

**ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN SAN GREGORIO
(CARBONÍFERO SUPERIOR) EN LA REGIÓN DE PASO DEL PUERTO (RIO NEGRO), BORDE SUR
DE LA CUENCA NORTE - URUGUAY**

**STRATIGRAPHICAL AND STRUCTURAL ANALYSIS OF SAN GREGORIO FORMATION (LATE
CARBONIFEROUS) IN PASO DEL PUERTO'S REGION, SOUTH BORDER OF URUGUAYAN NORTH
BASIN**

**ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA E ESTRUTURAL DA FORMAÇÃO SAN GREGORIO (CARBONÍFERO
SUPERIOR) NA REGIAO DE PASO DEL PUERTO (RIO NEGRO), BORDA SUL DA BACIA NORTE -
URUGUAI**

César Goso Aguilar^a, Hernán Silva^b, Viviana González

^a Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias (UdelaR). Iguá 4225. CP 11400. Montevideo.

^b Geowissenschaftliches Zentrum - Georg-August Universität Göttingen
goso@fcien.edu.uy

Recibido: 02/06/21

Aceptado: 23/08/21

Publicado: 28/02/22

Editores: Dra. Elena Peel; MSc. Fernando Scaglia

revista@sociedadgeologiauy.org

PEDECIBA Isidoro de María 1614, piso 6 - Uruguay Tel: 2929 0318-int. 1612/1613

www.sociedadgeologiauy.org

RESUMEN

En este trabajo se realiza un análisis estratigráfico y estructural de una sección expuesta correspondiente a la Formación San Gregorio (Carbonífero Superior) en los alrededores del Paso del Puerto, en el departamento de Río Negro. Allí, se expone en una sucesión decamétrica un apilamiento granodecreciente, principalmente con dominio de litologías arenosas en la base que pasan gradualmente a pelitas y ritmitas en el tope. Estos materiales se encuentran en el borde más meridional del Gondwana Occidental y exponen una importante deformación dúctil y rúptil. Del punto de vista estratigráfico, fue posible observar en una secuencia granodecreciente e interpretar en la base la acción de flujos tractivos representados por areniscas finas, rojizas estratificadas, de regular selección, fundamentalmente cuarzosas, más o menos bien consolidadas, con algunas intermitencias en la sedimentación representadas por heterolitas. Estas son cubiertas por una sucesión pelítica, métrica, varicolor, con laminación rítmica y deformada, depositada bajo condiciones glaciales dada por la presencia de *dropstones*. Del punto de vista estructural, se interpretaron dos conjuntos de estructuras vinculados a compresión y extensión, respectivamente. Las estructuras compresivas en pliegues derechos cilíndricos de plano axial N35°/90°, indican una dirección de compresión principal SSE/NNW (N115°), son interpretadas como el resultado del levantamiento de bloques de basamento, derivado de la transmisión distal de esfuerzos desde el borde

orogénico del Cratón del Río de la Plata ocurrido durante el Pérmico. Por otro lado, las fallas normales recortan las estructuras compresivas pudiendo estar asociadas la tectónica extensional juro-cretácica.

Palabras claves: análisis estratigráfico y estructural, Formación San Gregorio, Carbonífero superior, borde sur Cuenca Norte, Uruguay.

ABSTRACT

A stratigraphic and structural analysis of an exposed section corresponding to the San Gregorio Formation (Upper Carboniferous) is carried out in the surroundings of Paso del Puerto locality, in Rio Negro department. A fine upward sequence is exposed in a decametric succession, mainly dominated by sandstones at the base that gradually change to shales and rhythmites at the top. These lithologies are found at the southernmost border of Western Gondwana and exhibit significant both ductile and brittle deformation. The facies analysis allows interpreting tractive flows represented by fine to medium stratified and reddish sandstones, with regular selection, mainly quartzose composition, consolidated, with few intermittencies of fine sedimentation layers and occasionally some centimetric detritic fragments probably under waves action. Those are covered by varicolor laminated pelitic sediments, deformed and with rhythmic lamination, deposited under glacial conditions due to the presence of *dropstones*. All the sequence suggests sedimentation in shallow marine conditions. From a structural point of view, two sets of structures were interpreted, both compression and extension. The compressional structures are cilindric folds N35°/90° axial plane, indicating SSE/NNW (N115°) compressive main direction and interpreted as the result of the uplift of Proterozoic basement blocks, derived from the distal transmission of stresses from the orogenic Río de la Plata Craton during Permian ages. On the other hand, normal faults founded in the same outcrops cutting compressional structures possibly are relating to extensional Jurassic-Cretaceous tectonic events.

Keywords: stratigraphical and structural analysis, San Gregorio Formation, Upper Carboniferous, North Basin southern border, Uruguay

RESUMO

Neste trabalho, é realizada uma análise estratigráfica e estrutural de uma seção exposta da Formação San Gregorio (Carbonífero Superior) nas proximidades de Paso del Puerto, Departamento de Río

Negro. Allí, una sucesión decamétrica de empilhamento granodecrescente, dominada principalmente por litologías arenosas na base, mudam gradualmente para pelitos e ritmitos para o topo. Esses materiais se encontram na borda mais austral do Gondwana Ocidental e apresentam deformação tanto dobras como fraturamentos significativos. Do ponto de vista estratigráfico, foi possível observar uma sequência granodecrescente e interpretar na base a ação de fluxos trativos representados por arenitos finos, estratificados avermelhados, de seleção regular, principalmente quartzosos, mais ou menos bem consolidados, com algumas intermitências na sedimentação representadas por heterólitos. Esses arenitos são cobertos por uma sucessão métrica pelítica varicolor, com laminação rítmica e deformada, depositada sob condições glaciais devido à presença de *dropstones*. Estruturalmente, dois conjuntos de estruturas foram interpretados, tanto ligados à compressão quanto à extensão, respectivamente. Estruturas compressivas em dobras cilíndricas e retos de plano axial N35°/90°, com uma direção de compressão principal SSE/NNW (N115°) são interpretadas como o resultado da elevação dos blocos do embasamento, derivadas da transmissão distal de tensões da borda orogênica do Cráton do Rio de la Plata durante o Permiano. Por outro lado, as falhas normais encontradas nos mesmos afloramentos cortam as estruturas compressivas possivelmente relacionadas à tectônica distensiva juro-cretácea.

Palavras-chave: análise estratigráfica e estrutural, Formação San Gregorio, Carbonífero Superior, borda sul Bacia do Paraná, Uruguai.

INTRODUCCIÓN

En el centro-oeste de Uruguay, en la zona conocida como Paso del Puerto, intersección de la Ruta 3 con el Río Negro, próximo al cruce del Arroyo Grande con esa ruta, se da la conjunción de los Departamentos de Flores, Soriano y Río Negro (Figura 1). Allí, aparecen afloramientos de rocas glaciogénicas que son las más australes de la Cuenca Norte Uruguay (CNU) y que componen parte de las formaciones San Gregorio y Tres Islas (*sensu* de Santa Ana *et al.* 2006). En ese asomo del Gondwana Occidental, afloran sucesiones métricas que muestran la intercalación de varias litologías y que, en parte, exponen una relativamente importante deformación, particularmente las de la Formación San Gregorio, la que ha sido motivo de un análisis detallado para contribuir al conocimiento de parte de la evolución tectónica en ese sector de la cuenca. Como se mencionó, se trata de la zona más meridional de afloramientos de esta unidad litoestratigráfica (Figura 2), en donde a través de un relevamiento estratigráfico y estructural realizado en una cantera abandonada, fue posible

caracterizar esa sucesión estratigráfica y sus procesos de deformación. Cabe consignar que esa localidad estudiada pertenece al territorio del Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio.

