Estudio mineralógico y genético de depósitos de arcilla en el área de Estación López, Provincia de Buenos Aires.

Trabajo Final de Licenciatura

Lucas Francisco Mon

Director: Ricardo O. Etcheverry

Codirectora: María F. Lajoinie

RESUMEN

Las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires constituyen uno de los centros de extracción de arcillas más importante de Argentina. Teniendo en cuenta el grado de explotación desarrollado y la falta de estudios sistemáticos, necesarios a la hora de iniciar cualquier proyecto geo-minero, se planteó la necesidad de ampliar el conocimiento geológico de ciertos yacimientos de arcilla; en particular de aquellos ubicados en el área de Estación López, con énfasis en las canteras “El Cañón” y “Don Pepe”. El área de trabajo se encuentra caracterizada por la presencia de un basamento ígneo-metamórfico tonalítico alterado, de edad paleoproterozoica, al cual suprayacen rocas sedimentarias neoproterozoicas y paleozoicas. A través del relevamiento geológico y análisis de los resultados obtenidos mediante estudios petrológicos y mineralógicos (difractometría de rayos X), se concluyó que las arcillas de interés económico corresponden principalmente a caolinita, esmectitas y pirofilita e illita subordinadas, que se formaron mayoritariamente como producto de la alteración del basamento. Dicha alteración, posee una génesis vinculada a la meteorización de dichas rocas basamentales, ocurrida durante un episodio de exposición sub-aérea, y a una circulación de fluidos posteriores a la depositación de la secuencia sedimentaria suprayacente.

Palabras claves: Estación López, basamento paleoproterozoico alterado, arcillas, caolinita, Sierras Septentrionales de Buenos Aires.

ÍNDICE

4- INTRODUCCIÓN

6- OBJETIVOS

7- MARCO GEOLÓGICO

8- BASAMENTO CRISTALINO

9- UNIDADES SEDIMENTARIAS

16- EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

20- ÁREA DE ESTUDIO

21- ACTIVIDAD MINERA DEL ÁREA

25- METODOLOGÍA

25- TAREAS DE GABINETE PARTE 1

26- TAREAS DE GABINETE PARTE 2

27- DIFRACCIÓN DE RAYOS X

29- PREPARADO DE MUESTRAS

31- RESULTADOS

31- GEOLOGÍA LOCAL SECTOR EL CAÑON- DON PEPE

31- BASAMENTO

35-PETROGRAFÍA

37- UNIDADES SEDIMENTARIAS

41-GEOLOGÍA LOCAL SECTOR CONSTANTE 10

47- GÉNESIS

48- DISCUSIÓN

49- CONCLUSIÓN

52- AGRADECIMIENTOS

53- BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Buenos Aires constituye uno de los distritos mineros más importantes del País, dado que se explotan tanto rocas de aplicación como diversos tipos de minerales no metalíferos, en particular “arcillas” de gran importancia económica; estas últimas son utilizadas fundamentalmente para la fabricación de cerámicas y cementos. Los principales depósitos y yacimientos de arcillas se encuentran localizados a lo largo de las Sierras Septentrionales bonaerenses o Sistema de Tandilia, más precisamente en la franja SE de las Sierras comprendidas entre las localidades de Olavarría y Barker. Si bien varios de estos depósitos cuentan con caracterizaciones geológico-mineras completas, en muchos otros sólo se presentan aspectos genéricos sobre las cualidades mineralógicas, geoquímicas y tecnológicas de las arcillas (Iñiguez y Zalba, 1974; Zalba, 1978; Zalba, 1988; Poiré, 1987; Frisicale, 1991; Poiré, 1993; Frisicale y Dristas, 2000; Alló, 2001; Etcheverry, 2006; Caballé et al., 2008; Etcheverry et al., 2011; Zalba et al., 2016).

Por otro lado, en muchos otros casos la producción y comercialización de arcillas aún se ven afectadas por la falta de estudios geológico-mineros sistemáticos, necesarios a la hora de iniciar cualquier proyecto minero-industrial. Estos análisis y estudios son necesarios a la hora de optimizar la extracción del material arcilloso, considerando además que los mismos poseen una ubicación estratégica respecto de los centros urbanos de mayor demanda en Argentina y que esta región observa un importante desarrollo de infraestructura y servicios. Cabe destacar que la producción minera bonaerense representa aproximadamente el 35% del total nacional, dentro del cual la participación de las Sierras Septentrionales es de aproximadamente un 65 % en triturados pétreos (incluye granitos y cuarcitas), un 45 % en calizas, 65 % en dolomías trituradas, 20 % de granitos y dolomías en bloques y un 30 % en arcillas. Se puede afirmar que la producción ha experimentado similares fluctuaciones que la industria de la construcción en general. En este sentido, de 30.5 millones de toneladas producidas en Buenos Aires durante el 2008 (Estadística Minera), la actividad procedente de las Sierras Septentrionales significó aproximadamente 18.5 millones (60.5%) para ese año.

La actividad minera de Buenos Aires engloba más de un centenar de empresas que en su gran mayoría corresponden al segmento de pequeñas empresas, mientras que solo la minoría es considerada mediana y las grandes aparecen casi sin representación. Actualmente, la Dirección Provincial de Minería de Buenos Aires sigue recibiendo solicitudes y reclamos referidos a la posibilidad de perfeccionar el

conocimiento de sus recursos mineros, y de esta forma poder determinar la existencia de nuevas áreas con materiales arcillosos que puedan satisfacer la demanda de las distintas industrias consumidoras.

El término “arcilla” se usa habitualmente con diferentes significados: mineralógico, engloba mayoritariamente a un grupo de filosilicatos cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano muy fino; petrológico, la arcilla es una roca sedimentaria, comúnmente de origen detrítico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 micrones; mientras que del punto de vista económico, consiste en un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas, variadas propiedades tecnológicas y diversas aplicaciones (Nigro et al., 2013 Zalba et al., 2016. Estas aplicaciones, se basan en sus propiedades fisicoquímicas, las cuales derivan de su pequeño tamaño de partícula, morfología laminar (filosilicatos) y de sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar. Como consecuencia de estos factores, presentan un valor elevado del área superficial y a la vez, una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. En el mundo, el 90% de la producción se destina preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y sólo un 10% se destina a otras industrias: fabricación de papel, carga en caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, entre otros (García y Suárez, 2001).

En el presente Trabajo Final de Licenciatura, se exponen los estudios y trabajos geológico-mineralógicos realizados en los yacimientos de arcillas localizados en el área de Estación López (Partido de Benito Juárez), principalmente centrados en las canteras “El Cañón” – “Don Pepe”, donde se vienen explotando arcillas de manera regular desde hace varios años. Este sector está englobado en el Distrito Minero Barker-Villa Cacique, el cual representa junto con los distritos de Olavarría y Tandil, los principales centros de producción de arcillas bonaerenses. Cabe mencionar que esta zona pese a contar con una gran cantidad de canteras, sólo posee unas pocas activas en el presente (Catastro Minero, 2019).

Con el fin de comprender y alcanzar un mejor panorama del área de estudio, que abarca las canteras “El Cañón” – “Don Pepe”, se visitó el depósito de arcillas lindante, denominado “Constante 10”. Este último, fue estudiado por Zalba (1978) y Zalba y Garrido (1984), quienes presentan una caracterización mineralógica, estratigráfica y tecnológica de los materiales de dicha cantera, así como también una

propuesta acerca de su génesis. Es por ello que se consideró y comparó este depósito con los otros, para lograr una visión geológica más integrada del sector.

Entre los materiales de las arcillas que se explotan en el Distrito considerado, se pueden identificar niveles ferruginosos destinados a la industria del Cemento Portland (Caballé et al., 2008). En la actualidad, en la Argentina se producen alrededor de 10 millones de toneladas anuales de cemento (Estadística de la Asociación de Fabricantes de Cemento Portland, 2018), de las cuales las arcillas constituyen el 2,2% y los materiales ferrosos el 1%, que representan en el orden de 220.000 y 100.000 toneladas respectivamente para la provincia de Buenos Aires.

Otro uso alternativo para estas arcillas es su posible aplicación para cerámica roja estructural y fabricación de pigmentos extendedores, los cuales son aditivos que sirven para mejorar la viscosidad, fluidez, reología, permeabilidad, dureza y resistencia a la abrasión, así como también favorecer las condiciones de sedimentación en el envase durante el tiempo de almacenamiento, a fin de evitar o reducir al máximo la misma (Restrepo, 2005). Los extendedores pueden ser de dos tipos: blancos y coloreados (según modifiquen o no el color del producto final). Dentro de estos últimos, unos de los más utilizados son los ferrites u óxidos de hierro, debido a su bajo costo de producción y excelentes propiedades de resistencia a la radiación UV (Etcheverry et al., 2011). Estudios preliminares sugieren que, los óxidos presentes en los niveles arcillosos ferruginosos del Distrito podrían ser usados como posibles extendedores en la industria de la pintura. En la provincia de Buenos Aires, la producción de arcillas ferruginosas no está discriminada y se incluye dentro del rubro Arcillas (Estadística del Ministerio de Energía y Minería para la Provincia de Buenos Aires cuya producción para el año 2018 fue del orden de 1.145.056 toneladas).

OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo principal obtener una caracterización geológica y mineralógica del material arcilloso presente en los afloramientos de las canteras “El Cañón” – “Don Pepe”, emplazadas en el área de Estación López, así como una propuesta acerca de la génesis de las rocas pelíticas, identificadas en la secuencia relevada.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Ampliar el conocimiento geológico de los yacimientos de arcilla ubicados en el área de Estación López, con énfasis en las canteras “El Cañón” y “Don Pepe”.

- Obtener una caracterización mineralógica del material arcilloso presente en los afloramientos de dicho sector y sectores aledaños.

- Proponer un modelo genético para las pelitas presentes en el área de estudio.

MARCO GEOLÓGICO

Las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires (Harrington, 1956), también denominadas Sistema de Tandilia (Nágera, 1940), se localizan en el sector centro-este de la Provincia; conformando un cordón discontinuo de serranías bajas con orientación NO-SE, aproximadamente de 350 km de largo y ~60 km de ancho máximo en la región central del Sistema (Fig.1).

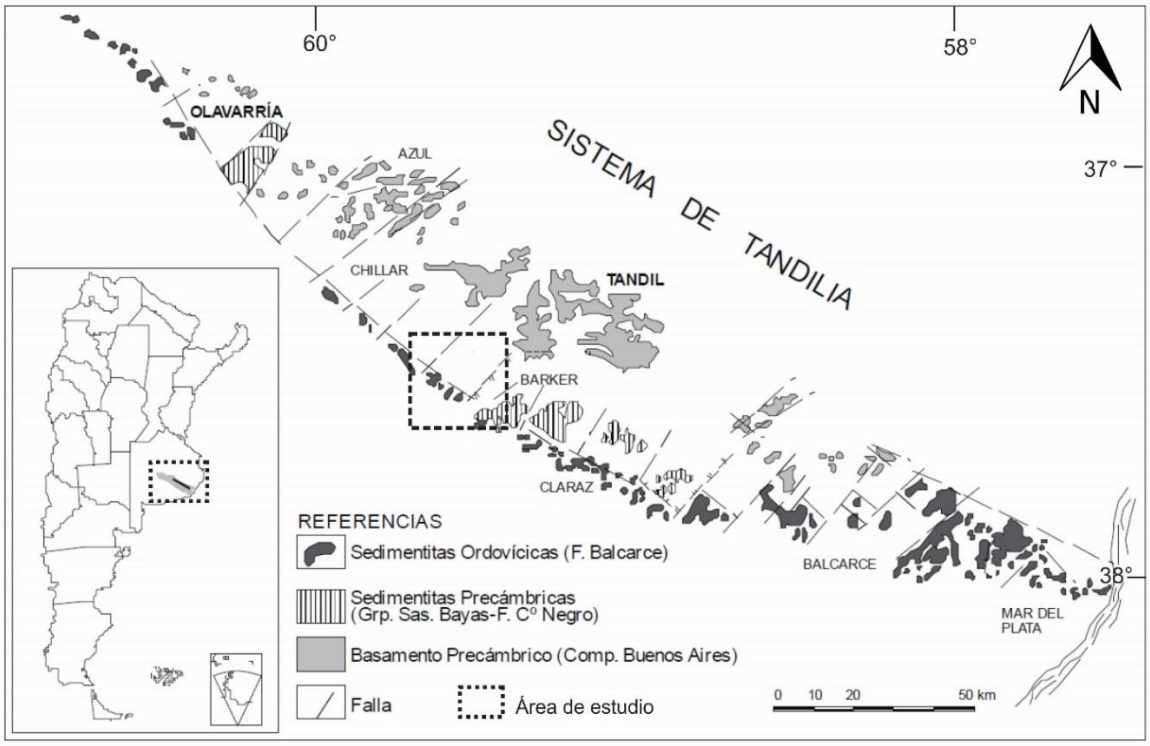


Figura 1: Sistema de Tandilia. Mapa de ubicación y geología simplificada del área (modificado de Poiré y Spalletti, 2005). El recuadro indica el área de estudio.

BASAMENTO CRISTALINO

Denominado **Complejo Buenos Aires** (Marchese y Di Paola, 1975), forma parte de los afloramientos más australes del Cratón del Río de la Plata (Almeida 1971). Este basamento está conformado principalmente por rocas ígneas (granitoides) y metamórficas de alto grado. Las determinaciones de edades absolutas de las mencionadas rocas han permitido determinar un rango de edades paleoproterozoicas que oscila entre los 2,26 y 2,07 Ga por métodos K-Ar, Rb-Sr, U-Pb SHRIMP y LA-ICP-MS, principalmente de circones y titanitas (Pankhurst et al., 2003; Lajoinie et al., 2019).

En líneas generales, Dalla Salda et al. (2005) describen una asociación de gneises graníticos a tonalíticos, migmatitas, anfibolitas, esquistos, mármoles y granitoides, con escasas rocas metavolcánicas (ácidas y básicas) y la presencia de diques básicos, tardíos y discordantes. Los granitoides están emplazados principalmente en metamorfitas, parcial o totalmente migmatizadas, y presentan edades paleoproterozoicas: K-Ar entre 2.200 y 2.000 Ma (Hart et al., 1966 y Halpern et al., 1970), U-Pb SHRIMP de 2.170 Ma (Cingolani et al., 2002 y Hartman et al., 2002a) y Rb-Sr entre 2.154±28 y 1.770±88 Ma (Hart et al., 1966, Halpern et al., 1970, Varela et al., 1988, Linares y González 1990 y Pankhurst et al., 2003). En general, presentan una gran variedad en cuanto a su mineralogía y textura, dependiendo la región que se tome en cuenta. Asimismo, se reconocen litologías enmascaradas por un alto grado de migmatización (Dalla Salda et al., 2005). Estos granitoides afloran principalmente en la región central de las sierras, abarcando una transecta NO-SE entre las localidades de Azul y Tandil.

El Complejo Buenos Aires se encuentra intruído por un extenso enjambre de diques proterozoicos, descriptos inicialmente por Villar Fabre (1955), Quartino y Villar Fabre (1967), Teruggi et al. (1974b), Lema y Cucchi (1981), Dristas (1983) y Kilmurray et al. (1985a). A lo largo de los años estos diques fueron nuevamente estudiados por diversos autores y fueron tipificados en dos grandes grupos: 1) grupo más antiguo, de edad transamazónica (Teixeira et al., 2002), el cual corresponde a un volcanismo bimodal de naturaleza calcoalcalina (Fernández y Echeveste, 1995; Iacumin et al., 2001), integrado por diques de composición riolítica y andesítica. Y otro grupo más joven (2) ~1600 Ma (Teixeira et al., 2002), de naturaleza máfica y tholeítica (Echeveste y Fernández, 1994; Iacumin et al, 2001), dentro de este último fueron reconocidos también dos tipos de diques, uno de diabasas (Teruggi et al., 1974) y otro basáltico de alto TiO_2 (Teruggi et al., 1988).

Los afloramientos de rocas basamentales a lo largo de las Sierras no sólo presentan diferentes litologías sino también distintos grados de exposición y alteración (Zalba et al., 2010; Zalba et al., 2016), lo cual hace necesario una caracterización mineralógica específica para cada área de estudio.

Cabe destacar que entre el basamento cristalino y la cubierta sedimentaria suprayacente se dispone un nivel de alteración del basamento conformado por un saprolito friable, de colores amarillentos, rojizos, verdes y grises, con pseudo-estratificación. Dicho saprolito se identifica inteirmitentemente a lo largo de toda el área de estudio, desde la localidad de San Manuel hasta Chillar. Este nivel de alteración evidencia un período de exposición subaérea y meteorización del basamento previo a la depositación de la secuencia sedimentaria neoproterozoica (Poiré y Spalletti, 2005).

UNIDADES SEDIMENTARIAS

Se desarrollan sobre el basamento, como distintas sedimentitas marinas silicoclástico-carbonáticas asignadas al Neoproterozoico y silicoclásticas del Paleozoico inferior (Cingolani, 2011). Las mismas se presentan en general poco deformadas y se disponen en capas de baja inclinación. De acuerdo con el esquema estratigráfico de Poiré y Spalleti (2005) dicha sucesión precámbrica está integrada, de base a techo, por el **Grupo Sierras Bayas** (Dalla Salda e Iñiguez, 1979; Poiré, 1993) el cual comprende a las formaciones **Villa Mónica** (Poiré, 1987; 1993), **Cerro Largo** (Poiré, 1987; 1993), **Las Águilas** (Zalba, 1978) y su equivalente **Olavarría** (Andreis et al.,1996) y **Caliza Loma Negra** (Borello, 1966). Por encima, separada por una discordancia regional, conocida como Superficie Barker (Poiré y Gaucher, 2009) yace la Formación **Cerro Negro** (Iñiguez y Zalba, 1974) de edad ediacariana; recientemente esta Formación fue redefinida como **Grupo La Providencia** (Arrouy et al., 2015) integrado por las formaciones **Avellaneda, Alicia** y **Cerro Negro** s.s.

Finalmente, coronando la sucesión sedimentaria y también en relación discordante, se presenta la Formación **Balcarce** (Dalla Salda e Iñiguez, 1979; Arrouy et al., 2019) de edad cámbrico-silúrica (Fig. 2).

Si bien muchos autores han contribuido al conocimiento estratigráfico de las sucesiones sedimentarias del Sistema de Tandilia, actualmente el esquema más aceptado es el desarrollado por Dalla Salda e Iñiguez (1979), modificado por Poiré (1987; 1993); Poiré y Spalleti (2005) y finalmente por Arrouy et al. (2015), con respecto a estas secuencias precámbricas.

A través de estudios sedimentológicos y mineralógicos, análisis de facies y de la presencia de discordancias regionales (analizadas en un marco estratigráfico secuencial), diversos autores han propuesto distintas secuencias depositacionales, (Zalba, 1978; Leveratto y Marchese, 1983; Poiré, 1987). Inicialmente se determinaron tres Secuencias Rifeanas (Iñiguez et al., 1989) las cuales a posteriori han sido encuadradas en seis secuencias por encima del basamento cristalino, denominadas de base a techo, como: Tafolleti, Malengni, Diamante y Villa Fortabat para el Neoproterozoico, y La Providencia y Batán, asignadas al Paleozoico Inferior (Spalletti et al., 1996; Poiré y Spalletti, 2005).

