de la Provincia de Buenos Aires”.

Al Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), por el apoyo en la realización de numerosos análisis mineralógicos y tecnológicos, contando con la infraestructura del Centro.

A la Municipalidad de Azul y sus diversas dependencias, con las cuales trabajamos juntos en la recopilación de datos, aportando documentación propia de la Municipalidad, así como recursos humanos propios y movilidad, a través de la Delegación Chillar.

Al Lic. Alejandro Ribot por información aportada sobre la geología de Azul.

Al Dr. Marcelo Manassero, del Centro de Investigaciones Geológicas-CONICET, por la extensa y valiosa participación en trabajos de investigación vinculados.

A la Dra. Margarita Osterrieth, de la Facultad de Ciencias Naturales de Mar del Plata, por haber conseguido los permisos para visitar canteras de Balcarce y habernos acompañado a algunos afloramientos.

A las empresas San Lorenzo, Loma Negra (Olavarría y Barker), Cerro Negro, Cementos Avellaneda, Sarmiento, Cruz Pavone, Aust, Dos Hermanos, al los Sres. Rottemberger, Della Maggiora y Foster, por habernos permitido el acceso a sus campos y/o canteras y efectuar muestreos y estudios de detalle para este trabajo.

Bibliografía...

- ACEÑOLAZA, F. G., 1978. **El Paleozoico inferior de Argentina según sus trazas fósiles.** *Ameghiniana*, 15, p.15-64.
- ALFARO, M., 1981. **Estudio geológico de la zona comprendida por las hojas La Numancia, Licenciado Matienzo y Estancia San Antonio en las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.** Resumen V Reunión Científica Informativa CIC, La Plata.
- ALLO, W. A., 2001. **Los yacimientos de arcillas illíticas ferruginosas La Angélica y La Placeres, Barker, Provincia de Buenos Aires.** *Tesis (Doctorado En Geología)*, Universidad Nacional del Sur, 235 p. (inédito).
- ALLO, W. A. y DOMÍNGUEZ, E. A., 2002. **Macrocrisales diagenéticos de cuarzo en las facies pelítica de la F. Villa Mónica, Barker, Provincia de Buenos Aires.** En Cabaleri, N., Cingolani, C.A., Linares, E., López de Luchi, M.G., Ostera, H.A. y Panarello, H.O. (Eds). *XV Congreso Geológico Argentino*, p.383-388.
- ALLO, W., DOMÍNGUEZ, E. y CRAVERO, F., 1986. Caracterización de la illita del yacimiento La Siempre Verde, Barker, Buenos Aires. **Politipos indicadores de un rango termal entre diagénesis profunda y metamorfismo leve.** *33 Reunión de Mineralogía y Metalogenia*, La Plata, Brodtkorb, M. K. de y Schalamuk, I. B. (Eds.), p. 27-35.
- AMOS, A. J., 1974. **Los estromatolitos del Precámbrico sedimentario de la Formación La Tinta, Provincia de Buenos Aires.** *LEMITE*, La Plata, 2 (269), p. 151-155.
- AMOS, A., QUARTINO, B. y ZARDINI, R., 1972. **Grupo "La Tinta" (Provincia de Buenos Aires, Argentina) Paleozoico o Precámbrico?** *XXV Congresso Brasileiro de Geologia*, Sao Paulo, Brasil, p. 211-221.
- ANDREIS, R. R., 2003. **The Tandilia System, Province of Buenos Aires, Argentina: its sedimentary successions.** En: 2001 A Clay Odyssey. *12th International Clay Conference*. (Eds. E. Domínguez, G. Mas y O. Cravero), Elsevier, Bahía Blanca, p. 15-23.
- ANDREIS, R. R. y ZALBA, P. E., 1989. **Estratigrafía y Paleogeografía de las secuencias cuarcíticas al oeste de Barker (Buenos Aires, Argentina).** *Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Tandil, 1985, p. 909-930.
- ANDREIS, R. R., ZALBA, P. E. e IÑÍGUEZ RODRÍGUEZ, A. M., 1992. **Paleosuperficies y Sistemas Deposicionales en el Proterozoico Superior de Sierras Bayas, Sistema de Tandilia, Provincia Buenos Aires.** *IV Reunión Argentina de Sedimentología*, La Plata, 1: p. 283-290.
- ANDREIS, R. R., ZALBA, P. E., IÑÍGUEZ RODRÍGUEZ, A. M. y MOROSI, M., 1996. **Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión superior de la Formación Cerro Largo, Sierras Bayas (Buenos Aires, Argentina).** *VI Reunión Argentina de Sedimentología y I Simposio de Arcillas*, Bahía Blanca, p. 293-298.
- ANGELELLI, V., BRODTKORB, M. K. de, GORDILLO, C. E. y GAY, H. D., 1983. **Las Especies Minerales de la República Argentina.** *Servicio Minero Nacional*, Buenos Aires, 528 pp.

- BAUMANN, D. and KELLER, W. D., 1975. **Bula deposits of selected dried natural and fired kaolin clays.** *Clays and Clay Minerals*, 23, p. 424-427.
- BILLINGS, M. P., 1963. **Geología Estructural.** Editorial Universitaria de Buenos Aires, 563 pp.
- BONHOMME, M. and CINGOLANI, C., 1978. **First isotopic dating of Upper precambrian sediments in the province of Buenos Aires.** Short papers of the *Fourth International Conference, Geochronology, Cosmochronology, Isotope Geology, Geological Survey, USA, Open- File Report 78-701*, p. 45-46.
- BONHOMME, M. y CINGOLANI, C., 1980. **Mineralogía y geocronología Rb-Sr y K-Ar de fracciones finas de la formación "La Tinta", Provincia de Buenos Aires.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35 (4), p. 519-538.
- BORRELLO, A., 1962. **Formación Punta Mogotes (Eopaleozoico-provincia de Buenos Aires).** *Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, La Plata*, 1 (1), p. 5-9.
- BORRELLO, A., 1966. **Trazas, restos tubiformes y cuerpos fósiles problemáticos de la Formación La Tinta, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.** *Paleontografía Bonaerense, Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, La Plata*, V, p. 1-42.
- BREWER, R., 1960. **Cutans: their definition, recognition and interpretation.** *European Journal of Soil Science*, 11, 2, p. 280-292.
- BRINDLEY, G. W., 1961. **Chlorite minerals.** In: Brown, G., Editor, 1961. *The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals*, *Mineralogical Society*, London, p. 242-296.
- CINGOLANI, C. and BONHOMME, M., 1982. **Geochronology of La Tinta upper Proterozoic sedimentary rocks, Argentina.** *Precambrian Research*, 18, p. 119-132.
- CINGOLANI, C. y RAUSCHER, R., 1985. **Datos geocronológicos en las sedimentitas del Grupo La Tinta de Villa Cacique, Partido de Juárez, Provincia de Buenos Aires.** Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, Tandil, 1985. *Publicaciones Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata*, p. 128.
- CINGOLANI, C., RAUSCHER, R. y BONHOMME, M., 1991. **Grupo La Tinta (Precámbrico y Paleozoico inferior) Provincia de Buenos Aires, República Argentina. Nuevos datos geocronológicos y micro-paleontológicos en las sedimentitas de Villa Cacique, partido de Juárez.** *Revista Técnica de YPF*, 12 (2), p. 177-191.
- DALLA SALDA, L., 1979. **Nama and La Tinta Groups. A common southern Africa-Argentine Basin.** *Bulletin Chamber of Mines Precambrian Research Unit, University of Cape Town, 16th. Annual Report*, p. 113-128.
- DALLA SALDA, L., 1981. **Tandilia, un ejemplo de tectónica de transcurrencia de basamento.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Buenos Aires, 36 (2), p. 204-207.
- DALLA SALDA, L., 1982. **Nama-La Tinta y el inicio de Gondwana.** *Acta Geológica Lilloana*, Tucumán, 16 (1), p. 23-28.

- DALLA SALDA, L., 1999. **Cratón del Río de La Plata. 1. Basamento granítico-metamórfico de Tandilia y Martín García.** En Geología Argentina (R. Caminos Ed.). *Instituto de Geología y Recursos Minerales*. Anales 29 (4), p. 97-106.
- DALLA SALDA, L. e IÑÍGUEZ RODRIGUEZ, A. M., 1979. **“La Tinta”, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires.** VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, 1978. I, p. 539-550.
- DALLA SALDA, L., BOSSI, J. and CINGOLANI, C., 1988. **The Rio de La Plata cratonic region of southwestern Gondwana.** *Episodes*, 11 (4), p. 263-269.
- DALLA SALDA, L.; FRANZESE, J. and POSADAS, V. G. de, 1992. **The 1800 Ma mylonite-anatectic granitoid association in Tandilia, Argentina.** *Basement Tectonics* 7, p. 161-174.
- DALLA SALDA, L., GUICHON, M. y RAPELA, C., 1972. **Hallazgo de una brecha de talud en el techo de las calizas de Barker, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.** *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, Tomo III N° 3-4, p.133.
- DALLA SALDA, L., DE BARRIO, R. E., ECHEVESTE, H. J. y FERNÁNDEZ, R. R., 2005. **El basamento de las Sierras de Tandilia.** En: R. E. De Barrio, R. O. Etcheverry, M. F. Caballé y E. Llambías (Eds.), *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, p. 31-50.
- DEL VALLE, A., 1987. **Nuevas trazas fósiles en la Formación Balcarce, paleozoico inferior de las Sierras Septentrionales. Su significado cronológico y ambiental.** *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), sección Paleontología*, IX, p. 19-41.
- DI PAOLA, E. y GARCIA ESPIANESSE, A., 1986. **Génesis del yacimiento de caolín Cerro Segundo, Sierra de Bachicha, partido de Balcarce, Provincia de Buenos Aires, Argentina.** *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 17 (1-4), p. 47-54.
- DI PAOLA, E. y MARCHESE, H., 1974. **Relación entre la tectosedimentación, litología y mineralogía de arcillas del Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta (Provincia de Buenos Aires).** *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 5 (3-4), p. 45-58.
- DOMÍNGUEZ, E. y SCHALAMUK, I., 1999. **Recursos minerales de las Sierras Septentrionales, Buenos Aires.** En: *Recursos Minerales de la República Argentina*. (Ed. E. Zappettini). SEGEMAR, Buenos Aires. Anales, 35: p. 183-190.
- DOMÍNGUEZ, E. y SILLETA, 2002. **Los elementos traza, las tierras raras e isótopos estables en la determinación de la génesis de caolinita: El caso del yacimiento Loma del Piojo, Provincia de Buenos Aires, Argentina.** En: *Mineralogía y Metalogenia* (M. K. de Brodtkorb, M. Koukharsky y P. Leal, Eds.). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), p. 127-134.
- DOMÍNGUEZ, E. y ULLMANN, R., 2005. **Arcillas e industria cerámica.** En R. E. De Barrio, R. O. Etcheverry, M. F. Caballé y E. Llambías (Eds.): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata. Capítulo 25, p. 397-408.

