



Resultados de un reconocimiento geológico en la zona de Dr. Botrell, Departamento de Guairá, Paraguay

Results and conclusions of geological reconnaissance around the zone of Dr. Botrell, Guaira Department, Paraguay

Moisés Gadea¹, Jairo Villalba², Analía González², Verónica Orué², José Paredes³, Yamila Bogarín³, Guillaume Martin³ & Tulio Toñanez⁴

¹Encargado de Cátedra. Petrología Sedimentaria, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción.

²Estudiante Universitario. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción.

³Geólogo/a Asociado/a-Consultor(a).

⁴Profesor Titular. Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción.

Resumen.- Se comenta sobre algunas observaciones y toma de muestras en la zona de Dr. Botrell, donde se ha comprobado la presencia de secuencias de unidades sedimentarias del Paleozoico superior (Permo-Carboníferas), tales como limolitas, areniscas, arcilitas, pedernales y niveles de concreciones ferruginosas. El contenido litológico señala ciclos transgresivos-regresivos marinos alternantes, habiéndose reconocido ambientes continentales en los niveles superiores, con despliegue en discordancia angular leve con respecto a los inferiores. Un contacto nítido de depósitos del Carbonífero Superior (una siltita negra) con el Pérmico Inferior (areniscas) ha sido identificado a orillas del río Tebicuary mi. Asimismo fue localizada una cantera con limolitas, areniscas y arcilitas intruídas por un dique ígneo que ya ha sido completamente meteorizado en arcillas. Este cuerpo ígneo habría ingresado por una fractura, cuya ocurrencia fue previa y con desarrollo de brechas cataclásticas. El mencionado dique tuvo el efecto de un notable desarrollo de prismas columnares en limolitas, así como silicificación y alteración hidrotermal en los minerales de las areniscas y arcilitas encajantes, localizados en contacto inmediato con la fractura.

Palabras clave: siltitas, areniscas, arcilitas, dique intrusivo, limolitas columnares, Pérmico, Dr. Botrell, Paraguay.

Abstract.- Some observations and sampling performed around the locality of Dr. Botrell is described. In this locality it has been ascertained the presence of Permo-Carboniferous sedimentary units composed of siltstones, sandstones, claystones, flintstones and layers of ironstone. The lithological content points out the existence of transgressive-regressive alternating marine cycles, with rocks of continental environment being recognized at the higher stratigraphic levels with slight angular unconformity displayed with respect to the lower levels. A sharp contact of Upper Carboniferous (black siltstones) deposits with overlying Lower Permian rocks (sandstones) has been identified in the Tebicuary mi riverside. Likewise, a quarry with siltstones, sandstones and claystones layers sharply intruded by an igneous dyke, which has already been completely weathered to clay, was identified. This igneous body ascended along a fracture, with the occurrence of cataclastic breccias. The mentioned dyke had developed columnar jointing on siltstones, silicification and hydrothermal weathering effect on the surrounding bedding rocks and those with immediate contact with the fracture.

Key words: siltstones, sandstones, claystones, dyke, columnar siltstones, Permian, Dr. Botrell, Paraguay.

La localidad de Dr. Botrell se encuentra ubicada en la región más septentrional del departamento de Guairá, en el centro de la Región Oriental del Paraguay (Fig. 1); al norte de la cordillera del Ybyturuzú y muy próximo

al río Tebicuary mi, cuyo devenir en la zona lo hace en sentido este – oeste.

Limita con los distritos de Mauricio José Troche al este, Natalicio Talavera al sureste, Mbocayaty al sur y suroeste, Yataity al



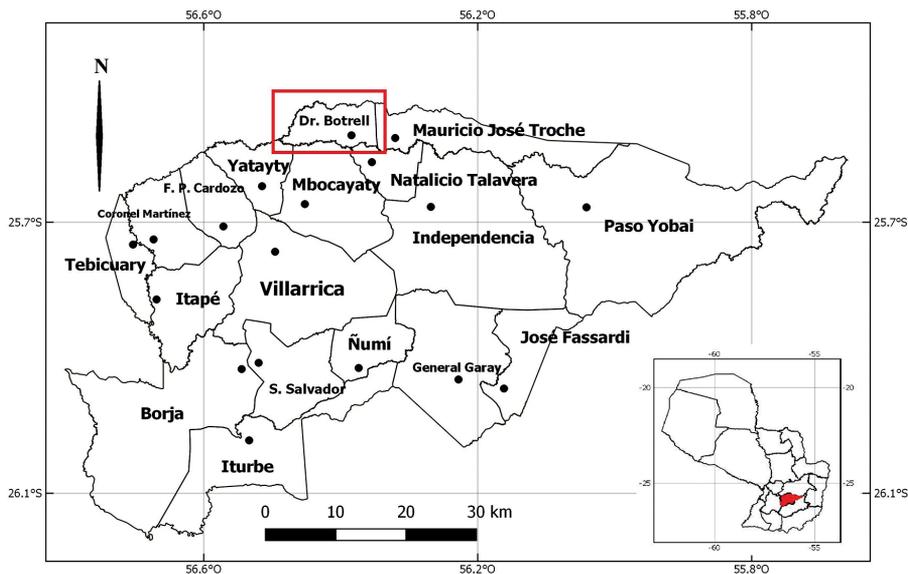


Figura 1. Despliegue geográfico del departamento de Guairá y la ciudad de Dr. Botrell.

suroeste. Al norte, este distrito colinda con el departamento de Caaguazú.

La localidad de Dr. Botrell se sitúa sobre terrenos de colinas con pendientes suaves que se prolongan hacia el este, inmediatamente en interfase con las planicies de inundación del río

Tebicuary mi y sus humedales asociados hacia el oeste (Fig. 2).

En la zona estudiada, predominan los suelos lateríticos residuales en donde sus cotas presentan mayor elevación. En las planicies de inundación y en las cercanías del río Tebicuary

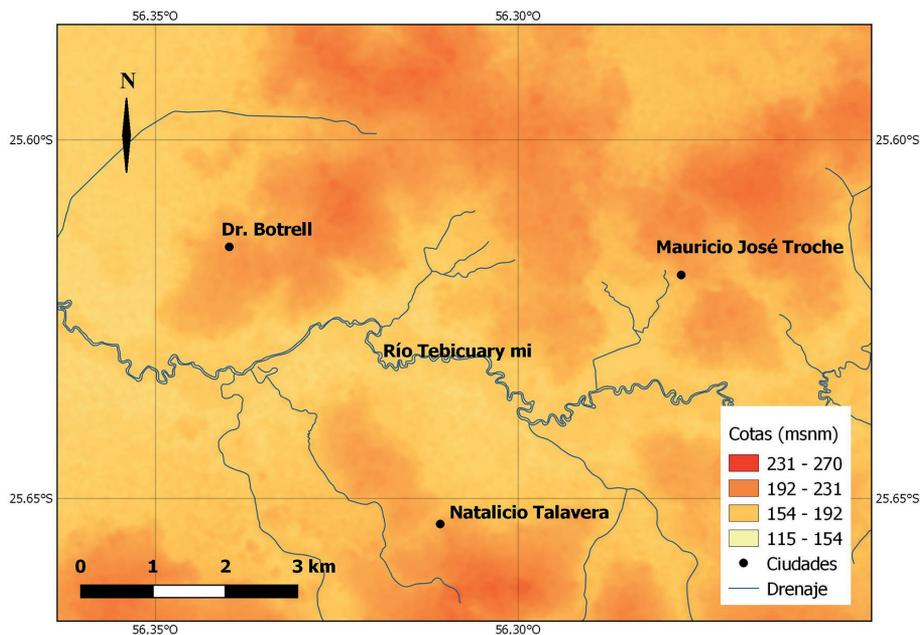


Figura 2. Mapa hipsométrico de la ciudad de Dr. Botrell y alrededores.

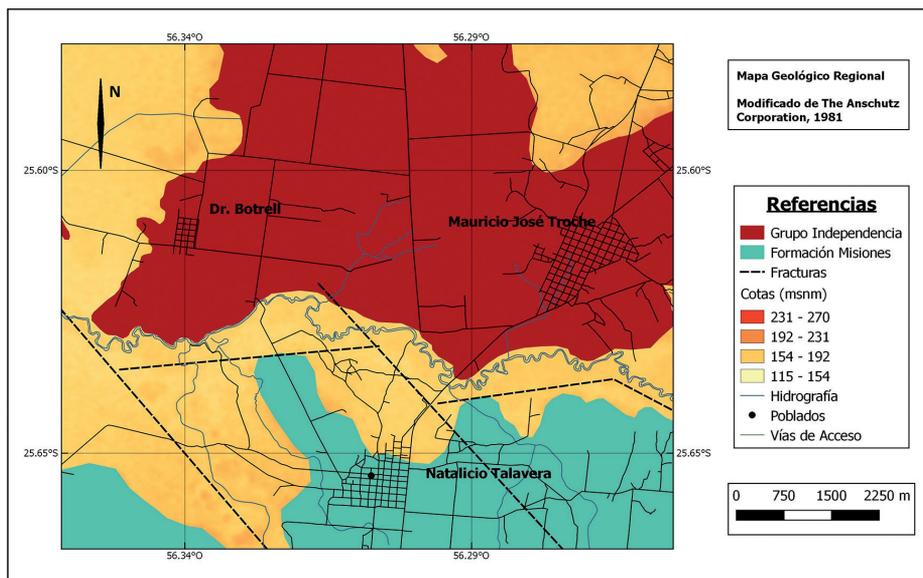


Figura 3. Mapa geológico regional.

mi los suelos son del tipo transportados, de color marrón oscuro y con abundante materia orgánica. Los afloramientos son escasos, y varios de ellos fueron posibles divisarlos por acción antrópica, debido a destapes para construcción de obras viales.

Geología

La región estudiada se sitúa en el marco de la cuenca del Paraná, en donde investigaciones anteriores (Anschutz Co., 1981; Proyecto PAR, 1986; Orué, 1996, entre otros) señalaron terrenos del periodo Pérmico, pertenecientes a la unidad asignada en Paraguay como Grupo Independencia (Fig. 3).

Descripción

Formación Misiones: areniscas homogéneas, de granos redondeados a subredondeados, de ambiente principalmente eólico y edad Triásico/Jurásico.

Grupo Independencia

Formación Tacuary: areniscas, areniscas laminadas, siltitas y arcilitas, de ambientes principalmente marinos, calizas oolíticas y

sílex, de edad Pérmico Superior.

Formación San Miguel: arcilitas, siltitas, areniscas laminadas, areniscas de grano medio, areniscas conglomeráticas, conglomerados, formados en ambientes marinos y continentales, de edad Pérmico Medio.

Cuaternario: sedimentos de planicie fluvial húmeda, principalmente arcillosos, no consolidados.

El Grupo Independencia

Este grupo se manifiesta en el borde occidental de la cuenca del Paraná, en una faja estrecha, alargada y restringida en el centro de la Región Oriental del Paraguay. Uno de los primeros autores en describir a esta unidad fue Harrington (1950), quien la denominó *Serie Independencia*.

Se describe como una secuencia alternante de areniscas de grano fino, lutitas y limolitas. Se observan también areniscas calcáreas y oolitas en ciertos sectores. Una fase fluvial, está compuesta por depósitos, posiblemente de ambientes marinos, influenciados por grandes ríos y deltas. Las variaciones observadas en los sedimentos estudiados atestiguan cambios

rápidos de ambientes depositacionales (Anschutz Co., 1979).