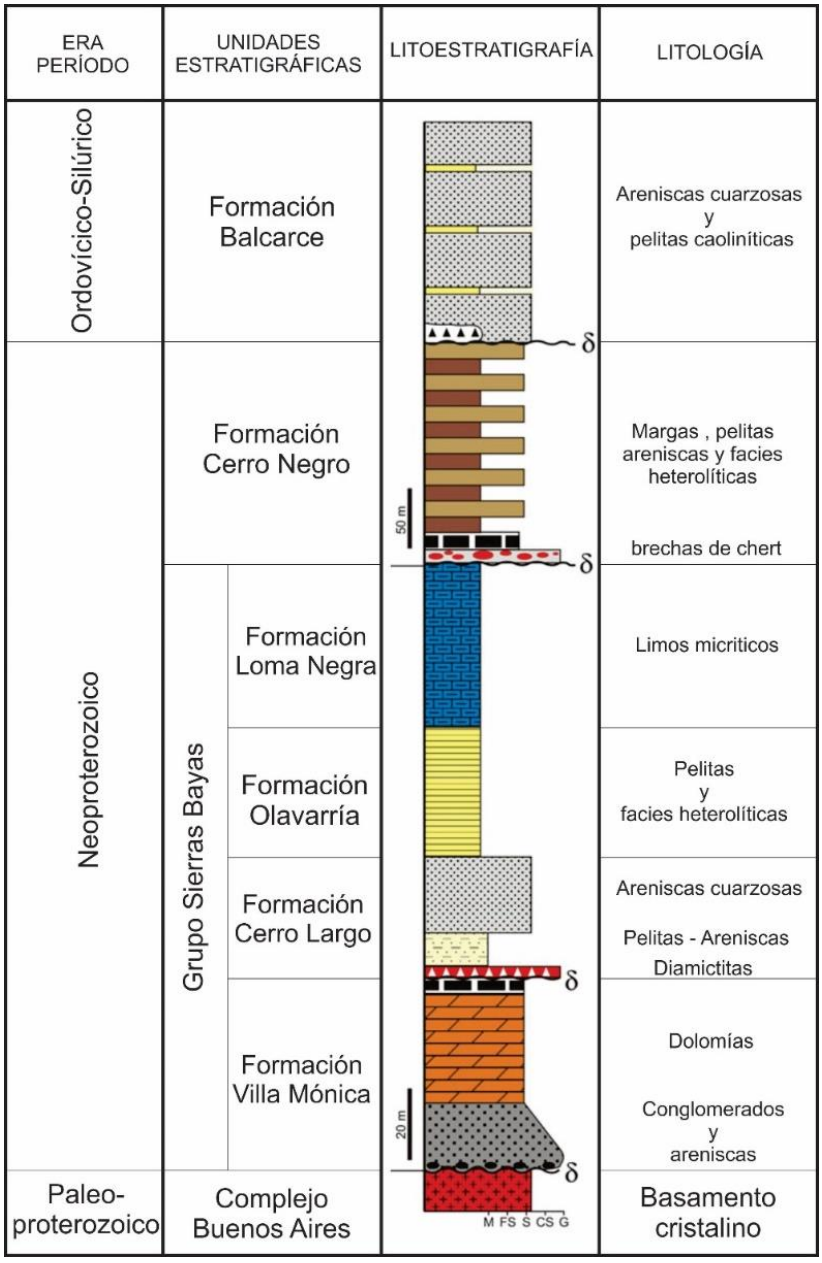


Figura 2: Cuadro estratigráfico del Sistema de Tandilia (modificado de Cingolani, 2011 y Poiré y Gaucher, 2009).

Estas secuencias depositacionales se corresponden lito-estratigráficamente con las Formaciones nombradas con anterioridad (Fig. 3).

A continuación, se describen las principales características de estas unidades litoestrátigráficas que conforman la **secuencia sedimentaria neoproterozoica - paleozoico inferior**.

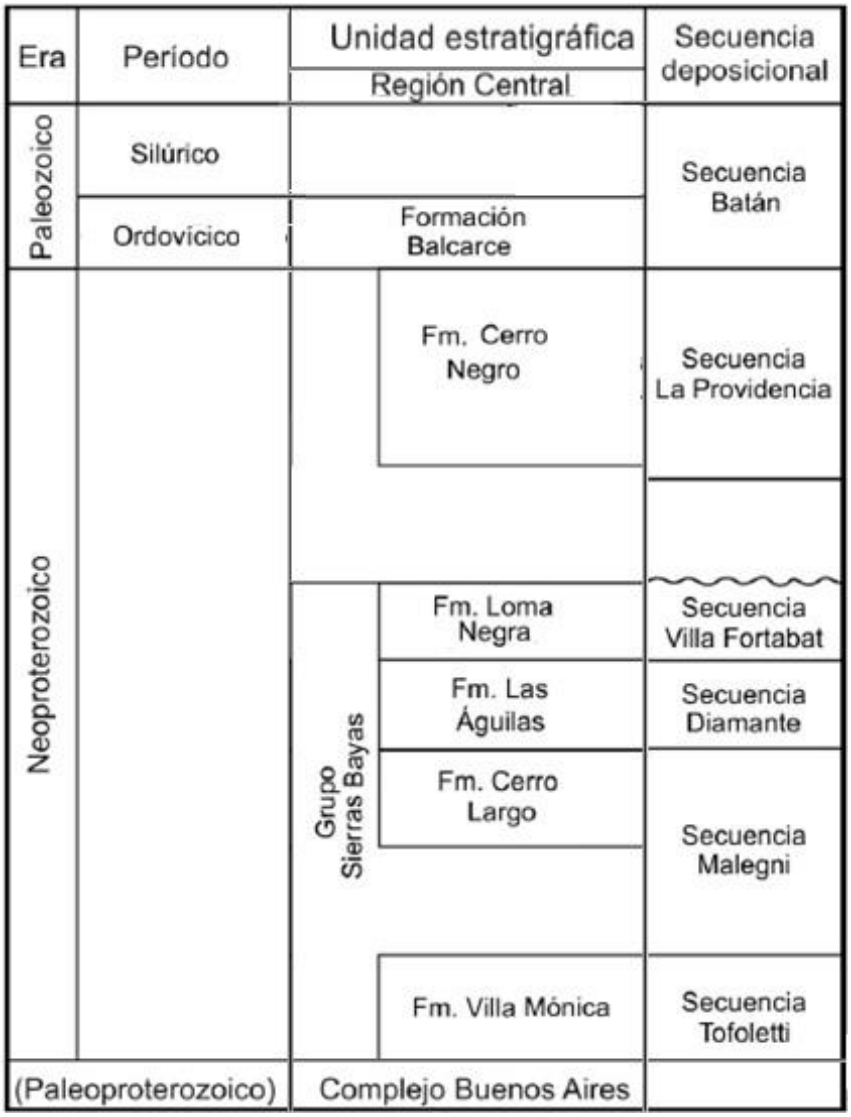


Figura 3: Unidades estratigráficas y secuencias depositacionales del área de estudio. Modificado de Poiré y Spalleti 2005.

Grupo Sierras Bayas

Comprende una sucesión sedimentaria de 185 m máximos de espesor para el sector de Olavarría. Se encuentra conformada por cuatro secuencias depositacionales neoproterozoicas, las cuales apoyan sobre el basamento cristalino de forma discordante a modo de inconformidad (Poiré, 2009).

- **Formación Villa Mónica** (**Secuencia Tofoletti**)

  Presenta un espesor variable entre 50 y 70 m, comprende dos asociaciones de facies sedimentarias: una inferior cuarzo-arcósica y otra superior dolomítica-pelítica; ambas delimitadas por discordancias erosivas tanto en la base como en el techo. Los depósitos cuarzo-arcósicos marcan el inicio del primer ciclo sedimentario asociado a una transgresión marina por sobre la zona de alteración del basamento. Esta secuencia silicoclástica, pasa a ser esencialmente carbonática hacia el tope, destacándose tres paquetes de dolomías amarillentas: uno basal estromatolítico, uno medio laminado y otro superior nuevamente estromatolítico, los cuales finalmente culminan con un nivel pelítico de lutitas y margas rojas. Fueron tipificadas como arcillas duras, compuestas por: ill (Illita) > Sm (Esmectita), K (Caolinita) > Qtz (Cuarzo) > Hm (Hematita), las abreviaturas minerales de acuerdo a Kretz (1983). Para la zona de Barker, estas dolomías pasan lateralmente a facies pelíticas rojizas y amarillentas, con lentes estromatolíticos aislados (Alló, 2001).

- **Formación Cerro Largo (Secuencia Malegni)**

  Está conformada por una sección inferior pelítica-heterolítica y otra superior psamítica (cuarcítica), presentando un total de 40 m de espesor. Se encuentra delimitada en su base por una discordancia, mientras que su techo presenta un pasaje transicional en el área de Sierras Bayas y uno discordante en Barker.

  La sección inferior presenta en su base un nivel diamictítico con facies de fangolitas amarillento-blanquecinas, de composición cuarzo-illíticas, marcando un estadio de mar alto en un contexto transgresivo. Hacia el techo, el material pelítico de la secuencia disminuye paulatinamente, pasando a una zona fango-arenosa con presencia de glauconita, la cual finalmente culmina con depósitos prácticamente

puros de material psamítico dando lugar a la sección superior (Poiré y Spalletti, 2005).

- **Formación Olavarría (Secuencia Diamante, en Olavarría)**

Se encuentra presente en el sector de Sierras Bayas, y está conformada por 35 m de una asociación de facies pelíticas (miembro inferior) y heterolíticas (miembro superior) que cubren a la secuencia subyacente con un contacto de tipo transicional intercalado con estratificación mixta ondulosa. El miembro inferior está compuesto por 27 m de arcilitas y limolitas amarillentas de estratificación mixta, la cual pasa de ondulosa a lentiforme en sentido ascendente. Las capas limolíticas muestran laminación entrecruzada, que evidencian influencia mareal. Dichas pelitas presentan capas delgadas (8-20 cm) con tenores de óxidos de hierro de hasta 70%, las cuales son paralelas a la estratificación. Por encima se ubica la facies de arcilitas rojizas que conforman el miembro superior (8 m) con lentes delgadas ondulosas intercaladas de areniscas verdes (glauconíticas), que podrían representar episodios tractivos esporádicos durante tormentas (Poiré y Spalleti, 2005).

- **Formación Las Águilas** (**Secuencia Diamante, en Barker).**

Se considera equivalente a la Formación Olavarría. Aflora principalmente en el área de Barker-Villa Cacique con un espesor variable de 25 a 30 m. Está conformada por tres litofacies: inferior, media y superior (Zalba et al.,1988). El miembro inferior está compuesto por una brecha de ftanita varicolor de aproximadamente 5 m de espesor, con clastos calcáreos oolíticos silicificados. Por encima se encuentra una sucesión de pelitas ferríferas con un porcentaje de Fe_2O_3 del 30-35% en promedio, alcanzando en determinados sectores valores de hasta 65-70 % de hierro masivo (5-9 m de espesor). Esto último, le otorga una gran importancia económica para la región, por su aporte de hierro para la industria cementera. Finalmente, sobre estas arcillas ferríferas, se apoya una sucesión de facies pelítico-heterolíticas varicolores, cortadas por bancos de areniscas cuarcíticas lentiformes. Las pelitas son laminadas y masivas, mientras que las heterolíticas son mayormente ondulosas o con laminación entrecruzada. (Poiré y Spalletti, 2005).

- **Formación Loma Negra** (**Secuencia Villa Fortabat**)

Esta unidad está constituida principalmente por una asociación de facies carbonáticas de 40 m de espesor, la cual se subdivide en dos niveles o miembros: uno inferior de calizas rojas (8 m) y otro superior de mudstones negras (32 m). Presenta una base discordante de bajo ángulo y un techo erosivo (Borello, 1966; Barrio et al., 1991; Poiré y Spalletti, 2005). Esta Formación, de acuerdo a estudios quimio-estratigráficos tendría una edad probable de 580 a 590 Ma (Gómez Peral et al., 2007).

Grupo La Providencia

La ex Formación Cerro Negro (Secuencia Providencia) comprende una sucesión psamo-pelítica que apoya en discordancia erosiva sobre las calizas de la Formación Loma Negra. A dicha discordancia se la reconoce, a escala regional, como superficie Barker (Poiré y Gaucher, 2009). Litológicamente este Grupo está caracterizado por una base margosa con presencia de brechas de chert, que continua hacia el techo con arcilitas castaño rojizas y niveles psamo-peliticos. Se diferencian cuatro facies sedimentarias: margas, pelitas, heterolíticas y areniscas (Arrouy et al., 2015). Estos autores definen al Grupo La Providencia para la zona de Olavarría a partir de ese paquete sedimentario de 150 m de espesor, no aflorante. De base a techo, el Grupo está conformado por la **Formación Avellaneda**, compuesta por facies de margas y arcillitas rojizas. Por encima, se desarrolla la **Formación Alicia,** descripta y definida a partir de testigos corona. Se encuentra compuesta por facies de lutitas negras y heterolíticas grises, esta última con la presencia de acritarcos simples que le asignan una edad ediacarana (Arrouy et al., 2019). Finaliza con sucesiones heterolíticas y bancos de arena correspondiente a la **Formación Cerro Negro**. En esta se hallaron ejemplares de la fauna de Ediacara (Aspidella) que indicarían una edad de 560-550 Ma.

Formación Balcarce (**Secuencia Batán**)

Es una unidad silicoclástica, subhorizontal con un ligero buzamiento hacia el sur (Teruggi et al., 1958), aflora sobre todo en el sector oriental de Tandilia, desde el área San Manuel-Balcarce hasta la Costa Atlántica, pero también se han reconocido afloramientos hacia el sector de Olavarría. Está constituida por afloramientos de hasta 90 m de espesor en los que predominan arenitas y sabulitas cuarzosas con estratificación entrecruzada. Además y de manera subordinada, se desarrollan intercalaciones pelíticas, lentiformes, ricas en caolinita, que alcanzan de 1 a 1,5 m de espesor; así como también secciones heterolíticas y delgados niveles de conglomerados cuarzosos (0,3 m), de gran continuidad lateral de acuerdo a Poiré y Spalletti (2005).

En la zona de Chillar, la base de esta unidad aparece apoyada sobre el basamento cristalino saprolitizado, conformando gruesos estratos de psefitas y psamitas con trazas fósiles designados informalmente como “Facies Chillar” (Poiré ,1998). Estos estratos están constituidos por brechas y conglomerados oligomicticos de matriz arenosa blanquecina, con clastos ftaniticos de color oscuro, muy angulosos a subredondeados, que alcanzan los 8 cm de diámetro. Por encima, acompañan areniscas blanquecinas, bien consolidadas, con abundantes entrecruzamientos (Poiré y Spaletti, 2005).

La edad de la Formación Balcarce todavía se encuentra en discusión, Rapela et al. (2005) han reportado determinaciones SHRIMP U-Pb en circones con picos de edades ca. 475-675, 975-1170 y 1685-2060 Ma, estos primeros valores proveen una edad máxima de sedimentación para la Formación Balcarce correspondiente al Ordovícico Inferior. Anteriormente Rapela et al. (1974) ya habían propuesto una edad acotada entre 450 y 498 Ma mediante la datación radimétrica de una diabasa que según las interpretaciones intruye a la Formación Balcarce. No obstante, la inseguridad con respecto a la ubicación estratigráfica del filón de diabasa del área de Los Barrientos no provee seguridad aún con respecto a la edad mínima posible, por lo que su precisa posición geocronológica permanece sin resolver.

Otra aproximación ha sido provista por las trazas fósiles. En tal sentido, la presencia de Cruziana furcifera en asociación con Arthrophycus alleghaniensis, Didymaulichnus isp., Monomorphichnus isp. y Phycodes isp., así como la de Plagiogmus junto con Arthrophycus alleghaniensis, Didymaulichnus isp. y Palaeophycus tubularis, llevaron a Poiré et al. (2003) a sugerir que la Formación Balcarce puede ser ubicada tentativamente en el lapso Cámbrico–Ordovícico. Sin embargo, trabajos anteriores sobre trazas fósiles sugieren una edad silúrica (Seilacher et al, 2002).

EVOLUCIÓN TECTÓNICA

La evolución tectónica de Tandilla tiene un rol fundamental en la interpretación de su geología. Los movimientos orogénicos precámbricos que estructuraron la región generaron un levantamiento en bloques tanto del basamento como de los depósitos sedimentarios suprayacentes. Esta estructuración condiciona la extracción minera debido a que afecta la continuidad de los depósitos de interés.

Siguiendo la subdivisión del Precámbrico sugerida por la IUGS (Brito Neves, 2009 y Cingolani, 2010) se propone un esquema dividido en 8 estadios para explicar la evolución tectónica de las Sierras Septentrionales (Fig. 4):

- **Etapa 1 (2,2 Ga / Neoarqueano-Sideriano)**

Datos petrológicos, geoquímicos e isotópicos sugieren que, en una etapa juvenil, la evolución del Sistema Tandilia comenzó como una interacción entre tres bloques continentales neoarqueanos (2,5-2,6 Ga) en un contexto de subducción denominado por Hartman et al. (2002) como “Orogenia de las Encantadas”. Estos bloques según Teruggi et al. (1988) y Ramos (1999) corresponderían a los terrenos de Buenos Aires, El Cortijo y Tandilia.

- **Etapa 2 (Rhyaciano temprano-tardío)**

Este estadio, teniendo en cuenta la presencia de fajas miloníticas y de rocas oceánicas asociadas a un engrosamiento cortical, es interpretado como un episodio de colisión continental que provocó fallamiento de rumbo e inversos, favoreciendo procesos de anatexis de las rocas corticales. Dicho proceso produjo el emplazamiento de plutones graníticos dentro de una corteza

metamorfizada y deformada. Hartmann et al, (2002) lo definen como “Orogenia Camboriú”.

- **Etapa 3 (Orosiniano-Statheriano)**

Durante esta etapa se produjo una extensión cortical, la cual dio lugar a la generación de leucogranitos post-colisionales y al emplazamiento de diques tholeíticos. (1,8–1,6 Ga respectivamente).

- **Etapas 4, 5 y 6 (Mesoproterozoico-Neoproterozoico tardío)**

En este periodo de tiempo el basamento ígneo-metamórfico sufre una denudación y paleometeorización resultando en la generación de un saprolito arcósico (1,6–0,9 Ga). A su vez, este basamento se ve afectado de manera variable por un evento de hidrotermalismo sobreimpuesto, observado por Dristas y Martínez (2007) como niveles ricos en hierro en el tope de la Formación Villa Mónica y en la base de la Formación Cerro Largo, documentado a su vez por Fernandez et al. (2010)

A fines del Neoproterozoico se desarrollaron los primeros registros sedimentarios silicoclásticos y dolomítico-estromatolíticos depositados bajo un periodo de transgresión marina por sobre el basamento alterado. Por sobre estos y separados por una inconformidad se registran los depósitos silico-carbonáticos asociados a la segunda transgresión marina. Seguidamente se genera una superficie kárstica con depósitos de hierro y fósforo, las cuales son interpretados como un evento de regresión marina según Leanza y Hugo (1987), Poiré y Gaucher (2007) y Gómez Peral et al. (2007). Posteriormente, se registró un nuevo episodio transgresivo hacia el final del Neoproterozoico, caracterizado por depósitos silicoclásticos.