- DRIESE, S. G., and FOREMAN, J. L., 1992. **Paleopedology and paleoclimatic implications of Late Ordovician vertic paleosols, southern Appalachians.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 62, p. 71-83.
- DRISTAS, J. y FRISICALE, M. C., 1983. **Presencia de alunita sódica y otras evidencias de alteración hidrotermal en el área ubicada al oeste de Barker, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.** *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 14 (1-2), p. 34-47.
- DRISTAS, J. y FRISICALE, M. C., 1984. **Estudio de los yacimientos de arcilla del Cerro Reconquista, San Manuel, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.** *IX Congreso Geológico Argentino*, Bariloche, V, p. 507-521.
- DRISTAS, J. and FRISICALE, M. C., 1996. **Geochemistry of an altered pyroclastic suite interbedded in the sedimentary cover of the Tandilia area, Buenos Aires Province, Argentina.** *Zbl. Geol. Paleont.*, Stuttgart, Teil I, H. 7/8, p. 659-675.
- DRISTAS, J. and FRISICALE M., 2003. **Two types of hydrothermal clay deposits in the south-east area of Tandilia, Buenos Aires Province, Argentina.** En: 2001 A Clay Odyssey. *12th International Clay Conference*, Bahía Blanca (Eds. E. Domínguez, G. Mas y O. Cravero). Elsevier, p. 85-92
- DRISTAS, J., FRISICALE, M. C. and MARTÍNEZ, J. C., 2003. **High-REE APS minerals associated with advanced argillic alteration in the Cerrito de La Cruz deposit, Barker, Buenos Aires province, Argentina.** *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, Sb (Festschrift Behr)*, p. 1-6.
- EBERL, D. D., 1984. **Clay mineral formation and transformation in rocks and soils.** In: Clay minerals: their structure, behaviour and use. *The Royal Society of London*, 432 pp.
- ECHEVESTE, H., FERNÁNDEZ, R., RIBOT, A. y TEIXEIRA, W., 1997. **Nuevos fechados radimétricos Rb/Sr para diques del Sistema de Tandilia.** *Jornadas de Comunicaciones Científicas*, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, La Plata, p. 217.
- ETCHEVERRY, R., GARRIDO, L., SCHALAMUK, I. y FERNÁNDEZ, R., 1988. **Consideraciones mineralógicas y tecnológicas del yacimiento de arcilla La Verónica, Partido de Azul, Buenos Aires.** *Tercer Congreso Nacional de Geología Económica*, tomo III, A, p. 55-72.
- FERNÁNDEZ, R., TESSONE, M., ETCHEVERRY, R., CABALLE, M., CORIALE, N. y ECHEVESTE, H., 2007. **Distribuciones de elementos de las tierras raras en el basamento alterado de Tandilia: zona de San Manuel.** *Sextas Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, Mar del Plata, p. 40.
- FOLK, R. L., 1959. **Practical petrographic classification of limestones.** *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 43, p. 1-38.
- FOLK, R. L., 1962. **Spectral Subdivision of Limestone Types.** En: Ham, W. E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1, p. 62-84.
- FOLK R. L., ANDREWS, P. B. and LEWIS, D. W., 1970. **Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zeland.** *Journal of Geology and Geophysics*, 13, p. 937-968.

- FRISICALE, M. C., 1991. **Estudio de algunos yacimientos de arcilla originados por actividad hidrotermal en las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.** *Tesis Doctoral*, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 217 pp., (inédito).
- FRISICALE, M. C. y DRISTAS, J., 1993. **Alteración hidrotermal en el contacto entre el basamento y la secuencia sedimentaria, en el Cerrito de La Cruz, Tandilia.** *XII Congreso Geológico Argentino*, V, p. 222-228.
- FRISICALE, M. C. y DRISTAS, J., 2000. **Génesis de los niveles arcillosos de la Sierra de La Tinta, Tandilia.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, LV, (1-2), p. 3-14.
- GARRIDO, L., ZALBA, P. E. y PEREIRA, E., 1984. **Estudio de Yacimientos de Arcilla de El Ferrugo y Constante 10, Provincia de Buenos Aires. II. Tecnología.** *Revista Latinoamericana de Ingeniería Química y Química Aplicada*, 14, p. 207-216.
- GARRIDO, L., ZALBA, P. E. y PEREIRA, E., 1996. **Aplicación tecnológica de arcillas (Acopios) de la sucesión superior de la Formación Cerro Largo, Buenos Aires, Argentina.** *VI Reunión Argentina de Sedimentología y I Simposio de Arcillas*. Bahía Blanca, p. 305-310.
- GARRIDO, L., ZALBA, P. E., MOROSI, M., 1998. **Estudio tecnológico de arcillas de la zona de San Manuel, Buenos Aires, Argentina.** IX Congreso Internacional de Cerámica y IX del MERCOSUR, Olavarría. *Revista Cerámica y Cristal*, p. 53-54.
- GAUDETTE, H. E., EADES, J. L. and GRIM, R. E., 1966. **The nature of illite.** *Clays and Clay Minerals*, 13, p. 33-48.
- GONZALEZ BONORINO, F. y TERUGGI, M., 1965. **Léxico Sedimentológico.** Editado por la *Universidad de Buenos Aires* (UBA), 165 pp.
- GRAY, M. B. and NICKELSEN, R. P., 1989. **Pedogenic slickensides, indicators of strain deformation processes in redbed sequences of the Appalachian foreland.** *Geology*, 17, p. 72-75.
- GRIGOR'EV, D. P., 1965, **Ontogeny of minerals:** Israel Program for Scientific Translations Ltd, S. Marson, Jerusalem, 250 pp.
- HANSON, R. F. and KELLER, W. D., 1971. **Flint clay by hidrotermal alteration of sedimentary rocks in México.** *Clays and Clay Minerals*, 19, p. 115-119.
- HEUSSER, J. y CLARAZ, G., 1863. **Ensayo de un conocimiento geognóstico físico de la Provincia de Buenos Aires. 1 Las Sierras entre Cabo Corrientes y Tapalqué.** Buenos Aires, 139 pp.
- HIGGINS, G. E. and SAUNDERS, J. B., 1967. **Report on 1964 Chatham Mud Island, Erin Bay, Trinidad, West Indies.** *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, v. 51, p. 55-64.
- HOLMBERG, E., 1972. **Tandilia.** En A. Leanza (Dir. y Ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, p. 365-393.

- HOLTZAPFFEL, T., 1985. **Les mineraux argileux**. *Societe Geologique du Nord*, Publication N°12, 136 pp.
- IÑÍGUEZ, A. M., 1970. **Composición mineralógica de las arcillas de la Serie de La Tinta, Provincia de Buenos Aires**. *Revista Anales LEMIT*, Serie II, La Plata, 56, p. 75-83.
- IÑÍGUEZ, A. M. y ZALBA, P. E., 1974a. **Nuevo nivel de arcilitas en la zona de Cerro Negro, Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires**. *Revista Anales LEMIT*, Serie II, La Plata, 264, p. 95-100.
- IÑÍGUEZ, A. M. y ZALBA, P. E., 1974b. **Geología de arcillas refractarias de la Provincia de Buenos Aires, Republica Argentina**. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XXIX, (3), p. 304-310.
- IÑÍGUEZ, A. M. y ZALBA, P. E., 1988. **Arcillas, su distribución, características y aplicaciones en Argentina**. *Revista Panorama Minero*, Buenos Aires, 125, p. 4-17.
- IÑÍGUEZ, A. M., DEL VALLE, A., POIRE, D., SPALLETTI, L. y ZALBA, P. E., 1989. **Cuenca Precámbrica-paleozoica Inferior de Tandilia, Provincia de Buenos Aires**. En: *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, (W. Chebli y L. Spalletti, Eds.), Serie Correlación Geológica, 6, p. 245-263.
- IÑÍGUEZ, A. M., ZALBA, P. E. and ANDREIS, R. R., 1990. **Mineralogy and Chemistry of Cambrian (?) paleosols, Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina**. 9th. *International Clay Conference*, Strasbourg, 1989, V. C. Farmer and Y. Tardy (Eds), Institut Géologie, Strasbourg, France, Mémoire 85, p. 175-184.
- KELLER, W. D., 1952. **Torbernite in Missouri fire clay**. *American Mineralogist*, 37, p. 125-128.
- KELLER, W. D., 1968. **Flint clays and flint facies**. *Clays and Clay Minerals*, 16, p. 113-128.
- KELLER, W. D., 1976. **Scan electron micrographs of kaolins collected from diverse environments of origin. IV. Georgia kaolins and kaolinizing source rocks**. *Clays and Clay Minerals*, 24, p. 107-113.
- KELLER, W. D., GENTILE, R. J. and REESMAN, A. L., 1967. **Allophane and Na-rich alunite from kaolinitic nodules in shales**. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, p. 215-227.
- KILMURRAY, J., LEGUIZAMÓN, M. A. y RIBOT, A., 1985. **Los diques de diabasa del NE de las Sierras de Azul**. *Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses*, p. 863-866.
- KLEIN, C. and HURLBUT, C., 1998. **Manual de Mineralogía**, 4ta. Edición, Tomo II, Editorial Reverté, 679 pp.
- LARSEN, G. and CHILINGAR, G. V., 1979. **Diagenesis in sediments and sedimentary rocks**. *Developments in Sedimentology*, 25A, Elsevier, 579 pp.
- LÓPEZ, K., 2006. **Estudio geológico, geoquímico, mineralógico y tecnológico de las Arcillas del área de Estancias Araquistain-Viuda de Manson-La Rosalía en Sierras Septentrionales**. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, *Tesis Doctoral* 902, (inédito).

LÓPEZ, K., BOTTO, I. L. y ETCHEVERRY, R., 2002. **Geología y mineralogía de las arcilitas localizadas en las Estancias La Rosalía, San Eduardo y Sierra de los Barrientos, Provincia de Buenos Aires.** 6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Buenos Aires. Brodtkorb, M. K.de, Koukharsky, M. y Leal, P. (Eds.), p. 239-246.

LOVERING, T. S., 1969. **The origin of hydrothermal and low-temperature dolomite.** *Economic Geology*, 64, p. 743-754.

MacEWAN, D. M. C., 1961. **Montmorillonite minerals.** In: The X-ray identification and crystal structure of clay minerals. G. Brown (Ed.). *Mineralogical Society*, London, 544 pp.

MANASSERO, M., 1986. **Estratigrafía y estructura en el sector oriental de la localidad de Barker, Provincia de Buenos Aires.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires*, XLI (3-4), p. 375-384.

MANASSERO, M., ZALBA, P. E. y MOROSI, M., 2007. **Paleogeografía y paleoambientes de la Formación Villa Mónica (Precámbrico) Sierra La Juanita, Tandilia.** *VI Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, Mar del Plata, p. 47.