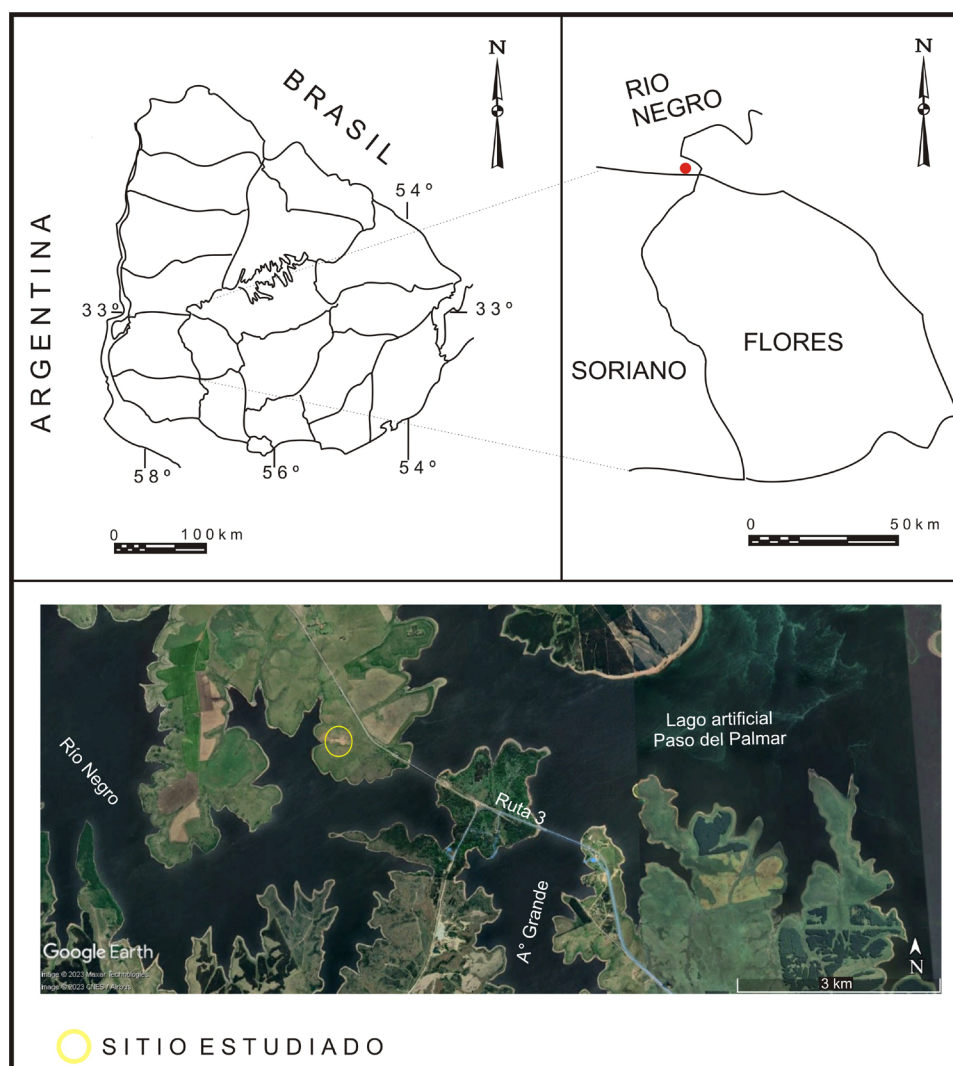


FIGURA 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

FIGURE 1. Localization map of the studied area.

La CNU ha actuado como espacio de sedimentación durante varios períodos del Fanerozoico. En ella, cuatro grandes secuencias fueron definidas integrando al Grupo Cerro Largo (Goso 1995, Goso *et al.* 1996): la secuencia devónica, la permo-carbonífera, la juro-cretácica y la cretácica superior (de Santa Ana, 2004), las cuales son parcialmente correlativas con las descritas por Milani (1997). Las rocas estudiadas en el presente trabajo corresponden a parte de la base de la secuencia permo-carbonífera, concretamente a la Formación San Gregorio (de Santa Ana 2004, de Santa Ana *et al.* 2006). Dicha formación se caracteriza por estar integrada por rocas sedimentarias con una importante variabilidad faciológica, incluyendo diamictitas, tillitas, areniscas, pelitas y ritmitas. En base a los datos disponibles estas rocas tendrían una edad Carbonífero tardío – Pérmico temprano.

El reconocimiento de esta unidad litoestratigráfica data de 1906, cuando fueron realizadas algunas perforaciones por la Compañía Llambías de Olivar & Méndez Alcain, en el Departamento de Cerro Largo. Guillemain (1911) identificó en testigos de sondeos y en algunos afloramientos depósitos gruesos definidos como "bancos de rodados glaciales", atribuyéndoles una afinidad con los "conglomerados de Orleans", reconocidos por White (1908) en la porción brasileña de la Cuenca de Paraná. Posteriormente, autores precursores de los estudios geológicos en Uruguay, establecieron la influencia glacial en la sedimentación de estos depósitos: Marstrander (1915), Llambías de Olivar (1918), Walther (1919, 1924), Terra Arocena (1926), Du Toit (1927), Falconer (1931, 1937), Oppenheim (1934), Lambert (1941), Serra (1946), Mackinnon (1967), Caorsi (1957, *apud* Caorsi y Goñi, 1958), quienes le dieron a esta unidad diversos nombres, como por ejemplo "Estratos de Tubarão", "Estratos de Itararé", "Estratos Glaciares", "Capas de pré-Irati", "Itararé", "Série Itararé", considerando la definición de los investigadores en Brasil.

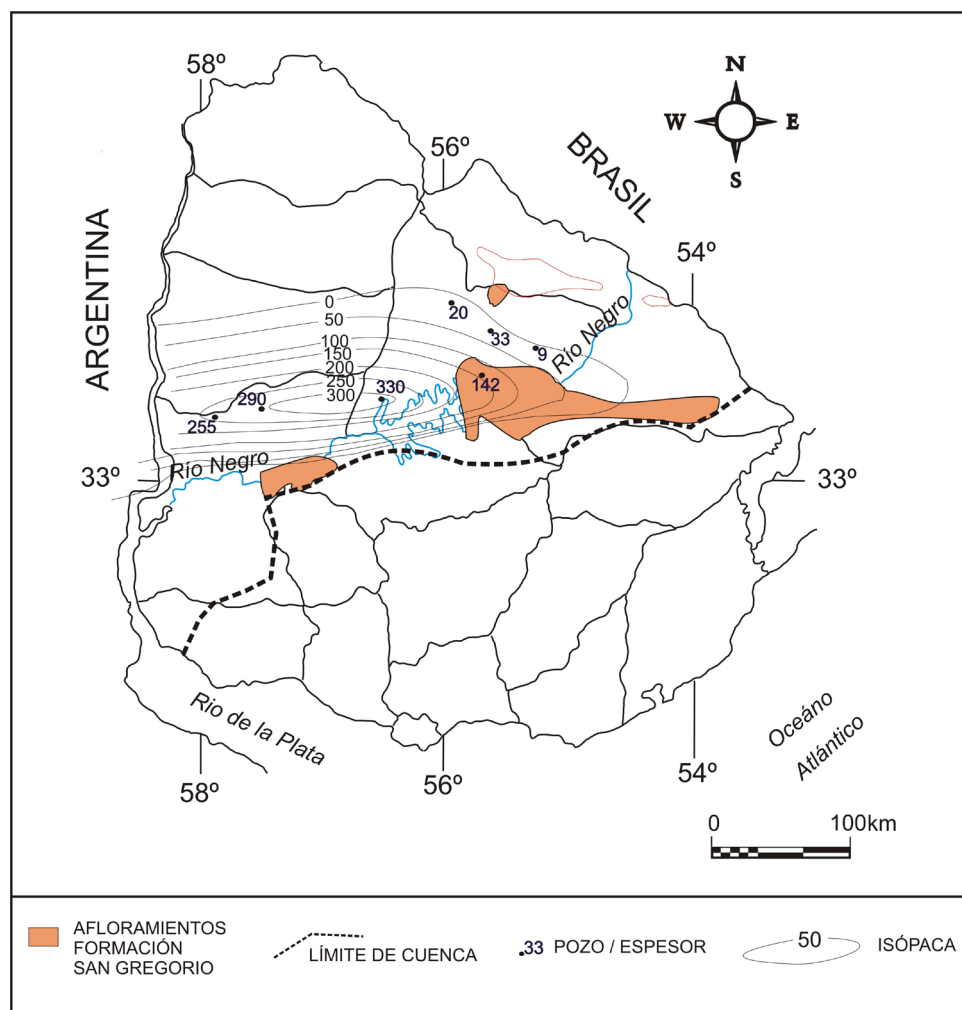


FIGURA 2. Mapa de isópacas y de distribución en superficie de la Fm. San Gregorio en la CNU. Tomado de de Santa Ana et al (2006).