Este grupo está integrado por la Formación San Miguel, datada en el Pérmico Inferior a Medio, y en contacto inferior con los depósitos glaciales del Carbonífero, y la Formación Tacuary, del Pérmico Superior, cuyo techo toma contacto con los depósitos eólicos del Triásico (Proyecto PAR, 1986).

Formación San Miguel

El Grupo Independencia se inicia con la Formación San Miguel, con 150 metros de espesor de areniscas feldespáticas de grano medio, de color amarillo-marrón o rosáceo con estratificación cruzada. Este nivel es cubierto por 50 metros de arenisca arcillosa finamente laminada de color marrón claro, en alternancia con capas de arcilitas amarillentas-grisáceas (Harrington, 1956).

Putzer (1962) separó el Grupo Independencia en dos unidades: el Pérmico Inferior, constituido por areniscas arcóscicas con un espesor de 400 metros; y las facies de Serra Alta, constituidas por estratos delgados de areniscas arcillosas y lutitas arcillosas de color verde, gris, parduzcas y violetas

La Formación San Miguel se compone por arcilitas, limolitas y areniscas intercaladas. Esta formación suprayace a la Formación Coronel Oviedo y es cubierta por la Formación Tacuary. Sus tonalidades prominentes son amarillentas, castañas, verdes o grises, en donde el material psamítico constituye el 57%, heterolitos 29% y pelíticos 15%, con estratificaciones tabulares en contactos planos (Andreis et al., 1990).

Este ambiente depositacional corresponde a sedimentos fluviales, deltaicos, lacustres y marinos someros, de los cuales Orué (1996) los ha zonificado por regiones, en donde la zona del recorrido coincide con la región Centro-Oeste (Coronel Oviedo), con características que indican facies de depósitos deltaicos con influencias marinas (Orué, 1996). El espesor litológico oscila entre 20 y 100 metros

(Proyecto PAR, 1986).

En la Formación San Miguel se identifican facies depositacionales continentales y marinas, por su contenido en palinomorfos. Estos ambientes varían en pulsos transgresivos-regresivos suaves, representados por arcilitas, siltitas y horizontes con nódulos de arcilla (Geoconsultores, 1998).

González (2000) identificó una secuencia de areniscas interestratificadas con arcilitas, conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas, areniscas con estratificación acanalada, areniscas cuarzosas finas y areniscas de dunas eólicas (estas últimas denominadas como Miembro Saingó).

La ausencia de cadilitos (*dropstones*) indica una depositación post-glacial, y en su contacto superior esta unidad es transicional (González et al., 2001).

Formación Tacuary

Putzer (1962) denominó Formación Serra Alta a la Formación Tacuary, y señaló que está constituida por una alternancia de areniscas arcillosas, lutitas verdes, grises, parduzcas o violetas, como así también, siltitas rojas y lutitas de color ladrillo.

Esta formación está compuesta por una sucesión rítmica de siltitas, lutitas, areniscas de grano fino y calcáreas, generalmente oolíticas. Comprenden rocas depositadas en un ambiente marino costero de aguas poco profundas o indican un ambiente sedimentario cercano a una orilla marítima, en una paleolínea de costa de tierra emergida, poco elevada y estable. (Proyecto PAR, 1986). Parece representar condiciones marinas más someras, hasta su continentalización definitiva (Andreis et al., 1990).

Según Geoconsultores (1998), las facies sedimentarias que constituyen la Formación Tacuary son del tipo playas de bahías marinas, seguidas por su continentalización en sus niveles superiores en forma de sistemas deltaicos, incluso de ambientes eólicos.

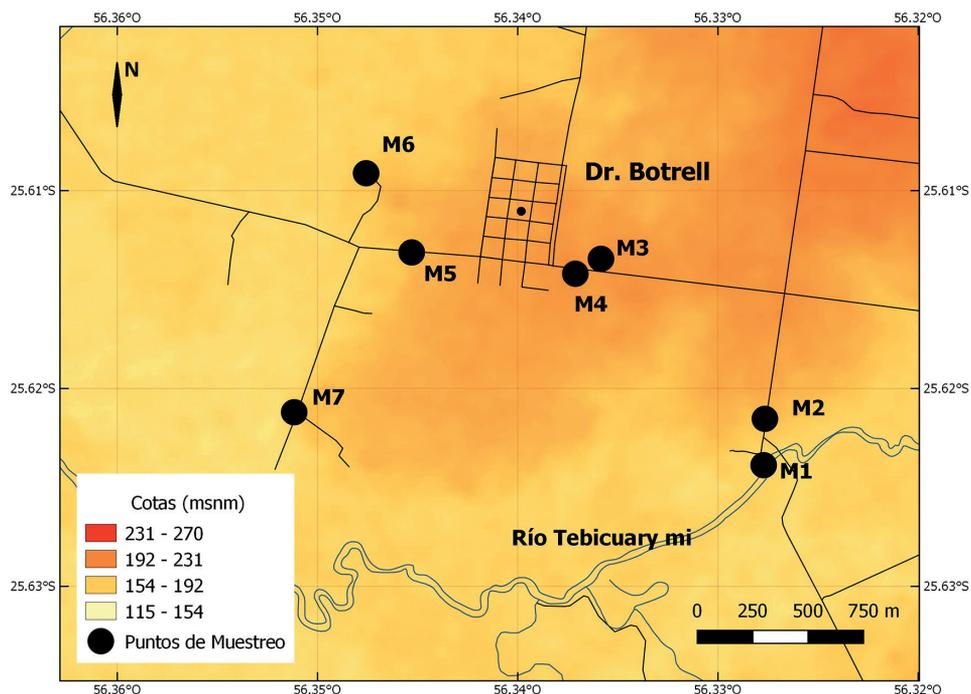


Figura 4. Puntos de muestreo.

Asimismo, se destaca el carácter reductor en su base, y oxidante en su techo, en donde se verifican litologías del tipo arcilita, siltita, areniscas y margas, que aparecen en forma muy cambiante, sea tanto vertical como lateralmente.

Esta unidad se destaca por su contenido predominante de sedimentos finos a muy finos, superponiéndose a los depósitos de la Formación San Miguel, en una secuencia de areniscas, siltitas y arcilitas de diversa coloración en donde la granulometría decrece hacia su contacto inferior. Precipitados en forma de sílex y chert son característicos de esta unidad (González, 2001).

Esta secuencia está constituida por areniscas intercaladas con arcilitas, areniscas, siltitas y arcilitas, y sedimentos calcáreos oolíticos intercalados con arcilitas (González, 2001)

Tectónica

Con la apertura del Océano Atlántico Sur se produce una reestructuración de la cuenca

del río Paraná a partir del Triásico (Putzer, 1962. En: González et al., 2001), en un sistema distensional de fallas normales con una dirección general noroeste/sureste. Esta estructura se conoce como *rift* o cuenca tectónica de Asunción (Degraff y Orué, 1984. In: González et al., 2001). Las localidades estudiadas se enmarcan en el interior del mencionado *rift*.

Descripción de las localidades y secuencias estudiadas (Fig. 4)

Punto de Muestreo #1

-25.626485° ; -56.328938°. Cota 134 m s.n.m.

Dirección de los Estratos: NNO – SSE

Inclinación: 6°

Dirección de Inclinación: OSO – ENE

Diaclasas según: 1. NNO – SSE 2. ENE – OSO 3. ONO – ESE

Limolita arcillosa negra (Fig. 5D), algo micácea y muy silicificada. Según Pettijohn (1970) podría tratarse de una limolita lutítica

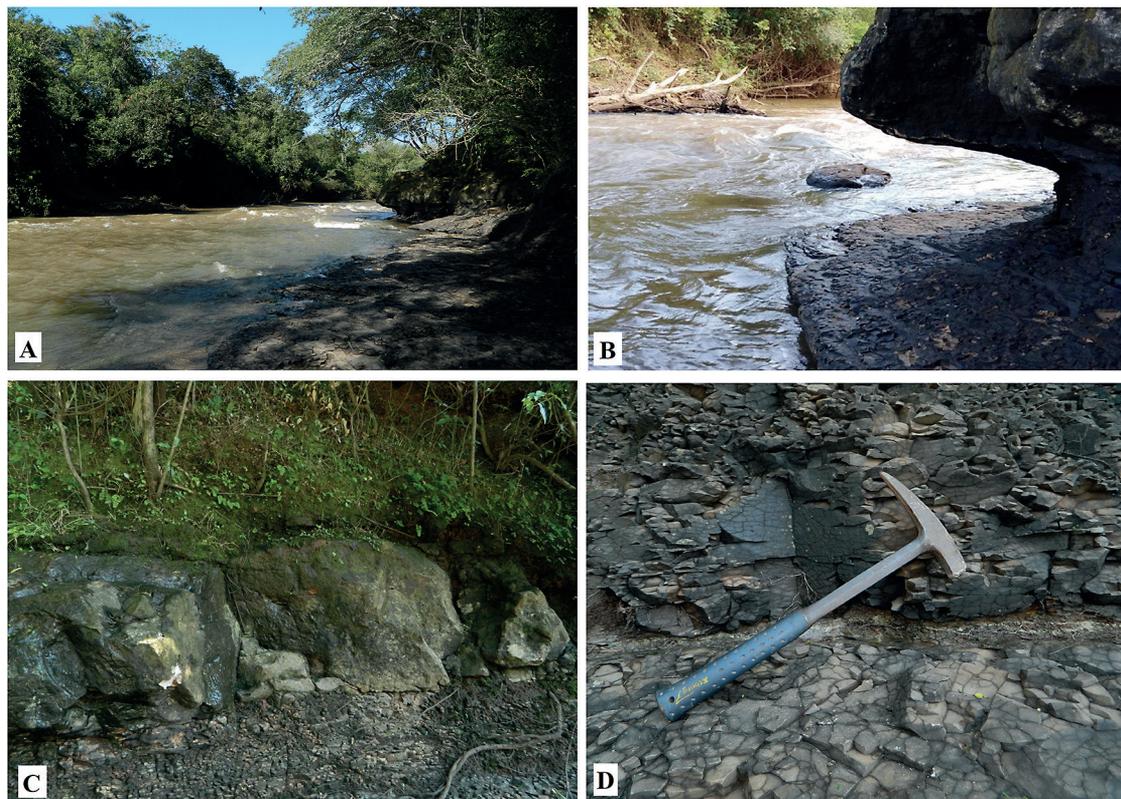


Figura 5. Punto de Muestreo #1. **A)** Exposición de rocas causada por erosión del río Tebicuary mi. **B)** Hendidura en interfase de areniscas y limolitas por denudación fluvial. **C)** Zona de contacto del Permo-Carbonífero. Sucesión de limolitas (Carbonífero, de la Formación Coronel Oviedo) con estratos de areniscas (Pérmico, de la Formación San Miguel) cubierto por suelos transportados con abundante materia orgánica y transportado. **D)** Limolitas con cuñas de arcilitas blancas de escaso espesor.

debido a su condición de fragmentación completa según planos de fisilidad. Su condición de silicificada podría relacionarse con rocas del magmatismo del Cretácico, evidenciado en pozos de prospección de agua subterránea (SENASA, 2005).