MARCHESE, H. y DI PAOLA, E., 1975a. **Reinterpretación estratigráfica de la perforación Punta Mogotes Nº 1 Provincia de Buenos Aires.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires*, XXX, 1, p. 44-52.

MARCHESE, H. y DI PAOLA, E., 1975b. **Miogeosinclinal Tandil.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires.*, XXX (2), 161-179.

MARTÍNEZ, J. C. y DRISTAS, J., 2007. **Paleoactividad hidrotermal en la discordancia entre el Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta en el área de Barker, Tandilia.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires*, 62, 3, p. 375-386.

MEUNIER, A., 2003. **Argiles.** *Gordon & Breach Eds.*, France, 433 pp.

MURRAY, H. H., 1966. **Clay.** Paper Coating Pigments. A project of the coating committee, *TAPPI Monograph series No.30.* Easton, USA, Mack printing company, p. 95-143.

NEWMAN, A. C. D., 1987. **The chemistry of clay and clay minerals.** *Mineralogical Society.* Monograph 6. Longman Scientific and Technical, London, 480 pp.

PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. and SIEVER, R., 1987. **Sand and Sandstone.** *Springer-Verlag*, New York, 553 pp.

PETTIJOHN, F. J., 1975. **Sedimentary rocks.** *Harper & Row*, New York, 628 pp.

PICARD, M. D., 1971. **Classification of fine-grained sedimentary rocks.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 41, p. 179-195.

PICKERING, K. T., AGAR, S. M., and OGAWA, Y., 1988, **Genesis and deformation of mud injections**

- containing chaotic basalt limestone chert associations: examples from the southwest Japan forearc. *Geology*, 16, p. 881-885.
- POIRE, D., 1987. **Mineralogía y sedimentología de la Formación Sierras Bayas en el núcleo septentrional de las sierras homónimas, Olavarría, Provincia de Buenos Aires**, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, *Tesis Doctoral* 494, 271 pp. (inédito).
- POIRE, D., 1993. **Estratigrafía del Precámbrico sedimentario de Olavarría, Sierras Bayas, Provincia de Buenos Aires, Argentina**. *12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso Exploración de Hidrocarburos*, Mendoza, 2, p. 1-11.
- POIRE, D., DEL VALLE, A. y REGALIA, G., 1984. **Trazas fósiles en cuarcitas de la Formación Sierras Bayas y su comparación con las de la Formación Balcarce (Cambro-Ordovícico), Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires**. *IX Congreso Geológico Argentino*, Bariloche, IV, p. 249-266
- POIRE, D. y SPALLETTI, L., 2005. **La cubierta sedimentaria precámbrica-paleozoica inferior del sistema de Tandilia**. En R. E. de Barrio, R. O. Etcheverry, M. F. Caballé y E. Llambias (Eds.): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. *XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, p. 51-68.
- POIRE, D., SPALLETTI, L. and DEL VALLE, A., 2003. **The Cambrian-Ordovician siliciclastic platform of the Balcarce Formation (Tandilia System, Argentina): facies, trace fossils, paleoenvironments and sequence stratigraphy**. *Geológica Acta*, 1 (1), p. 41-60.
- POTHE DE BALDIS, E., BALDIS, B. y CUOMO, J., 1983. **Los fósiles precámbricos de la Formación Sierras Bayas (Olavarría) y su importancia intercontinental**. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Buenos Aires, XXXVIII (1), p. 73-83.
- RAPELA, C.; DALLA SALDA, L. y CINGOLANI, C., 1974. **Un intrusivo básico en la "Formación La Tinta" (Sierra de Los Barrientos, Provincia de Buenos Aires, República Argentina)**. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Buenos Aires, XXIX, Nº 3, p. 319-331.
- READING, H. G., 1986. **Sedimentary Environments and Facies**. *Blackwell Scientific Publications*, Oxford, UK., second edition, 591 pp.
- ROSALES-DOMÍNGUEZ, M. C., GRAJALES-NISHIMURA, J. M. y CARREÑO, A. L., 2005. **Foraminíferos planctónicos en diques clásticos inyectados en la secuencia miocénica del borde occidental de la Cuenca Salina del Istmo**. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22, 3, p. 419-428.
- ROSE, A. y ROSE, E., 1959. **Diccionario de química y de productos químicos**. *Editorial Omega*. Barcelona, 995 pp.
- SCHALAMUK, I., ETCHEVERRY, R., GARRIDO, L. y FERNÁNDEZ, R., 1992. **Geología y características tecnológicas de los depósitos de arcilla de los partidos de Azul y Lobería, provincia de Buenos Aires**. *IV Congreso Nacional y I Congreso Latinoamericano de Geología Económica*, p. 477-488.
- SCHAUER, O. y VENIER, H., 1967. **Observaciones geológicas en la zona de Barker, Sierra de La Tinta**,

- Provincia de Buenos Aires.** *Notas Comisión de Investigaciones Científicas Provincia Buenos Aires, La Plata, V (6), 1-14.*
- TERUGGI, M., 1982. **Diccionario Sedimentológico. Volumen I. Rocas Clásticas y Piroclásticas.** *Ediciones Científicas Librart (ECAL)*, Buenos Aires, 104 pp.
- TERUGGI, M., 1984. **Diccionario Sedimentológico. Volumen II, Rocas Aclásticas y Suelos.** *Ediciones Científicas Librart (ECAL)*, Buenos Aires, 132 pp.
- TERUGGI, M. y KILMURRAY, J., 1975. **Tandilia.** Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires. *VI Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, p. 55-77.*
- TERUGGI, M. y KILMURRAY J., 1980. **Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.** *II Simposio de Geología Regional Argentina, Córdoba, II, p. 919-966.*
- TURNER, F. J. y VERHOOGEN, J., 1963. **Petrología ígnea y metamórfica.** *Editorial Omega, Barcelona, 726 pp.*
- VARELA, R., CINGOLANI, C. y DALLA SALDA, L. 1988. **Geocronología Rb-Sr en granitoides del basamento de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina.** *Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, p. 291-305.*
- VARELA, R., DALLA SALDA, L. y CINGOLANI, C., 1985. **La edad Rb-Sr del Granito de Vela, Tandil.** *Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, p. 881-891.*
- VELDE, B., 1985. **Clay Minerals. A Physicochemical Explanation of their Occurrence.** *Developments in Sedimentology, 40, Elsevier, The Netherlands, 426 pp.*
- WALKER, G. F., 1961. **Vermiculite minerals.** In: The X-ray identification and crystal structure of clay minerals. G. Brown (Ed.). *Mineralogical Society, London, 544 pp.*
- WATTS, N. L., 1977. **Pseudo-anticlines and other structures in some calcretes of Botswana and South Africa.** *Earth Surface Processes, 2, p. 63-74.*
- WORDEN, R. H. and BURLEY, S. D., 2003. **Sandstone Diagenesis: the evolution of sand to stone,** in S. D. Burley and R. H. Worden, (Eds.), *Sandstone Diagenesis: Recent and Ancient: International Association of Sedimentologists, Blackwell Publishing Ltd., Reprint Series, v. 4, p. 3-44.*
- ZALBA, P. E., 1978. **Estudio geológico-mineralógico de los yacimientos de arcillas de la zona de Barker, partido de Juárez, Provincia de Buenos Aires y su importancia económica.** Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, *Tesis Doctoral 362, 75 pp, (inédito).*
- ZALBA, P. E., 1979. **Clay deposits of Las Águilas Formation Barker, Buenos Aires Province, Argentina.** 27th Annual Conference on Clays and Clay Minerals. Bloomington, Indiana. E.E.U.U. *Clay and Clays Minerals, Vol.27 (6), p. 433-439.*
- ZALBA, P. E., 1981. **Nuevo nivel de arcilitas sobre la caliza en la Cantera Loma Negra, Barker.** *Revista*

de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires, XXXVI(1), p. 99-102.

ZALBA, P. E., 1982. **Scan Electron Micrographs of Clay Deposits of Buenos Aires Province, Argentina.** International Clay Conference. Bologna-Pavia, Italy, 1981. *Developments in Sedimentology* 35, Elsevier, Ámsterdam, p. 513-528.

ZALBA, P. E., 1988. **Arcillas de las Sierras Septentrionales de Buenos Aires.** *Publicación Especial N° 1, CETMIC-CIC*, Provincia Buenos Aires, La Plata, 62 pp.

ZALBA, P. E y ANDREIS, R. R., 1998. **Basamento cristalino saprolitizado y secuencia sedimentaria suprayacente en San Manuel, Lobería, Sierras Septentrionales de Buenos Aires, Argentina.** *VII Reunión Argentina de Sedimentología*, Salta, p. 143-153.

ZALBA, P. E. and ANDREIS, R. R., 2001. **Stratigraphy, sedimentology and mineralogy of Neoproterozoic clay deposits, Sierras de Tandilia, Province of Buenos Aires, Argentina.** *12th. International Clay Conference*, Bahía Blanca, 80 pp.

ZALBA, P. E., ANDREIS, R. R. e IÑÍGUEZ, A. M., 1988. **Formación Las Águilas, Sierras Septentrionales de Buenos Aires, nueva propuesta estratigráfica.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Buenos Aires, XLIII (2), p. 198-209.

ZALBA, P. E., ANDREIS, R. R. y LORENZO, F., 1982. **Consideraciones estratigráficas y paleoambientales de la secuencia basal eopaleozoica en la Cuchilla de Las Águilas, Barker, Argentina.** *V Congreso Latinoamericano de Geología Argentina*, Buenos Aires, II, p. 389-409.

ZALBA, P. E., IÑÍGUEZ RODRÍGUEZ, A. M.; VOLZONE, C. y MOROSI, M., 1996. **Mineralogía y procesos postdeposicionales en la sucesión superior de la Formación Cerro Largo, Sierras Bayas, (Buenos Aires, Argentina).** *VI Reunión Argentina de Sedimentología y I Simposio de Arcillas*, Bahía Blanca, p. 299-304.

ZALBA, P. E., MANASSERO, M., LAVERRET, E., BEAUFORT, D., MEUNIER, A., MOROSI, M. and SEGOVIA, L., 2007a. **Middle Permian telodiagenetic processes in Neoproterozoic sequences, Tandilia System, Argentina.** *Journal of Sedimentary Research*, 77(6), p. 525-538.

ZALBA, P. E., MANASSERO, M. y MOROSI, M., 2007b. **Meteorización y diagenesis en dolomías estromatolíticas, Formación Villa Mónica (Precámbrico) Sierra La Juanita, Tandilia.** *VI Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, Mar del Plata, p. 46.

ZALBA, P. E.; VOLZONE, C.; GARRIDO, L.; MOROSI, M. y PEREIRA, E., 1994. **Mineralogical composition and diagenetic processes in the two depositional systems of the Cerro Negro Formation, Buenos Aires, Argentina: Industrial application.** *Revista Geológica Chilena*, 21, 2, p. 303-311.