FIGURE 2. Isopachic map and surface distribution of San Gregorio Formation in Norte Basin. Base on de Santa Ana et al (2006).

Su denominación se debe a Caorsi y Gofii (1958) en alusión a los afloramientos en la margen del Río Negro frente a la ciudad de San Gregorio de Polanco (departamento de Tacuarembó). En informes internos de DINAMIGE, Taylor (1976 inéd.), Goso (1981 inéd.) y L' Homer *et al.* (1982 inéd.) se caracteriza litofaciológicamente a la Formación San Gregorio y son presentados mapas adoptando criterios litoestratigráficos. A partir de éstos, la Formación San Gregorio es separada como una unidad litoestratigráfica independiente (Spoturno 1982 *in* Massa, 1984 inéd.), siendo finalmente representada en la Memoria Explicativa de la Carta Geológica de Uruguay, escala 1:500.000, por Preciozzi *et al.* (1985).

Posteriormente, Goso y de Santa Ana (1986) identificaron dos ciclos depositacionales, uno inferior restringido al valle del Río Negro con predominancia de diamictitas, conglomerados, areniscas y secundariamente por pelitas y ritmitas; el otro superior con predominio de pelitas y subordinadamente diamictitas finas y areniscas finas. Ferrando y Andreis (1986) y Ferrando y Montaña (1987), estudiaron en detalle los ambientes sedimentarios enfatizando la descripción de estructuras sedimentarias, reconociendo la actuación de procesos gravitacionales en un ambiente glacial, con corrientes de densidad en condiciones subacuosas ("*debris flows*"), específicamente en ambientes lacustres, durante el Carbonífero superior. Andreis *et al.* (1993) plantearon distinguir sucesiones glaciales de glacimarinas. Por su parte, como resultado de un análisis de facies en el sector del noroeste, Goso (1995) identificó procesos de resedimentación (flujos de barro y turbiditas) dentro de las facies glaciogénicas basales.

De Santa *et al.* (2006), retoman la definición propuesta por de Santa Ana (2004) en el sentido de Goso (1995), señalando que la Formación San Gregorio posee una gran heterogeneidad litológica, en la que predominan las diamictitas, las areniscas desde muy finas a gruesas, los conglomerados y ritmitas, con arreglos granodecrecientes, donde en conjunto predominan las tonalidades vivas como rojo, púrpura, marrón amarillento, ocre y secundariamente gris.

Assine *et al.* (2019) caracterizaron superficies y geoformas glaciales y subglaciales, de dirección NNW tanto en basamento cristalino como en rocas de la Formación San Gregorio en el sector Este de la cuenca, sugiriendo la acción de un ciclo avance-retroceso glacial, correlacionándolo con escenarios paleogeográficos similares en la porción brasilera de la cuenca y proponiendo un lóbulo glaciar uruguayo derivado de zonas más alejadas, probablemente del sector sudafricano actual.

Un reciente trabajo estratigráfico y estructural en el área de este estudio fue reportado por González *et al.* (2019). Allí se señala que, en ese apilamiento, fueron distinguidas siete litofacies: areniscas finas, fangolitas

cuarzosas, areniscas muy finas, arcillitas, diamictitas, ritmitas con *dropstones* y areniscas con *ripples*, litofacies que confirman la influencia glaciaria en la sedimentación. A su vez, señalaron que la unidad presenta un patrón de deformación que exhibe pliegues abiertos derechos cilíndricos de plano axial N35°/90°, los cuales indican una dirección de compresión principal SSE/NNW (N115°) y que se encuentran afectados por fallas normales de rumbo N110°-140°, coincidente con la profundización de la cuenca hacia el Norte.

Fedorchuck *et al.* (2021) utilizaron geocronología de circones detríticos U-Pb para evaluar la procedencia de sedimentos glaciares y posglaciares de las formaciones San Gregorio, Cerro Pelado y Tres Islas en Uruguay. Según esos autores, las fuentes estuvieron asociadas a los terrenos Cuchilla Dionisio y Punta del Este (al sureste) y posiblemente en las rocas sedimentarias del Devónico del Grupo Durazno en el centro-este. Sugirieron que podría haber fuentes más distales al E y SE, apoyando la hipótesis de que los glaciares emanaron del sur de Namibia y SE de Uruguay hacia la Cuenca Norte. Estos autores sugieren, al menos, dos regiones africanas de origen de los glaciares que depositaron sedimentos en las cuencas de Paraná y Norte.

Por otro lado, son numerosos los trabajos paleontológicos consignados en la literatura en relación a esta unidad. Se tienen referencias de ocurrencias de restos de goniatites, artrópodos, peces actinopterigeos, cefalópodos ortocónicos y restos de maderas desde Martínez Macchiavello (1963), Closs (1967), Beltan (1978); presencia de esporomorfos, radiolarios y polen reportados por Ybert & Marques-Toigo (1970), Marques-Toigo (1970, 1972, 1973, 1974), Da Silva (inéd. 1985), Andreis *et al.* (1991), Braun *et al.* (2003); e icnofósiles por Kling y Reif (1969), Mones y Figueiras (1980) y Balistieri *et al.* (2001).

Del punto de vista petrolero también han suscitado interés algunas facies de esta unidad litoestratigráfica. Un estudio de Gepp (2016) determinó palinofacies presentes en testigos de una perforación, que asoció un ambiente depositacional de tipo II (*sensu* Tyson 1995), correspondiente a un ambiente marginal. El grado de madurez según el índice de alteración térmica (IAT) correspondió a la ventana de gas.

Diferentes controles estructurales y tectónicos han sido propuestos para la evolución de las cuencas del suroeste de Gondwana, particularmente la de Paraná (Tankard *et al.* 1995; Milani, 1997; de Santa Ana 2004), siendo señaladas por diversos autores las evidencias de una tectónica compresiva actuando sobre las sedimentitas permo-carboníferas, o penecontemporánea con su depositación, tectónica relativa al desarrollo de un margen activo en el borde suroeste y oeste de Gondwana (Cobbald *et al.* 1986; Cobbald *et al.* 1992; Milani y Ramos, 1998; Milani, 2007; Milani y de Wit, 2008; Linol *et al.* 2015, entre otros)

El objetivo del presente trabajo es la caracterización faciológica y estratigráfica, así como realizar un análisis

estructural de los depósitos correspondientes a la Formación San Gregorio que afloran en una cantera abandonada en el borde sur de la cuenca, ubicada próximo al km 247 de la ruta nacional N° 3. Aquí se consideran entonces dos aspectos principalmente: a) el arreglo de las litofacies presentes en las secciones estratigráficas analizadas; y b) la correlación de estructuras indicativas de inestabilidad tectónica y compresión halladas, con otras evidencias de procesos similares dentro de la secuencia permo-carbonífera para esbozar una evolución tectónica de la zona.

METODOLOGÍA

La sucesión estratigráfica expuesta en los frentes de la cantera abandonada (Figura 3) ubicada al Oeste de la ruta 3 y a orillas del Río Negro, en el punto con de coordenadas 33°7'12.49" S y 57°11'44.95" al oriente del departamento del mismo nombre, fueron objeto de este trabajo. Esa cantera fue seleccionada para su estudio detallado considerando la cantidad y calidad de las exposiciones litológicas correspondientes a la Formación San Gregorio, que permiten caracterizar esa sucesión estratigráfica a escala métrica y particularmente por las estructuras de deformación allí presentes.