Según Wiens (en Anschutz Company, 1979), en los pozos exploratorios existe un intervalo constituido por limolita-lutita negra de amplio despliegue en la base del Grupo Independencia; y a su vez, Hutchinson *et al.* (en Anschutz Company, 1979), reportaron la misma litología en la base del Permo-Carbonífero Superior, con destaque de sus propiedades radiactivas y su alto contenido en materia orgánica.

Esta unidad se expone al menos con un

espesor que supera 1.0 metro, a orillas del río Tebicuary mi (Fig. 5A) y se proyecta hasta profundidades indefinidas. Alternante y con ritmos bastante espaciados con el mismo material, se han identificado al menos tres capas de arcilitas blancas poco consistentes de aproximadamente 10 centímetros de espesor en forma de cuña, atenuándose hacia el oeste hasta desaparecer (*pinching-out*). Una de estas capas se encuentra entre la siltita negra y la arenisca suprayacente. Esta secuencia podría representar a una facies transgresiva, en la cual se ha comprobado su carácter diaclasado según tres orientaciones dominantes.

Estas descripciones coinciden con lo expresado en el trabajo de Geoconsultores

(1998), en donde se define al techo del Carbonífero Superior como transgresivo y con elevados niveles de radiactividad. Gómez Duarte (2019, com. pers.) y Spinzi (2019, com. pers.) señalaron a este estrato de limolita negra como la última facies dentro del periodo Carbonífero en la Región Oriental del Paraguay, denominada localmente como Formación Coronel Oviedo, cuyo origen es glacial (continental/marino), y que podría ser considerado como un horizonte guía, dado su amplio despliegue regional.

Inmediatamente, siguiendo la sucesión estratigráfica, se sitúa una arenisca limo-arcillosa de grano muy fino (Fig. 5C), de color amarillento a ocre muy claro, con sectores de hematita, limonita/goethita, micácea, con algo de feldespato y carbonato; subordinadamente, aparecen minerales máficos y pirolusita en forma de manchas en la matriz. Presenta buena selección mineralógica y mala selección granulométrica, con buena cementación y diversidad de grados de redondez. Se lo describe como un sedimento inmaduro en una facies intermareal, de somerización de ambiente marino.

Este estrato de arenisca se expone con aproximadamente 80 centímetros de espesor, es masivo, y descansa en su base sobre las siltitas negras, paralelamente, con una suave inclinación hacia el suroeste. En su techo limita con suelos transportados con abundante materia orgánica de color marrón oscuro y poco desarrollados.

Las limolitas negras fueron depositadas y luego tectonizadas según las direcciones ENE-OSO y ONO-ESE. En forma posterior a la tectonización, las areniscas fueron depositadas, y luego la secuencia completa basculó hacia el OSO-ENE, y nuevamente dislocada según NNO-SSE, este último evento durante el periodo Cretácico. No se puede aún precisar en qué orden ocurrieron el segundo y el tercer evento.

Cabe señalar que este despliegue litológico

es posible visualizarlo debido al efecto erosivo del río Tebicuary mi, por encontrarse en su flanco. Resulta bastante llamativo en el lugar la geoforma semejante a un pico, por incisión lateral (Fig. 5B), desarrollado por el accionar erosivo fluvial, en el preciso contacto de la limolita negra con la arenisca. Se trata de un aspecto geomórfico muy interesante y notable, digno de ser estudiado. Se presupone al poder erosivo del río como variable en función de sus fluctuaciones de caudal, siendo mínimo en tiempos de estiaje, y máximo en las estaciones del año con mayor pluviosidad regional.

Según observaciones e interpretaciones, además de consultar varios trabajos y a profesionales con experiencia y recorrido en la región, se argumenta aquí que el sitio muestreado corresponde a una zona de contacto entre el Carbonífero Superior y el Pérmico Inferior. La limolita negra representa al techo del Carbonífero (Formación Coronel Oviedo), y la arenisca a la base del Pérmico (Formación San Miguel). Según Gómez Duarte (2019, com. pers.), la arenisca blanca sólo se manifiesta en la Formación San Miguel y no en la Formación Tacuary. Agregando a lo anterior, el mismo investigador señaló la presencia de carbonatos en la matriz de la arenisca base del Pérmico, y que efectivamente fue comprobado por medio de la efervescencia de algunos minerales al reaccionar al contacto con el ácido clorhídrico. Habiendo observado esto, se reconoce a la Formación San Miguel pero en reducida expresión con respecto a otras localidades.

Punto de Muestreo #2

-25.624380° ; -56.328890° Cota 147 m s.n.m.

Subiendo por el camino vecinal hacia el poblado de Dr. Botrell, se identifica en un flanco una exposición de areniscas (Figs. 6A y B) cuya descripción es la siguiente: de grano fino arcillosa, rojiza y masiva, de buena selección mineralógica y granulométrica; moderadamente cementada (friable),

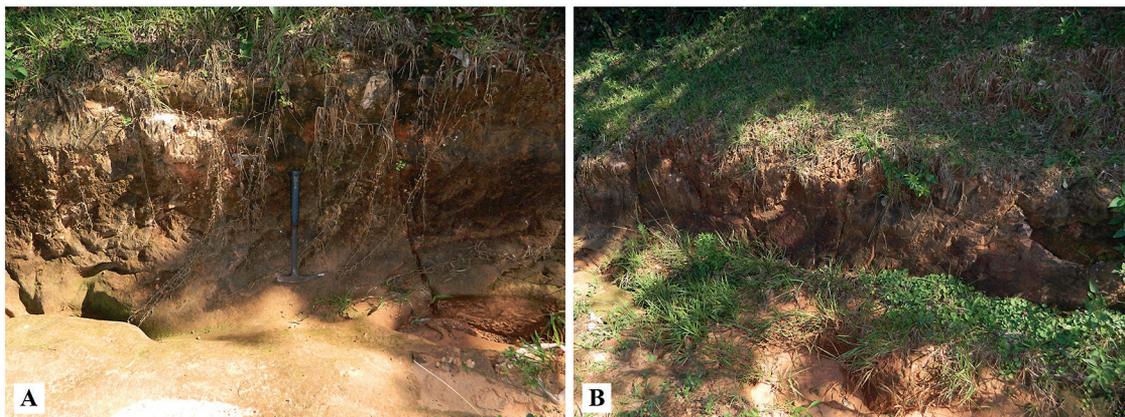


Figura 6. Punto de muestreo #2. **A)** Exposición de areniscas rojas en las cotas inmediatamente superiores al punto de muestreo #1. Se localiza en uno de los flancos del trayecto Natalicio Talavera – Dr. Botrell muy cercano al río Tebicuary mi. **B)** El afloramiento es visible gracias al destape para la construcción del tramo vial y también por procesos erosivos de escorrentía pluvial, debido a su marcada pendiente en dirección al río y forma acanalada. Se encuentra superpuesto por suelos residuales lateríticos.

muy porosa, con clastos angulosos, sub-angulosos, sub-redondeados y redondeados, de composición muy feldespática.

Su coloración rojiza (Fig. 6A) se debe al precipitado fino de hematita distribuido de forma homogénea en su matriz, y partes concentrados en forma de venillas. También se verifica mica, con cantidades en menor proporción de minerales máficos y fragmentos líticos. Sedimento inmaduro con ligero incremento del tamaño granulométrico en relación a los materiales clásticos muestreados en el punto de anterior, lo cual se interpreta como una prosecución de la facies regresiva en el Pérmico.

Punto de Muestreo #3

-25.617082° ; -56.336222°. Cota 167 m s.n.m.

En las cercanías del poblado de Dr. Botrell, en una propiedad privada y en un lugar topográfico de mayor elevación en relación a los anteriores puntos de muestreo, se reconoce exposición de las mismas areniscas observadas en el anterior lugar de muestreo; con la salvedad que estas areniscas se encuentran completamente diaclasadas, con un efecto de seccionamiento del tipo enrejados paralelos

en la roca; en forma de pequeños bloques prismáticos y rectangulares (Figs. 7A y B); hecho que ha sido reconocido en muchos otros lugares de exposición en rocas sedimentarias del Pérmico Superior.

Según Cubas (2018, com. pers.) esta estructura se debe a un producto de descompresión. Se refiere a una meteorización mecánica, en donde el material es fragmentado en trozos de menores dimensiones por eliminación de carga litostática, conservando sus características químico-mineralógicas originales.

Este proceso ocurre cuando se elimina la presión de confinamiento de la roca y se producen fracturas por expansión del tipo diaclasas (Tarbuck y Ludgens, 2005). Este hecho en particular sugiere un anterior posicionamiento en sub-superficie del macizo rocoso, siendo exhumado por procesos erosivos de alcance regional en tiempos geológicos subsiguientes, probablemente durante el Cenozoico.

En el mismo lugar se observaron fragmentos terrosos dispersos de concreciones de hierro (Fig. 7A) levemente magnéticos y suelos lateríticos rojos (residuales) en contacto

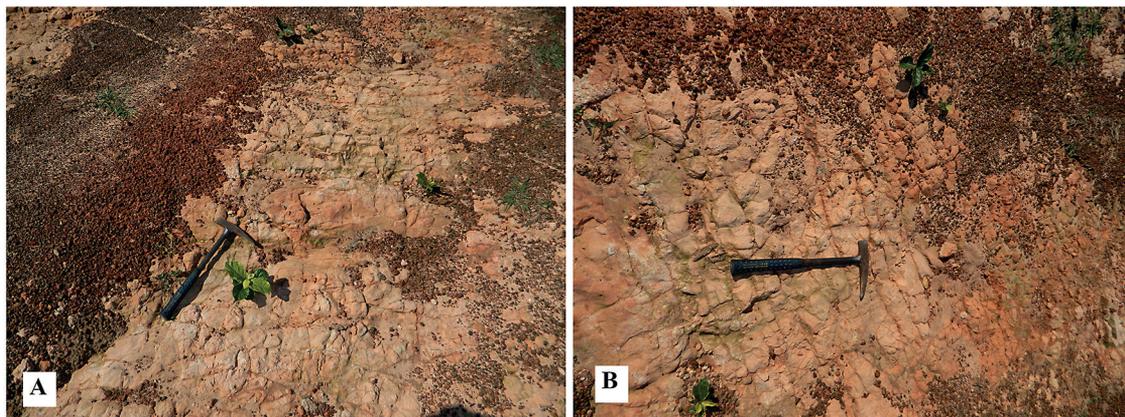


Figura 7. Punto de muestreo #3. **A)** Exposición de areniscas rojas diaclasadas. **B)** Se localiza en una propiedad privada muy próxima al centro del poblado de Dr. Botrell, recubierto parcialmente por clastos de concreciones de hierro y suelos lateríticos.

inmediato con las areniscas. Existe evidencia de antigua extracción de materiales litológicos en el sitio.

Punto de Muestreo #4

-25.617761° ; -56.337407°. Cota 170 m s.n.m.

Dirección de Estratos: NNO-SSE

Inclinación: < 5°

Dirección de Inclinación: ESE – ONO

En uno de los flancos del acceso principal al centro urbano de Dr. Botrell, se verifica la misma arenisca roja identificada en el punto anterior en secuencia con un estrato de concreción de hierro de aproximadamente 70 centímetros (Fig. 8A). Las areniscas se separan de las concreciones de hierro por una delgada junta estilolítica, rellena con una segregación de material fanítico disgregable indiferenciado (magadiita?) de color blanco lechoso (Fig. 8A). Los estratos se inclinan suavemente hacia el ESE-OSO.