ZIMMERMANN, U., POIRÉ, D. and GÓMEZ PERAL, L., 2005. **Provenance studies on Neoproterozoic successions of the Tandilia System (Buenos Aires Province, Argentina): preliminary data.** *16 Congreso Geológico Argentino*, La Plata, 4, p. 561-568.

ZIMMERMANN, U. and SPALLETI, L., 2005. **The provenance of the lower Palaeozoic Balcarce Formation (Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina).** *16 Congreso Geológico Argentino*, La Plata, 3, p. 203-210.

Glosario...

AFLORAMIENTO. Término geológico referido al asomo de una masa rocosa o depósito en la superficie de la tierra. En muchos casos la masa rocosa puede estar cubierta por mantos de suelos y vegetación, dificultando su observación. Sin embargo, en áreas donde la cubierta superficial ha sido removida por erosión, la roca queda expuesta o *aflora*.

ALUNITA. (Piedra alumbre). $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$. Como mineral secundario se lo encuentra como producto de alteración de rocas ricas en feldespato potásico (Klein y Hurlbut, 1998).

ANATASA. Cristaliza en el Sistema Tetragonal. Polimorfo de baja temperatura del TiO_2 . Se encuentra como un constituyente minoritario en rocas ígneas y metamórficas y en vetas y drusas en pegmatitas. También es un mineral detrítico común en sedimentos (Klein y Hurlbut, 1998).

ARENISCA. (Ver psamita). **1.** El uso del término arenisca como nombre colectivo equivalente a psamita consolidada está muy generalizado entre los geólogos, pero con limitaciones, pues quedan excluidas las que son de naturaleza piroclástica (tobas) o cataclástica. También se excluyen las de composición calcárea (calcarenitas) que se consideran más bien calizas. **2.** Nombre genérico para psamitas consolidadas con matriz (menos del 15-20 %). Este sentido concuerda con el que le asigna el geólogo cuando usa el vocablo sin calificativos. Por lo común, son “areniscas” las arenitas y las *subwackes*. Implica una sedimentita cuyos clastos más o menos redondeados se mantienen unidos por una matriz poco abundante, o por un cemento de origen químico, que en la mayoría de los casos es silíceo o calcáreo. Texturalmente están formadas por clastos o granos de tamaño arena (entre 4mm y 1/16 mm), pero pueden contener otros grados granulométricos, en cuyo caso corresponde indicarlo con la adición del adjetivo correspondiente (Teruggi, 1982).

ARCILITA. Roca compacta, sin fisilidad (propiedad estructural de ciertas sedimentitas de henderse por planos paralelos muy próximos) proveniente de la consolidación de una arcilla (Teruggi, 1982).

ARCILLA. Este término puede referirse a un tipo de sedimento o bien definir un rango de tamaño de partícula en el análisis mecánico de sedimentos. El equivalente litológico corresponde, en nuestra lengua, al vocablo arcilita. En general, el término arcilla implica un material natural, terroso, de grano fino, que desarrolla plasticidad cuando se lo mezcla con una limitada cantidad de agua. Los análisis químicos de arcillas demuestran que éstas están compuestas esencialmente por sílice, alúmina y agua, frecuentemente con apreciables cantidades de óxidos de hierro, álcalis y alcalino térreos. El término no tiene significado genético, se utiliza tanto para materiales que son el producto de meteorización; se han formado por acción hidrotermal; por procesos diagenéticos, o bien se han depositados como sedimentos. Como tamaño de partícula, la fracción arcilla está constituida por los tamaños menores de cuatro micrones.

Las arcillas se encuentran dentro de la Subclase de los Filosilicatos (Ver Filosilicatos), excepto el Grupo de la Sepiolita-Palygorskita, que forma silicatos en cadena. (Brindley, 1961).

ARCILLA ALCALI-SEMI-FLINT. Son parte del registro geológico del origen de las arcillas *flint*. Las arcillas álcali, se refieren a arcillas con bajo punto de fusión, debido a la presencia de álcalis, o menos comúnmente, a la presencia de elementos alcalino-térreos. Uno o dos por ciento de estos álcalis en la arcilla, si esta no contiene sílice libre, puede no afectar su refractariedad, pero si hay cuarzo fino, además, se desarrollará una fase vítrea de silicatos alcalinos, bajando el punto de fusión de la arcilla. Los minerales “alcalinos” son comúnmente illitas con alto contenido en potasio, alunita sódica o proto-alunita sedimentaria (Keller, et al., 1967), y yeso secundario y, raramente, calcita y dolomita.

Torbernita secundaria fue hallada también en arcillas “*flint*” de Missouri (Keller, 1952).

ARCILLA FLINT. El nombre de “*flint*”, originado en la industria, se refiere a ciertas arcillas refractarias que superficialmente recuerden a la ftanita (*chert o flint*), Keller (1968). Poseen grano muy fino y están compuestas principalmente por caolinita, moderadamente o bien ordenada; se rompen con característica fractura concoide y tienen una densidad de 2,2 a 2,5 (Baumann y Keller, 1975). Son sedimentarias en origen, aunque hay un caso citado de origen hidrotermal en México, pero la roca original era sedimentaria (Hanson y Keller, 1971). Es común que se encuentren asociadas a depósitos de carbón de edad carbónica, triásica, jurásica y cretácica. Típicamente, las arcillas “*flint*” o “*flint clays*”, han sufrido un proceso de “digestión” en la cual la textura original de la roca ha sido esencialmente obliterada. La arcilla parece haber sido “digerida” hasta llegar a la formación de un gel del cual cristalizará la nueva caolinita. Cuando la reacción llega hasta la formación de dicho gel, la arcilla resultante será una “*flint*” (Keller, 1976).

Las arcillas “*flint*” se caracterizan por una textura micro o criptocristalina de argilominerales que se disponen como mosaico apretado de granos imbricados. Estructuralmente, ellas constituyen la antítesis de las lutitas; carecen por completo de laminación y alcanzan el grado más perfecto de isotropía en textura, dureza, resistencia a la rotura, permeabilidad, propiedades térmicas y resistencia eléctrica. Aún vistas al microscopio óptico, muchas arcillas “*flint*” muestran una absoluta falta de orientación de los cristales, excepto, por supuesto, cuando la fina matriz contiene oolitas, granos de cuarzo, materia orgánica, piritita o siderita.

Las arcillas “*flint*” puras, o relativamente puras, deben poseer una combinación de varias propiedades refractarias: cono pirométrico equivalente (CPE) elevado, soportar un test de fusión bajo condiciones de calentamiento estándares, buena liga, alto poder de cohesión estructural, baja pérdida por “*spalling*” (*Spalling* es el resultado del agua entrando a un ladrillo, concreto, o una roca natural y que fuerza a la superficie a descascararse, por el contenido de sales en el agua. Eventualmente, el *spalling* causa la destrucción de la estructura o roca), alta densidad, baja porosidad y mantenimiento de un volumen permanente durante los procesos de calentamiento sostenidos a alta temperatura. Más aún, las arcillas de este tipo no presentan problemas durante los procesos de fabricación y manufactura de productos refractarios finales.

La mineralogía y la litología parecen ser la base necesaria para el desarrollo de las propiedades refractarias deseables; con caolinita relativamente ordenada, dispuesta en láminas imbricadas, completamente homogénea y “uniformizada” en las tres dimensiones y pequeña proporción de impurezas, localizadas probablemente en forma intersticial entre los cristales de caolinita. Esto produce un material de alta densidad natural, uniforme en todas direcciones, posibilitando la fabricación de productos refractarios “monolíticos”, esencialmente carentes de direcciones particulares de debilidad (Keller, 1968).

Las arcillas caracterizadas en este trabajo como “tipo *flint*” son llamadas así porque, al no ser sedimentarias, no pueden ser consideradas estrictamente “*flint*”. Sin embargo, tienen características similares.

ARCILLAS PLÁSTICAS. (En inglés: *Ball clay*). Esta denominación fue aplicada en la industria a ciertos depósitos de arcillas sedimentarias (o transportadas) que poseían excepcional plasticidad y buenas propiedades ligantes. En virtud de estas propiedades, forman fácilmente, y de una manera característica, una “bola” (“*ball*”) durante el procesamiento industrial y/o el laboreo de la mina. Las típicas “*ball clays*” son predominantemente caoliníticas, aunque usualmente contienen algo de illita accesoría y/o esmectita. Su alta plasticidad (necesaria, de lo contrario la arcilla no se clasifica como “*ball clay*”) se cree que resulta de su pequeño tamaño de partícula, de su capacidad para retener agua, y

del contenido de materia orgánica (coloides orgánicos) (Keller, 1976). Pueden contener halloysita y cantidades menores de pirofilita, así como impurezas de cuarzo, feldspatos, mica, vidrio volcánico y óxidos e hidróxidos de hierro. Las propiedades y usos de estas arcillas dependerán de los porcentajes de los componentes mineralógicos. Si el contenido en hierro es muy bajo, se utilizan en cerámica blanca, revestimientos blancos, azulejos, sanitarios, elementos para electricidad y producción de chamote.

ARCILLAS PLÁSTICAS REFRACTARIAS. Son predominantemente caoliníticas, pero comúnmente contienen illita, típicas de la variedad bajo potasio-alto hidrógeno. Se las subdivide en plásticas, semi-plásticas, *semi-flint*, y *flint*. En esta secuencia, las arcillas se vuelven menos plásticas y más “duras” (mayor resistencia a la rotura y a disgregarse en agua). Varios de estos miembros pueden encontrarse en forma transicional en un mismo depósito, vertical u horizontalmente (Keller, 1968).

ARCILLAS REFRACTARIAS. En general se clasifica así a las arcillas caoliníticas que incluyen varios estados de orden-desorden y que dan origen a nombres como halloysita, halloysita hidratada y a otros nombres como imogolita y alófano (Keller, 1968).

ARCILLAS VARIAS. No tienen una composición mineralógica definida, pero en general, si hay caolinita, esta se encuentra en baja proporción. Pueden contener illita, esmectica y/o clorita, además de proporciones variables de minerales interestratificados regulares o irregulares, lo cual hace muy difícil predecir su comportamiento en la industria. Las arcillas varias no tienen una aplicación definida, pues la misma resulta de los ensayos tecnológicos específicos para cada tipo diferente. Mezcladas con arcillas refractarias son utilizadas en la fabricación de cerámica roja para pisos y revestimientos en general. Todas las arcillas varias de la provincia de Buenos Aires son sedimentarias y los yacimientos de mayor importancia se encuentran en Olavarría y Barker (Formaciones: Olavarría, Las Águilas y Cerro Negro).

ARGILOMINERALES (Sin. minerales de las arcillas). Son esencialmente aluminosilicatos hidratados, pero el manganeso y el hierro sustituyen al aluminio en proporciones variables, y los metales alcalinos y alcalino-térreos pueden ser constituyentes esenciales. El hidrógeno está presente como oxidrilo en la estructura, y como agua, ambos dentro de la estructura y adsorbidos en superficie. Estas sustituciones causan una amplia variedad en la composición química dentro de la Subclase Filosilicatos, o silicatos en capas, a la cual los minerales de las arcillas pertenecen (Newman, 1987).