- **Etapa 7 (Neoproterozoico-Cámbrico)**

De acuerdo con Iñiguez et al. (1989), para este periodo se registró un importante fallamiento en respuesta a esfuerzos compresivos de sentido suroeste-noreste. Este régimen compresivo, provocó la estructuración en bloques ascendidos y descendidos de la zona, lo que propició la conservación de la cobertura sedimentaria en estos últimos.

- **Etapa 8 (Ordovícico-Silúrico?)**

Como consecuencia de la erosión de los bloques elevados, se generó una superficie sobre la cual se depositaron las secuencias sedimentarias más

recientes, correspondiente a la Formación Balcarce. Más tarde, durante el Pérmico superior, se generó una reactivación compresiva de las fallas elevando al Sistema de Tandilia. Actualmente, estas Sierras permanecen como una zona elevada y tectónicamente inactiva (Zalba et al., 2007).

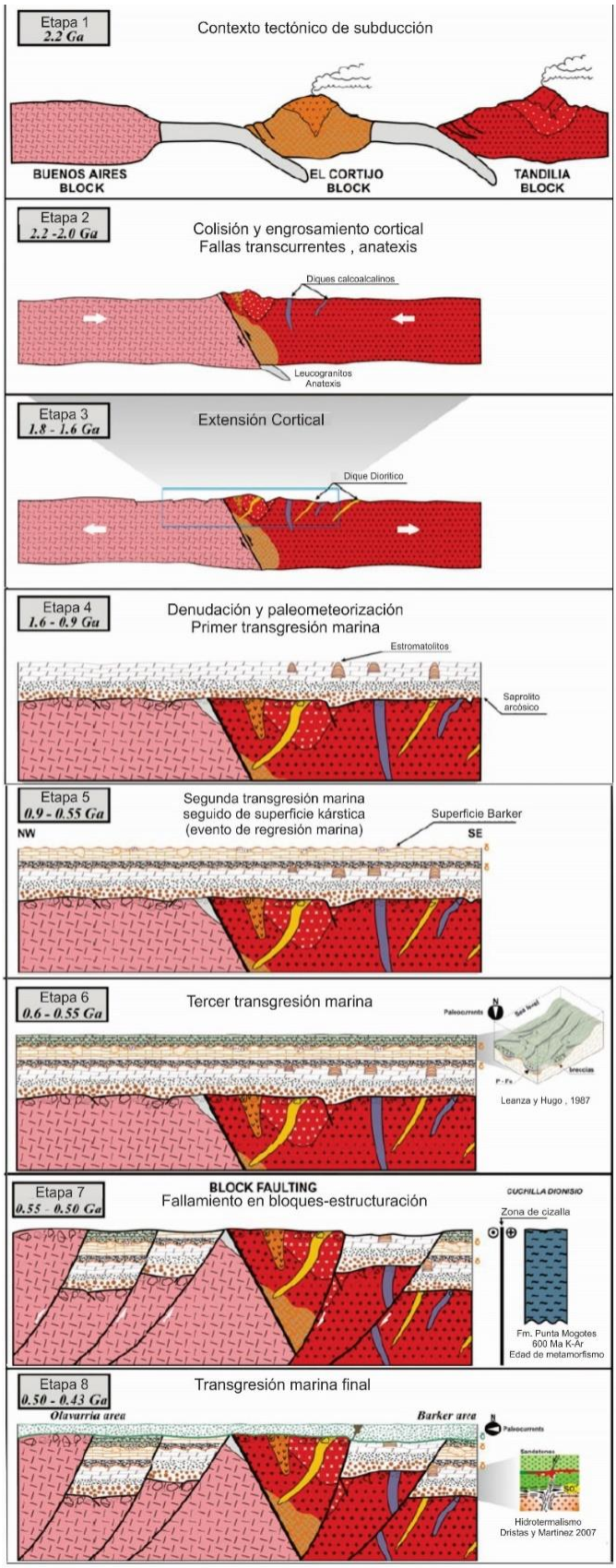


Figura 4: Evolución tectónica del Sistema de Tandilia, modificado de Cingolani (2010).

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende parte de una transecta entre Barker-Villa Cacique y la localidad de Chillar, con especial detalle en las canteras ubicadas al NO de Estación López, distante ~70Km de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires (Fig. 5).

En este sector, a nivel regional, una secuencia sedimentaria apoyada sobre rocas del Complejo Buenos Aires, se reconocen a las Formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Las Águilas, Caliza Loma Negra, Cerro Negro y Balcarce.

En la zona de estudio, perteneciente a los Partido de Benito Juárez y Chillar, se emplazan 16 canteras de arcilla, aunque sólo cinco de ellas han presentado actividad en los últimos años. Las mismas corresponden, de NO a SE, a las denominadas: La Verónica, El Cañón, Mina Don Pepe, Capitán I (ex Constante 10) y Capitán II. Actualmente, sólo El Cañón y Don Pepe se encuentran en actividad, acotando el área de trabajo específica a ellas, en proximidades de Estación López (Catastro Minero, 2019).

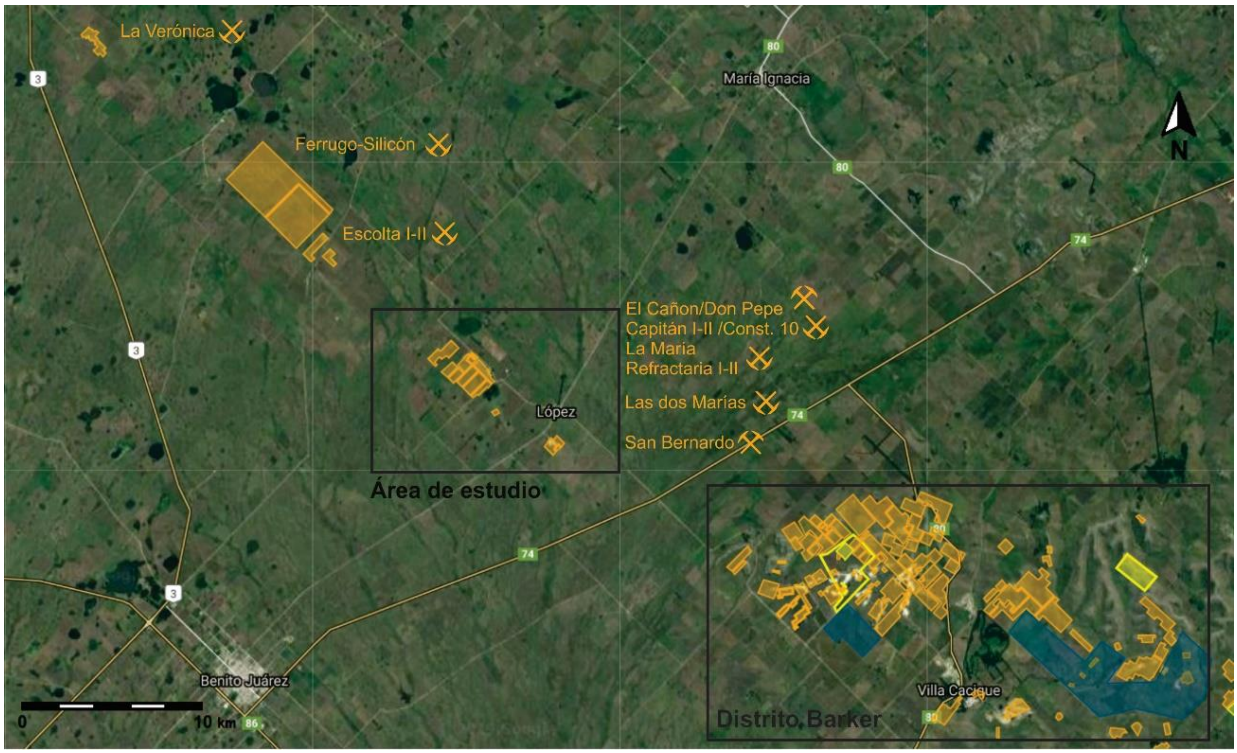


Figura 5: Mapa regional de las áreas del Distrito Minero y las canteras habilitadas según Catastro Minero (2019).

ACTIVIDAD MINERA DEL ÁREA

Dentro del área de estudio se seleccionaron las canteras **El Cañón-Don Pepe** con el fin de realizar los estudios de campo y gabinete necesarios para llevar a cabo el presente trabajo; dichos laboreos se encuentran a no más de 5 km al NO de Estación López, en la zona del Cerro La Tortuga.

Se localizan de forma contigua, compartiendo alambre medianero, lo cual posibilita una mayor comprensión del sector y un seguimiento de las unidades lito-estratigráficas involucradas. Cabe aclarar que, si bien dentro del sector del Cerro La Tortuga también se desarrollan otras canteras y concesiones, como por ejemplo Constante 10, en la actualidad la explotación sólo se centra en las dos seleccionadas para el presente trabajo final de licenciatura (Catastro Minero 2019).

El Cañón - Don Pepe

Estas canteras, están desarrolladas sobre la pendiente NO del Cerro La Tortuga, dentro de un relieve plano a planoconvexo, que cubre una superficie de 90 Has y se han destinado a la explotación unas 12 Has. Si bien toman nombres diferentes, ambas pertenecen a la misma empresa y comparten la maquinaria utilizada. Su desarrollo se centra en la extracción de material arcilloso como materia prima para la industria de la cerámica fundamentalmente. El método de extracción empleado es por corte y relleno, con explotación a cielo abierto por voladuras (tercerizadas) y arranque mecánico. Una vez realizada la voladura y el arranque con palas mecánicas, se transporta hasta el acopio del material para una posterior molienda desde 7,62 cm a 0,4 mm, realizada dentro de la misma cantera (Fig. 6). El material molido es acopiado nuevamente según granulometrías para luego ser vendido como un Blend con distintos porcentajes de mezcla según especificaciones del cliente (Fig. 7). Para la cantera El Cañón se estima una vida útil de unos 12 años, con 720.000 toneladas de reservas probables y un ritmo de explotación de 5.000 tn/mes (Catastro Minero 2019).

Figura 6: Detalle del material acopiado para su molienda y/o distribución

Figura 7: Molienda del material extraído.

Cantera Constante 10

Esta cantera, también llamada Capitán I, se ubica al SE de la anterior y linda con El Cañón, alambrado mediante. El predio abarca gran parte del extremo SE del Cerro La Tortuga, y al momento del relevamiento se encontraba inactiva. Presenta labores mineras a cielo abierto que podrían ser reactivadas. Existen otras labores de tipo subterráneo que han sido movilizadas mediante el método de cámaras y pilares, extrayéndose de esta manera el material arcilloso ubicado por debajo de las areniscas. Debido a la baja eficacia del método y sobre todo a la peligrosidad que conlleva el mismo, actualmente se encuentran abandonadas y en mal estado de conservación (Fig. 8). Casi en la parte cuspidal del Cerro se reconocen algunas labores menores a cielo abierto, abandonadas por la dificultad de extracción del material arcilloso debido al potente espesor de las cuarcitas que coronan al cerro La Tortuga.

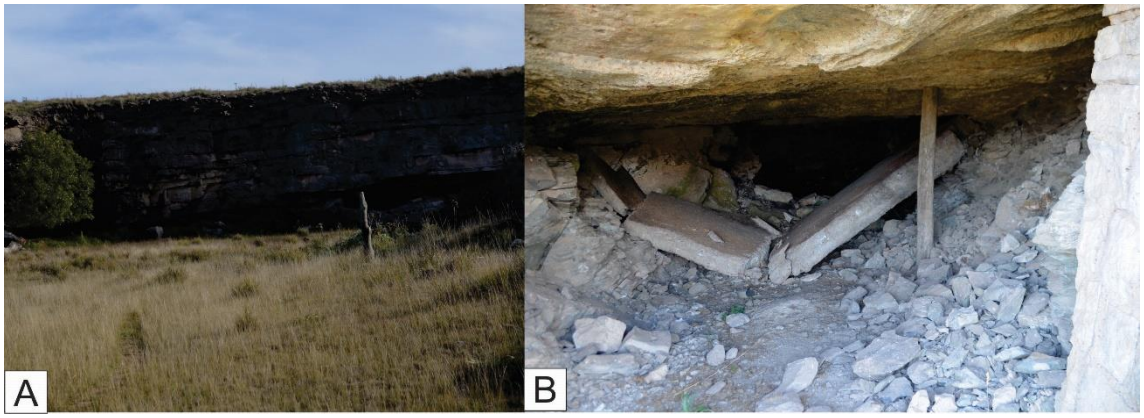


Figura 8: Mina Constante 10, labores mineras subterráneas abandonadas.

La geología de “Constante 10” se encuentra definida como rocas de basamento cristalino alteradas por procesos de meteorización. Dichos procesos dieron lugar a la formación de distintos niveles de alteración de basamento junto con la formación de dos paleosuelos sobreimpuestos; todo a su vez cubierto por la Formación Balcarce (Fig. 9). Estudios petrográficos realizados por Iñíguez et al. (1990) describen el basamento cristalino en esta área como de grano fino, con coloraciones marrón-rojizas, compuesto principalmente por plagioclasa, hornblenda, cuarzo, micas y escasa apatita. Se destaca la presencia de óxidos de hierro rellenando fracturas a modo de vetillas. En cuanto a las arcillas se describe la abundante presencia de esmectita, así como también illita-esmectita (I/E) e illita-vermiculita (I/V). Transicionalmente se describe una disminución del porcentaje de esmectita y un aumento de la fracción caolinítica (Zalba et al., 2016).

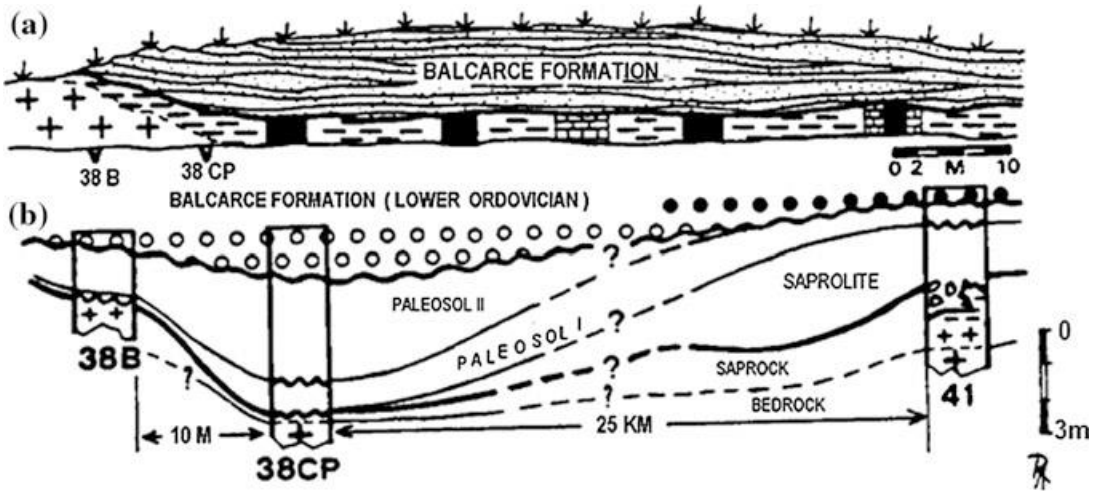


Figura 9: Esquema de Constante 10, infiriendo la distribución de los distintos niveles de alteración del basamento. Extraído de Iñiguez et al. (1990)

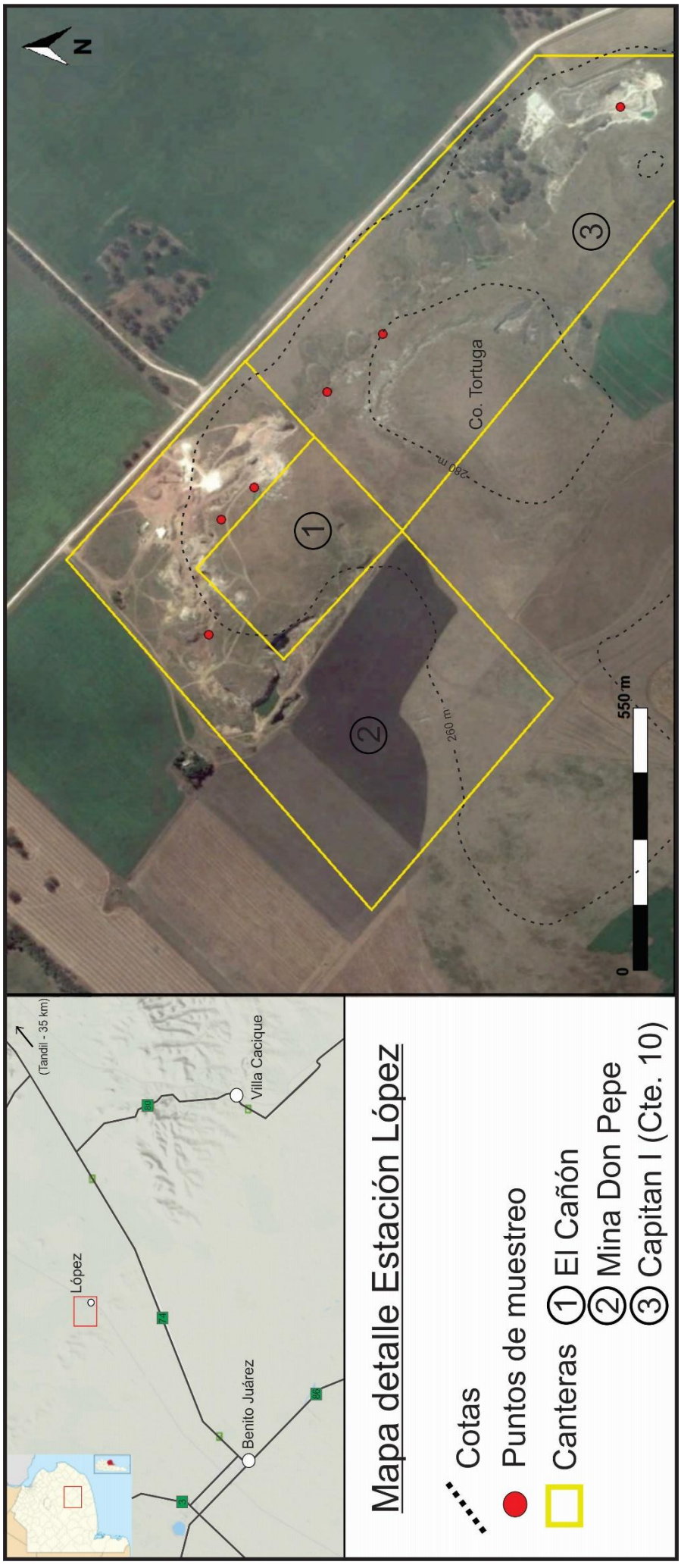


Figura 10: Mapa detalle de las canteras en el área de Estación López

METODOLOGÍA

Con el fin de abordar los estudios pertinentes y necesarios para el desarrollo del presente trabajo final de licenciatura, se describen a continuación las distintas metodologías empleadas, así como también un marco introductorio teórico de las mismas.