El componente litológico estratificado, integrado por precipitados de hierro (*ironstones*), se describe como concreciones en forma de racimos de aspecto pisolítico/espastolítico soldadas entre sí, con el hierro en su estado de oxidación Fe^{+3} , constituido por hematita predominante, y subordinadamente

magnetita, con algo de material terroso rojizo, adheridos alrededor de las superficies de las concreciones sin mucha fuerza cohesiva. La naturaleza de dichos minerales se identifica por el color pardo oscuro típico de la hematita, y el negro de la magnetita; en este último también se comprueba leve magnetismo.

Los compuestos férricos son notablemente insolubles; sin embargo, cuando las condiciones de Eh y pH son ideales, precipitan como minerales. Aquellos que contienen estructuras (oolitas o gránulos) o revelan una asociación (granos de cuarzo) señalan un ambiente turbulento en ambientes aeróbicos (Pettijohn, 1980).

Estos precipitados, en el presente, se observan en latitudes medias a altas, en donde los terrenos son lacustres o palustres y el hierro proviene como producto final de meteorización tropical a sub-tropical de relieves bajos con gradientes de sedimentación reducidos de material siliciclástico o carbonático. Así también se explica, por infiltración de aguas ácidas subterráneas en lagos oxigenados, bañados o pantanos, modificándose así los valores de Eh y pH, precipitándose de esta manera los iones de hierro como compuestos, que anteriormente se encontraban en estado coloidal (Tucker, 2001).

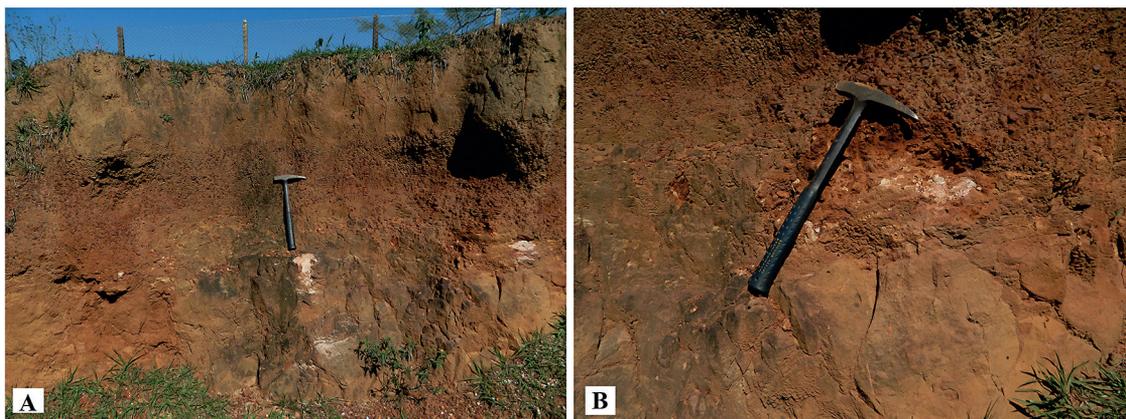


Figura 8. Punto de muestreo #4. **A)** Secuencia litoestratigráfica visible en un flanco del acceso principal al poblado. En la base, areniscas rojas semejantes al afloramiento del punto de muestreo #3 (Figura 6), seguido de una estilolita con relleno de fanita de color blanco. Inmediatamente por encima, una capa de concreciones de hierro de aproximadamente 70 centímetros. **B)** Junta estilolítica (color blanco) interponiéndose entre las areniscas rojas y el estrato de concreciones de hierro. El material fuente de relleno de estilolita se presupone proveniente del estrato superior, en donde la sílice fue precipitada con los minerales férricos en los ambientes lacustres/palustres y posteriormente, su excedente resultó diferenciado por tectonismo.

De lo anteriormente expuesto se argumenta lo siguiente, con respecto al estrato de precipitado férrico observado en el punto de muestreo #4:

1. El depósito de concreciones de hierro se interpreta como una consolidación del ambiente continental en el Pérmico, de facies tipo lacustre y palustre, determinado así por la estructura del precipitado químico.
2. El predominio de hematita señala un ambiente oxidante, que posteriormente se torna algo reductor, señalado esto por la conversión de hematita a magnetita, siendo este último de mayor estabilidad en ambientes reductores (Tucker, 2001). Con mucha probabilidad esto se produjo luego de la precipitación de la hematita en los fondos de los lagos o pantanos.

Estilolitas

Las juntas estilolíticas son fundamentalmente estructuras sedimentarias en forma de superficies marcadas por entrelazamiento de los dos lados constituidos por precipitados insolubles y residuales. Tienen aspecto de oscilograma, y son muy comunes en ciertos tipos de roca. Se producen por un fenómeno de disolución post-depositacional o presión de la roca consolidada. En condiciones normales, las estilolitas se desarrollan perpendiculares al campo gravitatorio, y orientadas en referencia a las presiones tectónicas (Pettijohn, 1980).

Gratier (1987) distinguió dos tipos de génesis para las estilolitas:

1. Diagenéticas. Se desarrollan por diferenciación intraestratal como proceso diagenético, y
2. Tectónicas. Un segregado químico en respuesta a un esfuerzo tectónico. El mismo autor señala una discriminación entre ambos tipos de estilolitas teniendo en consideración la amplitud de sus oscilaciones: las de mayor

amplitud en virtud de las alturas de las formas de onda son de origen diagenético; y aquellas de poca amplitud son de origen tectónico, con el tamaño de las ondas del mismo orden del tamaño de los clastos. El observado en el punto de muestreo #4, por sus características, es del tipo tectónico.

Pettijohn (1980) también mencionó la roca fuente de la junta estilolítica, del cual es condición una homogeneidad química para que ocurra la diferenciación. De lo anteriormente expuesto, se deduce que luego de la depositación de las areniscas rojas, siguió el de las concreciones de hierro (Fig. 8B), y a éstos, otros estratos que ejercieron presión y consecuente segregación de ftanita que conformó las estilolitas (Fig. 8A), proveniente de la sílice coloidal de depositación concomitante con los óxidos férricos que conforman las concreciones de hierro y no de las areniscas “sucias” infrayacentes. Para el Pérmico, Geoconsultores (1998) reconocieron abundantes formaciones estilolíticas como efectos de compactación y removilización

inicial.

Estos estratos que ejercieron presión para la diferenciación química y desarrollo de las estilolitas se supone que ya no se encuentran en el lugar, y se los interpreta como denudados en un proceso erosivo regional más reciente. Este argumento condice con lo expresado en cuanto al desarrollo de prismas rectangulares por descompresión mecánica observado en el punto de muestreo #3.

Punto de Muestreo #5

-25.616824° ; -56.344732°. Cota 150 m s.n.m.

En cotas inferiores a las areniscas rojas, se encuentra un estrato masivo y potente de arcilita limosa (Fig. 9A), algo arenosa, de color blanco grisáceo, de moderada cohesión, teñidas en zonas por colores rojo (hematita), amarillo (goethita/limonita) y morado (bornita?) (Fig. 9B), que representan precipitados químicos de óxidos de hierro y probablemente sulfuros de ambientes continentales como minerales lixiviados de estratos suprayacentes. Se comprueba un fuerte gusto astringente (seco y amargo) en la muestra, propiedad organoléptica que podría indicar presencia de sulfatos.

Este estrato de arcilita se inclina hacia el

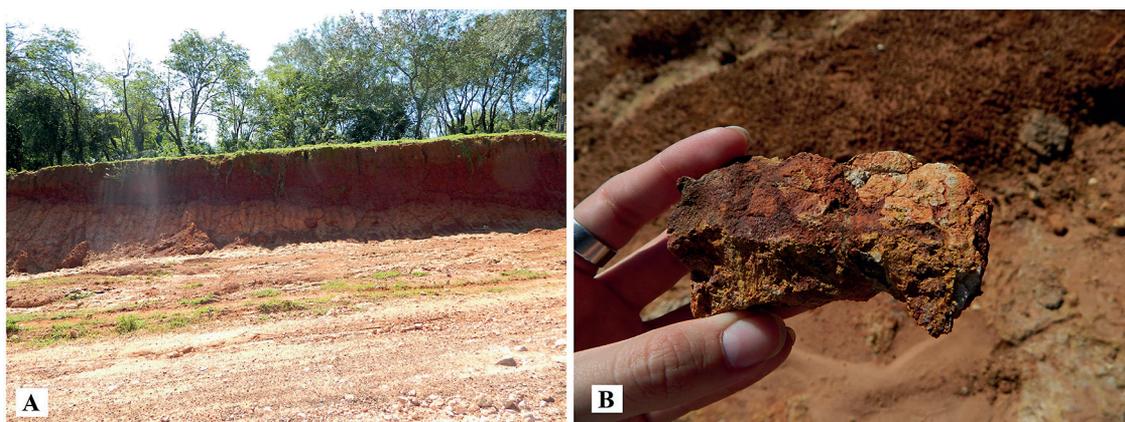


Figura 9. Punto de muestreo #5. **A)** Estrato de arcilita blanca cubierto por suelos lateríticos. Con el mismo buzamiento que las areniscas rojas de los puntos de muestreos anteriores (Figuras 7 y 8). Este nivel litológico es posible ser reconocido debido al destape para construcción del acceso principal del poblado. **B)** En sectores, esta arcilita blanca se observa coloreada por óxidos de hierro probablemente post-diagenéticos provenientes de las rocas inmediatamente superpuestas.

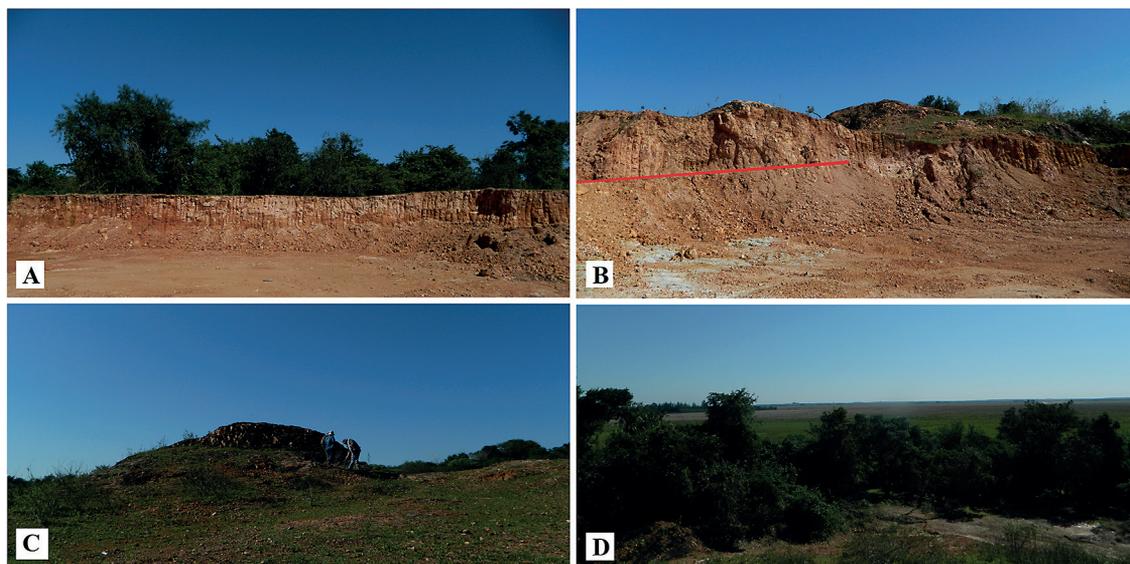


Figura 10. Punto de muestreo #6. Situación general de la cantera. **A)** Frente de cantera (1). Sucesión de areniscas y arcillitas. **B)** Frente de cantera (2). Gran cantidad de material litológico ha sido consumido y la cantera sigue activa. **C)** Sector superior de cantera conformada por areniscas muy silicificadas. La línea roja señala contacto litológico entre arcillitas (inferior) con areniscas y limolitas (superior). **D)** Contacto inmediato de cantera con las planicies de inundación del río Tebicuary mi. Este punto es una de las interfases fisiográficas de la zona, a partir del cual se inicia la serie de ondulaciones y terrenos elevados que se prolongan hacia el depocentro (este) en la cuenca del Paraná.