AUTIGÉNICO. Dícese del mineral sedimentario formado “*in situ*” por autigénesis. En su acepción más amplia, el término se utiliza, en oposición a alotígeno, para denotar cualquier componente que no ha sido transportado mecánicamente, o sea que se ha originado en la roca de la que forma parte (Teruggi, 1982).

BANDEADO/A. Tipo de estructura frecuente en distintos tipos de rocas, compuesta por bandas apretadas y paralelas con diferente composición, color, textura. etc.

BASAMENTO. Corteza terrestre situada por debajo de los depósitos sedimentarios y que llega hasta la discontinuidad de Mohorovicic.

BENTONITA. Roca compuesta de minerales del Grupo de las Esmectitas (arcillas expansivas), fundamentalmente montmorillonita, que tiene la propiedad de aumentar varias veces su volumen cuando

es sumergida en agua. Se utiliza como aditivo en los lodos de perforación. (Klein y Hurlbut, 1998).

BIOTURBACIÓN. Aspecto más o menos caótico de un sedimento motivado por la removilización en él provocada por organismos vivos.

BRECHA. Sedimentita psefítica compuesta por clastos angulosos, unidos por una matriz de grano fino y/o cemento. La brecha es similar al conglomerado excepto que la mayoría de los fragmentos tienen bordes agudos y sin desgastar; puede ser de cualquier origen, manera de acumulación o composición (Teruggi, 1982).

CALIZA. Sedimentita formada predominantemente por carbonato de calcio, en especial calcita, más raramente aragonita (limitada a rocas modernas). Integra el gran grupo de rocas carbonáticas o calcáreas. El carbonato cálcico debe constituir al menos un 50 %, siendo lo corriente que ese contenido sea mucho más elevado (superior a 80 % o 90 %) (Teruggi, 1984).

CAOLIN. Palabra derivada del término chino “*kauling*”, que significa lomada elevada, tomada de la elevación cercana a Jauchauf Fu, China. **1.** Denominación que se da a la roca que está compuesta esencialmente por minerales de las arcillas, con bajo contenido en hierro y es usualmente blanco o casi blanco. La caolinita es el mineral que caracteriza a muchos caolines, pero otros minerales del Grupo de la Caolinita pueden estar presentes en mayor o menor grado. **2.** Cuando se aplica como un término para una arcilla de uso comercial (*commodity*) se usa la siguiente definición: arcilla que consiste esencialmente de caolinita pura, o de minerales relacionados, que es naturalmente o puede llegar a ser beneficiada para constituir un producto blanco, o casi blanco; y es posible de beneficiar por métodos conocidos para hacerla apropiada para su uso en cerámica, papel, goma, pinturas y usos similares. El término se aplica sin relación directa con la pureza del depósito. Muchos depósitos tienen coloraciones débiles y deben ser tratadas para blanquearlas; otros contienen hasta 10 % de arcilla caolinítica y deben ser lavados y concentrados para recobrar un caolín comerciable. (Murray, 1966).

CAOLINITA. Mineral de las arcillas y principal constituyente del Grupo del Caolín. Es un mineral supergénico, que se produce por la meteorización o alteración hidrotermal de feldespatos y otros minerales aluminosilicatados. También puede tener un origen sedimentario. El caolín es materia prima irremplazable para refractarios y cerámica blanca y se utiliza en grandes cantidades en la industria del papel, caucho, etc. (Klein y Hurlbut, 1998).

CEMENTO. Sustancia mineral formada por precipitación de soluciones intersticiales que actúa como ligante de los clastos de una roca a la que confiere coherencia y rigidez. Los más comunes son los silíceos (cuarzo, calcedonia y ópalo, en ese orden) y los carbonáticos (calcita, dolomita, siderita). Menos frecuentes son los óxidos e hidróxidos de hierro (hematita, goethita, limonita), los sulfatos (anhidrita, yeso y baritina), los sulfuros (pirita) y otros (González Bonorino y Teruggi, 1965).

CICLO SEDIMENTARIO. Sucesión de etapas sedimentarias en una cuenca, que finaliza con la repetición de las condiciones existentes al comenzar. La duración del ciclo es variable; un ciclo principal está determinado, en su desarrollo más característico, por la formación y el hundimiento de una cubeta, seguida de una emersión. Las rocas representadas de estas etapas son, respectivamente: ortocuarcitas, grauvacas, y arcosas. Puede haber ciclos de menor importancia, y repetirse varias veces (ciclotema). Los ciclos sedimentarios se deben a factores tectónicos, a ciclos climáticos, a vulcanismo

periódico, etc. (González Bonorino y Teruggi, 1965).

CICLO TECTÓNICO U OROGÉNICO. Sucesión de acontecimientos que rigen la formación y luego la destrucción de una cadena montañosa (orógeno).

CIRCON. $ZrSiO_4$. Es un mineral accesorio corriente en las rocas ígneas, especialmente las más ácidas, por ejemplo, en granitos. Como es un mineral estable se lo encuentra también en muchos sedimentos (Klein y Hurlbut, 1998).

CLASTO. Fragmento de cualquier tamaño, forma o composición, originado por desintegración de otras rocas. Constituye la unidad mecánica de detritos, sedimentos y sedimentitas (González Bonorino y Teruggi, 1965).

CLORITA. Filosilicato hidratado de aluminio, magnesio y hierro perteneciente al Grupo de las Cloritas. Es un mineral común en rocas metamórficas de bajo grado y también en rocas ígneas como producto de la alteración de silicatos de magnesio y hierro (Klein y Hurlbut, 1998).

CONCORDANCIA. Se dice que existe concordancia si un estrato tiene sus contactos paralelos en relación con la estructura de las rocas más antiguas (Billings, 1963).

CONGLOMERADO. Sedimentita formada por la consolidación de una grava. El tamaño predominante de los componentes es entre 4 y 256 mm. (González Bonorino y Teruggi, 1965).

CONGLOMERADO POLIMÍCTICO. Conglomerado formado por sedimentos clásticos de tamaño grava predominante, (entre 4 y 256 mm.) de composición compleja y variada (González Bonorino y Teruggi, 1965).

CONO PIROMÉTRICO. El cono pirométrico es un cuerpo piramidal triangular de 6cm de altura moldeado y prehorneado con materiales de primera calidad para asegurar su correcto desempeño acorde a su rango térmico. Si bien los conos vienen regulados para una velocidad de 150° C/hora, se debe recordar que en caso de usar un calentamiento menor, por ej. 60° C/hora, el cono caerá antes de la temperatura indicada y si se usa uno mayor, por ej. 300° C/hora, sucederá lo opuesto. El cono pirométrico es la herramienta mas precisa para el ceramista que desea hornear correctamente. El calor absorbido trabaja sobre las pastas y esmaltes, produce el mismo efecto sobre el cono y es independiente a lo registrado por un medidor de temperatura. Es decir, que la maduración de pastas y cubiertas se manifiesta con exactitud al momento de doblar el cono elegido. Por otro lado, en el caso del uso de hornos de combustible (leña, gas, etc.) se lo debe proteger de llamas directas y de la excesiva reducción que falsea el valor térmico y su caída anticipada.

CONO PIROMÉTRICO EQUIVALENTE. (C.P.E) Es el cono pirométrico normal o patrón que, simultáneamente con el cono pirométrico de la muestra de ensayo, toca con los vértices de sus pirámides la plaqueta que los soporta, cuando se calienta el material a determinada velocidad. Existe una norma que establece el método para determinar el cono pirométrico equivalente (C.P.E.) de los materiales refractarios por comparación con conos pirométricos normales o de referencia.

CONO PIROMÉTRICO NORMAL. Es una pieza moldeada con materiales refractarios en forma de pirámide trunca, de base triangular, de dimensiones normalizadas, que se identifica con un número

característico, equivalente a una determinada temperatura, en grados Celsius, cuando en un régimen de calentamiento, en condiciones recomendadas, el vértice de la pirámide toca la plaqueta soporte.

CONTRACCIÓN. Es la disminución de las dimensiones de un material refractario durante su fabricación. La contracción por cochura se refiere, generalmente, a los cambios lineales en las dimensiones del material refractario.

CRATÓN. Con el nombre de Cratón o cratógeno (etimología: del griego *Kraton*, con el significado de cuenco muy plano) se denomina en geología a toda masa continental llegada a tal estado de rigidez en un lejano pasado geológico que, desde entonces, no ha sufrido fragmentaciones o deformaciones, al no haber sido afectadas por los movimientos orogénicos. Por tal motivo los cratones tienden a ser llanos, o presentan relieves bajos con formas redondeadas y de rocas frecuentemente arcaicas. A los cratones submarinos se les llama nesocratones.

CRIPTOCRISTALINO. Material cristalino de grano muy fino en el que los cristales son tan pequeños que son indistinguibles sin ayuda de una gran amplificación.

CRISTOBALITA. Polimorfo de alta temperatura de la sílice (SiO_2). Los polimorfos poseen diferente estructura atómica pero la misma composición química. (Klein y Hurlbut, 1998).

CUARCITA. Psamita compuesta por granos de cuarzo unidos entre sí por contacto directo. Cuando la roca no ha sufrido metamorfismo se denomina ortocuarcita; en caso contrario, se habla de meta-cuarcita. Cuando los granos están separados entre sí por un cemento silíceo, la roca es una arenisca silícea (González Bonorino y Teruggi, 1965).

CUTÁN. El término cután fue propuesto por Brewer (1960) para un amplio grupo de características pedogenéticas incluyendo los llamados "*clay skins*" (recubrimientos de arcilla), asociados con la superficie de los granos esqueléticos, peds (unidad natural de la superficie del suelo), y varios otros tipos de cavidades rellenas con materiales de los suelos. Las principales características diferenciales de los cutanes son: la clase de superficie a la cual están asociados, la naturaleza mineral del material del cután y la fábrica de los cutanes mismos. Los cutanes se pueden interpretar sobre la base de sus características, en términos de los procesos genéticos de la formación del suelo y clasificados en grupos simples y compuestos, cada uno de los cuales puede ser subdividido en cutanes de iluviación, difusión y de stress. El efecto de los cutanes en el desarrollo de un perfil de suelos y en el crecimiento de las plantas puede ser considerable y sus características pueden dominar las características del material del suelo. Constituyen una modificación de la textura, estructura o fábrica original que ocurre en materiales de los suelos, en superficies naturales, debido a concentración de algunos constituyentes particulares de los mismos o a modificaciones "*in situ*" del plasma. Los cutanes pueden estar constituidos por cualquier componente del suelo. Cuando están constituidos por arcillas se denominan argilanes. Un cután compuesto por una mezcla íntima de arcilla y óxidos e hidróxidos de hierro se denomina ferriargilán, y su color depende del grado de hidratación y oxidación de los óxidos e hidróxidos de hierro.