Trabajo de gabinete y campo (parte I)

- **Recopilación de antecedentes bibliográficos:**
    - Se procedió a la recopilación de antecedentes publicados referidos a la geología regional y en particular a los depósitos de arcillas localizados en la zona de trabajo (Sector Estación López, depósitos Constante 10 y El Cañón-Don Pepe, entre otros). Con esta información, se analizó el marco geológico, su vinculación con otros yacimientos de arcillas de la región (Barker-Villa Cacique), así como también su estado actual de explotación utilizando la plataforma de datos provista por la autoridad minera de la provincia de Buenos Aires (Catastro Minero 2019).
- **Interpretación de imágenes satelitales:**
    - Se procedió a analizar e interpretar imágenes satelitales obtenidas mediante el Google Earth, con el fin de elaborar una cartografía de base para el presente trabajo. Finalmente, fueron definidas distintas canteras de interés para su posterior muestreo, ya sea por su ubicación o por su estado actual de explotación, como lo son las canteras El Cañón y Constante 10. Dichas canteras se ubican en la transecta NO-SE, a 4-5 Km al NO de la localidad de Estación López y cuentan con un desarrollo minero similar en cuanto al material que se extrae (Fig. 10).
- **Trabajo de campo**

    Se realizó un viaje de campaña a la zona de estudio donde fueron descriptas las distintas unidades litológicas presentes y se efectuó un muestreo sistemático con el fin de lograr representar la variabilidad que presentan los afloramientos visitados. Se obtuvieron un total de 15 muestras con la finalidad de realizar estudios petrográficos y de difracción de rayos X (DRX) según sea conveniente para el estudio. De esta manera se seleccionaron siete muestras arcillosas para analizar mediante DRX y otras pertenecientes a la parte basal o piso de las canteras para realizar cortes delgados y su posterior caracterización mineralógica-petrológica (Tabla 1).

MUESTRA	LOCALIDAD	CANTERA	DESCRIPCIÓN	DRX	PETROGRAFÍA
M11580	Estación López- Tandil	El Cañón	Cuarzo + pirofilita zona basal	-	-
M11581	Estación López- Tandil	El Cañón	Basamento alterado zona basal	si	si
M11582	Estación López- Tandil	El Cañón	Basamento alterado zona media	si	si
M11583	Estación López- Tandil	El Cañón	Basamento alterado zona superior	si	-
M11584	Estación López- Tandil	El Cañón	Capa caolinitica verdosa	si	-
M11585	Estación López- Tandil	El Cañón	Psamita con ox. y pelitas intercaladas	si	-
M11586	Estación López- Tandil	El Cañón	Basamento alterado	-	-
M11587	Estación López- Tandil	El Cañón	Veta de cuarzo	-	-
M11588a	Estación López- Tandil	Cte. 10	Basamento alterado rojizo	si	-
M11588b	Estación López- Tandil	Cte. 10	Basamento alterado verdoso	si	-
M11589	Estación López- Tandil	Cte. 10	Basamento alterado eq. 11583	-	-
M11590	Estación López- Tandil	Cte. 10	Capa caolinitica verdosa	-	-
M11591	Estación López- Tandil	Cte. 10	Conglomerado	-	-
M11592	Estación López- Tandil	Cte. 10	Dique mafico	-	-
M11593	Estación López- Tandil	El Cañón	Cuarcita	-	-

Tabla 1: Detalle de las muestras obtenidas. Se resalta en verde las muestras analizadas.

Tareas de gabinete (parte II)

- **Microscopía y estudios petrográficos**

Debido a las características arcillosas de las muestras obtenidas solo se realizaron cortes delgados en las secciones basales de las canteras muestreadas, donde se observó una mejor conservación de las rocas basamentales. A partir de muestras de estos sectores se confeccionaron cortes y pulidos.

Los estudios petrográficos se realizaron en un microscopio petrocalcografico Olympus modelo BX53, con cámara acoplada marca Olympus modelo UC30 en el Laboratorio de Microscopía del Instituto de Recursos Minerales (Fig.11).

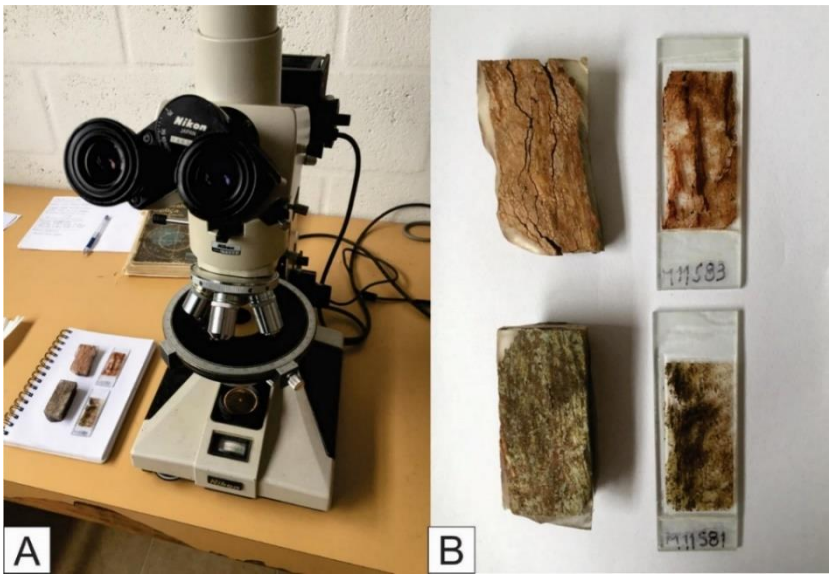


Figura 11: A) Laboratorio de microscopía INREMI. B) Detalle de cortes y pulidos realizados.

- **Difracción de Rayos X**

Permite la identificación de los distintos minerales presentes en la muestra analizada. Esta identificación, está basada en Ley de Bragg (Fig.12) y en los patrones de reflexión que cada mineral presenta según su estructura cristalina.

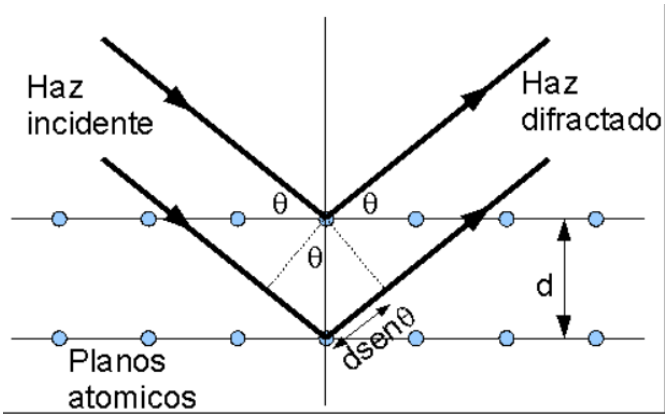


Figura 12: Esquema de la ley de Bragg.

El método consiste en impactar la muestra con un haz de rayos X el cual incide dentro del mineral a estudiar atravesando los distintos planos atómicos del mismo. Cada plano refleja una porción de la radiación con un determinado ángulo (theta θ), el cual está dado por la relación entre el ángulo del haz incidente, su longitud de onda (landa λ) y el espaciado de los planos adyacentes. Esta reflexión es medida por el difractómetro para luego ser traducida en distintos difractogramas.

Si bien el método de difracción de rayos X puede aplicarse a las distintas fases granulométricas, en el presente trabajo, es aplicado específicamente para la fracción mineral de tamaño arcilla. Con este objetivo se identificaron las zonas arcillosas de interés a tratar mediante DRX, tanto en la zona alterada como en las sedimentitas suprayacentes, para analizar por muestra total como también con muestra orientada. (Tabla 1) Las mediciones fueron realizadas en el Laboratorio de DRX del Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-FCNyM).

Condiciones del registro

Estas mediciones fueron realizadas mediante un equipo Phillips, con radiación de CuKα de 1,5414 Å, filtro de Ni, con un voltaje de 40 Kv y una intensidad de corriente de 18 mA. La velocidad de registro se fijó en 2° 2θ por minuto y un intervalo de registro de 3 a 40° para la muestra total, 3 a 35° para la muestra natural, 2 a 27° para la muestra glicolada y 3 a 15º para la calcinada.

Análisis Roca Total y Muestra Orientada.

Los análisis de Roca Total consisten en una difracción de rayos X sobre una muestra representativa del total de la roca, molida a polvo fino, la cual se coloca sobre un porta muestras de aluminio y se compacta uniformemente con la finalidad de obtener una distribución al azar de los planos de difracción. De esta manera, es posible identificar todos los componentes minerales que se encuentren en una proporción mayor al 3% en peso.

Los análisis de Muestra Orientada son realizados sobre el polvo fino obtenido de las muestras, el cual previamente es llevado a suspensión en agua destilada. Luego, el preparado se lleva a un vibrador ultrasónico durante 5 minutos para que el material fino (menor a 4 micrones) quede en suspensión, decantando de acuerdo con la Ley de Stokes y pueda ser extraído mediante un pipeteado (Moore y Reynolds, 1989). El material pipeteado correspondiente a la fracción menor a 2 μm se lleva a un portaobjetos para su secado a temperatura ambiente, en donde los argilominerales se orientan naturalmente sedimentando según el plano cristalográfico de preferencia (001). Esta muestra es denominada natural.

Una vez ensayado el preparado natural, se realizan dos ensayos más denominados glicolado y calcinado. Para el glicolado la muestra es sometida a vapores de etilenglicol durante veinticuatro horas y para el ensayo calcinado la muestra es calentada en estufa a 550 °C durante dos horas.

Preparado de muestras

Las siete muestras previamente seleccionadas fueron reducidas a bloques de menor tamaño con la ayuda de una masa, fraccionándolas dentro de una bolsa cuidando de no contaminar la muestra con elementos metálicos que puedan alterar los resultados. Una vez reducidas, se procedió a molerlas mediante un mortero de ágata previamente higienizado con alcohol, hasta muestras de entre 5 y 10 gr de un polvo muy fino impalpable. De las muestras obtenidas, 5 corresponden al basamento alterado (Zona inferior, media y superior), 1 pertenece al nivel arcilloso verdoso ubicado en el límite superior del basamento y 1 a los niveles de arcillas del tope de la sucesión (Fig. 13). Dicha división y caracterización de las muestras se encuentra ampliada y explicada en la sección de resultados del presente trabajo.

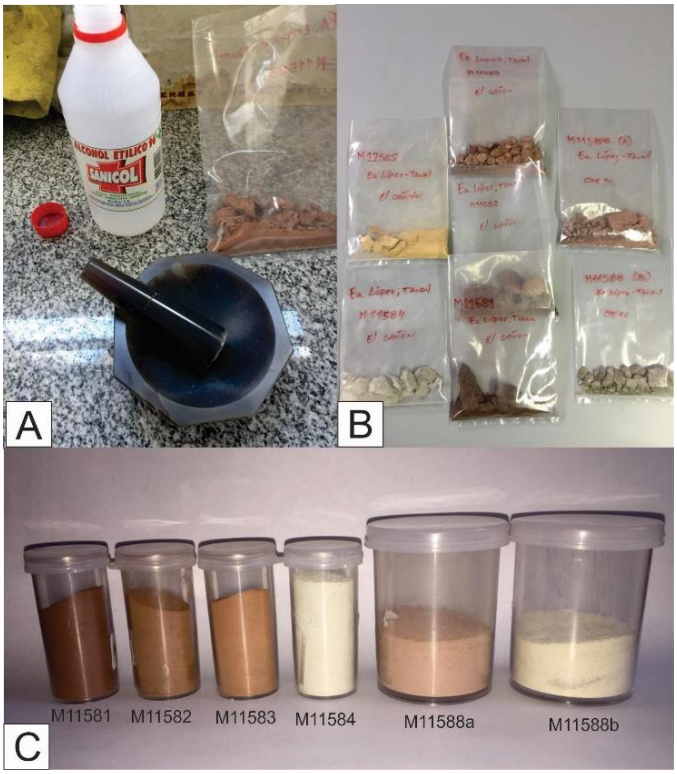


Figura 13: Materiales usados para la preparacion de muestras: mortero de agata (A); Muestras rotuladas para molienda (B); Muestras molidas para realizar DRX (C)

Análisis cualitativo

Para identificar las diferentes especies minerales que componen cada una de las muestras, se tomaron en cuenta los valores e intensidades de los picos de los difractogramas obtenidos (Brindley y Brown, 1980). Dichos valores se encuentran expresados en unidades de ángulo 2θ (Donde θ representa el ángulo de refracción), los cuales reflejan valores de espaciado d, (expresadas en unidades de longitud en ángstrom -Å-) de los planos que producen las reflexiones, según lo expresa la Ley de Bragg (Brindley, 1961; Brown, 1980). Luego, basándose en patrones estándar establecidos, se le asigno a cada pico una especie mineral específica.

$$n\lambda = 2d \operatorname{sen}\theta$$

Identificación de arcillas (Se utilizó lo sugerido por Raigemborn, 2007).

La caolinita (K) puede ser identificada a partir de un pico con máxima intensidad (001) de 7,16 Å junto a otro de menor intensidad de 3,58 Å (002). En la muestra glicolada mantiene su patrón, pero al ser calcinada el patrón de difracción desaparece al convertirse en una fase amorfa.

La illita (I) se identifica por su pico de máxima intensidad de 10 Å (001) y otros dos menores de 5 Å (002) y 3.3 Å (003), los cuales no muestran alteración cuando la muestra es glicolada y calcinada. Usualmente se manifiesta como fase discreta, sin embargo, también puede aparecer interestratificados de illita/esmectita.

El grupo de la esmectita (Sm) se reconoce por la máxima reflexión que produce la muestra natural entre los 12 y 15 Å (001), la cual en la muestra glicolada, se desplaza dando un fuerte pico de 17 Å. Cuando la muestra es calcinada a 550º C la estructura de la esmectita colapsa a 10 Å. Este pico de máxima intensidad es acompañado por otros menores de 8,5 Å, 5,5 Å y 3,5 Å.

La pirofilita (Py) es identificada a través de su pico de máxima intensidad (1) de 4.42 Å y otros dos picos menores de 9.2 Å (0.9) y 3.07 Å (0.85).

Análisis semicuantitativo

Teniendo en cuenta las diferentes intensidades relativas de las principales reflexiones de los componentes mineralógicos previamente identificados, se procedió a la semi-cuantificación de la fracción argílica observada en los difractogramas de Muestra Orientada glicolada.

Esta semicuantificación se basa en el cálculo areal de los picos producidos por los distintos argilominerales identificados, lo cual define una proporción relativa de los mismos. Dado que la respuesta de las especies minerales a la sedimentación depende de la forma característica de las partículas (Pierce y Siegel, 1969), no se establece una relación directa entre las áreas definidas por los picos de máxima intensidad de los diferentes argilominerales. Por este motivo, el área correspondiente al pico de esmectita (14 a 17 Å) se toma como unidad entera, las de los picos (001) de caolinita y clorita (7 Å) deben multiplicarse por dos y la del pico 001 de illita (10 Å) es multiplicado por cuatro.

RESULTADOS

Las características geológicas y mineralógicas de las canteras estudiadas fueron determinadas principalmente sobre la base de la descripción de muestras de mano y análisis de difracción de rayos X (Fig. 28 y 29). A su vez, en determinados sectores se realizaron cortes delgados que contribuyó para obtener una descripción más detallada del sector analizado.

GEOLOGÍA LOCAL SECTOR EL CAÑÓN-DON PEPE

Geológicamente estas canteras están conformadas por un basamento de textura relictual granuda, la cual se encuentra obliterada debido al alto grado de alteración penetrativa que presenta. Por encima, se observan capas arcillosas, pseudoestratificadas, de aspecto hojoso, friable, las cuales presentan coloraciones negras, rojizas, amarillas y verdosas. Esta alteración manifiesta variaciones tanto verticales como horizontales a lo largo de todos los frentes de explotación, variando en el grado y la intensidad de la misma. Para representar estas variaciones se decidió muestrear el basamento en distintos puntos teniendo en cuenta principalmente los cambios de coloración que se presentaban lo cual da indicios de diferentes grados de alteración. De esta forma fueron definidas 3 zonas dentro del basamento: una zona basal, otra media y una superior.

La **zona basal** se encuentra constituida por basamento, apenas aflorante, en el piso de los frentes de explotación donde se reconoce un regolito. En muestra de mano esta zona presenta un mayor grado de consolidación, está caracterizada por rocas de matriz negra, con abundantes cristales de feldespatos de colores claros, los cuales se encuentran alterados principalmente a arcillas de tipo sericita (Fig 13). Mineralógicamente dichos componentes se encuentran acompañados de cristales relictuales de cuarzo que denotan la textura granuda original de la roca. Estos niveles presentan una orientación preferencial NO-SE brindándole a la roca un aspecto hojoso (milonitico ?), 1 - 2 m de espesor (Fig. 14).