ESE-OSO (Fig. 9A), en coherencia con las areniscas rojas muestreadas en los lugares anteriores, de lo cual se deduce de que estos estratos fueron sometidos al mismo régimen tectónico.

Punto de Muestreo #6 (Cantera)

-25.613040° ; -56.346748°. Cota 143 m s.n.m.

Este lugar fue originalmente designado como uno de los objetivos de visita, al reconocer una superficie desprovista de vegetación y de forma circular por medio de imágenes satelitales disponibles en la red. Aunque no se ha recorrido la totalidad de la geografía del distrito de Dr. Botrell, se supone aquí que éste sea uno de los pocos sitios (o el único) donde en el presente existe actividad de extracción de rocas para fines civiles. Se comprueba una cantera muy depredada (Figs. 10A, B y C).

Dicha cantera es una loma ubicada en el inicio de los terrenos de mayor relieve, en relación a

a las planicies de inundación del río Tebicuary mi, y que se prolongan hacia el este. Al oeste, colinda con dichas planicies, que se encuentran cubiertas por sedimentos húmedos (Fig. 10D) y desplegadas en las zonas topográficamente bajas, principalmente en los márgenes del río Tebicuary mí y sus afluentes. Estos sedimentos provienen del transporte de productos de alteración de las rocas circundantes que fueron redepositadas, rellenando los terrenos llanos. Las mencionadas extensiones se constituyen por materiales arcillosos y abundante materia orgánica (González et al., 2001).

Así también, al ubicar su posicionamiento geográfico y geológico, se observa su disposición al extremo de un apéndice proveniente de las elevaciones orientales, en donde las manifestaciones rocosas se exponen en mayor número y que fueron señaladas como del Pérmico. Se propone que la loma aludida es un relicto erosivo, habiendo permanecido como tal por el carácter silicificado (tal efecto

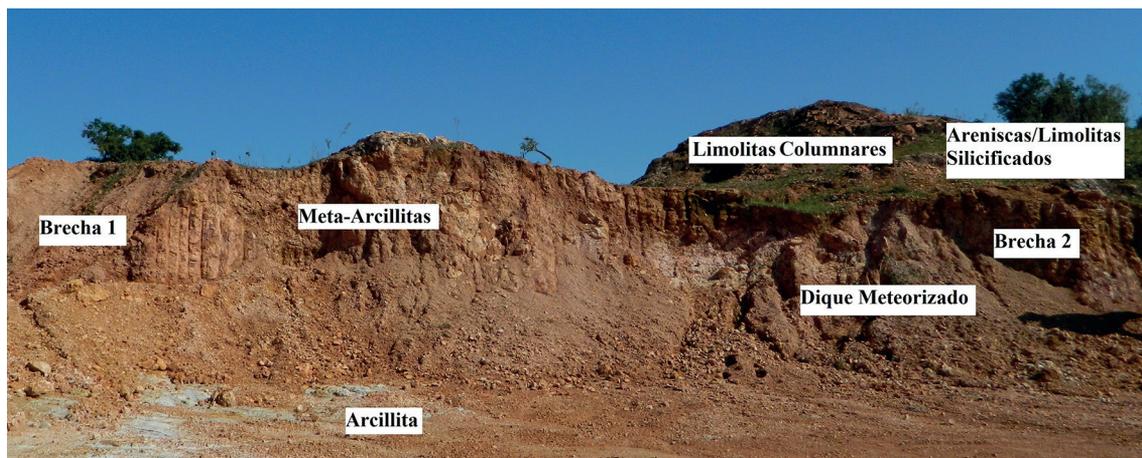


Figura 11. Sección transversal de cantera. Sucesión inclinada de arcillitas, limolitas y areniscas con intrusión ígnea, completamente meteorizada.

torna resistente a las rocas) de la mayoría de las rocas que la integran.

La riqueza geológica del lugar es digna de destacar, y se describe inicialmente como una sucesión de estratos arcilíticos (en la base) y limolíticos que buzanan suavemente hacia el este (Fig. 10B), similar a los puntos de muestreo inmediatamente anteriores que fueron descritos; con fracturas muy claras en sentido NNO – SSE (ciclo tectónico Sudatlántico) y OSO – ENE, siendo ambas líneas de fractura rodeadas y rellenadas por brechas tectónicas. En una de las fracturas se verifica una intrusión ígnea, probablemente de carácter alcalino, meteorizada a arcilla rellenando la línea de quiebre. El perfil litológico de la cantera se detalla en la Fig. 11.

El ascenso del cuerpo ígneo tuvo sus efectos en las rocas circundantes, silicificando por contacto a los estratos de arcillitas, limolitas y areniscas en sus arrimos laterales inmediatos. En la porción superior de la loma, cuya litología se compone principalmente por areniscas rojas del tipo lugares de muestreo 2, 3 y 4. Se ha comprobado silicificación, meteorización por hidrotermalismo y el desarrollo de minerales asociados a ese ambiente en la matriz de las areniscas, modificando así su textura original en el lugar de contacto con el dique.

Así también, se mencionan planos de clivajes bien delineados, con rellenos minerales y desarrollo de disyunción columnar, del tipo Colonia Independencia, Colonia Pireca, Fassardi y muchos otros lugares similares que rodean a la cordillera del Ybyturuzú. La cantidad de limolitas con disyunción columnar es casi nula (apenas identificada), y según los indicios, ésta exposición ha sido depredada en gran manera.

Litología

1. Limolita arcillosa de color blanco (Fig. 12B), modificada por hidrotermalismo del cuerpo ígneo infrayacente, algo micácea, con precipitados aislados de minerales de ambientes oxidantes del tipo hematita y pirolusita post-diagenéticos. Se despliega en la porción superior de estratificación. En las proximidades del dique se reconoce disyunción columnar en materiales limosos (Fig. 12D); limolitas con desarrollo de planos de clivaje micro-ondulados con relleno mineral de color negro del tipo pirolusita (Fig.

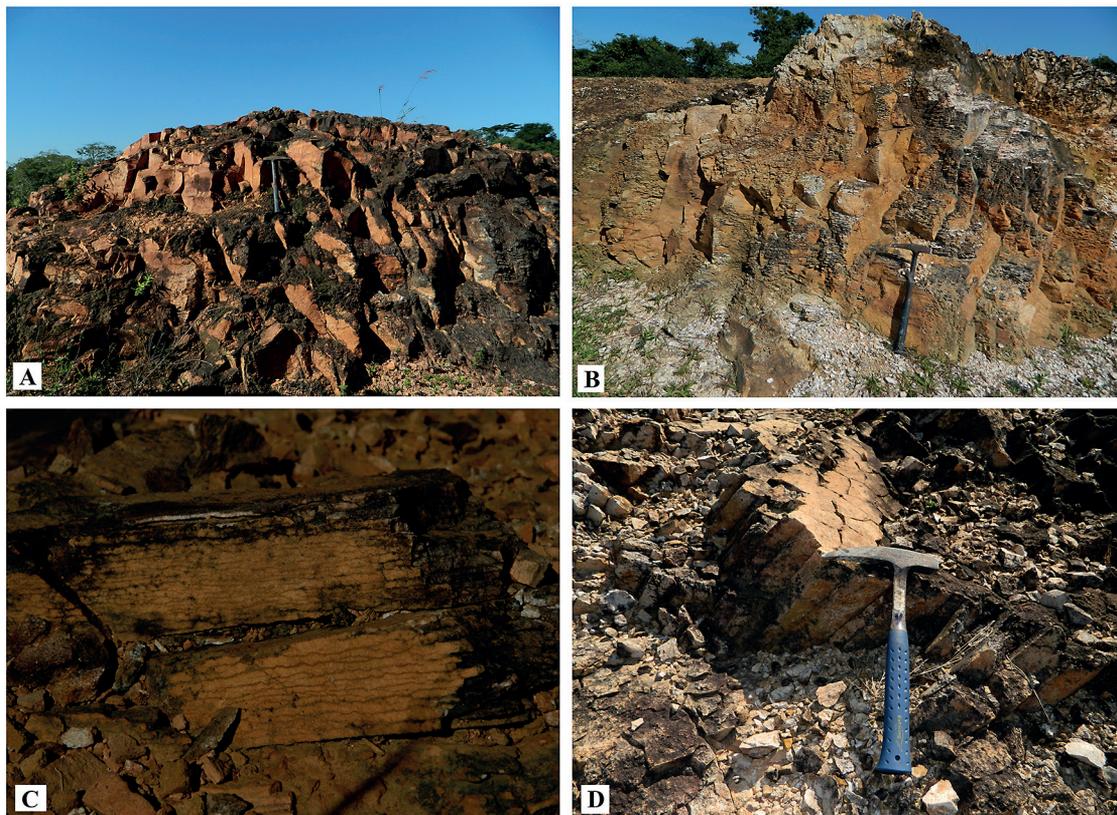


Figura 12. Litologías en la cresta de la cantera. **A)** Arenisca arcillosa muy silicificada. **B)** Limolita arcillosa silicificada y meteorizada. **C)** Planos de clivaje desarrollados y deformados por tensión durante la pérdida de agua. Dichos planos contienen rellenos de minerales. **D)** Limolitas columnares en escasa cantidad.

12C); limolitas astilladas según planos de fisilidad (Fig. 12B) y areniscas silicificadas rojas (Fig. 12A) periféricas en relación al foco térmico representado por el dique.

2. Arcilita blanca en la base (Fig. 13E)
3. Dique ígneo meteorizado a arcilita (Fig. 13A), de color liláceo claro con finas laminaciones de color blanco. Este cuerpo litológico ocupa el sector central de la fractura identificada (NNO – SSE) en discordancia con los estratos de arcilitas, limolitas

y areniscas, dispuesto de modo vertical. Su efecto en las rocas aledañas es muy evidente, en donde las arcilitas y areniscas fueron meteorizadas por hidrotermalismo y silicificadas lateralmente (Figs 13C y D). El color liliáceo (Fig. 13A) del producto de meteorización del dique es idéntico a aquellos que rellenan planos de fractura en el cerro Koĩ, en la cantera de areniscas columnares en Capiatá y en el promontorio Itá Pytã Punta, de lo cual se presume el carácter alcalino de la roca ígnea original; en aquellos casos

relacionados con el magmatismo de la Provincia Alcalina de Asunción, mientras éste dique en la cantera de Dr. Botrell, se vincula con la Provincia Alcalina Central (Velázquez et al., 1996).