Siete secciones columnares o perfiles estratigráficos tipo Selley fueron levantados (H1 a H7) para la caracterización y descripción geológica a nivel de campo de la unidad, así como para la identificación de niveles marcadores de la deformación. Las muestras de rocas para descripciones litológicas de detalle fueron descritas bajo lupa binocular en el Laboratorio del Instituto de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias (FCIEN).

Para la expresión gráfica del apilamiento allí presente, se elaboró una única sección estratigráfica que combina a las siete levantadas. Para esto, además de tener los niveles de referencia para la correlación, fue utilizado el *software* SedLog, atendiendo litologías, espesores, estructuras sedimentarias y atributos texturales principales para la caracterización litofaciológica, a efectos de interpretar los procesos sedimentarios actuantes, y así identificar las condiciones paleoambientales. Se utilizó el código de litofacies de Miall (1978) modificado y la tabla de Munsell para la determinación de los colores.

Al tratarse de una sucesión sedimentaria, la superficie de referencia empleada para las mediciones estructurales fue la estratificación (S0). Las medidas estructurales se realizaron en distintas estaciones de los frentes de la cantera (H1 a H7), totalizando 534 mediciones. Fueron relevadas las estructuras frágiles encontradas en los frentes, así como las lineaciones. La distinción entre estructuras tectónicas y de deformación sinsedimentarias se realizó en base a criterios geométricos como los expuestos en Fossen (2010) y Van der Pluijm y Marshak (2004), como ser: geometría del techo y base de los estratos, estructura interna de los



FIGURA 3. Vista panorámica y de detalle de los frentes de la cantera estudiada.

FIGURE 3. Panoramic and detailed views of the studied quarry.

mismos, simetrías de los pliegues, presencia o no de clivajes u otras planaridades en los mismos, siendo la diferencia más conspicua entre ambos tipos estructuras tectónicas y sedimentarias la geometría de las mismas, siendo las deformaciones sin sedimentarias (pliegues y fallas) característicamente caóticas según los mencionados autores. Las diaclasas y fallas medidas en afloramiento fueron comparadas con aquellas detectadas en cartografía y con las direcciones de estructuras del basamento reconocidas en el área para esbozar correlaciones. Los datos estructurales fueron procesados utilizando el *software* de código libre Orient (State University, New York).

RESULTADOS

1. Estratigrafía

El levantamiento de las secciones estratigráficas de detalle en los frentes de la cantera, permitió identificar un apilamiento vulcano-sedimentario que mostró aproximadamente 16 m de litologías correspondientes a la Formación San Gregorio –objeto principal de este estudio- así como también, un nivel métrico de basaltos intemperizados de la Formación Arapey (Cretácico inferior) y un coluvión cuaternario de espesor decimétrico de cantos rodados. La potencia máxima acumulada de los materiales allí presentes oscila los 17,50 m incluidos los basaltos y el depósito coluvional.

Los depósitos presentes en el área de estudio correspondientes a la Formación San Gregorio varían desde arcillitas hasta areniscas finas a medias, conglomerados y diamictitas con clastos centimétricos, predominando las coloraciones rojizas y ocre. El grado de selección, en general, es moderado a pobre, los clastos arenosos son predominantemente cuarzosos y generalmente subredondeados. Ocasionalmente, ocurren intraclastos pelíticos, de color marrón rojizos e intercalan algunos niveles con *dropstones*. Esta exposición permitió caracterizar en la Formación San Gregorio seis litofacies principales, que son descritas a continuación:

a) Fangolitas cuarzosas con un grado de consolidación variable, compuestas por un esqueleto con una abundancia del 10% de tamaño arena fina en una matriz limo-arcillosa. Los granos están constituidos por cuarzo (95%), feldespatos (4%) y fragmentos líticos (1%). El color predominante es marrón rojizo pálido (10R 5/4), donde alternan láminas arcillosas gris amarillentas. Esta litología hace parte de los niveles descritos como facies heterolíticas (Ht), y como finos macizos, laminados y deformados (Fm, Fdef, FI). Ver Figuras 4 C, D y E.

b) Cuarzo arenitas clasto sostenidas poco consolidadas, cuyo esqueleto es de tamaño medio a fino y con escasa matriz pelítica. Los clastos mayores son sub-esféricos y su-angulosos y están constituidos por cuarzo (90%), feldespatos (5%) y fragmentos líticos (5%), siendo estos últimos más angulosos que el resto. El color predominante es el rosa anaranjado moderado (10R 7/4), con parches de color gris amarillento (5Y 8/1). Son frecuentes las estructuras tractivas, los *ripples*, la laminación plano paralela, en ocasiones algunas laminaciones entrecruzadas, así como también la estratificación maciza. Aparecen algunos megaclastos aislados así como intraclastos pelíticos (fig. 4F). Este grupo de litologías fueron descritas en parte del perfil estratigráfico como facies Sr y St (Figura 4A). En planta fue posible observar posibles estructuras biogénicas (Figura 4G).

c) Grauvacas compuestas de areniscas medias a muy finas con matriz arcillo-limosa (60%). Los granos son de cuarzo (75%), feldespatos (15%) y fragmentos líticos (10%), son subredondeados a subangulosos. Los colores predominantes son el rosa anaranjado moderado (10R 7/4), con intercalaciones de lentes de areniscas gris anaranjadas (10R 8/2) y de limos marrón rojizos moderados (10R 4/6). Ocasionalmente, puede aparecer algunos intraclastos pelíticos. Este grupo de litologías fueron descritas en parte del perfil estratigráfico como facies Sl y Sm (Figura 4B).

d) Diamictitas matriz sostenidas, consolidadas, con esqueleto de gravas finas y matriz limo-arcillosa de color rosa anaranjado moderado (10R 7/4) con granos compuestos por cuarzo (85%), feldespatos (10%) y fragmentos líticos (5 %). Los clastos son subesféricos y subangulosos,. Ocasionalmente aparecen intraclastos pelíticos rojizos y esbozo de estratificación. Facies Dmm

e) Conglomerados rojizos, macizos, los clastos mayores son escasos y de diámetro centimétrico, cuarzosos, la matriz es arenosa fina a media. Clastos arenosos sub-esféricos y sub-angulosos de cuarzo (90%), feldespatos (5%) y fragmentos líticos (5%), siendo éstos bien angulosos. El color es rosa naranja moderado (10R 7/4), con algunos parches amarillentos producto de la alteración (Figura 4F). Estas facies son descritas como Gmdrop.

f) Ritmitas marrones, con fina laminación de fracción arcillosa con limos arenosos finos, donde destacan el cuarzo como mineral principal, en parte fracturadas y deformadas (convoluta), ocasionalmente caolinitizadas, de color naranja rojizo moderado (10R 6/6) (Figura 4 C y D). Estas facies son descritas como Flr.

De la sucesión presente se pudo observar una secuencia granocreciente que en los primeros diez metros muestra la predominancia de areniscas rojizas con variable contenido de matriz, con marcas de corrientes y retrabajamiento por olas, con algunas intercalaciones de depósitos finos poco espesos con presencia de algunos *dropstones*. En el resto de la sección se observan depósitos finos, de tipo heterolíticos y ritmitas grises, que en ocasiones muestran la presencia de *dropstones*. Si bien toda la sección se expone estructurada es en la parte superior donde se pueden observar la mayor deformación dúctil allí presente (Figura 5).