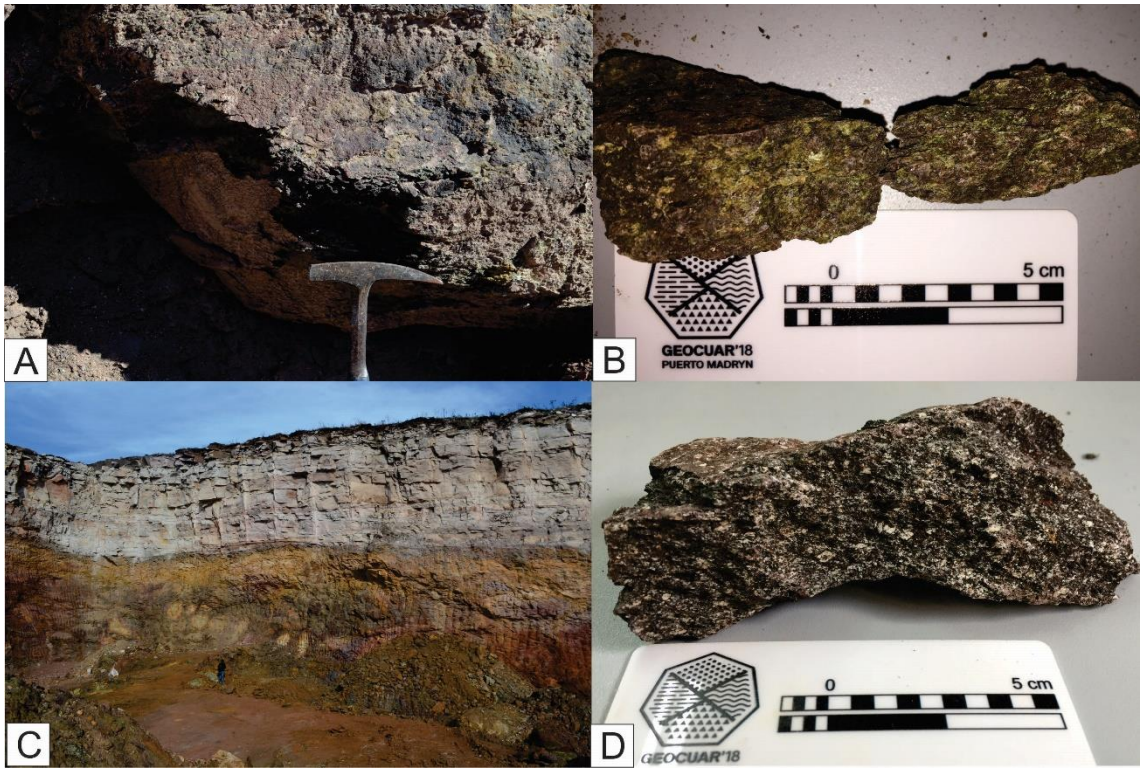


Figura14: Afloramiento de basamento zona basal (A); Detalle zona basal (B); frente de explotación (C); Detalle foliacion hojosa del basamento (D)

Por encima se disponen unos 4-5 m de saprolito conformado por arcillas rojizas, fuertemente alteradas, a la cual se la definió como **zona media** (Fig 15). Este nivel de arcilla presenta una composición similar al anterior, pero con una proporción mayor caolinitica y con illita subordinada. Esto le brinda al afloramiento un aspecto hojoso más friable. Las coloraciones están vinculadas a la fuerte presencia de óxidos de Fe/Mg los cuales se observan al microscopio como vetillas rellenando fracturas de cristales de cuarzo o bien como agregados radiados dentro de los mismos (Fig. 17). A su vez, en dichos niveles se observan vetillas aisladas de cuarzo con pirofilita identificada en muestra de mano y mediante el análisis de DRX (Pico 3,06-3,08 Å) (Fig. 28 y 29)

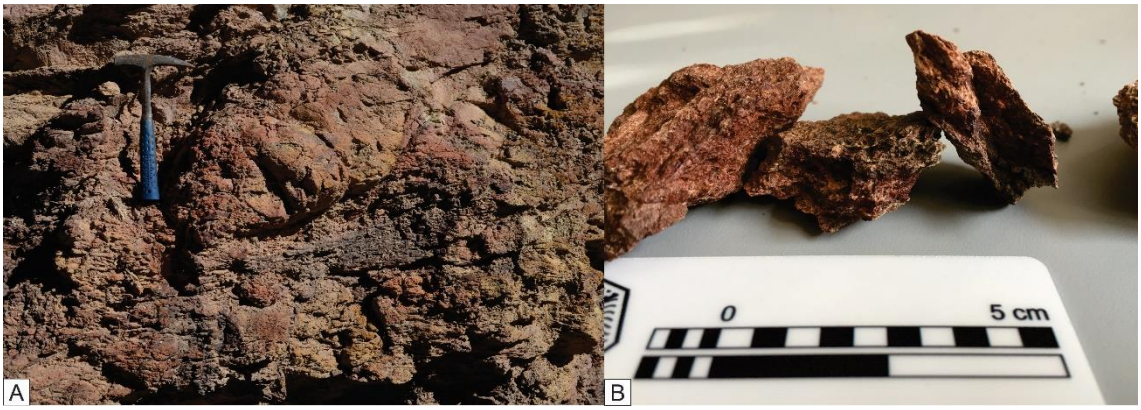


Figura 15: Basamento zona media aforamiento (A); Detalle muestras extraídas (B)

La **zona superior** presenta también un aspecto arcilloso-terroso de coloración rojiza-amarillenta, pero con la distinción de que en ciertos sectores la alteración disminuye a lo observado anteriormente y deja en evidencia una textura holocristalina relictual granuda logrando así reconocer abundantes cristales de plagioclasas y en menor medida feldespatos alterados, junto con cuarzo; los cuales son confirmados con la microscopia a corte delgado. Este aporte sin lugar a dudas confirma que se trata del basamento proterozoico con distinto grado de alteración, con un espesor de 3-4 m (Fig.16) y se clasificó tentativamente a la roca como tonalita. Esto coincide con lo descripto por Iñiguez et al. (1990) para el área de Constante 10 - Ferrugo donde las rocas de basamento fueron identificadas como tonalitas.

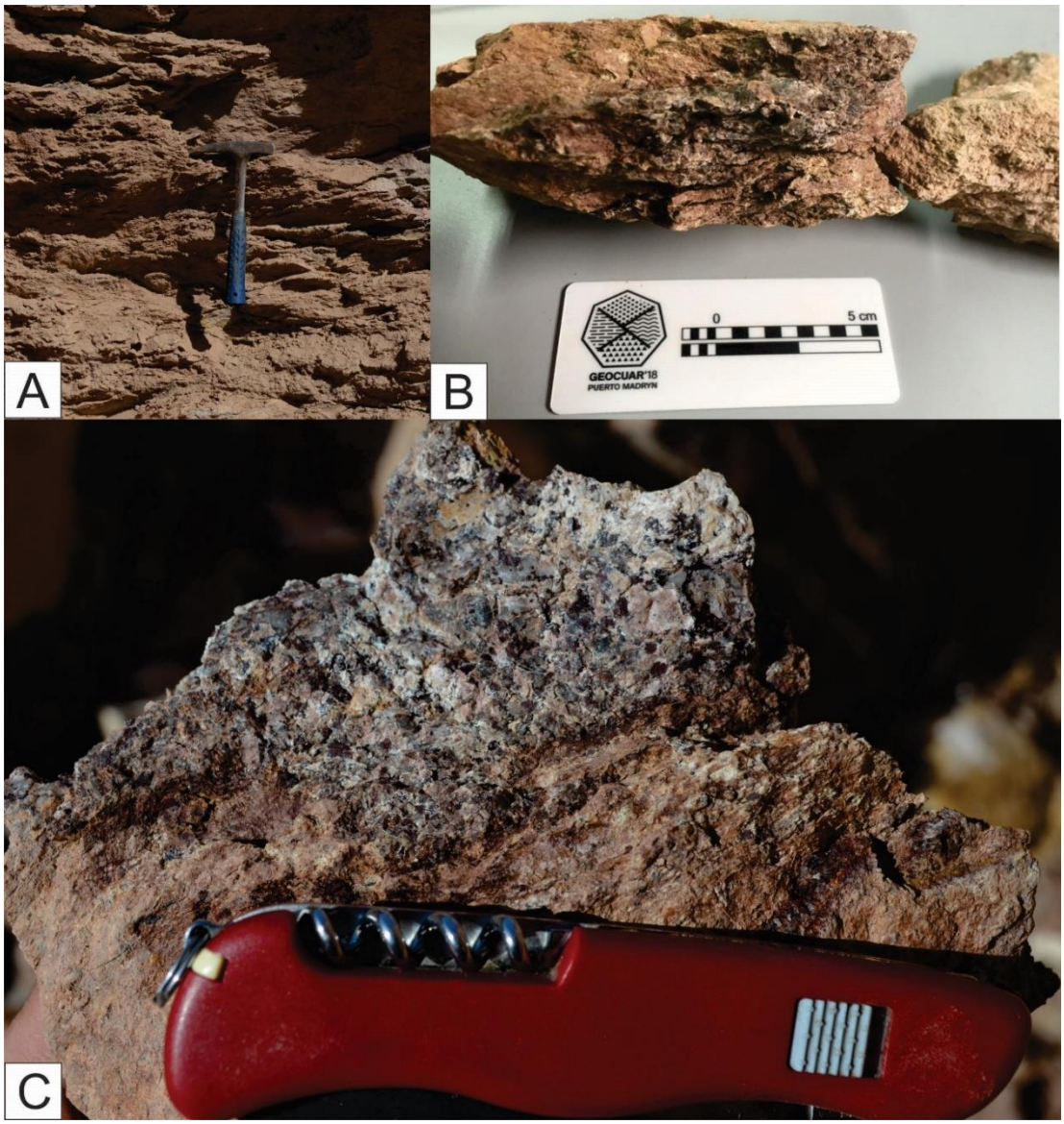


Figura 16: Afloramiento basamento zona superior (A); Detalle muestras extraídas (B); Detalle textura granuda (C)

Petrografía del Basamento Ígneo

El análisis microscópico de los cortes delgados realizados sobre las muestras de la zona basal del área trabajo, permitió reconocer una textura relictual granuda típica de rocas ígneas graníticas, la cual se ve afectada fuertemente por procesos de alteración, principalmente afectando a los feldespatos y micas. Esta alteración tiene como resultado final la conformación de minerales arcillosos, los cuales fueron identificados mediante DRX como caolinita e illita en menor medida.

Se puede inferir la presencia de interestratificados I/Sm en cantidades muy bajas debido a los pequeños picos de 12 y 15 Å detectados en los difractogramas realizados (Fig. 28), pero por la baja intensidad de los mismos y la ausencia de los picos característicos a los 5,2° (17 Å) no podría definirse con seguridad la presencia de esmectitas de manera discreta o como interestratificados.

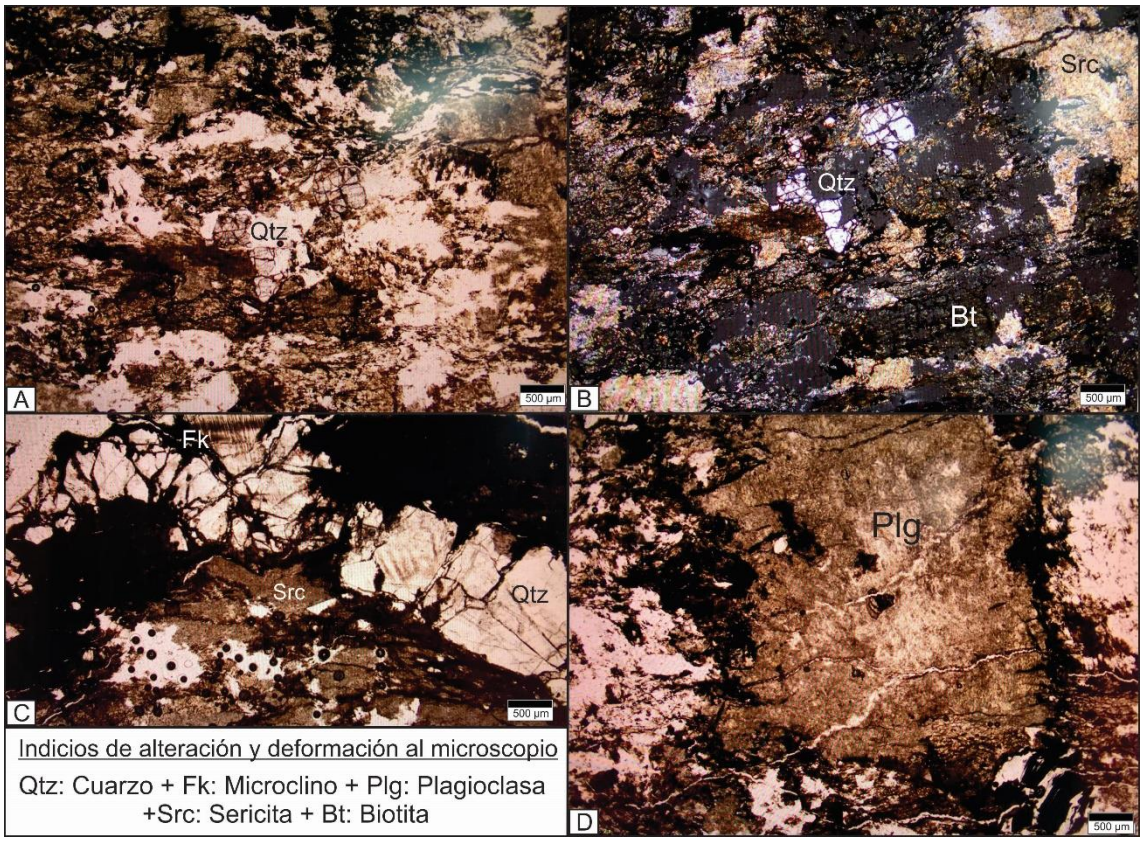


Figura 17: Cortes delgados del basamento zona media: vista general de minerales alterados a sericita con relictos de cuarzo más resistente (A); ídem A con nicoles cruzados (B); Detalle vetilla de cuarzo y microclino con macla característica (C); Detalle de cristal de plagioclasa alterado completamente.

Mineralógicamente estas muestras presentan abundantes cristales de feldespatos alterados, los cuales son identificados como plagioclasas en mayor medida alteradas e individuos de microclino ($KAlSi_3O_8$) evidenciado por la presencia de maclas ahusadas y entrecruzadas típicas de este mineral. A su vez, se observan relictos de biotita flexuradas y en mucha menor proporción cristales subhedrales de cuarzo como relictos, los cuales se encuentran fuertemente fracturados y deformados, presentando extinciones ondulosas. De manera subordinada se presentan óxidos Fe/Mn vinculados fuertemente a los cristales de cuarzo, como vetillas o bien bajo la forma de textura esferulítica. Esta mineralogía se ve fuertemente alterada, parcial o totalmente, a sericita y minerales del grupo de las arcillas, principalmente caolinita (Figs. 17 y 18).

Qtz + Plg + Fk + Src + Bt + Óxidos (Fe)

Algunas muestras presentan, al menos, dos eventos de deformación. Uno de deformación frágil caracterizado por las fracturas observadas en los cristales de cuarzo y un segundo evento de naturaleza mayormente dúctil evidenciado por una orientación preferencial de los minerales, flexuración de los filosilicatos y diversas estructuras de deformación en los granos de cuarzo (Fig 28).

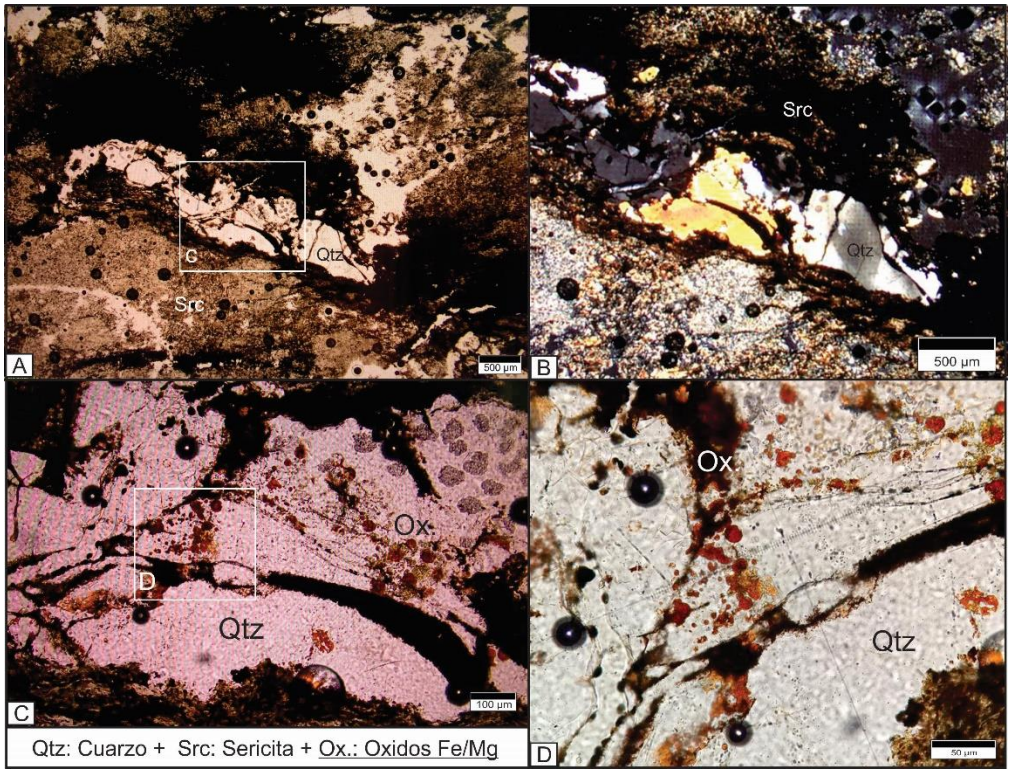


Figura 18: Vista general basamento alterado (A); ídem A con nicoles cruzados (B); detalle vetilla de cuarzo con óxidos de hierro (C); textura esferulítica de óxidos de hierro (D)

UNIDADES SEDIMENTARIAS

Por encima del basamento alterado, se presenta un nivel arcilloso, principalmente caolinítico y en menor medida illítico. Observa un color verdoso y está bien definido, alcanzando hasta 50 cm de espesor (Fig. 19). Sobre esta capa, se apoya un paquete heterolítico caracterizado por areniscas medianas, intercaladas con mantos arcillosos blanquecinos, netamente caoliníticos con abundante presencia de óxidos en determinados sectores, que le confiere tonalidades rojizas a negras.

Considerando las descripciones de la formación Las Águilas propuesta por Zalba et al. (1982) como facies heterolíticas con pelitas rojizas con gran concentración de óxidos de hierro y pirofilita, dichos autores definen una composición promedio de 30 % de caolinita, 10 % de illita, 40 % de pirofilita, 5 % de cuarzo y 15 % de hematita. Estos materiales pueden ser asignados tentativamente a la Formación Las Águilas, sobre todo debido a la abundante composición caolinítica, la presencia de pirofilita en muestra de mano y también evidenciada por el pico 3,06 en los difractogramas, las concentraciones ferríferas y la sucesión de facies pelítco-varicolores que prosiguen hacia arriba. Sin embargo la presencia de pirofilita no resulta un factor determinante, dado que no es tan abundante en este nivel y que es un mineral recuerrente a lo largo de las distintas unidades sedimentarias (Zalba et al. 1982 y 1988; Dristas y Frisicale, 1984; Marchese y Di Paola, 1975; Gómez-Peral y Bertolino, 2005; Block, 2019). Es por esta razón que la determinación de dicha Formación es tentativa y no definitiva, quedando abierta la discusión a futuros trabajos de mayor detalle.