4. Arcilita silicificada/meta-arcilita. Se dispone lateralmente con respecto al dique ígneo. Ha sido texturalmente modificada por efecto hidrotermal en el tiempo de contacto durante el ascenso y cristalización del dique (Fig. 13C). Se observa en su superficie despliegue de precipitados químicos de color negro en forma de seudofósiles del tipo dendritas, probablemente constituido por el mineral pirolusita y de origen post-diagénético.
5. Arenisca silicificada/meta-arenisca. Textura modificada por acción hidrotermal en el contacto

lateral con el dique (Fig. 13 D).

6. Brecha de falla con matriz arenosa roja (Fig. 13B) con emplazamiento OSO-ENE, con clastos angulosos y romboidales de meta-arenisca/meta-arcilita, con tamaños que no superan los 10 centímetros. Esta roca se sitúa como relleno en el plano de fractura en contacto con las meta-areniscas y las meta-arcilitas.
7. Brecha de falla con matriz arenosa color anaranjado (Fig. 13F) inmediatamente aledaño al dique ígneo meteorizado. Sus clastos se encuentran facetados y son de considerable tamaño (algunos de ellos con 30 centímetros en sus ejes principales), lo cual implica tectonismo relativamente violento. Estas brechas se disponen espacialmente reguladas por la línea de fractura NNO-SSE.

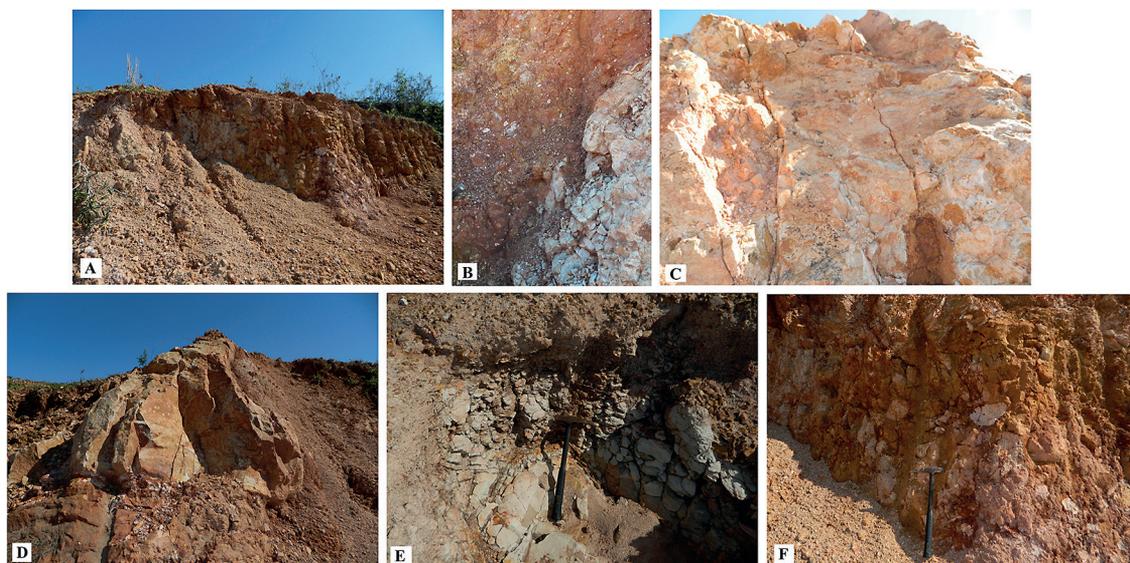


Figura 13. Litologías en el frente y la base de la cantera. **A)** Dique ígneo completamente meteorizado a material arcilloso de color lila claro. En el tiempo de su cristalización original, probablemente haya constituido un cuerpo alcalino del Cretácico. **B)** Brecha tectónica en contacto con metaarcilita. **C)** Metaarcilita aledaña a fractura **D)** Meta-areniscas muy silicificadas en zona de fractura. **E)** Arcilitas de color blanco en la base de la cantera. **F)** Adyacente al dique se verifica una brecha tectónica con bloques romboidales y facetados de considerable tamaño.

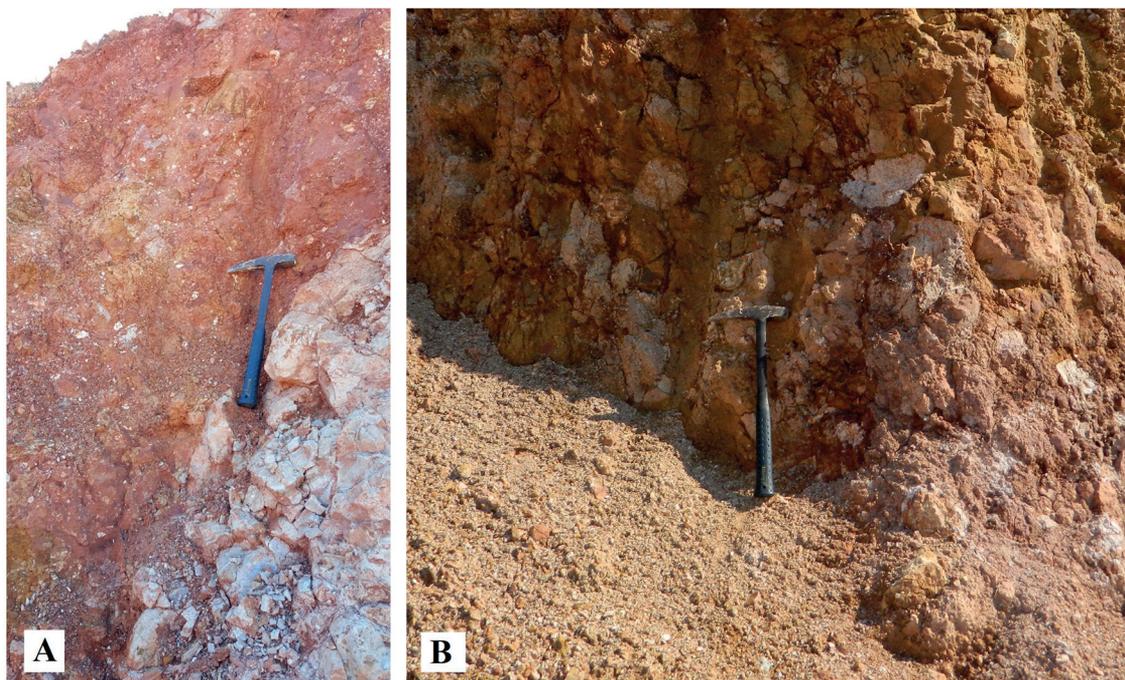


Figura 14. Brechas tectónicas/cataclásticas. **A)** Brecha tectónica en discordancia y adyacente a las meta-areniscas y meta-arcilitas. **B)** Brecha tectónica en discordancia vertical con respecto a los estratos de arcilitas y areniscas en la cantera, acompañado lateralmente por un dique meteorizado en la línea de fractura.

Brechas Tectónicas/Cataclásticas

De lo observado en el lugar, se comprueba la existencia de dos tipos de brechas tectónicas/cataclásticas (Figs. 14A y B) asociados a dos líneas de fracturas, distinguibles por imágenes satelitales. Son oblicuos entre sí en lo que hace a sus rumbos, orientados hacia el NNO – SSE y OSO – ENE. Estas estructuras son coherentes con las estructuras regionales de mayor expresión, tales como el *rift* de Asunción o el mismo río Tebicuary en su devenir zigzagueante con direcciones alternantes de ENE – OSO y SSE – NNO.

Se infiere que estos estratos reconocidos estuvieron sujetos, al menos, por dos eventos tectónicos. Esto es, por sus rumbos, así también al identificar las diferencias texturales de estas rocas, en relación al tamaño de los clastos en las brechas y sus respectivas composiciones litológicas en sus matrices.

Una de las brechas (de la fractura rumbo OSO – ENE) rellena la fractura, con sus

cataclastos facetados de litologías afines a las del lugar (meta-arenisca, meta-arcilita), rodeados de una matriz con material disgregable, de ambiente oxidante y con aspecto de laterita, de color rojo intenso (Fig. 14A).

Por otro lado, en la otra fractura (rumbo NNO – SSE) y un poco más hacia el oeste, en asociación inmediata con el dique meteorizado, se identifica una brecha con sus cataclastos de considerable tamaño, superiores en sus ejes a los de la brecha descrita anteriormente, constituidos por una matriz cuyos componentes integran rocas con precipitados químicos de color anaranjado – castaño claro (Fig. 14 B). Esta litología se sitúa inmediatamente por debajo de las limolitas columnares y de las demás que experimentaron tal modificación textural por hidrotermalismo.

El primer tipo de brecha rellena un plano de fractura sin presencia de dique ígneo. El

segundo tipo de brecha indica fracturamiento e intrusión ígnea ocupando el plano de debilidad estructural.

Punto de Muestreo #7

-25.624045° ; -56.349982° Cota 139 m s.n.m.

En la última colina, en un tramo vecinal (Fig. 15B) en dirección al río Tebicuary mí y en los asomos a las planicies de superficie húmeda (Fig. 15C) se identifica una exposición de pedernal masivo, en sus variedades ahumadas del tipo calcedónico, muy resistentes, con fractura concoidea. También se reconoció un *chert* blanco disgregable en granos muy finos (magadiita ?), acompañado en menor cantidad por un material de carácter terroso del tipo limo arenoso, con precipitados en su matriz, típicos de ambientes oxidantes (hematita como predominio, seguido por goethita/limonita y en menor proporción manchas de pirolusita) (Fig. 15A).

La presencia de concreciones de sílice amorfa (*chert*) sugiere abundancia de SiO_2 , cuya fuente proviene de las arcillitas intercaladas. Estas concreciones precipitan en condiciones tropicales de alta temperatura y con un pH superior a 8. Sus manifestaciones

son heterogéneas (Geoconsultores, 1998).

Sedimentos silíceos inorgánicos pueden formarse en lagos y cuerpos de agua efímeros, en donde existen grandes fluctuaciones de pH. El cuarzo, con su baja solubilidad en la mayoría de las aguas naturales no es afectado, hasta el momento en que el pH excede el valor de 9 y su solubilidad incrementa dramáticamente. Los minerales de cuarzo detrítico y de arcilla pueden estar parcialmente disueltos con estos elevados valores de pH, entonces el lago se sobresatura con respecto a la sílice amorfa. Prosigue con la evaporación del lago y descenso de pH, luego esto produce precipitación de gel de cristobalita, que posteriormente evolucionará en un *chert* maduro (Tucker, 2001).

La silicificación de calizas lacustrinas y marinas sin elementos biogénicos o sílice detrítico se puede tomar lugar por lixiviado, en la cual la sílice podría provenir de la disolución del cuarzo de las formaciones adyacentes (Tucker, 2001).