CUENCA. Término geológico que se refiere a zonas deprimidas, hundidas, adonde se transportan y depositan los sedimentos.

CUENCA INTRACRATÓNICA. Cuenca sedimentaria subsidente localizada en el interior de un cratón y limitada por fallas normales.

DIACLASA. Plano de discontinuidad, de fractura o de separación en una roca, que normalmente no implica desplazamiento. Las diaclasas suelen producirse como familias paralelas, que dividen la masa rocosa en bloques.

DIAGÉNESIS. Cambios que ocurren en el carácter y composición de los sedimentos, comenzando en el momento de la depositación y llegando hasta que los materiales resultantes (rocas) son llevadas ya sea al reino del metamorfismo o quedan expuestas a los efectos de la meteorización (Larsen y Chilingar, 1979).

DIASPORO. AlO (OH). Componente de las bauxitas, participando también en arcillas con alto contenido de alúmina (Angelelli, et al., 1983).

DIQUE. Extensiones tabulares, verticales o fuertemente inclinadas, de masas de roca plutónica, que atraviesan la dirección de estructura (p. ej., estratificación) de la roca encajante (Turner y Verhoo-gen, 1963).

DIQUE CLÁSTICO. La presencia de diques clásticos cortando formaciones sedimentarias a diferentes ángulos está ampliamente documentada, especialmente en areniscas de aguas profundas, secuencias turbidíticas y lodos depositados en taludes submarinos. Estas inyecciones se componen de diferentes tipos de material que han penetrado los sedimentos a lo largo de fracturas: arena, grava, limo, lodo, o bien sedimento bituminoso; se ha citado, incluso, que bajo condiciones favorables prácticamente cualquier material no consolidado o fácilmente deformable puede invadir una fractura y solidificarse para formar un dique clástico. Desde el punto de vista del comportamiento mecánico, la formación de un dique clástico puede considerarse como un ejemplo de fractura hidráulica natural, donde la inyección de un fluido sobrepresurizado, con granos inmersos en él, requiere un diferencial de presión constante entre éste y el fluido en los poros del sedimento que ha sido intruido. De este modo, la fractura se dilata y la mezcla se abre paso a través de la fractura. Una vez que el exceso de presión disminuye, la propagación de la fractura termina y la intrusión se detiene. Simplificando el proceso antes descrito, se afirma que el fenómeno de intrusión de diques clásticos consta de tres pasos: a) construcción de una presión de fluido excesiva en un cuerpo de arena o fango, b) fallo de la capa sellante y c) fluidización subsiguiente de la arena o fango no consolidado e inyección en los sedimentos huésped. Cuatro son los mecanismos principales invocados en la formación de diques clásticos: 1) licuefacción inducida por sismicidad; 2) esfuerzo tectónico; 3) presiones del fluido del poro excesivas generadas por procesos depositacionales y 4) la incursión de un fluido sobrepresurizado desde una parte profunda de la cuenca hacia capas suprayacentes (Rosales-Domínguez et al., 2005).

DISCORDANCIA ANGULAR. Falta de paralelismo entre estratos situados a un lado y otro de una superficie de erosión, debida a la dislocación tectónica de los más antiguos antes de la depositación de los más recientes (González Bonorino y Teruggi, 1965).

DISCORDANCIA EROSIVA. Yuxtaposición de dos formaciones o grupos de estratos separados por una superficie más o menos irregular, que representa una etapa de erosión o no depositación de cierta importancia. (González Bonorino y Teruggi, 1965).

DOLOMÍA. Roca carbonática que contiene una cantidad significativa (normalmente más de un 50 %) de dolomita (CaMgCO_3) (Teruggi, 1984).

DOLOMITA. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Aparece principalmente formando rocas dolomíticas, en general por reemplazo del Ca por Mg a partir de calizas. Se utiliza como roca ornamental y como fuente de magnesio para la fabricación de materiales refractarios (Klein y Hurlbut, 1998).

DOLOMITIZACIÓN. Proceso de transformación en dolomía de una roca preexistente, generalmente una caliza (Teruggi, 1984).

ENDÓGENO. Dícese del grupo de rocas formadas por agentes “*internos*” que determinan la solidificación, la precipitación o la extracción de materia mineral. (González Bonorino y Teruggi, 1965).

EROSIÓN. Eliminación de las rocas de un lugar por agentes de la superficie terrestre. Es la resultante de un conjunto de procesos, de los cuales los principales son, generalmente, la meteorización y el transporte.

ESMECTITAS. (Ver montmorillonita) Arcillas expansivas que conforman un grupo que incluye a la montmorillonita, entre otras especies minerales. Son filosilicatos hidratados con capacidad de absorber agua entre sus láminas, y muestran propiedades de intercambio catiónico (Klein y Hurlbut, 1998).

ESPARITA (Ver también micrita y microesparita). **1.** Cemento carbonático cristalino, con individuos cuyo tamaño es superior a 10 micrones (generalmente entre 20 y 100 micrones). **2.** Tipo de caliza en la que la esparita es el componente fundamental, precipitado químicamente. (Folk, 1962).

ESPARITICO. (Ver esparita). Propio y característico del cemento cristalizado o *esparita* de calizas.

ESTILOLITA. Estructura en zig-zag que se desarrolla en las rocas durante la diagénesis, por procesos de presión-disolución. Una visión tridimensional de estas estructuras revela que son columnas poligonales de estilo mutuamente interpenetrativo. La amplitud de una estilolita es una medida mínima de la cantidad de mineral soluble (carbonato, sílice, etc.) removido durante su formación. El factor controlador es la orientación del eje del *stress* lineal (que es generalmente vertical), siendo una consecuencia simple de la sobrecarga (Larsen y Chilingar, 1979).

ESTRATIGRAFÍA. Ciencia derivada de la geología que trata de la descripción de los estratos que forman la corteza terrestre y su organización en unidades distintivas, útiles, reconocibles, sobre la base de sus propiedades o atributos inherentes.

ESTRATO. Capa de roca de origen sedimentario, generalmente tabular, que posee determinadas propiedades o atributos que la distinguen de las capas adyacentes por planos de estratificación visibles.

ESTRATOTIPO. Referencia original o designada, de una unidad estratigráfica o límite estratigráfico, que se identifica como un intervalo o punto específico en una sucesión de estratos, y que constituye el patrón o modelo para definir y reconocer la unidad o límite estratigráfico.

EUSTÁTICOS. Movimientos generalizados (de ascenso o descenso) del nivel del mar a escala global.

EXÓGENO. Se aplica a los procesos ocurridos en la superficie de la tierra.

FÁBRICA. Orientación en el espacio de los elementos de una roca. En las rocas sedimentarias la fábrica es primaria, al contrario que en las rocas metamórficas, en que está determinada por la deformación. Cuando existe una orientación definida, la fábrica se dice anisótropa, e isótropa cuando los elementos están orientados al azar. Tiene importancia por ser una función del modo de sedimentación, velocidad, sentido de la corriente, etc. Se estudia en conglomerados, areniscas, etc. (González Bonorino y Teruggi, 1965).

FACIES. Una de las posibles partes, genéticamente relacionadas, de un cuerpo sedimentario, que se diferencia de los restantes por sus caracteres litológicos (González Bonorino y Teruggi, 1965).

FALLA. Rasgo estructural manifestado por una fractura en un bloque, a lo largo de la cual se han desplazado los lados.

FELDESPATOS. Son aluminosilicatos cuya composición puede expresarse en función del sistema: KAlSi_3O_8 (ortoclasa), $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albita) y $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (anortita). Los miembros de la serie KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ se llaman feldespatos alcalinos (sanidina, ortoclasa y microclino) y los de composición entre $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ son feldespatos calcoalcalinos o plagioclasas (albita, oligoclasa, andesina, labradorita, bytownita y anortita). (Klein y Hurlbut, 1998).

FILOSILICATOS. Subclase de silicatos cuyos tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$ están dispuestos en hojas. Presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos $(\text{SiO})_4^{4-}$ se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita y fórmula $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+} . Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibsita o brucita. En ellas algunos Al^{3+} o Mg^{2+} , pueden estar sustituidos por Fe^{2+} o Fe^{3+} y, más raramente, por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por grupos $(\text{OH})^-$ de la capa brucítica o gibsítica, de forma que, en este plano, quede un $(\text{OH})^-$ en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los $(\text{OH})^-$ son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros (Klein y Hurlbut, 1998).

FORMACIÓN. La mayor de las unidades litoestratigráficas, que abarca un número de estratos o capas. Se distingue por ser una unidad mapeable. Una formación está compuesta por diferentes unidades sedimentarias o estratos, cuya composición litológica tiene algo en común, y que son el resultado de fluctuaciones de uno o varios factores (por ejemplo, velocidad de corriente) dentro de un mismo ambiente (González Bonorino y Teruggi, 1965).

GLAUCONITA. Filosilicato de composición variable, constituido por hierro y aluminio. Se trata de un componente importante de areniscas y margas marinas (Angelelli et al., 1983).

GOETHITA. $\text{FeO}(\text{OH})$. Hidróxido producto de la meteorización de minerales que contienen hierro y también se lo encuentra en depósitos residuales (lateritas) (Klein y Hurlbut, 1998).

GNEIS. Roca foliada formada en el metamorfismo regional, en la que bandas o lentes de minerales granulares, alternan con bandas o lentes en que predominan los minerales de hábito laminar o alargado.

GRABEN. (Ver horst). (Sin. Fosa tectónica). Es un bloque de falla, limitado a ambos lados por fallas gravitacionales, o verticales, generalmente más largo que ancho, y que ha descendido en relación con los bloques de los costados (Billings, 1963).

GRANITO. Roca plutónica totalmente cristalina, que tiene como minerales principales (más de 60 % en volumen) cuarzo, feldspatos de colores claros y micas. Puede haber un moteado de minerales oscuros. Contenido en SiO_2 : más del 66 %.

GRANITOIDE. Roca granítica. Engloba las distintas composiciones de estas rocas.

GRANODIORITA. Roca plutónica de grano grueso, de composición intermedia entre granito y diorita. Minerales claros más de 60 % en volumen. Contenido en SiO_2 más de 66 %.

GRUPO. Unidad litoestratigráfica de rango mayor que comprende dos, o más, formaciones geológicas.

HALLOYSITA. Hidro-caolín. Mineral con estructura similar a la de la caolinita, con presencia de agua de fácil ligazón (Angelelli et. al, 1983).

HEMATITA. Fe_2O_3 . Mineral muy difundido, de gran importancia económica y de muy variado origen (Angelelli et. al, 1983).

HIDROTHERMAL. De, o perteneciente a aguas calentadas, a la acción de aguas calentadas o a los productos de la acción de las mismas, tal como un depósito mineral precipitado de soluciones acuosas calientes, con o sin asociación demostrable con procesos ígneos. Lovering (1973) ha establecido la temperatura de soluciones hidrotermales como de “baja temperatura”, por debajo de la cual la vida orgánica puede existir, o por debajo del punto de ebullición del agua, a presiones geológicas bajas, aproximándose a un máximo de 100° C. En el otro extremo, la alteración hidrotermal grada hasta el metamorfismo, y puede ser indistinguible, o, aún, hasta inseparable de aquél (Larsen y Chilingar, 1979).