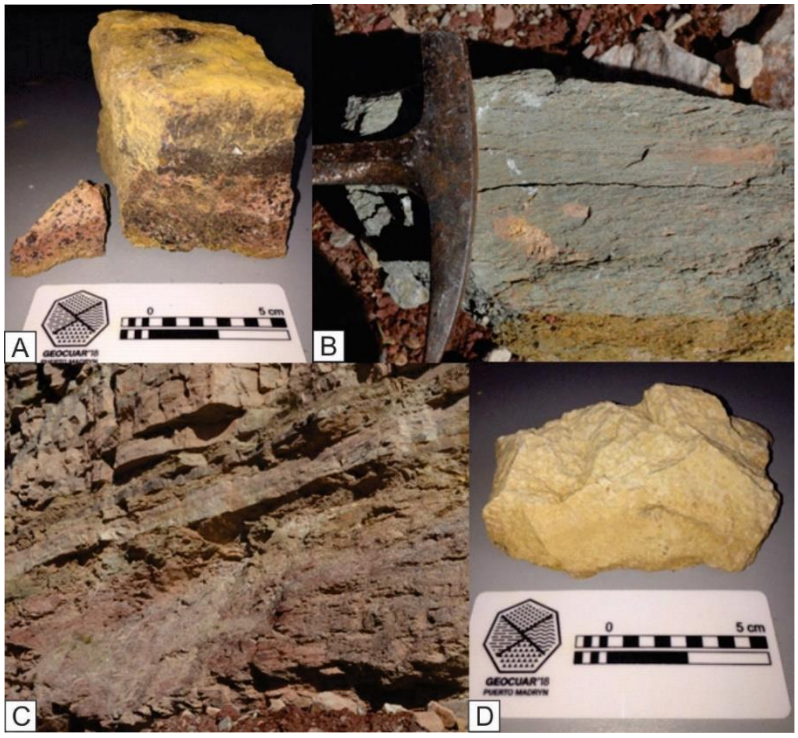


Figura 19: Capa caolinitica: Muestra obtenida en contacto con el basamento y zona óxidos (A); capa caolinitica verdosa (B); vista general del basamento en contacto con la unidad sedimentaria (C); detalle niveles caoliniticos (D).

Cabe destacar que el nivel heterolítico no siempre está presente a lo largo de los afloramientos relevados, su espesor varía entre 1 y 5 m, llegando incluso a desaparecer en ciertos sectores, sobre todo en los afloramientos ubicados en la cantera Constante 10. Esto ha sido documentado previamente por Iñiguez et al. (1990) para Constante 10, donde la Formación Balcarce apoya, a través de una superficie de erosión, sobre el basamento alterado. A su vez en aquellos sectores donde el heterolítico se vuelve difuso o desaparece, se observa un conglomerado oligomíctico clasto sostén. (M11.591). Este nivel psefitico se encuentra conformado por clastos de cuarzo de coloraciones negro-gris-blanquecina de hasta 5 cm de diámetro, angulosos a subangulosos, rodeados por una matriz arenosa blanquecina de la misma composición, la cual se apoya directamente sobre las arcillas verdosas. Este nivel psefítico podría corresponder tentativamente a las capas designadas informalmente por Poiré, 1998 como “Facies Chillar” las cuales se hacen presentes en la base de la Formación Balcarce (Fig. 20).

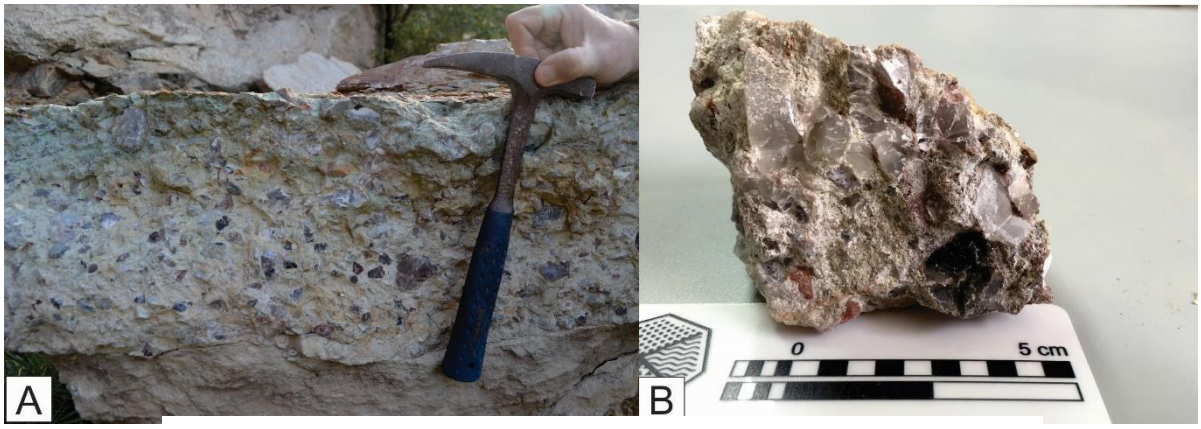


Figura 20: Afloramiento de conglomerado "Facies Chillar" (A); detalle mineralógico, clastos angulosos de chert (B)

Finalmente, coronando esta secuencia se observan hasta 10 m de cuarcitas pertenecientes a la Formación Balcarce, las cuales se presentan con continuidad a lo largo de toda el área de estudio. Dichas cuarcitas están conformadas por depósitos psamíticos a sabulíticos con coloración blanquecina. Presentan una disposición tabular con estructuras sigmoidales de gran escala y estratificación entrecruzada, de menor escala (Fig. 21). En las Figs. 22 y 23 se visualizan el actual frente de explotación y un perfil geológico-mineralógico del Sector.

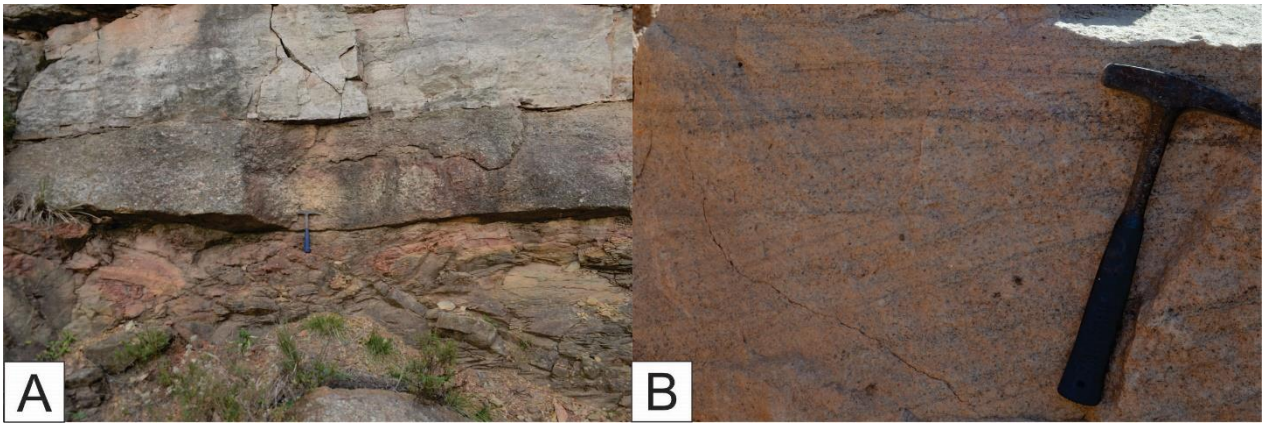


Figura 21: Afloramiento Formación Balcarce (A); detalle estratificación entrecruzada (B)

Figura 22: Frente de explotación activo Cantera "El Cañón-Don Pepe"

Figura 23: Perfil general del área de estudio - Cantera "El Cañón.

GEOLOGÍA SECTOR CONSTANTE 10

Si bien la geología de la cantera Constante 10 es muy similar a la observada en El Cañón-Don Pepe, los resultados de los análisis de DRX realizados en Constante 10 muestra ligeras diferencias, pero no significativas en cuanto a su composición.

CORRELACIÓN ENTRE LOS NIVELES ARCILLOSOS TOPE DE BASAMENTO DE LAS CANTERAS ANALIZADAS.

"El Cañón" "Constante 10"

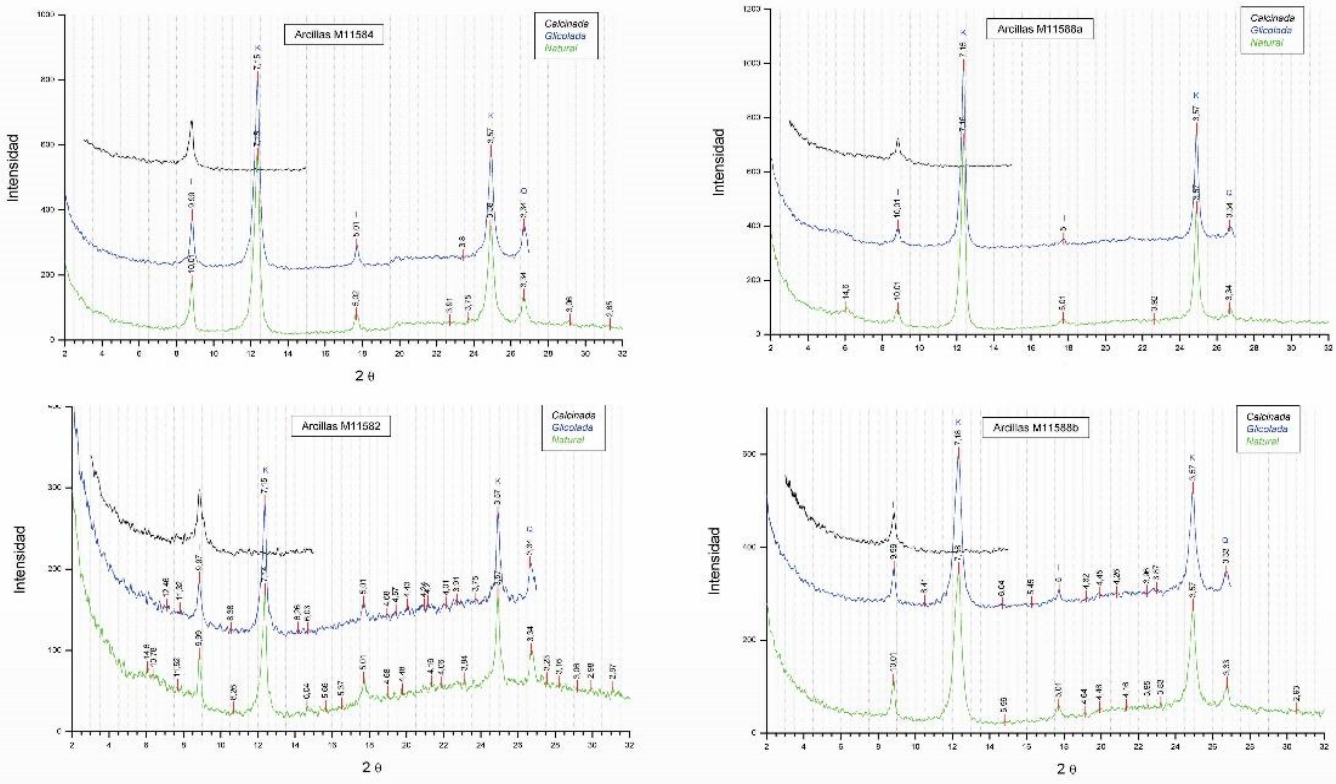


Figura 24: Difractogramas de muestras de la cantera Constante 10 y foto ilustrativa de los afloramientos

La posición topográfica es más elevada, se encuentra localizada en el sector cuspidal del Cerro Tortuga, y esto provoca que los afloramientos y perfiles observados en los frentes de explotación de “Constante 10”, mayoritariamente corresponden a capas de cuarcitas (Fig. 24), donde el basamento aflora en una pequeña porción por encima de la base o directamente en el piso de las labores. El basamento en esta mina presenta niveles de alteración similares a los observados en El Cañón, con la distinción de un sector puntual donde se reconocen subafloramientos de una roca holocristalina, fanerítica, con coloraciones en tonalidades oscuras negro verdosas. Presenta una mineralogía conformada mayoritariamente por minerales máficos, que le brindan una composición básica. Se destaca la abundante presencia de biotita, piroxenos y plagioclasas que se encuentran mayormente alteradas. Esta roca alterada se distingue por su coloración más oscura y una mayor competencia ante la meteorización, conservando en mayor medida una textura granuda relictual. Debido a la naturaleza más básica del afloramiento, su corta extensión en superficie y su mineralogía, podría considerarse como un dique básico que intruye al basamento cristalino (Fig. 25). Echeveste y Fernández (1994) han descriptos diques de composición máfica en el área. Anteriormente Teruggi et al. (1974 y 1988) diferencian dos composiciones distintas, una correspondiente a diques de diabasa y otra a un conjunto basáltico. Estas evidencias bibliográficas brindan un apoyo sustancial para postular que este pequeño afloramiento, reconocido en el piso de la cantera, correspondería a un dique perteneciente al set diabásico, ya establecido por Teruggi et al. (1974) para la región de Barker.

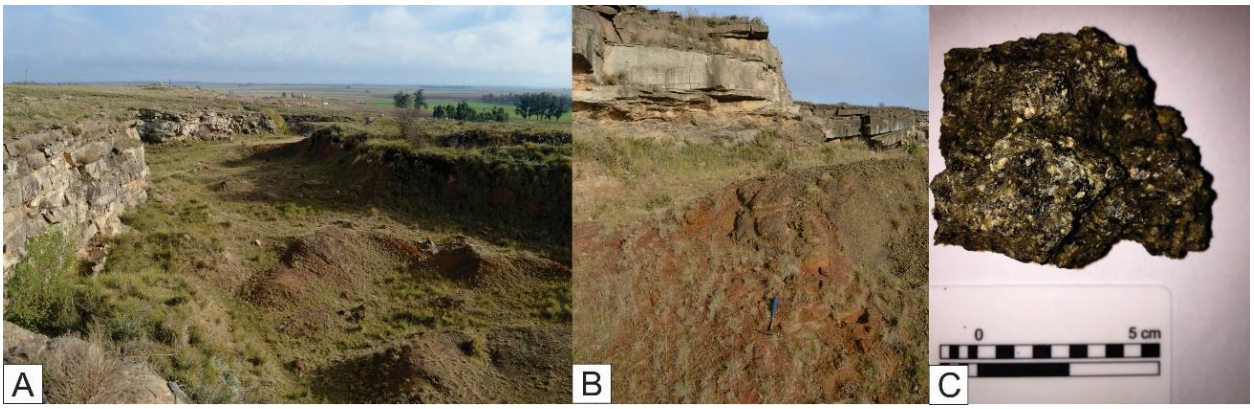


Figura 25: Vista general de zona de afloramientos basamentales básicos en Constante 10 (A); detalle afloramiento (B); Muestra de mano (C)

Otro punto a destacar sobre la geología de Constante 10 es la notable presencia del conglomerado, anteriormente descripto como facies “Chillar” (Fig. 26) (Poiré, 1998; Iñiguez et al., 1990). En esta cantera, el conglomerado se presenta como un manto sobre el basamento alterado, presentando una base ondulosa y erosiva con un techo neto, varia su espesor entre 50 cm y 2 metros. Este nivel se observa muy poco desarrollado en el sector de El Cañón (Fig. 24).

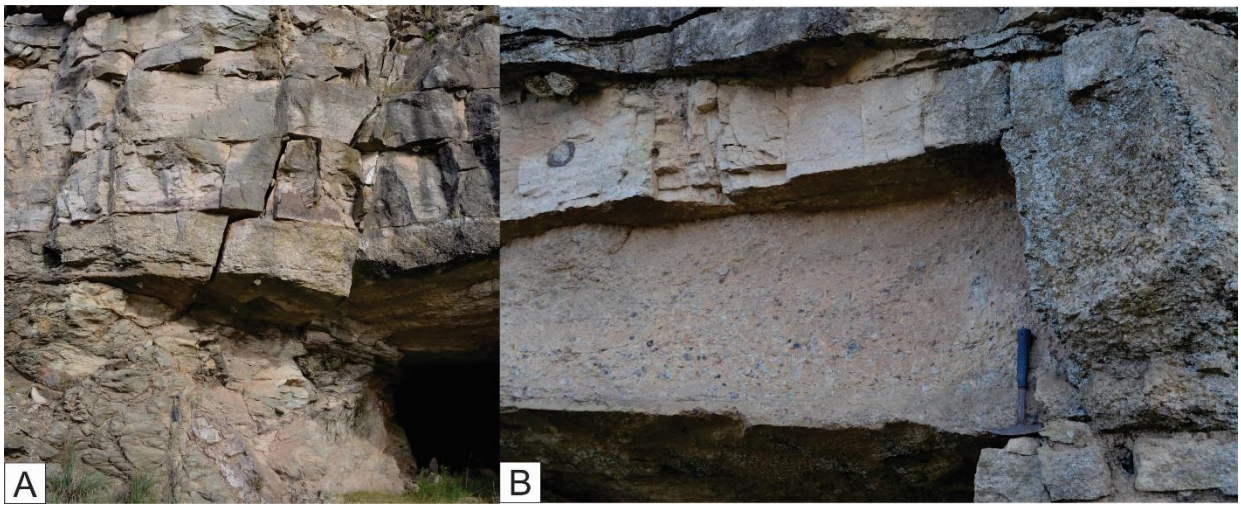


Figura 26: Afloramientos de conglomerado "Facies Chillar" en Constante 10 (A); Detalle de afloramiento a modo de manto (B)