El primer reconocimiento de material ftaníctico en este estudio fue comprobado en el punto de muestreo #4 (Figs. 8A y B), en donde la junta estilolítica se encuentra rellena por un material en forma de precipitado químico con

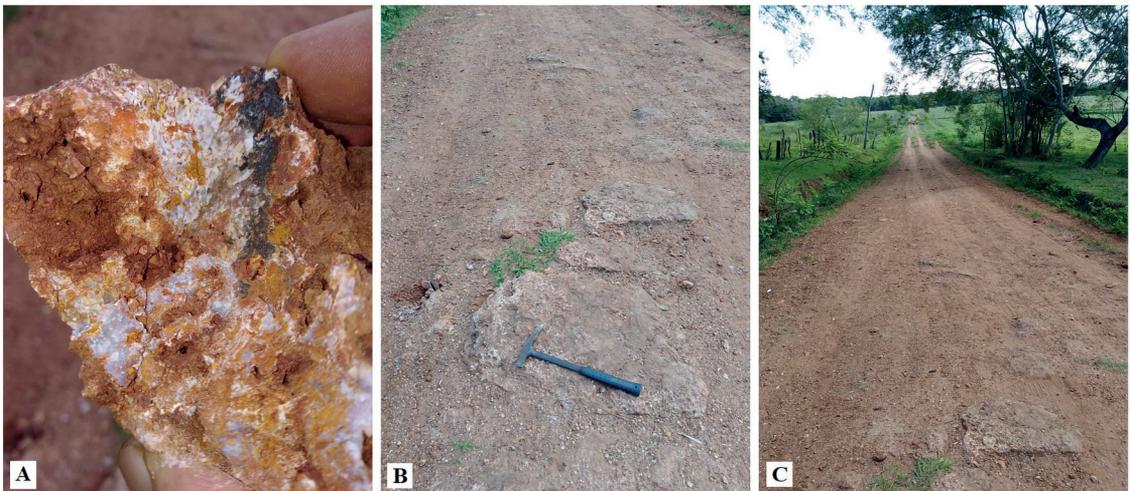


Figura 15. Punto de muestreo #7. Exposición de pedernal. **A)** Sílice en forma de pedernal con óxidos de hierro y manganeso. **B)** Yacencia del pedernal en un camino vecinal. **C)** Colina conformada por pedernal en los asomos inmediatos a las planicies de inundación del río Tebicuary mí.

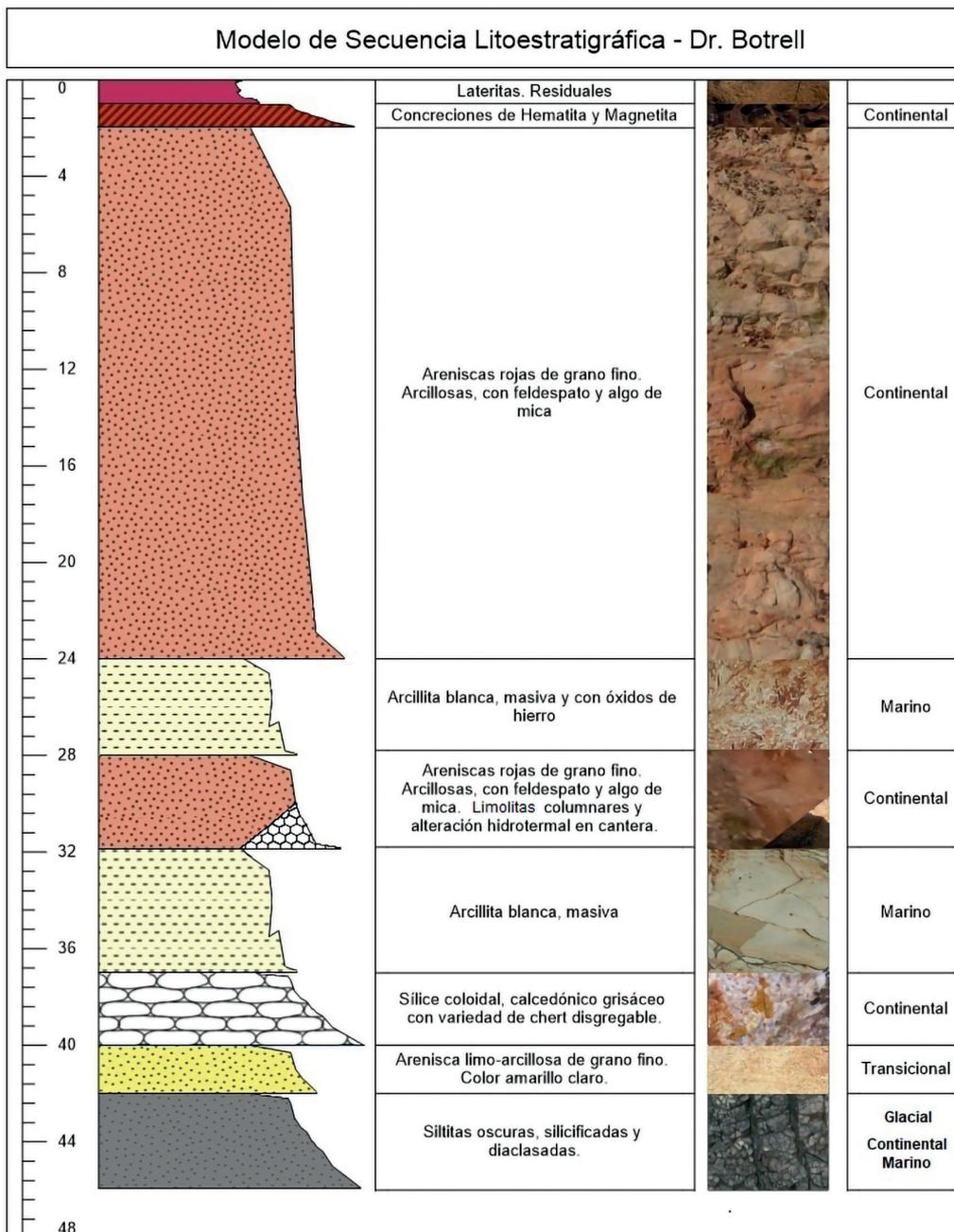


Figura 16. Interpretación de la secuencia litoestratigráfica en base al muestreo en función de sus cotas. Facies transgresivas y regresivas se evidencian por las litologías.

las características del mineral acompañante del cuarzo calcedónico de color gris. Nos referimos aquí al precipitado de granos microcristalinos de color blanco, muy disgregables, que podría

tratarse de una variedad de *chert* denominada magadiita, la cual se describe como un silicato de sodio hidratado metaestable, sujeto a ser posteriormente transformada en pedernal

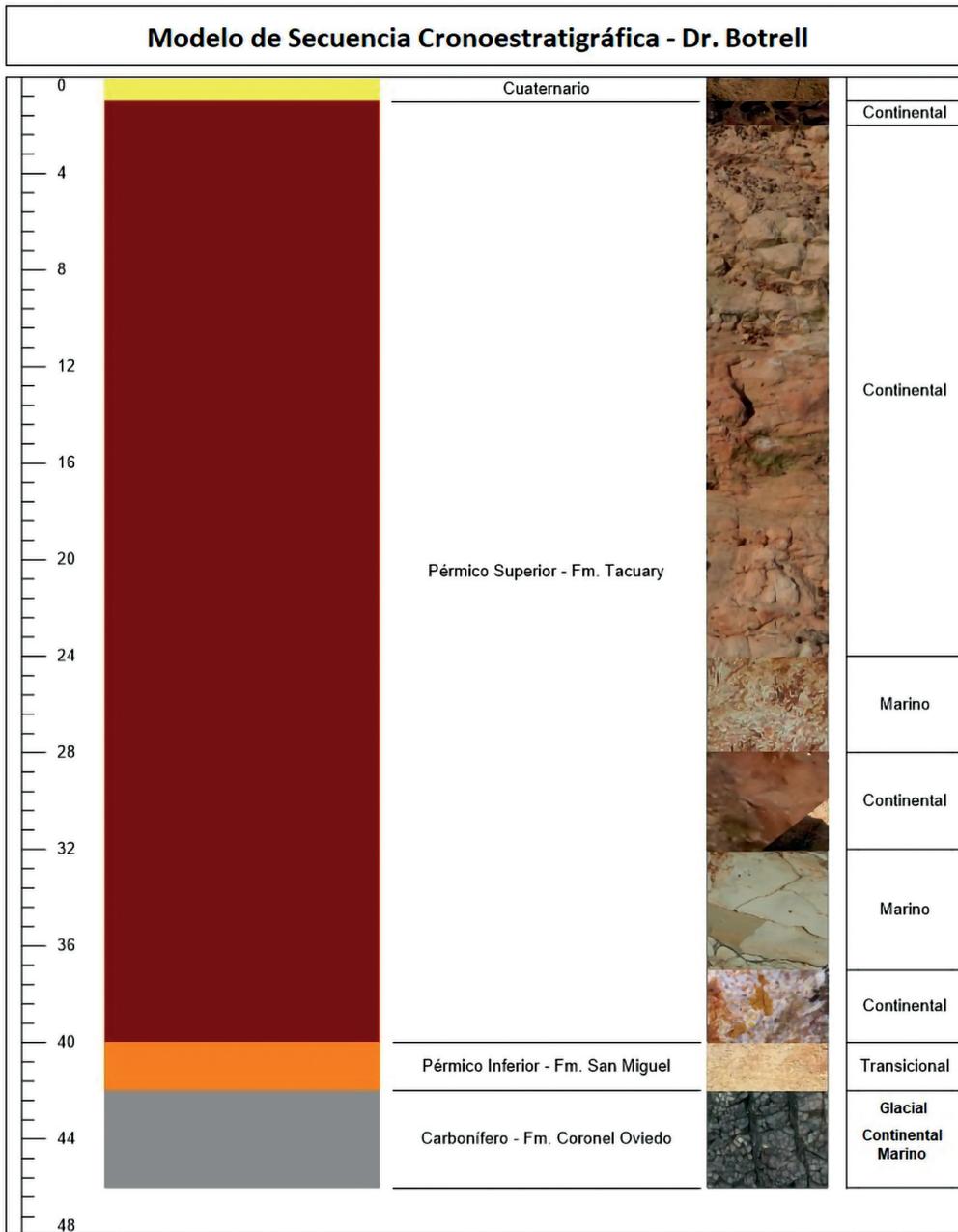


Figura 17. Unidades geológicas del Permo-Carbonífero que fueron reconocidas.

(Tucker, 2001).

Este punto de muestreo es coherente y relacionable con el punto de muestreo #4, en donde se había interpretado a los depósitos ferríferos como de ambientes lacustres con alta variabilidad de pH. Habiendo dicho esto,

este depósito de sílice se interpreta como oscilaciones regresivas-transgresivas, siendo este registro litológico una de las primeras manifestaciones continentales del Pérmico Superior, luego otro pulso transgresivo (representado por las arcilitas de las cotas

superiores), y luego regresivo, correspondiente a las areniscas y concreciones de hierro.

Según la bibliografía (Orué, 1996; González, 2000; Geoconsultores, 1998, etc.), la presencia de *chert* es rasgo característico del Pérmico Superior, de la Formación Tacuary. Gómez Duarte y Spinzi (2019, com. pers.) señalaron a los depósitos de pedernal como el inicio, o la base de la Formación Tacuary.