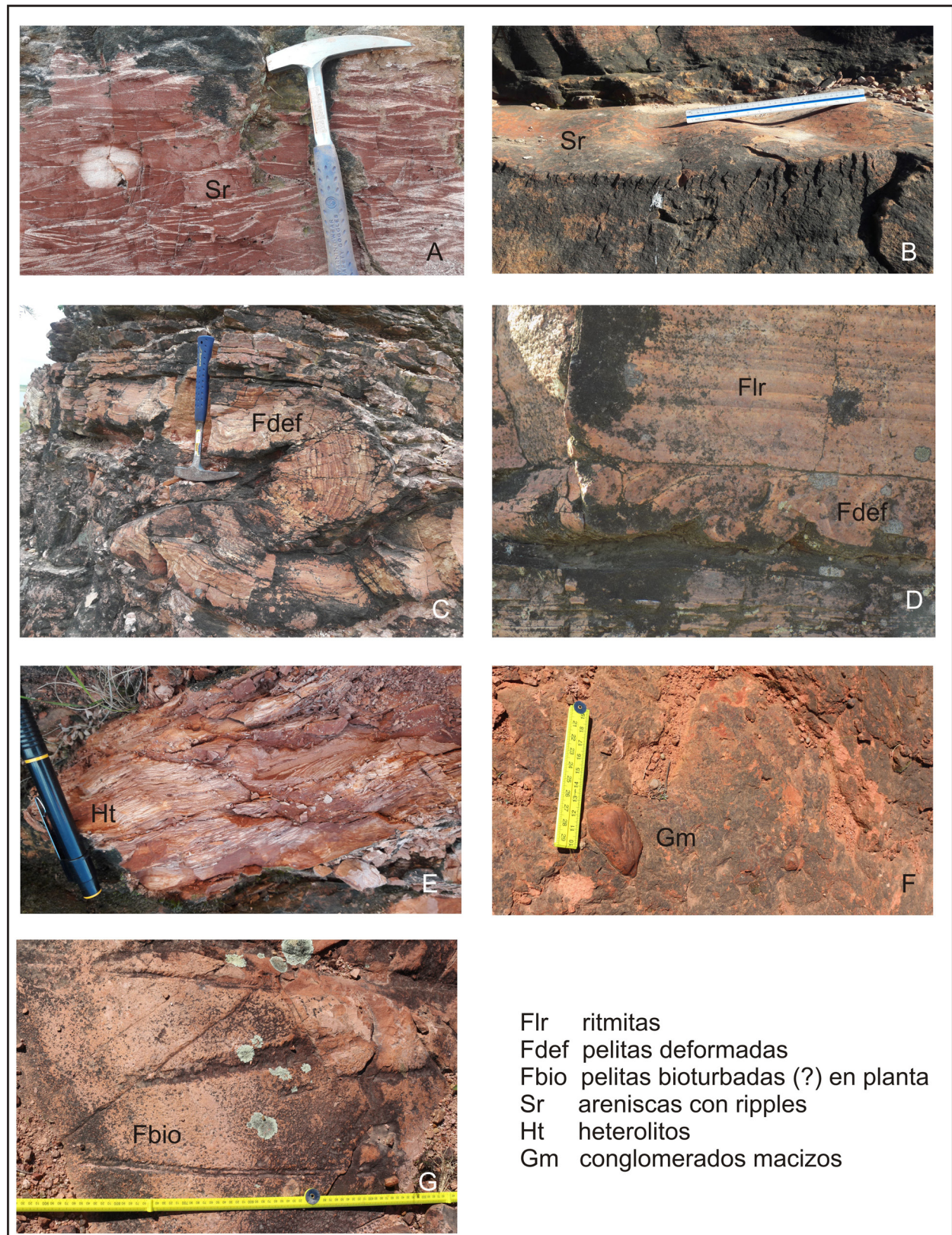


FIGURA 4. Vista en detalle de algunas litofacies observadas en las secciones estudiadas. A: areniscas con laminación *ripple*; B: areniscas con superficie ondulada; C: pelitas laminadas deformadas; D: ritmitas y pelitas deformadas; F: conglomerados macizos; G: probables pistas fósiles.

FIGURE 4. Lithofacies detail views in studied sections. A: sandstones with ripple cross lamination; B: wavy surface in sandstones; C: laminated and folded fine sediments; D: rythmites and convoluted fine sediments; F: massive conglomerates; G: possible ichnofossils.

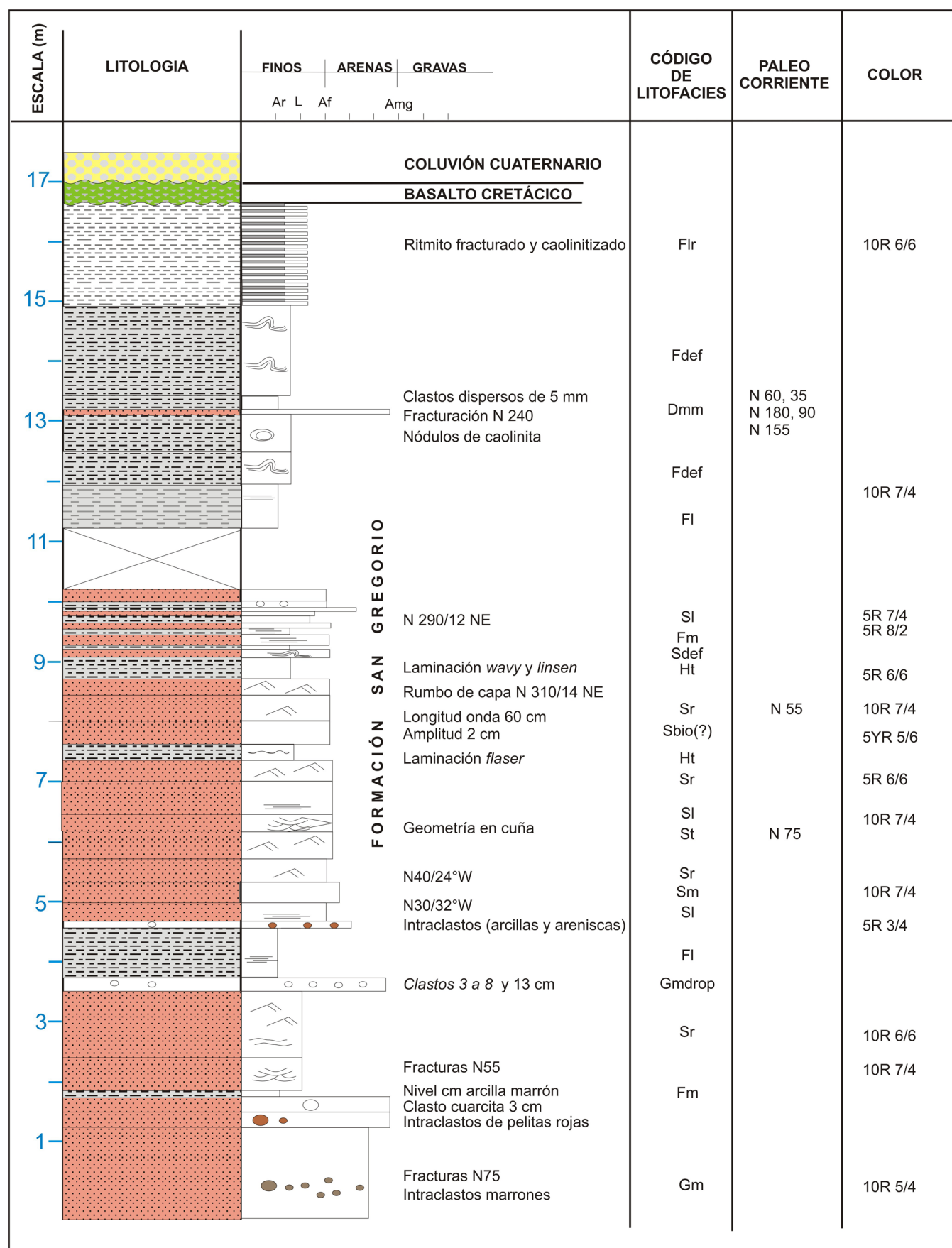


FIGURA 5. Perfil estratigráfico combinado de todas las exposiciones de la cantera estudiada.