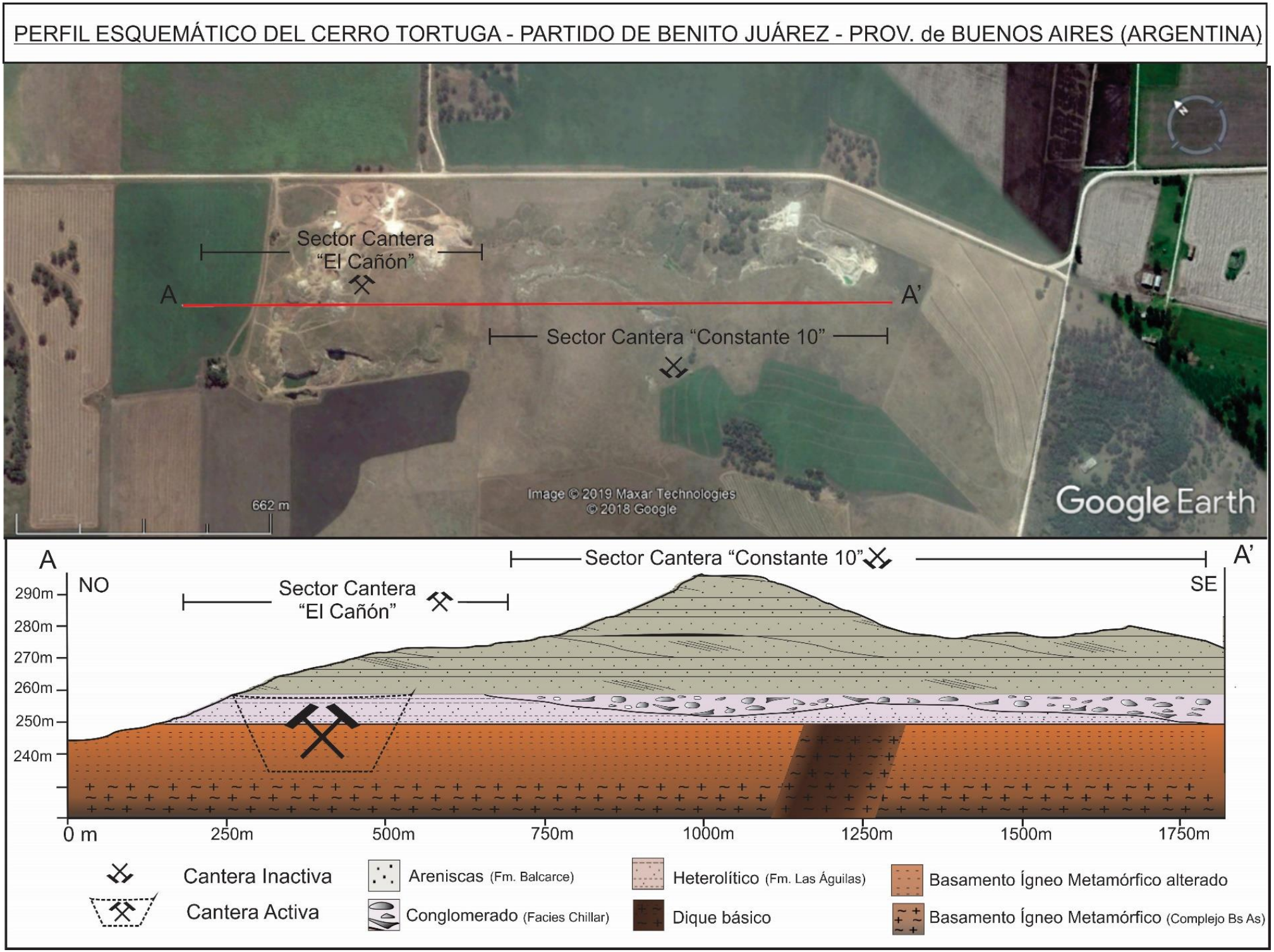
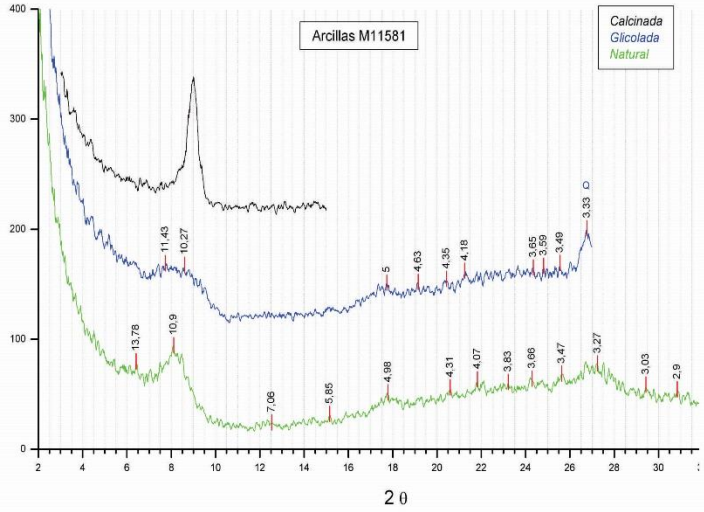
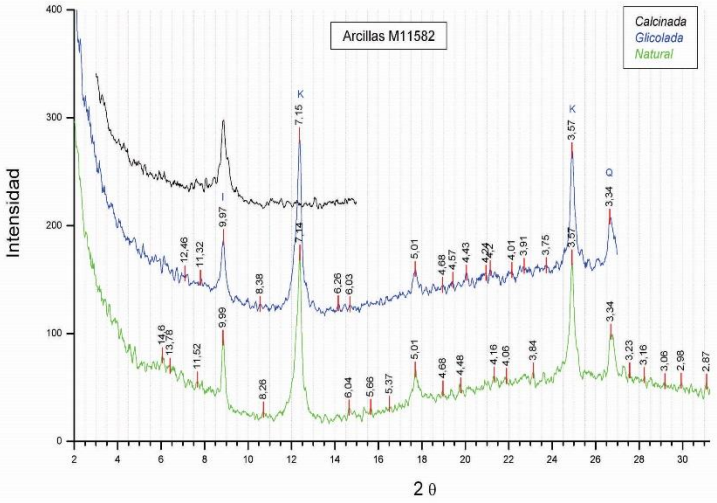
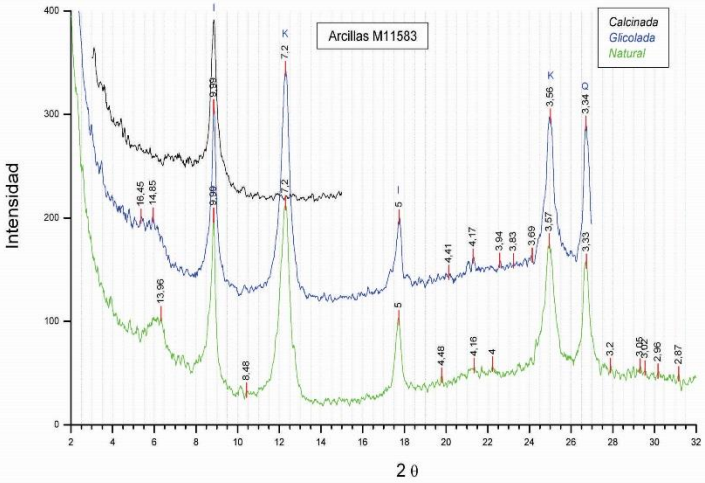


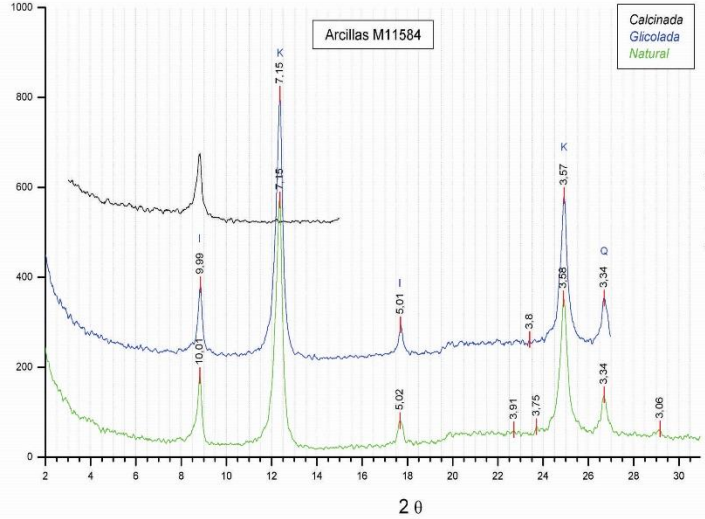
Figura 27: Perfil esquemático longitudinal a ambas canteras analizadas.

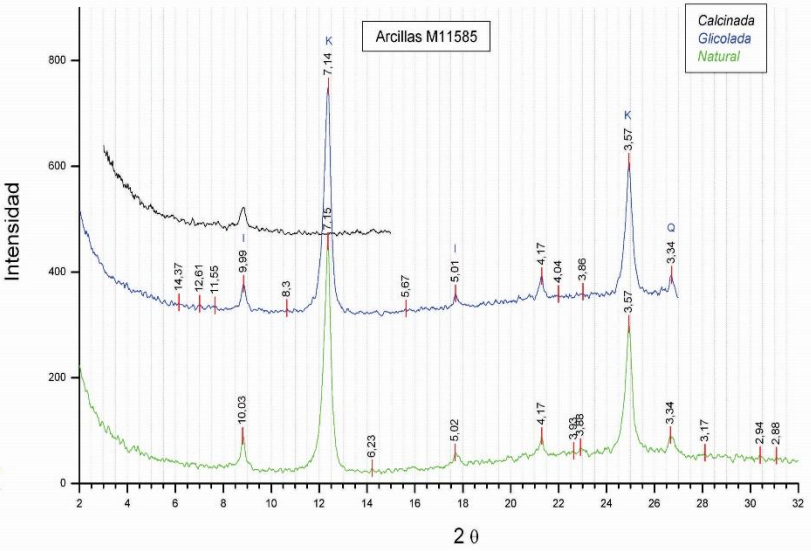
Difractogramas en muestra orientada de arcillas - Cantera “El Cañón”











Porcentajes relativos de argilominerales

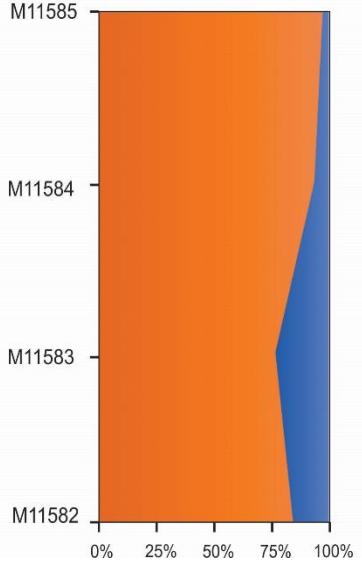


Figura 28: Difractogramas en muestra orientada de arcillas.

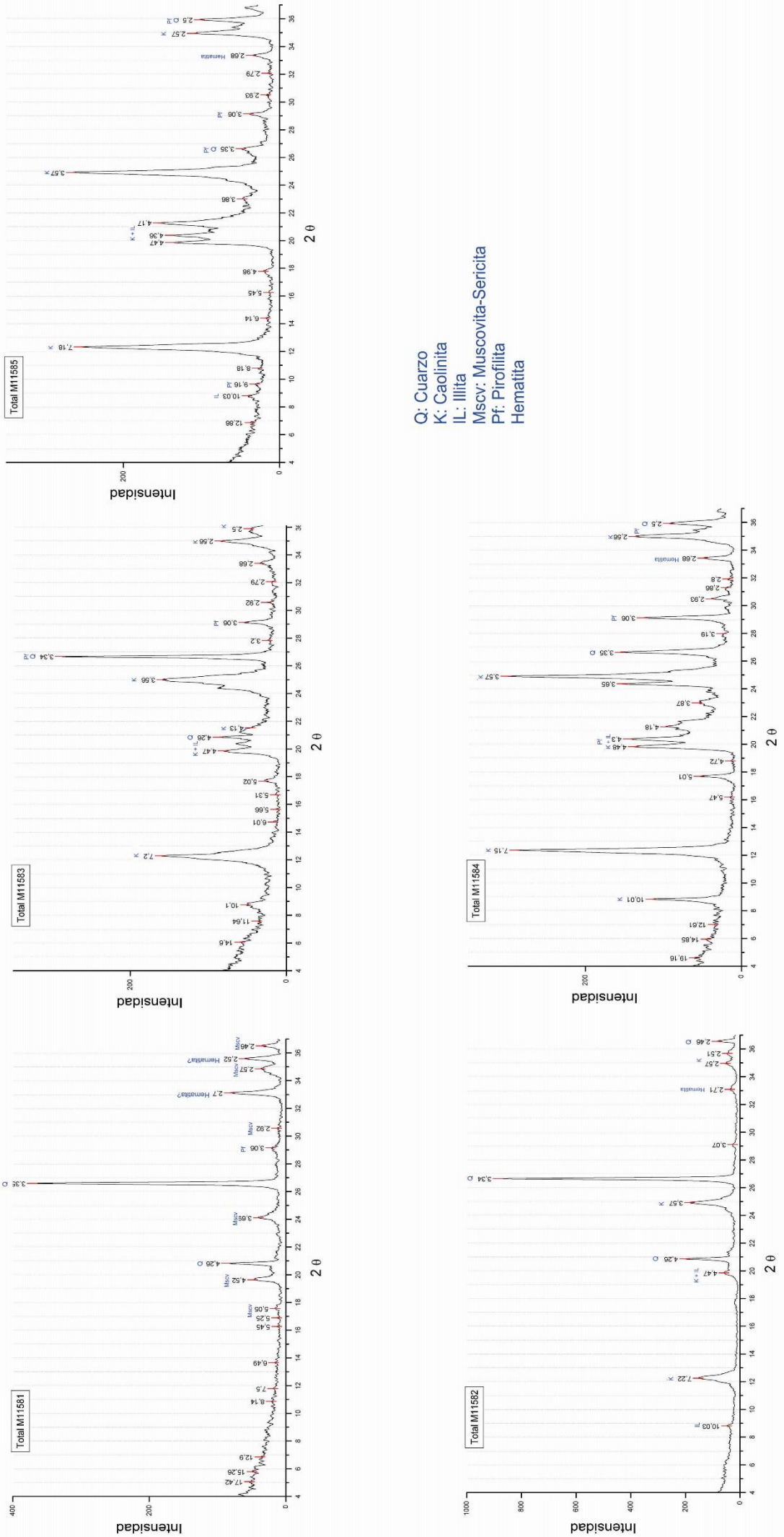


Figura 29: Difractograma en roca total de arcillas.

GÉNESIS DE LAS ARCILLAS

Considerando los antecedentes bibliográficos, las evidencias geológicas y mineralógicas observadas y la interpretación de los datos obtenidos a lo largo del presente trabajo, se propone una génesis compuesta de dos etapas para las arcillas identificadas en los afloramientos correspondientes a las canteras “El Cañón-Don Pepe”.

La composición principalmente caolinítica y el aspecto pseudoestratificado de las arcillas de la parte inferior de estas canteras (basamento parcial a totalmente alterado), permitió la identificación de un regolito y saprolito. En este sentido, se propone una primera etapa genética asociada a una alteración por meteorización del basamento debido a las condiciones climáticas del momento. Esta alteración denota un periodo de exposición subárea y estabilidad tectónica de largo término (Iñiguez et al. 1990; Poiré y Spalletti, 2005), que generó un manto de meteorización que disminuye su intensidad hacia la base de los afloramientos. Posteriormente al mencionado periodo, se generó la depositación la secuencia neoproterozoica conformada probablemente por la Formación Las Águilas y finalmente la secuencia paleozoica denominada Formación Balcarce. La primera, se encuentra caracterizada por la presencia de mantos arcillosos, netamente caoliníticos, y con abundante presencia de óxidos de Fe/Mg intercalados con areniscas medianas. Posteriormente se desarrollan las cuarcitas de la Fm Balcarce y luego, en el tope de la secuencia, se presentan varios centímetros de relleno moderno (tosca y suelo).

Por otro lado, ciertas características como el alto porcentaje de caolinita y la menor proporción de illita-sericita y sobre todo de pirofilita, reconocidas en las rocas basamentales de las canteras “El Cañón-Don Pepe”, junto con la ausencia de estructuras sedimentarias en las mismas, las zonaciones asimétricas observadas y el alto grado de fracturación y de alteración vinculada a diaclasas y fallas menores, podrían sugerir que la alteración observada en los materiales en explotación, presentarían un segundo episodio sobreimpuesto asociado a la circulación de fluidos más calientes. La caolinita, se forma fundamentalmente durante la diagénesis temprana a partir de la alteración de feldespatos, micas y plagioclasas (Bjorlykke y Aagard, 1992). Para que dicha reacción de alteración progrese, es necesaria la circulación de fluidos a través de la porosidad o de fracturas (planos de debilidad), que suministre H^+ y elimine del sistema el K^+ y/o el Na^+. Este segundo episodio, de haber estado presente, podría enmarcarse en una alteración de tipo sericítica - argílica moderada y se estaría sobreimponiendo a la alteración producto de la meteorización descripta.

DISCUSIÓN

Diversos autores han aportado sus hipótesis sobre el origen de los distintos depósitos de arcillas que se emplazan en la región. Así algunos identifican a dichos depósitos de arcillas de origen detrítico, otros a una génesis residual por alteración del basamento, y hay autores que señalan indicios de actividad hidrotermal en el área, también se postula combinación de estos procesos. Esta actividad hidrotermal fue favorecida a través de la circulación de soluciones por planos de discordancia, que podrían haber contribuido con la alteración y génesis de los depósitos presentes en la zona. Entre estos autores se encuentran las contribuciones de Frisicale y Dristas (2000), Martínez y Dristas (2007), Martínez (2009), Zalba (2010) y Block (2019).

Martínez y Dristas (2007) y posteriormente Martínez (2009) proponen una migración de fluidos calientes desde el basamento ocurrida durante el ciclo orogénico Brasiliano. Basan su hipótesis en la presencia de niveles ricos en hierro en diversas formaciones del área de Barker-Villa Cacique; así como en edades K-Ar obtenidas de minerales de la alteración sericítica desarrollada en la zona de discordancia entre la secuencia sedimentaria y el basamento aflorante en el sector de Barker-Villa Cacique. Cabe destacar que esta zona se ubica unos pocos kilómetros del área de trabajo.

El término hidrotermal hace referencia a soluciones acuosas calientes que oscilan entre los 150°C y los 400°-500°C que interactúan con la roca que lo rodea, sin implicación genética sobre el origen de estos fluidos (Machel y Lonnee, 2002). Esta interacción, conlleva cambios químicos, físicos y mineralógicos de la roca afectada, los cuales son producto de un desequilibro termodinámico. Durante esta búsqueda del equilibro ante las nuevas condiciones de temperatura y presión impuestas por los fluidos, la roca afectada modifica sus características mineralógicas, químicas y morfológicas. En la naturaleza se reconocen varios tipos de alteración hidrotermal, las cuales se encuentran caracterizadas por especies minerales específicas. Es decir que el hallazgo de determinadas especies minerales es determinante a la hora de definir si un sistema es de origen hidrotermal.

En el caso de depósitos de arcillas estudiados, la presencia de pirofilita en los niveles basamentales, observada in situ y reconocida a través del pico de 3,06 Å podría indicar la interacción entre un fluido más caliente y el manto de meteorización descripto con anterioridad. La discordancia que se desarrolla entre el basamento y las rocas sedimentarias suprayacentes, sumado al alto grado de fracturación que presenta el mismo, funcionarían como un nivel conducto que habría favorecido la circulación de fluidos más calientes, dando lugar a la alteración que actualmente se observa y que es objeto del material mayormente en explotación.

La morfología tabular que presenta el nivel de alteración sobre el basamento (y no en forma de embudo sub-vertical), favorece la hipótesis de que la alteración es producto de una circulación de fluidos meteóricos, más o menos calientes, que circularon a través del contacto entre el basamento cristalino y las secuencias sedimentarias suprayacentes.

Finalmente, si bien los estudios realizados han permitido caracterizar los minerales de las arcillas del área de trabajo en sector del Cerro Tortuga, se requieren estudios y análisis mineralo-químicos y geoquímicos más complejos (geoquímica de elementos de tierras raras, isótopos estables de D/O y microtermometría de inclusiones fluidas, entre otros) para definir fehacientemente si los fluidos actuantes fueron de procedencia hidrotermal y/o meteórica, o bien una combinación de ambos.

CONCLUSIONES

La discusión de los resultados antes expuestos, acerca de los estudios realizados sobre arcillas de las canteras “El Cañon-Don Pepe”, permitieron formular las siguientes conclusiones:

- Las arcillas presentes en el sector del Cerro Tortuga, próximo a la localidad de Estación López, presentan dos tipos de génesis distintas. Por un lado, se encuentran aquellos niveles arcillosos basales vinculados a una alteración del basamento cristalino conocido como Complejo Buenos Aires y, por otro lado, una sucesión de arcillas de origen sedimentario, suprayacente.
- Tanto la composición del basamento como su alteración no es homogénea a lo largo de los depósitos, sin embargo, en términos generales se pueden observar dos composiciones bien definidas de la roca alterada: a) Una asimilable a una roca ígnea-metamórfica de composición tonalítica, la cual predomina principalmente en el sector de “El Cañón-Don Pepe”, y b) otra de composición más básica, que se manifiesta de manera subordinada en determinados sectores del área, sobre todo en la parte lindera de “Constante 10”. Esta última, podría corresponder tentativamente a un dique básico que intruye a la roca tonalítica de mayor extensión areal.