Interpretación litoestratigráfica y comentarios finales

Se verifica una secuencia litoestratigráfica Permo-Carbonífera de limolitas, areniscas, ftanitas, arcillitas y formaciones ferríferas, que señala pulsos marinos transgresivos y regresivos (Figs. 16 y 17). En la porción superior se observan facies de ambientes

muy oxidantes de ambientes continentales. Las geometrías de estos pulsos sedimentarios presentan forma de cuña, interdigitados entre sí, en donde los depósitos continentales se espesan hacia el oeste.

Se ha reconocido un contacto muy nítido y abrupto entre los depósitos del Carbonífero Superior y Pérmico Inferior, representado por la secuencia de limolitas negras (Carbonífero) y areniscas (Pérmico Inferior) a orillas del río Tebicuary mi, descubierto por denudación fluvial. Esta secuencia se encuentra tectonizada, y se inclina tenuemente hacia el OSO – ESE. La exposición muy estrecha de estos afloramientos no facilita una buena representación en los mapas geológicos (Figs 18 y 19).

Los estratos de los depósitos ferríferos, de areniscas rojas y arcillitas que ocupan los sectores

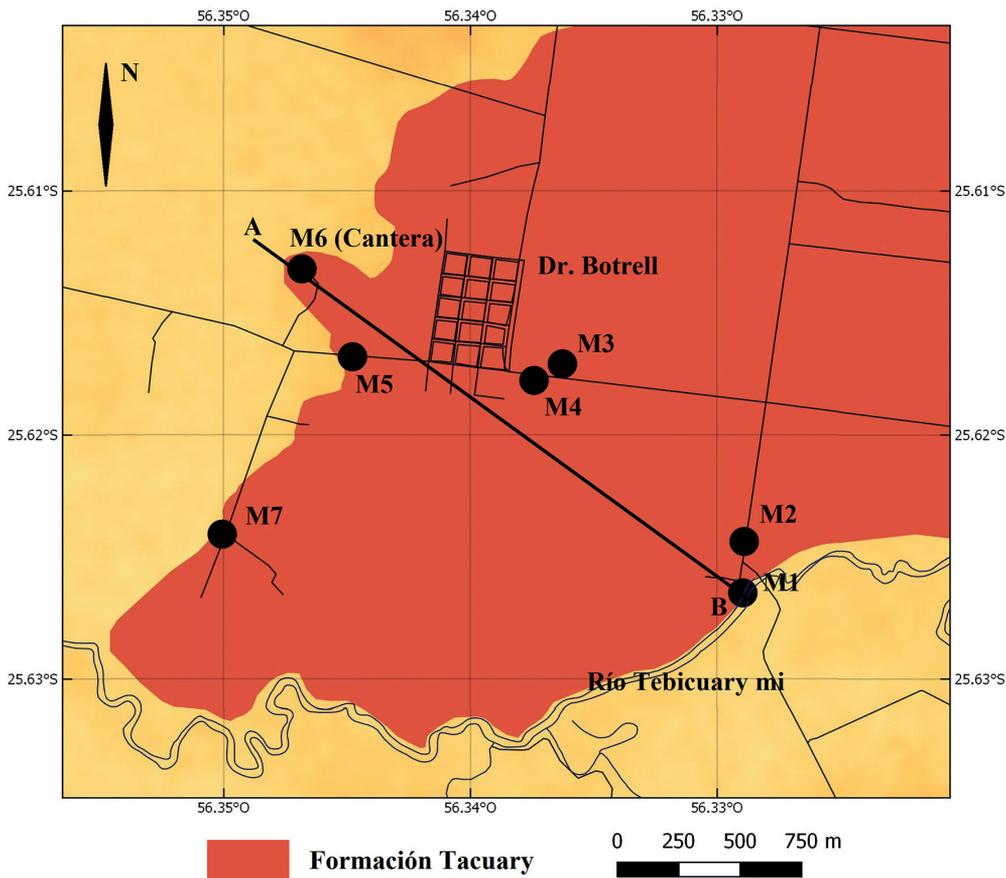


Figura 18. Sección transversal A – B.

Reconocimiento geológico en la zona de Dr. Botrell

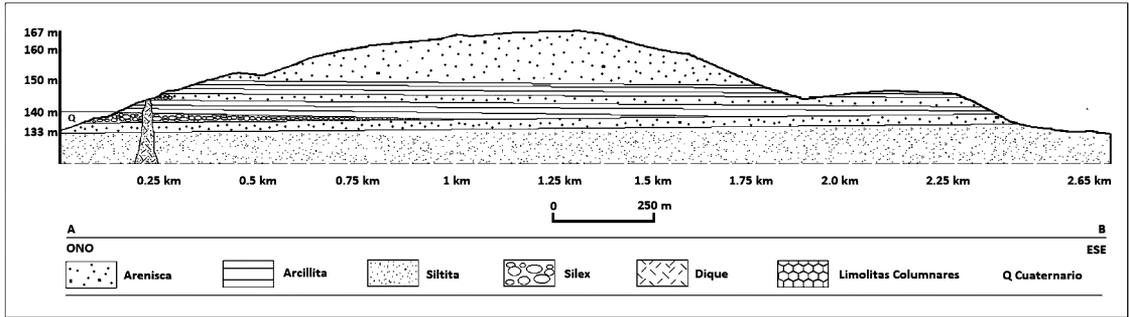


Figura 19. Perfil geológico. Discordancia angular entre estratos basales y superiores. El pinching-out estratigráfico se orienta hacia el este.

superiores de la sucesión se disponen coherentes entre sí estructuralmente con leve buzamiento hacia el ESE – ONO. Por ese motivo, se deduce un despliegue en discordancia angular muy leve entre los estratos inferiores en la zona de contacto basal con el Carbonífero, en relación a aquellos que se posicionan en las cotas de mayor elevación.

Existe una cantera activa en las afueras del poblado de Dr. Botrell, en la cual se ha reconocido una secuencia concordante de arcillitas, limolitas y areniscas levemente inclinadas hacia el este, y tectonizadas según NNO – SSE y OSO – ENE. En la primera fractura se ha reconocido la presencia de una intrusión ígnea en su plano de fractura, la cual ya fue meteorizada y convertida en una arcillita lilácea.

A cada plano de fractura se observa un tipo de brecha correspondiente. Una de ellas rellena el plano de fractura, y la otra se dispone paralela al dique ígneo, al menos en el lugar de exposición. Los cataclastos de las brechas difieren en tamaño, así como en la composición mineralógica de sus matrices, de lo cual se considera que el lugar estuvo sujeto a, por lo menos, dos episodios tectónicos. Las brechas paralelas al dique señalan mayor violencia tectónica. Aún se desconoce el orden de ocurrencia, o si el dique ingresó sincrónicamente al momento del desplazamiento o posterior a ello.

El ascenso del dique se produjo utilizando

el plano de fractura como conducto, y su efecto físico-químico en las rocas encajantes fue de contacto, meteorizando, silicificando a las rocas de los estratos de arcillitas, limolitas y areniscas. En la porción superior se verifican modificaciones por hidrotermalismo, disyunción columnar y lajeamiento en las limolitas. El diaclasado columnar es del tipo Fassardi, Colonia Pireca y otros que circundan la cordillera del Ybyturuzú, relacionados con el magmatismo de la Provincia Alcalina Central, datado anteriormente como del Cretácico (Velázquez *et al.*, 1996).

Cabe señalar que la cantera se encuentra considerablemente depredada, tanto en su base como en la cima. El escaso registro de limolitas columnares se debe a su estado de depredación.

Si bien la literatura disponible que describe el Pérmico del Paraguay señala presencia de fósiles en varios de sus niveles, sea de invertebrados, vertebrados o flora, durante estos estudios no se ha localizado ejemplar fósil alguno.

Los mapas geológicos de la zona coincidentes con los lugares de muestreo indican cobertura de sedimentos del Pérmico indiferenciado (Anschutz Co., 1979). En relación a lo observado en esta pequeña expedición, la secuencia, por sus características señaladas en trabajos y exploraciones anteriores, condice con las descripciones de la secuencia Permo-Carbonífera.

Literatura citada

- Anschutz Corporation. (1979). Annual Summary of Exploration Operations in Paraguay submitted by Korea Electric Company and Taiwan Power Company. Volume II. Asunción, Paraguay: Anschutz Corporation. 72 pp.
- Andreis, R., Ferrando, L. & Jalfin, G. (1990). Las Secuencias del Grupo Independencia (Pérmico) aflorantes en Colonia Independencia y al oeste de Caaguazú, Paraguay Oriental: litofacies, paleocorrientes e interpretación paleoambiental. *Ciência e Natura*, 12: 29–33.
- Geoconsultores. (1998). Potencial de Hidrocarburos del Paraguay (áreas de interés prioritario para exploración). Tomo I. Asunción, Paraguay: Servicio de Consultoría en Apoyo al Sector de Hidrocarburos del Paraguay. 98 pp.
- González, M.E. (2000). *Estratigrafía do Grupo Independência na Área da Folha Coronel Oviedo, República do Paraguai*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, Brasil: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. xv + 142 pp.
- González, M.E. & Cubas N. (2001). *Hoja Villarrica 5669*. Texto Explicativo y Mapa 1:100.000. San Lorenzo, Paraguay: Dirección de Recursos Minerales (MOPC), Sistema Ambiental de la Región Oriental (MAG), Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR).
- Gratier, J. (1987). Pressure Solution-Deposition Creep and Associated Tectonic Differentiation in Sedimentary Rocks. Pp. 25–38, in Jones, M.E. & Preston, R.M.F. (eds). *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*. Geological Society Special Publication, 29. Oxford, UK: Blackwell. 350 pp.
- Harrington, H. (1950). Geología del Paraguay Oriental. *Contribuciones Científicas de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Serie E, Geología*, 1: 1–88.
- Harrington, H.J. (1956). Paraguay. Pp. 99–114, in Jenks, W.F. (ed.). *Handbook of South American Geology: an explanation of the geologic map South America*. *Geological Society of America Memoirs*, 65: 378 pp..
- Lahner L., González M.E., Cubas N. & Mainhold K. (2007). *Mapa Geológico del Área Central del Paraguay Oriental 1:250.000*. Asunción, Paraguay: Dirección de Recursos Minerales (DRM) / Hannover, Alemania: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).
- Orué, D. (1996). *Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Brasil: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 163 pp.
- Pettijohn, F. (1980). *Rocas Sedimentarias*. 4ª edición. Buenos Aires, Argentina: Eudeba. 731 pp.
- Proyecto PAR 83/005. (1986). Mapa Geológico del Paraguay 1:1000000. Mapa y texto explicativo. Asunción, Paraguay: PNUD / MDN.
- Putzer, H. (1962). Die Geologie von Paraguay: Gebirger Borntrager, Berlin. *Beitrag zur Regionale Geologie der Erde*, 2: 184 pp.
- Tarback, E. & Ludgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra*. 6ª edición. Madrid, España: Prentice Hall. 736 pp.
- Tucker, M.E. (2001). *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. 3rd Edition. Oxford, United Kingdom: Willey-Blackwell. 272 pp.
- Velázquez, V., Gomes, C., Orué, D. & Comin-Chiaramonti, P. (1996). Magmatismo alcalino do Paraguai: uma revisão e atualização das Províncias. *Boletim do Instituto de Geociências – USP (Série Científica)*, 26: 61–79.