HORNBLENDA. $\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe})_4(\text{Al,Fe})(\text{Si}_3\text{AlO}_{11})_2(\text{OH})_2$. Mineral que pertenece al Grupo de los Anfíboles (Inosilicatos). Es uno de los minerales accesorios más difundidos en rocas ígneas y también se la encuentra en rocas metamórficas (Angelelli et. al, 1983).

HORST. (Ver graben). (Sin. Pilar tectónico). Es un bloque de falla limitado a ambos lados por fallas gravitacionales, o verticales, generalmente alargado, que ha ascendido en relación con los bloques de los costados (Billings, 1963).

IGNEO. Describe una roca o mineral que se ha formado a partir de un material fundido o parcialmente fundido (magma).

ILLITA. Gaudette et al. (1966) usaron el término “illita” para los argilominerales que tienen una uni-

dad de repetición basal de 10Å (ángstroms); no muestran evidencias de interestratificación pero, no obstante, contienen menos potasio y más agua que una verdadera mica. Término amplio, que describe uno de los grupos más corrientes de minerales de las arcillas, formados por la alteración de micas, feldespatos, etc. en condiciones alcalinas. Pertenece a la Subclase de los Filosilicatos.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD. Diferencia numérica entre los límites líquido y plástico. Representa el rango de contenidos en humedad en los que el material es plástico. Junto con el límite líquido da una indicación de la sensibilidad del material a los cambios en las condiciones de humedad.

INTRACLASTO. Folk (1959) definió el término intraclasto como “fragmentos de sedimentos carbonáticos débilmente consolidados, penecontemporáneos con los mismos, que han sido erosionados de otros depósitos y redepositados para formar un sedimento nuevo”. Sin embargo, Folk mismo da una definición más amplia del término, que es entonces considerado como englobando el completo espectro de sedimentos, agregados y partículas redepositadas, sin importar el grado de cohesión o tiempo transcurrido entre la depositación del sedimento original y el ulterior retrabajamiento de partes del mismo.

KARST. Tipo de relieve debido a la disolución de rocas calcáreas por aguas meteóricas cargadas de gas carbónico.

LIMOLITA. Sedimentita que resulta de la consolidación de un limo (fracción limo: entre 1/16 mm y 1/256 mm) y es maciza, es decir no tiene fisilidad o laminación (Teruggi, 1982).

LITOFACIES. (Ver facies). Cada uno de los tipos litológicos que en conjunto forman las facies de una formación geológica.

LUTITA. Sedimentita pelítica provista de fisilidad y/o laminación, siendo esta capacidad de henderse en planos muy próximos entre sí su característica más distintiva y que la diferencia de la fangolita. (Teruggi, 1982).

MACLA. Es un crecimiento conjunto simétrico de dos (o más) cristales de la misma sustancia. Los cristales o individuos de la maccla están relacionados por un elemento de simetría que no existe en un solo cristal (Klein y Hurlbut, 1998).

MAGMA. Material fundido generado en el interior de la tierra por fusión de materiales a temperatura superior a 600°C . Su enfriamiento y consolidación da origen a las rocas magmáticas.

MARGA. Roca sedimentaria constituida por una mezcla de arcilla y carbonato de calcio.

MATAS ALGALES (ESTROMATOLITOS). Se desarrollan extensamente en las porciones húmedas de costas áridas. En realidad, las algas se desarrollan en casi cualquier ambiente húmedo, pero, raramente se preservan en el registro sedimentológico. Los primeros depósitos algales aparecieron hace aproximadamente 3500 millones de años (Precámbrico). Las matas de algas se desarrollan a lo largo de las costas en ambientes intertidales y supratidales, pero también ocurren en la zona somera subtidal donde la profundidad del agua alcanza entre 8 y 10 m. En esta franja de costa, el tipo de mata algal producida depende considerablemente de la intensidad del ataque de las olas, existiendo distintos tipos de depósitos. Cada uno de estos tipos, que consiste en una comunidad de varias es-

pecies de algas, da lugar a una microestructura estromatolítica distintiva, determinada por el modo en que las partículas de sedimentos son atrapadas y/o queden ligadas dentro de la mata. La distribución de las matas está particularmente determinada por la desecación, que aumenta a lo largo de la planicie de marea y del área supratidal, llevando a un decrecimiento en el número de especies y a un cambio en la construcción de la comunidad algal y por lo tanto al tipo de mata. Sólo tres tipos de matas: coliformes, suaves y pustulares son las responsables de la construcción de estromatolitos columnares, elongados y digitales, los otros tipos conducen a la construcción de estromatolitos estratiformes o laminares (Reading, 1986).

MATRIZ. Material detrítico de granulometría fina (tamaño arcilla o limo) que ocupa los intersticios entre los clastos principales de una roca y que actúa como liga entre los mismos.

METAMORFISMO. Consiste en la acomodación mineralógica y estructural de las rocas sólidas a las condiciones físicas o químicas reinantes a profundidades inferiores a las zonas superficiales de meteorización y cementación y que son distintas a las condiciones bajo las cuales se formaron las rocas en cuestión. Cambios que sufren las rocas en el seno de la corteza terrestre, debido a variaciones de presión y temperatura. Esencialmente es isoquímico y al estado sólido. Cualquier roca puede ser afectada por el metamorfismo, ya sea ígnea, sedimentaria o metamórfica. (Turner y Verhoogen, 1963).

METASOMATISMO. Sinónimo de *Reemplazo*. Está implícito el proceso de solución capilar simultánea y depositación, a través del cual, un mineral se transforma en otro nuevo. (Larsen y Chilingar, 1979).

METEORIZACIÓN. Destrucción de las rocas por acción de los agentes físicos (no dinámicos) y químicos de la atmósfera.

MICA. Mineral que pertenece al Grupo de los Filosilicatos laminares (que incluye a la biotita y a la moscovita, entre otros), con una fórmula general $X_2 Y_{4-6} Z_8 O_{20} (OH, F)_4$, donde X= (K, Na, Ca); Y = (Al, Fe, Mg, Li) y Z= (Si, Al), dividido en dos subgrupos, dependiendo de si el número de cationes octaédricos Y es cercano a 4 ó a 6. El catión de intercapa (X) es usualmente potasio o sodio, pero también puede ser calcio (Newman, 1987).

MICRITA. Calcita microcristalina (cuyo tamaño de cristales es de alrededor de 4 o 5 micrones, según distintos autores. (Folk, 1962).

MICROESPARITA. (Ver esparita). Calcita microcristalina cuyo tamaño está generalmente comprendido entre 5 y 20 micrones (Folk, 1962).

MIEMBRO. Unidad litoestratigráfica de rango inferior a la formación y que siempre es parte de la misma.

MIGMATITA. Roca compuesta de dos elementos litológicos íntimamente mezclados: uno es la roca regional diversamente alterada por metamorfismo y metasomatismo; el otro es granítico. Las relaciones mutuas de los dos elementos son muy variadas. Ha sido formada por reconstrucción en estado sólido de materiales ígneos y/o metamórficos por inyección de magma y/o fusión "*in situ*". (Turner y Verhoogen, 1963).

MINERALES DE LAS ARCILLAS (Ver argilominerales). Los minerales de las arcillas pertenecen a la Subclase de los Filosilicatos. Son particularmente de tamaño muy pequeño (algunos micrones como máximo) y se forman en los dominios de la superficie (alteritas, suelos, sedimentos) o de la sub-superficie (diagénesis, alteraciones hidrotermales). Difíciles de observar sin la utilización de microscopios electrónicos, son estudiados fundamentalmente por difracción de rayos X, método esencial para su identificación. Aunque el número de especies minerales es relativamente reducido, los argilominerales presentan una enorme diversidad de composiciones químicas en razón de su capacidad para formar soluciones sólidas y de formar cristales mixtos por interestratificación. Los minerales de las arcillas más corrientes forman los grupos de la caolinita, de la illita y de la montmorillonita (esmectita). (Meunier, 2003).

MINERALES INTERESTRATIFICADOS. Esta denominación se aplica a los minerales formados por el apilamiento, regular o no, de capas de diferentes minerales arcillosos (Holtzapffel, 1985).

MINERAL INTERESTRATIFICADO I/S. Mineral formado por el apilamiento de capas de illita y esmectita (Holtzapffel, 1985).

MINERAL SECUNDARIO. Que se ha formado en el interior de la roca que lo contiene por cualquier proceso petrogénico. Sinónimo: autigénico (en parte) (Teruggi, 1982).

MONTMORILLONITA. El término se usa corrientemente en tres sentidos, que deben ser claramente distinguidos: El nombre original se aplica a un particular mineral de las arcillas (Filosilicato) que tiene aproximadamente la composición: $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (1+x)\text{H}_2\text{O}$, donde las moléculas de agua pueden perderse reversiblemente a baja temperatura. Cuando se conocieron las estructuras de los minerales de las arcillas por difracción de rayos X, se encontró una variedad de silicatos hidratados, de diferente composición y que tenían, esencialmente, el mismo diagrama de rayos X. El nombre montmorillonita es hoy usado para: **1.** Todo este grupo de silicatos hidratados (Grupo de la Montmorillonita); **2.** Para un particular sub-grupo conteniendo principalmente sílice y alúmina, generalmente con escaso óxido de magnesio y algún reemplazo de alúmina por óxido de hierro; **3.** Para un mineral del sub-grupo mencionado que tiene una composición; **4.** $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Estos minerales se caracterizan por su propiedad de expandirse al contacto con el agua y de intercambiar iones con el medio (MacEwan, 1961). Se acepta actualmente el término *esmectita* como sinónimo del Grupo de la Montmorillonita.

MULLITA. $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Único compuesto de la alúmina y sílice que es estable y conserva la forma rígida cristalina a elevadas temperaturas, y por lo tanto es importante en los refractarios modernos (Rose y Rose, 1959).

NEOFORMADO (Sin. autigénico, autígeno). **1.** Dícese del mineral sedimentario formado "*in situ*" por autigénesis. En su acepción más amplia, el término se utiliza en oposición a *alotígeno*, para denotar cualquier componente que no ha sido transportado mecánicamente, o sea que se ha organizado en la roca de la que forma parte. **2.** En rocas piroclásticas se aplica a componentes formados en el magma. (Teruggi, 1982) **3.** Los minerales de las arcillas neoformados han precipitado "*in situ*", en respuesta a condiciones pasadas o presentes (Eberl, 1984).

NÓDULO. Cuerpo concrecional (por precipitación de sustancias alrededor de un punto) o acrecional (con disposición concéntrica de las partículas), generalmente pequeño (milimétrico a decimétrico),

redondeado, esferoidal o elipsoidal, separable fácilmente del sedimento en que se halla. Su estructura puede ser maciza o radiada. Pueden ser de sílice, carbonatos, fosfatos, hierro, manganeso y de arcilla, entre los más corrientes. (González Bonorino, y Teruggi, 1965).