FIGURE 5. Stratigraphical combined profile of the studied section.

2. Geología estructural

El conjunto de los estratos se encuentra plegado siguiendo un patrón regular de pliegues abiertos derechos de plano axial N35°/90 (Figura 6). Sobre las superficies de estratificación a veces es posible observar una lineación (L, Figura 7a) la cual es geoméricamente formada por la intersección de la superficie de estratificación y un plano ortogonal al plano axial. Dicha lineación es interpretada como efecto de cizalla interestratal al momento del plegamiento de los estratos. Las estructuras sedimentarias interestratales, incluyendo estructuras tales como *slumps*, acompañan el plegamiento del paquete sedimentario (Figura 7b).

Una serie de fallas normales, de rumbo general N110°-140° y geometría curva en la lateral generan pliegues de arrastre indicativos de una cinemática sinistral (Figura 6). Asimismo, fracturas y fallas menores siguen las direcciones regionales del basamento, sugiriendo su vinculación con reactivaciones del mismo.

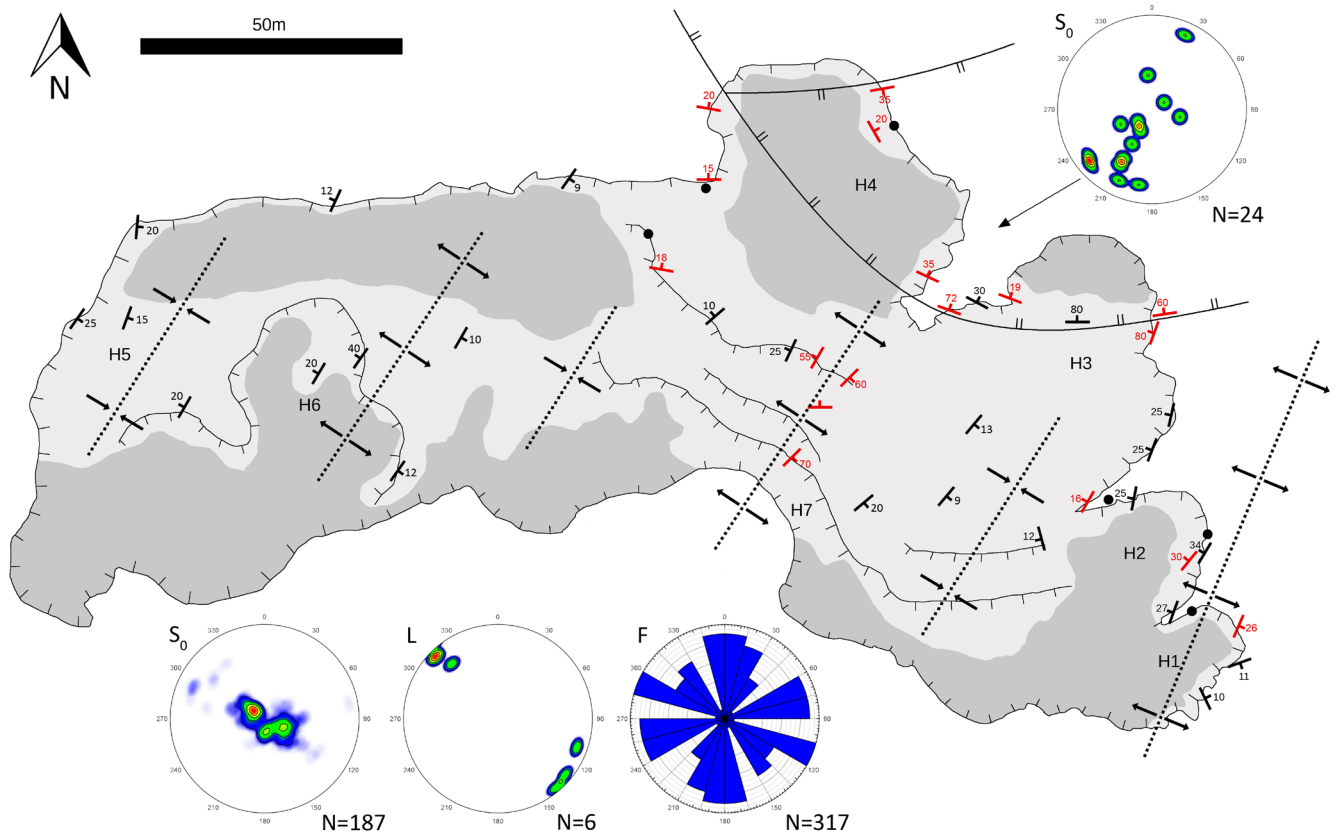


FIGURA 6. Plano de las secciones estudiadas (H1 a H7) donde se indican las medidas realizadas. Los símbolos en rojo marcan las medidas georeferenciadas y los negros los ubicados en la imagen satelital en el campo.

FIGURE 6. Plot of the studied sections (H1 to H7), indicating the realized measurements. Red symbols: geo-referenced. Black symbols: plotted on the field on top of the satellite image.