  - La intensidad de la alteración identificada en “El Cañón-Don Pepe” permitió la diferenciación de tres niveles dentro del basamento alterado. El primero basal regolítico, en el cual aún se manifiestan ciertas características originales de la fábrica de la roca y se observan relictos de plagioclasas. Inmediatamente por encima, la alteración aumenta y oblitera toda estructura relíctual de la roca y conforma un nivel de saprolito arcilloso, en el cual las plagioclasas y micas son

alteradas prácticamente en su totalidad. Pasa transicionalmente a un tercer nivel netamente caolinítico y en mucha menor medida illítico, con ligera presencia de pirofilita donde la alteración es completa.

- Estos dos últimos niveles conforman el 80-90% de los afloramientos explotados en las canteras estudiadas.

- La observación en las muestras de mano y en cortes delgados de una textura relictual granuda, en la cual se logran reconocer abundantes cristales de plagioclasas y, en menor medida, feldespatos alterados junto con cuarzo, confirman sin lugar a duda que las arcillas provienen del basamento paleoproterozoico alterado, cuyo grado varía en intensidad en la vertical.

- Composicionalmente las arcillas son predominantemente caoliníticas, desarrolladas como producto de alteración de las plagioclasas. De manera subordinada la alteración de micas dio lugar a la presencia de arcillas illíticas. Posiblemente la alteración de la biotita presente en las rocas basamentales es responsable del alto porcentaje de óxidos de hierro observados en los afloramientos.

- Las evidencias mineralógicas identificadas, así como los antecedentes bibliográficos recopilados, permiten inferir procesos de circulación de fluidos meteórico-hidrotermales?, a través de las zonas de debilidad desarrolladas en el Complejo Buenos Aires; sobre todo a través de la discordancia ubicada entre el basamento y las secuencias sedimentarias suprayacentes. Esta alteración podría ser caracterizada tentativamente como sericitica-argilica moderada, con un pico máximo de temperatura de 300°C determinado por la presencia de pirofilita. Dicho proceso de alteración afectó a las partes más superficiales del basamento cristalino y a los sectores más basales de las secuencias sedimentarias descriptas.

- La definición sobre el origen de los fluidos que actuaron en la formación de las arcillas estudiadas, deberá ser abordada mediante estudios más específicos que no fueron desarrollados en el marco del presente trabajo, dado que escapa a la finalidad planteada para este TFL.

- Finalmente, por encima del área descripta, se encuentran depósitos sedimentarios pelíticos y de areniscas, adjudicados tentativamente a las Formaciones Las Águilas y Balcarce (ésta última presenta lentes de caolinita de escasos centímetros a decímetros de espesor), estas arcillas son de origen sedimentario.

- Los depósitos tentativamente adjudicados en este TFL a la Formación Las Águilas son objeto de discusión por distintos autores, dado a que, si bien presentan en este trabajo características propias de la Formación, las mismas no son determinantes para clasificarlas con seguridad y ameritarían profundizar los estudios y análisis con un mayor detalle y otras técnicas complementarias. -

AGRADECIMIENTOS

Siendo este trabajo el último gran paso para recibirme siento que es una buena ocasión para agradecer a todas esas personas que me ayudaron a lo largo de esta etapa. A mi familia que me dio todas las facilidades para que estudie y además me incentivaron a elegir lo que me gusta. A mis amigos de toda la vida, mi segunda familia, que siempre estuvieron presentes para darme un empujoncito cuando era necesario, compartiendo todos los momentos. A mi director y codirectora que me abrieron las puertas de su lugar de trabajo y siempre estuvieron presentes para sacarme dudas y ayudarme. Al grupo de gente hermosa que conocí a lo largo de la carrera, con quien compartí viajes, mates, anécdotas, estudios, experiencias, charlas y miles de momentos. A la gente de estructural que me introdujo a la docencia, me enseñaron y termine compartiendo no solo clases sino momentos, viajes y asados con un grupo de gente excelente. A la banda de natación que eran mi cable a tierra luego de horas de cursada. A toda esa gente y mucha gente más, que siempre me motivaron a estudiar lo que me gusta, que cada vez que hablaba sobre mi carrera me preguntaban, se interesaban y me ayudaban a seguir cuando me costaba. Gracias, espero poder devolver toda la amistad que me dan día a día. Los quiero. Y todo esto no sería nada sin la educación pública y a todos aquellos que hacen posible esto. Educación primaria, secundaria y universitaria publica, gratuita y de calidad. Siempre.

BIBLIOGRAFÍA

- Alló W., 2001. Los yacimientos de arcillas illíticas ferruginosas La Siempre Verde y La Placeres de Barker. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Tesis Doctoral, 235 pp. (inédito).

- Almeida F.M., 1971. Geochronological division of the Precambrian of South America. Revista Brasileira de Geociencias 1: 13-21.

- Andreis R., Zalba P.E., Iñiguez Rodríguez AM, Morosi M., 1996. Estratigrafía y evolución paleo ambiental de la sucesión superior de la Formación Cerro Largo, Sierras Bayas (Buenos Aires, Argentina). Proc 6 Reunión Argentina de Sedimentología, Actas, 293–298.

- Arrouy M.J., Poiré D.G., Gómez Peral L.E., Canalicchio J.M., 2015. Sedimentología y estratigrafía del Grupo La Providencia (Nom. Nov.): Cubierta superior neoproterozoica, Sistema de Tandilia, Argentina. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis 2015, 22.

- Barrio C, Poiré D.G., Iñiguez A.M, 1991. El contacto entre la Formación Loma Negra (Grupo Sierras Bayas) y la Formación Cerro Negro, un ejemplo de paleokarst, Olavarría, provincia de Buenos Aires. Rev. Asoc. Geológica Argentina 46:69–76.

- Block D.F, 2019; Estudio geológico de los yacimientos de arcilla ubicados en la pertenencia Capitán I, López, Provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional de La Plata, FCN y Museo, TFL (inédito).

- Bjorlykke, K., y Aagaard, P., 1992. Clay minerals in Noth Sea sandstones, en: Origin, diagénesis, and petrophisics of clay minerals in sandstones. SEPM, special publication 47: 157-167.

- Borrello A, 1966. Trazas, restos tubiformes y cuerpos fósiles problemáticos de la Formación La Tinta, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Paleontografía Bonaerense 5:1–42.

- Brindley G.W., Brown G., 1980. X-Ray Diffraction Procedures for Clay Mineral Identification. In: Brindley, G.W. and Brown, G., Eds., Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification, Mineralogical Society, 305-356.

- Caballé M, Coriale N., Tessone M., Etcheverry R., 2008. Minerales industriales y rocas de aplicación de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires, Argentina. En Actas 1º Congreso Argentino de Áridos 2008 y VI Jornadas iberoamericanas de Materiales de Construcción: “Recursos para la Construcción y Aplicaciones Industriales”, 33-42. Mar del Plata.

- Cingolani C.A., Hartmann L.A., Santos J.O.S., McNaughton N.J, 2002. U-Pb SHRIMP dating of zircons from the Buenos Aires Complex of the Tandilia Belt, Río de la Plata Craton, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino 1: 149-154.

- Cingolani C.A, 2010. The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: An overview. International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch) 100, 221–242.

- Dalla Salda L., Iñiguez A.M, 1979. La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. VII Congreso Geológico Argentino Actas I:539-550, Buenos Aires.

- Dalla Salda L.H., de Barrio R.E., Echeveste H., Fernández R., 2005. El basamento de las Sierras de Tandilia. Geología y Recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del 26° Congreso Geológico Argentino, 32-50, La Plata.

- Dalla Salda L.H., Spalletti L.A., Poiré D.G., de Barrio R., Echeveste H., Benialgo A., 2006. Tandilia. En Temas de Geología Argentina 1. Serie de correlación Geológica 21:17-46, San Miguel de Tucumán.

- Dristas J.A., 1983. Petrología de una metariolita en la Sierra del Tigre, Tandilia. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 38 (2): 192-200.

- Etcheverry R., 2006. Análisis de isótopos estables en depósitos de arcillas de las Sierras de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Sociedad Geológica de España, ISSN 0214-2708, Vol. 19, Nº. 1-2, 2006, págs. 59-67.

- Etcheverry R., Tessone M.R., Caballé M., Fernández R., 2011. Niveles de arcillas ferruginosas en las Sierras Septentrionales de Buenos Aires, Argentina. Su aprovechamiento industrial. En VIII Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción. Organizado por Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Lima, Perú. Actas, 137-142.

- Fernández R., Echeveste H., 1995. Caracterización geoquímica y petrológica de diques del Sistema de Tandilia. Argentina. Cuartas Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, 1: 329-337.

- Friscale 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 del Sur, 217 pp.

- Friscale M.C., Dristas J.A., 2000. Génesis de los niveles arcillosos de Sierra de la Tinta, Tandilia. Revista de la Asociacion Geológica Argentina. 55: 3-14

-García, E., Suárez, M., 2001. Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca. 25p.

- Gómez Peral LE, Poiré DG, Strauss H, Zimmermann U, 2007. Chemo-stratigraphy and diagenetic constraints on Neoproterozoic carbonate successions from the Sierras Bayas Group, Tandilia System, Argentina. Chem Geol 237:109–128.

- Halpern M., Umpierre Urquhart M., Linares, E., 1970. Radiometric ages of crystalline rocks from southern South America, as related to Gondwana and Andean geologic provinces. 4th Upper Mantle Symposium, 345-356, Buenos Aires.

- Harrington H.J., 1956. Argentina. Handbook of South American Geology: An Explanation of the Geologic Map of South America. Geological Society of America Memoir 65:129-16.

- Hart S.R., Krogh T.E., Davis G.L., Aldrich L.T., Munizaga R., 1966. A geochronological approach to the continental drift hypothesis. Carnegie Institute Washington Yearbook 65: 57-59.

- Hartmann L.A., Santos J.O.S., Bossi J., Campal N., Schipilov A., McNaughton N.J., 2002//a. Zircon and titanite U-Pb SHRIMP geochronology of Neoproterozoic felsic magmatism on the eastern border of the Río de la Plata Craton, Uruguay. Journal of South American Earth Science 15: 229-236.

- Iacumin M., Piccirillo E., Girardi V., Teixeira W., Bellieni G., Echeveste H., Fernandez R., Pinese J., Ribot, A., 2001. Early Proterozoic Calc-Alkaline and Middle Proterozoic Tholeiitic Dyke Swarms from Central-Eastern Argentina: Petrology, Geochemistry, Sr-Nd Isotopes and Tectonic Implications. Journal of Petrology, 42 (11): 2109-2143.

- Iñiguez A.M., Zalba P., 1974. Nuevo nivel de arcilitas en la zona de Cerro Negro, Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. Anales del LEMIT Serie 2:95-100.

- Iñiguez AM, Del Valle A, Poiré D, Spalletti L, Zalba P., 1989. Cuenca Precámbrica-Paleozoico inferior de Tandilia, Provincia de Buenos Aires. In: Chebli G, Spalletti LA (eds) Cuencas sedimentarias argentinas. Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica, 6:245–263

-Iñíguez A.M., Zalba P.E., Andreis R.R., 1990. Mineralogy and Chemistry of Cambrian (?) paleosols, Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina. In: Farmer VC, Tardy Y (eds) Proc 9° international clay conference 1989, Institut Géologie, Strasbourg, France, Mémoire, vol 85. pp 175–184

- Kilmurray J.O., Leguizamón M.A., Ribot, A., 1985a. Los diques de diabasa del noroeste de las Sierras de Azul, Provincia de Buenos Aires. Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses: 863-866.

- Lema H., Cucchi, R., 1981. Hallazgo de metavulcanitas en el Cerro Tandileufú, Provincia de Buenos Aires. Revista Asociación Geológica Argentina, 36: 1-103

- Leveratto MA, Marchese HG, 1983. Geología y estratigrafía de la Formación La Tinta (y homónimas) en el área clave de Sierra de La Tinta-Barker-Villa Cacique-Arroyo Calaveras, Provincia de Buenos Aires. Rev Asoc Geol. Argentina 38:235–247.

- Linares, E., González, R., 1990. Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina 1957-1987. Publicaciones Especiales de la Asociación Geológica Argentina, serie B.

- Llambías E., 2005. Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, Cap. IV, 51–68, La Plata.

- Machel, H.G., Lonnee, J., 2002. Hydrothermal dolomite – a product of poor definition and imagination. Sedimentary geology, 152: 163–1710

- Marchese H.G., Di Paola E., 1975. Miogeosinclinal Tandil. Revista de la Asociación Geológica Argentina 30, 161–179.

- Martínez J.C., 2009. Estudio de la paleo actividad hidrotermal en el sureste de Tandilia, área de Barker-Villa Cacique. Universidad Nacional del Sur.

- Martínez J.C., Dristas J., 2007. Paleo actividad 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 62 (3): 375-386

- Moore D.M., Reynolds Jr., 1989. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University Press, Oxford, 179-201.

- Nágera J.J., 1940. Tandilia. Biblioteca Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. XXIV: 272 pp

-Nigro, J., Fernandez, R. R., Etcheverry, R. O., Delgado, M. L., Tessone, M., & Carlini, M., 2013. Correlación mineralógica y geoquímica de la formación Las Aguilas entre Sierra de la Juanita y Cuchilla de Las Aguilas, Barker, Buenos Aires. In X Congreso de Geología Económica.

- Pankhurst R.B., Ramos V.A., Linares E., 2003. Antiquity of the Rio de la Plata Craton in Tandilia, southern Buenos Aires province, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 16:5-13

- Pierce J. W., Siegel F.R., 1969. Quantification in clay mineral studies of sediments and sedimentary rocks; Jour. Sed. Petrology, V. 39, no. 1, p. 187-193.

- Poiré D.G., 1987. Mineralogía y sedimentología de la Formación Sierras Bayas en el Núcleo Septentrional de las sierras homónimas, partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral 494, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 271 pp. (Inédito)

- Poiré D.G., 1993. Estratigrafía del Precámbrico sedimentario de Olavarría, Sierras Bayas, provincia de Buenos Aires, Argentina. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas 2:1-11.

- Poiré D.G., 1998. Estructuras sedimentarias orgánicas en sedimentitas gruesas del Paleozoico de Chillar, Tandilia, Argentina. 5 jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas 1: 9-18.

- Poiré D.G., Spalletti, L. 2005. La cubierta sedimentaria Precámbrica-Paleozoica inferior del sistema de Tandilia.

-Poiré, D.G, Gómez-Peral L, y Bertolino, S.R., 2005. "Los niveles con pirofilita de la Formación Villa Mónica, Precámbrico de Olavarría, Sistema de Tandilia, Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino.

- Poiré DG, Gaucher C., 2009. Lithostratigraphy. Neoproterozoic- Cambrian evolution of the Río de la Plata Palaeocontinent. In: Gaucher C, Sial AN, Halverson GP, Frimmel HE (eds) Neoproterozoic-Cambrian tectonics, global change and evolution: a focus on southwestern Gondwana. Developments in Precambrian Geology, Elsevier, vol 16, 4.2, pp 87–101. doi: 10.1016/S0166-2635(09)01605-3.

- Quartino B.J., Villar Fabre J.F., 1967. Geología y petrología del basamento de Tandil y Barker (Provincia de Buenos Aires), a la luz del estudio de localidades críticas. Revista Asociación Geológica Argentina, 22 (3): 223-251

- Raigemborn M.S., 2007. Estudio estratigráfico, sedimentológico y composicional de las sedimentitas del Terciario Inferior (Grupo Río Chico) en el sector Sudoriental del Chubut Extraandino. Universidad Nacional de La Plata, 342 pp.

- Rapela C.W., Dalla Salda L.H., Cingolani C., 1974. Un intrusivo básico ordovícico en la Formación La Tinta (Sierra de los Barrientos), Provincia de Buenos Aires. Revista Asociación Geológica Argentina, 29 (3): 319-331. Buenos Aires.

- Rapela C.W., Fanning C.M., Pankhurst R.J., 2005. The Rio de La Plata Craton: the search for its full extent. Academia Nacional de Ciencias, Gondwana 12 Abstracts:308.

- Restrepo J.A., 2005. “Dióxido de titanio: Dé a su aplicación el pigmento ideal”. Revista INPRALATINA, Vol. 10, No. 1, pág. 22-23.

-Seilacher, A., Cingolani, C. A., Varela, R., 2002. Ichnostratigraphic correlation of early Palaeozoic sandstones in North Africa and central Argentina. Geology of Northwest Libya, 1, 275-292.

- Spalletti L.A., Poiré D.G., Isla F., Zárate, M., 1996. Litoral atlántico bonaerense y Sistema de Tandilia. 6 Reunión Argentina de Sedimentología, Guía de Excursión Geológica, 15 pp., Bahía Blanca.

- Teixeira W., Pinese J., Iacumin M., Girardi V., Piccirillo E., Echeveste H., Ribot A., Fernández R., Renne P.R., Heaman L.M., 2002. Calc-alkaline and tholeiitic dyke swarms of Tandilia, Rio de la Plata craton, Argentina: U–Pb, Sm–Nd, and Rb–Sr 40Ar/39Ar data provide new clues for intraplate rifting shortly after the Transamazonian orogeny. Precambrian Research, 119 (1-4): 329-353.

- Teruggi M.E., Mauriño V., Limousin T., Schauer O., 1958. Geología de las sierras de Tandil. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 13 (3): 185-204.

- Teruggi M., KIlmurray J., Rapela C., Dalla Salda L., 1974. Diques básicos en las Sierras de Tandil. Revista Asociación Geológica Argentina, 19 (1): 41-60.

- Teruggi M.E., Leguizamón M.A., Ramos V.A., 1988. Metamorfitas de bajo grado con afinidades oceánicas en el basamento de Tandil: su implicancia geotectónica, Provincia de Buenos Aires. Revista Asociación Geológica Argentina, 43 (3): 366-374.

- Varela R., Cingolani C.A., Dalla Salda L.H., 1988. Geocronología rubidio-estroncio en granitoides del basamento de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina. Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses (Bahía Blanca). Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, 291-305, La Plata.

- Villar Fabre, J.F., 1955. Resumen geológico de la Hoja 32p, Sierras del Azul, Provincia de Buenos Aires. Revista Asociación Geológica Argentina, 10 (2):75-99

- 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. Tesis Doctoral 362, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 75pp. (Inédito).

- Zalba P.E., 1988. Clasificación de arcillas de las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. CETMIC, Publicación Especial 1, 62 pp., Buenos Aires.

- Zalba P.E., Garrido L.B., 1984. Estudio de yacimientos de arcilla de El Ferrugo y Constante 10, provincia de Buenos Aires. I. Geología, Mineralogía y clasificación textural, genética y tecnológica de las arcillas. Actas IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, 1984, 5: 575-588

- Zalba, P.E., Morosi, M., Conconi, M.S. y Segovia, L., 2010. Arcillas de Tandilia. Geología, mineralogía propiedades tecnológicas. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.

- Zalba P.E., Morosi M.E., Conconi M.S., 2016. Gondwana Industrial Clays. Springer Earth System Sciences. doi:10.1007/978-3-319-39457-2