ORDOVICICO. Período de la era Paleozoica situado entre 505 y 435 millones de años (Ma), y su correspondiente serie estratigráfica.

OXIDACIÓN. Proceso de combinación con el oxígeno.

PALEOSUELO. Suelo generado en el pasado bajo condiciones distintas o iguales a las que reinan en el sitio donde se lo halla. (Teruggi, 1984).

PALEOZOICO. Era que va desde los 590 a los 213 millones de años (Ma). Comprende los períodos Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico.

PARAGÉNESIS. Asociación de minerales que presentan un origen común. En las rocas metamórficas designa las asociaciones de minerales que son estables conjuntamente bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

PELLET. Pelotilla de diámetro inferior a 0,1 a 0,3 milímetros de diámetro, de argilominerales, envuelta (o no) en una delgada película orgánica, que se forma por acción de corrientes en algunos sedimentos arcillosos. (Teruggi, 1982).

PELITA. Sedimentita (o roca sedimentaria) compuesta por partículas detríticas finas (tamaño arcilla y/o limo). Las pelitas constituyen el 50 % de todas las rocas sedimentarias del registro geológico. Están compuestas principalmente por partículas de fango, menores de 63 micrones, que caen dentro del rango de limo grueso a las arcillas más finas. El término fangolita se utiliza como sinónimo de pelitas o también de pelitas sin fisilidad. En inglés se utilizan los términos *mudrock*, *mudstone* o *shale*, éste último generalmente para las pelitas con fisilidad (lutitas en castellano). La composición granulométrica promedio de los fangos actuales es de alrededor de 40 % de arcilla, 45 % de limo y 15 % de arena (Picard, 1971).

PETROGRAFÍA. Rama de la Geología que trata de la descripción y clasificación sistemática de rocas, especialmente por el estudio microscópico de láminas delgadas.

PIRITA. FeS_2 . Estructura cúbica. Color amarillo latón, opaco, paramagnético. Puede contener pequeñas cantidades de níquel. Frecuentemente aparece con pequeñísimas cantidades de oro y cobre, probablemente como impurezas microscópicas. Es el sulfuro más corriente y extendido. Es muy frecuente en rocas sedimentarias, aunque también aparece en rocas ígneas, metamórficas y en filones hidrotermales (Klein y Hurlbut, 1998).

PIROFILITA. $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Filosilicato. Mineral originado por procesos hidrotermales, también está presente en sedimentos pelíticos detríticos (Angelelli et. al., 1983).

PLAGIOCLASAS. Grupo de los Feldespatos de calcio y sodio. Es uno de los grupos de minerales formadores de rocas más corrientes, y tienen una gradación continua en composición química desde la albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) a la anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) (Klein y Hurlbut, 1998).

PLUTÓNICAS. Rocas ígneas formadas a gran profundidad, que tienen un grano medio a grueso característico y presentan distintas texturas.

PRECÁMBRICO. Período geológico (aproximadamente se inicia hace 4000 millones de años) desde la consolidación de la Tierra hasta el comienzo de la era Paleozoica y sus correspondientes series estratigráficas.

PSAMITA. (Sinónimo: arenita, arenisca). Término usado para referirse a areniscas, sin hacer mención de su composición (Pettijohn, 1975). Las areniscas son rocas epiclásticas dominadas por fragmentos tamaño arena (entre 0,062 mm y 2 mm). Debido al tamaño de grano fino de los clastos que forman estas rocas la descripción y clasificación se realiza mejor a partir del estudio de secciones delgadas al microscopio petrográfico, donde se distingue la fracción clástica, la matriz (< 0,03 mm) y el cemento (minerales autigénicos que rellenan espacios que originalmente eran poros abiertos). Sin embargo, en los estudios de campo resulta importante realizar una clasificación preliminar de las areniscas así como tomar nota de las características salientes de las mismas (como color, estructuras sedimentarias, presencia de clastos mayores a 2 mm, etc.). Los componentes clásticos de las areniscas incluyen fragmentos de minerales (mucho más frecuente que en los conglomerados) y fragmentos de rocas (fragmentos líticos). Entre los primeros los más abundantes son cuarzo y feldespatos, y en menor medida, minerales micáceos y minerales pesados, mientras que los fragmentos líticos incluyen aquellos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Justamente es la composición de los clastos, determinada a partir del conteo de clastos en secciones delgadas, junto con el porcentaje de matriz, lo que permite clasificar a las areniscas. Para ello se utilizan diferentes diagramas de clasificación. Las clasificaciones más utilizadas son las de Pettijohn et al. (1987) y la de Folk et al. (1970).

PSEUDOMORFISMO. Se denomina así a la existencia de un mineral con la forma cristalina externa de otra especie mineral (Klein y Hurlbut, 1998).

REFRACTARIO. Material natural o artificial, generalmente no metálico, que posee la propiedad de no deformarse o fundir cuando se lo somete a la acción de temperaturas elevadas, en condiciones específicas de empleo (Norma Panamericana COPANT, 375, 1972, 3.3.91).

REFRACTARIEDAD. Propiedad de los materiales refractarios de resistir a la fusión, ablandamiento o deformación a alta temperatura. Se mide mediante la determinación del cono pirométrico equivalente (C.P.E.) de acuerdo a las instrucciones de la Norma Panamericana COPANT 375, 1972, 3.15.010 y 375, 1972, 3.3.92.

SERICITA. Variedad de muscovita, (son químicamente similares) que se presenta en algunas rocas esquistosas en forma de agregados fibrosos de pequeñas escamas, con brillo sedoso (Klein y Hurlbut, 1998).

SILICICLÁSTICO/A. Dícese de las rocas formadas por *cuarzoclastos* (material clástico = detrítico), de composición silíceo (Teruggi, 1982).

SLICKENSIDES. 1. *Slickensides* pedogenéticas: son fracturas que están orientadas al azar y localmente forman pseudo-anticlinales (Gray y Nickelsen, 1989). Se forman en suelos ricos en arcillas, donde las presiones por hinchamiento de las arcillas exceden las fuerzas de compresión a profundidades

donde el movimiento vertical está confinado y puede resultar en el desarrollo de estructuras “gilgai”, expresadas como pseudo-anticlinales en la subsuperficie (Watts, 1977). **2. Slickensides** tectónicas: se orientan, preferencialmente alineadas en relación al campo de fuerza imperante, en respuesta a una deformación estructural (Driese y Foreman, 1992).

TELODIAGENESIS. Constituye un estadio de la diagénesis. Worden y Burley (2003) sostienen que el régimen telodiagenético es aquel donde las aguas asociadas con procesos diagenéticos tempranos son desplazadas por subsiguiente influjo de aguas meteóricas. El flujo hacia el interior de un depósito de aguas meteóricas debe ser llevado al mismo por una presión asociada a lluvias en zonas más elevadas. Los procesos de telodiagénesis se encuentran raramente asociados a cuencas profundas relacionadas con petróleo, pero son comunes en rocas sedimentarias aflorantes. La mayoría de los procesos de telodiagénesis ocurren dentro de los primeros metros o decenas de metros de la superficie de los sedimentos. La inversión de relieve y movimientos a través de fallas asociadas, erosión, levantamiento y la formación de montañas que se exponen el influjo de aguas meteóricas llevan a cambios significativos en los tipos de flujo a escala de cuenca.

TONALITA. Roca magmática plutónica granuda, donde el feldespato potásico está subordinado a la oligoclasa cálcica o andesina (plagioclasas) o falta por completo. (Turner y Verhoogen, 1963).

TRANSGRESIÓN. Migración de la línea de costa hacia el continente. Se origina por ascenso del nivel del mar o por descenso de una región continental (Pettijohn et al., 1987).

VERMICULITA. Filosilicato de tamaño arcilla (menor de 4 micrones). Fórmula química: $Mg_3 (Al,Si)_4 O_{10} (OH)_2 Mg_{0.35} \cdot 4.5 H_2O$. Probablemente siempre como minerales de alteración, formados a partir de mica, piroxeno, clorita y otros. El nombre deriva del Latín *vermicularis*, aludiendo a la forma elongada, columnar y retorcida cuando los cristales más grandes son calentados súbitamente a elevadas temperaturas. Esta propiedad de exfoliación puede causar la expansión de las hojas entre 20 y 30 veces su tamaño original, en una dirección perpendicular al clivaje. Propiedad que se utiliza mucho para su uso como aislantes térmicos. Se diferencia de las Esmectitas por su mayor carga eléctrica (más de 0.6 por fórmula unidad). Esta carga lleva a su propiedad diagnóstica de rehidratarse espontáneamente en la atmósfera luego de una suave deshidratación (<300° C) (Walker, 1961).

Editado en agosto de 2009
Departamento de Promoción Científica
Dirección de Planificación y Coordinación Científica y Tecnológica
Comisión de Investigaciones Científicas



PATRICIA EUGENIA ZALBA. Nació en La Plata. Cursó estudios en el Liceo Víctor Mercante y en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Es Dr. en Ciencias Naturales, Orientación Geología. Fue Profesor Adjunto de Sedimentología y Profesor Titular a cargo de Mineralogía de la UNLP. Es Investigador Principal de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. Trabajó en el LEMIT y actualmente lo hace en el Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), desempeñándose también como Subdirector entre 1998 y 2004. Ha publicado trabajos científicos en el país y en el exterior. Actualmente es Jefe del Laboratorio de Geología y Mineralogía del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC). pezalba@cetmic.unlp.edu.ar



MARTÍN EDUARDO MOROSI. Licenciado en Geología, egresado de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). Docente en las cátedras de Mineralogía y Fundamentos de Geología en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). Integrante del Laboratorio de Geología y Mineralogía del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC). Profesional Principal de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. mmorosi@cetmic.unlp.edu.ar



MARÍA SUSANA CONCONI. Nació en La Plata en junio de 1962. Cursó sus estudios universitarios en la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, graduándose de Licenciada en Ciencias Químicas en 1986. Fue becaria de la Comisión Nacional de Energía Atómica y del CONICET entre 1987 y 1993, año de ingreso a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Actualmente es Profesional Principal en la CIC desempeñándose en el Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), y docente de la Facultad de Ingeniería de la UNLP.



LAURA, M. SEGOVIA. Licenciada en Geología, egresada de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). Becaria de Entrenamiento de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires e integrante del Laboratorio de Geología y Mineralogía del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), entre 2004 y 2006. Geofísico de Desarrollo YPF, Cuenca del Golfo San Jorge.

Calle 526 e/ 10 y 11 - C.P. B1902AWN
La Plata, Pcia. de Bs. As.
Tel.: (0221) 421 7374 - 482 3795 / 9581
Fax: (0221) 425 8383
Sitio web: www.cic.gba.gov.ar