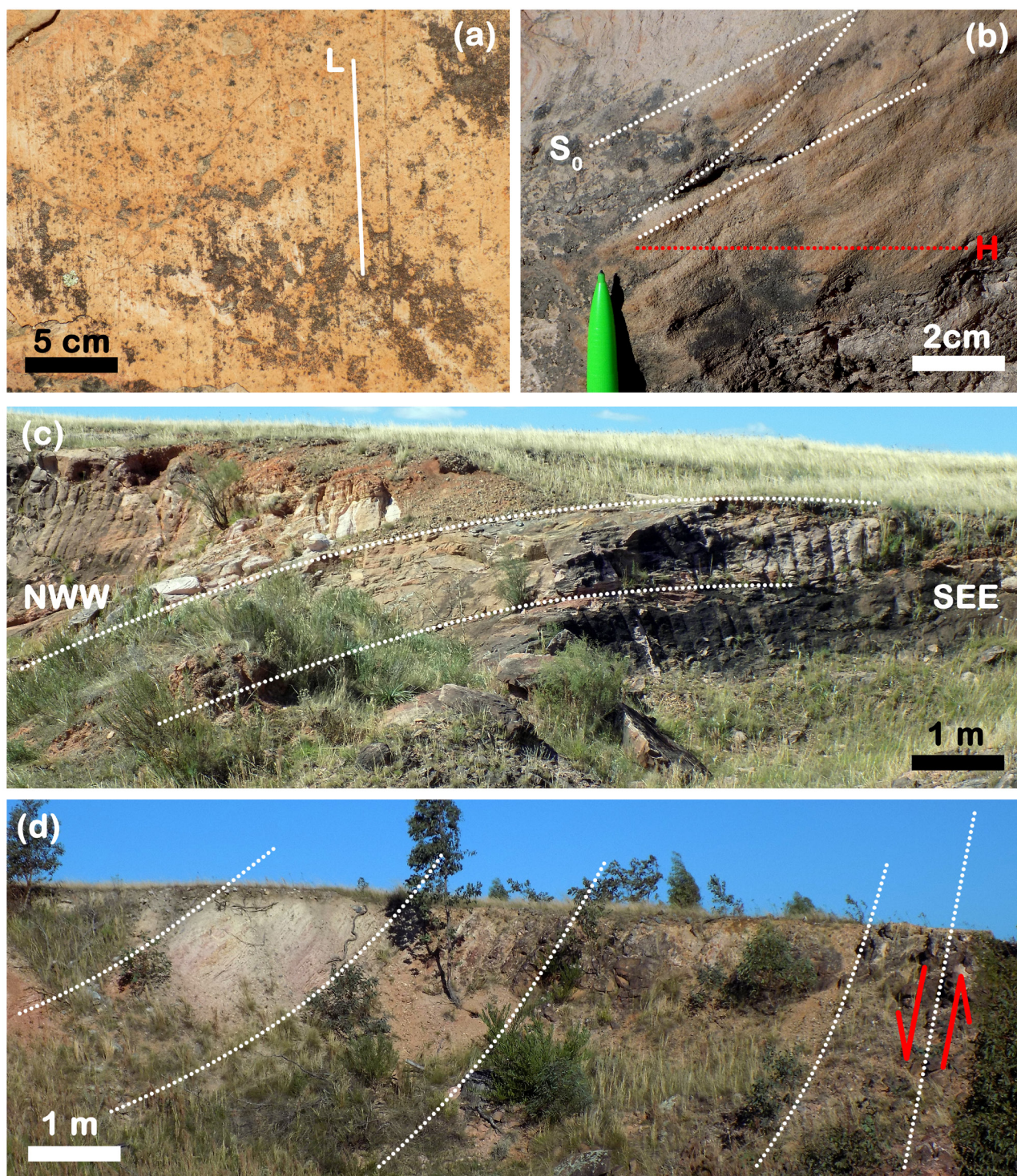


FIGURA 7. Vistas en detalle y panorámicas de las principales estructuras observadas en campo. a) Lineación interestratal, b) Estratos de arenisca inclinados pertenecientes al flanco de un pliegue, con la laminación cruzada que se encuentra a un ángulo mayor al de estabilidad de la arena. H: nivel horizontal. c) Conjunto de estratos de areniscas plegadas. d) Pliegue de arrastre asociado a fallamiento indicando cinemática sinistral.

FIGURE 7. Detail and panoramic views of the main structures observed on the field. a) Interstratal lineation in sandstones. b) Sandstone beds belonging to the limb of a fold. Notice that the crossed lamination lays over the stability angle for the sedimentation of this structure. H: horizontal level. c) Folded succession of sandstones. d) Drag fold associated with a sub-vertical fault, indicating sinistral kinematics.

DISCUSIÓN

En la secuencia permocarbonífera de la Cuenca Norte Uruguaya han sido señaladas por distintos autores una serie de evidencias de la acción de una tectónica compresiva, entre las que se destacan:

a) Superficies estratigráficas: la continentalización representada por las facies eólicas de la Formación Buena Vista y su contacto con las unidades infrayacentes es interpretada como efecto de un evento compresivo que llevó a la denudación de estas unidades (de Santa Ana 1989; de Santa Ana 2004).

b) Estructuras sedimentarias y edades radimétricas: estructuras asociadas a inestabilidad tectónica son reseñadas para todas las unidades de la secuencia permocarbonífera (*vide* de Santa Ana 2004; de Santa Ana *et al.* 2006). Ejemplos de éstas serían *slumps*, estratificaciones convolutas, estructuras de escape de agua, entre otras. Asimismo, niveles de cenizas volcánicas fueron detectados en las Formaciones Yaguarí y Mangrullo, resultando en edades U-Pb de $277 \pm 8,1$ Ma (Formación Yaguarí, Rocha Campos *et al.* 2005; Rocha Campos *et al.* 2019, en de Santa Ana *et al.* 2006), $269,8 \pm 4,7$ Ma y $279 \pm 6,4$ Ma (Formación Mangrullo, *op. cit.*), dando cuenta de la proximidad relativa de vulcanismo activo penecontemporáneo a la depositación de estas unidades. Dicho vulcanismo es interpretado como vinculado a la fase orogénica San Rafael (Cobbald *et al.* 1992), particularmente a la unidad volcánica inferior del Choiyoi (ca. 282 y 265 Ma, Kleiman y Japas, 2009). A su vez, datos de edades de exhumación (U-Th)/He en apatito en el basamento al SW del área de trabajo, arrojan edades de $274,8 \pm 55$ y $294,3 \pm 29,6$ Ma (Hueck *et al.* 2017)

c) Evidencias geofísicas: secciones sísmicas correspondientes a la Formación Buena Vista muestran espesamientos de los reflectores hacia los depocentros de la unidad y truncamientos contra los arcos estructurales, así como una convergencia de los reflectores intrasecuenciales de los distintos ciclos acrecionales rumbo a las charnelas de los pliegues. Estas características evidenciarían la contemporaneidad de la tectónica compresiva con la depositación de la unidad (de Santa Ana *et al.* 2001; de Santa Ana 2004). A partir de los mapas de anomalías Bouger también fueron interpretadas varias estructuras de dirección NW-SE y una dirección de esfuerzo máximo compresivo NE-SW (de Santa Ana 2004).

d) Evidencias estructurales: diferentes lineamientos y fallas (de rumbos N135°, NS, N15° y N75°-100°) definidas como cenozoicas han sido interpretadas como vinculadas a discontinuidades corticales antiguas, y varias podrían representar reactivaciones de estructuras compresivas permotriásicas (de Santa Ana y Veroslavsky, 2002). Plegamientos y fallas inversas son mencionadas en la Formación Fraile Muerto al norte de la localidad de Vichadero sobre el curso del Arroyo Seco, aunque la actitud estructural de estas estructuras no es reseñada

(de Santa Ana 2004; de Santa Ana et al. 2006b?). Dentro de la Formación Yaguarí, fallas de cabalgamiento indicando tope hacia el Oeste fueron descriptas por Masquelin et al. (2011). También Manigault (1982) en estudios realizados en el borde E de la Cuenca Norte sobre las formaciones San Gregorio y Tres Islas, reconoció 3 zonas con estilos estructurales distintos; una zona Sur de extensión, una zona central al Este de Melo compresiva, y una zona Norte de características mixtas con direcciones conjugadas N30°E y N120°E.

e) Otras evidencias estratigráficas – estructurales: en rocas de la Formación San Gregorio han sido descriptas varias estructuras sedimentarias indicativas de inestabilidad tectónica como deslizamientos gravitacionales, diques clásticos neptúnicos, fallas normales y rápidas variaciones litológicas y faciologías en la lateral (Andreis et al 1993, de Santa Ana et al. 2006).

1. Análisis estratigráfico. Facies y asociaciones de facies

Se pudieron efectuar agrupamientos litológicos en tres grupos principales de litofacies: conglomerados/diamictitas, areniscas y finos, siendo los más espesos estos dos últimos. De acuerdo a las litofacies presentes en esta área y su arreglo vertical, es posible interpretar para la base de esta sucesión la acción de procesos tractivos relacionados con corrientes y retrabajo de olas que depositaron a las areniscas, en un ámbito probablemente somero, con algunas intermitencias de procesos con menor régimen que provocaron la acumulación de las facies heterolíticas. Y eventualmente con algunos pasajes de influencia glacial dada por la presencia de algunos *dropstones*. Hacia el tope se pasa a un dominio de procesos de decantación con la posibilidad de algunos flujos suspensivos y de turbidez que pudieron ser responsables de las facies ritmíticas del tope, también con influencia glacial por la presencia de algunos *dropstones*. Cabe consignar que en el nivel de areniscas rojizas con óndulas se observó en planta, probables estructuras biogénicas representadas a través de una posible traza fósil de locomoción (Verde com. pers.). Similitudes litológicas y arreglos faciologías en otros sectores de la cuenca son consistentes con lo interpretado para esta sucesión decamétrica. En la Tabla 1 se describen resumidamente las litofacies presentes y los procesos responsables.

2. Análisis estructural

2.1 Origen del plegamiento

Para poder diferenciar si este plegamiento tiene un origen vinculado a la propia sedimentación en condiciones glaciares (glacio-tectónica) o son pliegues tectónicos, se analizó la geometría y estructura interna de los estratos plegados. El primer indicativo importante de que se trata de pliegues tectónicos es su simetría, la regularidad geométrica y la constancia de ésta es poco consistente con fenómenos como deslizamientos de

TABLA 1. Resumen de las facies descritas y su interpretación.
TABLE 1. Summary of the lithofacies observed and its interpretation.

Código	Descripción	Interpretación
Gm (drop)	Conglomerado arenoso clasto soportado, macizo, rojizo, ocasionalmente intraclastos fangosos y litoclastos. La fracción arenosa varía de grano fino a medio. Algunos litoclastos de diámetro cm dispersos (<i>dropstones</i>)	Carga de fondo como láminas de gravas difusas, resultado de flujos hiperconcentrados (Hein & Walker 1977) que erosionan arenas y pelitas antiguas (litoclastos pelíticos). Caída de litoclastos de masas de hielo (<i>dropstones</i>)
Dmm	Paraconglomerado con matriz pelítica y de textura matriz sostén, rosado, macizo. Algunos litoclastos cm dispersos flotando en la matriz.	Flujo gravitacional de alta viscosidad, no encauzado (Goso 1995)
Sm	Areniscas de grano fino a medio, de regular selección, macizas, ocasionalmente algunos intraclastos pelíticos en la base del estrato.	Rápida sedimentación de un flujo de alta energía unidireccional subacuático, hiperconcentrado (Miall 1978).
Sr	Areniscas de grano muy fino a grueso, moderada a bien seleccionada con laminación cruzada ondulada, ángulo de ascenso subcrítico a supercrítico.	Migración de ondulas subacuáticas unidireccionales 2-D o 3-D en régimen de flujo inferior (Allen 1963).
Sl	Areniscas de grano fino, moderada selección, de ángulo bajo estratificación cruzada. Cuarzo y gránulos fangosos y guijarros dispersivos, marcan la estratificación y la base de las camas.	Estructuras formadas en flujo de transición entre subcrítico y supercrítico (Harms et al. 1982).
Flr	Areniscas muy finas y limolitas alternando con pelitas en laminación rítmica en finas láminas, color ocre, ocasionalmente muestran deformación y presencia de <i>dropstones</i> .	Flujos gravitacionales del tipo corrientes de turbidez de baja densidad bajo influencia glacial (Goso 1995)
Fm y Fdef	Láminas de escaso espesor de arcillitas marrones, macizas. Ocasionalmente las láminas más espesas muestran laminación convoluta.	Carga en suspensión y sedimentación en aguas de muy baja energía (Miall 1977). Probable falta de laminación debido a floculación de la suspensión de arcilla. Deformación en régimen plástico sinsedimentaria provocada por inestabilidades en la densidad de flujos turbidíticos (Gladstone et al 2017).
Ht	Láminas heterolíticas areno-pelíticas lenticulares y flaser de escaso espesor (mm a cm). Intercalan areniscas muy finas a finas (masivas, a veces con ondulaciones), y arcillitas/limolitas, laminadas o masivas. Ocasionalmente presentan estructuras de deformación plástica.	Alternancia de sedimentación por decantación de carga suspendida con carga de fondo en un régimen de flujo muy cercano a cero. Deformación plástica por sobrecarga (do Amarante et al. 2019).

plataforma o *slumps* (Fossen 2010, Van der Pluijm 2004, Figura 7c). En segundo lugar, también apoyando el origen tectónico del plegamiento, es el hecho de que no se trata de estratos aislados los que se encuentran plegados, si no que el conjunto de todos los estratos en los afloramientos analizados se encuentra afectado por la geometría de plegamiento descrita (pliegues abiertos derechos de plano axial N35°/90, Figura 7c). Sumado a esto, las estructuras sedimentarias internas de los estratos, que incluyen estructuras como *slumps*, acompañan el plegamiento de los mismos (Figura 7b). Estructuras tales como laminaciones cruzadas, se encuentran a ángulos superiores al límite de estabilidad de depositación para la granulometría analizada (arenas) y no

presentan signos de deformación plástica. Otras estructuras útiles para diferenciar entre pliegues tectónicos y sedimentarios, tales como fracturas discretas en las charnelas de los pliegues, son menos frecuentes, pero también presentes, sugiriendo un plegamiento sin- a post-diagenético. Este último punto también es apoyado por la presencia de una lineación en las superficies de estratificación, la cual no sería posible de generar en sedimentos completamente blandos (Figura 7a).

Los pliegues estudiados indican una compresión máxima NNW-SSE, la cual es perpendicular al esfuerzo máximo compresivo regional de la cuenca durante el Pérmico (de Santa Ana 2004, Figura 8). Por otro lado, edades U-Th-He en Zr en el basamento inmediatamente al sur del área de estudio indican que el mismo se encontraba siendo exhumado durante el período Pérmico (Hueck *et al.* 2017), implicando que el plegamiento observado en estos sedimentos sería explicable debido al levantamiento de bloques de basamento durante o posteriormente a la diagénesis de los mismos (Figura 8).

2.2 Origen del fallamiento

El fallamiento observado presenta un movimiento sinistral indicado por pliegues de arrastre (Figura 7d). Tal movimiento implica que las fallas de alto ángulo observadas se tratan de fallas normales, las cuales poseen una geometría curva en su sentido lateral (Figura 6, Figura 7d), pudiendo implicar que pertenecen a estructuras del tipo flor negativa. Este tipo de estructuras es observado en otros lugares de la cuenca norte en asociación con diques y fallas mesozoicas, pudiendo indicar al Mesozoico como la edad más plausible para el fallamiento observado en el lugar de estudio. De no ser este el caso, el fallamiento estudiado, implica, *sensu lato*, una profundización de la cuenca hacia el norte, hecho también consistente con la geología regional. Fracturas y fallas menores también fueron observadas, las cuales siguen aproximadamente las direcciones NNW, NS y NNE.

3. Geología regional

La CNU presenta una larga evolución con diferentes eventos tectónicos extensivos y compresivos afectando su relleno. Las observaciones realizadas y discutidas en este trabajo señalan el efecto de una tectónica compresiva sobre los sedimentos de la Formación San Gregorio, así como la inestabilidad tectónica de la plataforma donde se depositaron. Estas observaciones se suman a observaciones realizadas en otras unidades de la secuencia paleozoica de la CNU, como plegamientos y fallas inversas en la formación Fraile Muerto encontradas al norte de la localidad de Vichadero sobre el curso del Arroyo Seco (de Santa Ana 2004; de Santa Ana *et al.* 2006). También dentro de la formación Yaguarí fallas de inversas con tope hacia el Oeste fueron

descritas por Masquelin *et al.* (2011). Otros estudios estructurales previos de la Formación San Gregorio pero al Este de la ciudad de Melo también indican deformación tectónica compresiva (Manigault 1982).

Desde un punto de vista sedimentario, varias estructuras sedimentarias indicativas de inestabilidad tectónica han sido descritas en rocas de la Formación San Gregorio, como ser deslizamientos gravitacionales, diques clásticos neptúnicos, fallas normales y rápidas variaciones litológicas y faciológicas en la lateral (de Santa Ana *et al.* 2006). Similares estructuras son también reseñadas para todas las unidades de la secuencia pérmico-carbonífera (*vide* de Santa Ana, 2004; de Santa Ana *et al.* 2006b). Ciertas superficies estratigráficas también son señaladas como indicativas de tectónica compresiva, por ejemplo el contacto parcialmente erosivo del tope de la secuencia paleozoica con la suprayacente Formación Buena Vista (Pérmico Superior), sumado a la continentalización representada por las facies eólicas de la misma.

Dentro de la secuencia permo-carbonífera, niveles de cenizas volcánicas fueron detectados en las Formaciones Yaguarí y Mangrullo, resultando en edades U-Pb desde $279 \pm 6,4$ Ma a $269,8 \pm 4,7$ Ma (Rocha-Campos *et al.* 2019). En paralelo, datos de edades de exhumación (U-Th)/He en apatito en el basamento al SW del área de trabajo, arrojan edades de $274,8 \pm 5,5$ y $294,3 \pm 29,6$ Ma (Hueck *et al.* 2017). La penecontemporaneidad de este vulcanismo y exhumación del basamento, sumado a las estructuras compresivas descritas en este trabajo y las previamente reportadas, sugieren a un arco activo como la principal causa de la compresión regional que lleva a el levantamiento de bloques de basamento y la inestabilidad general de la cuenca al momento de la depositación de los sedimentos de la secuencia paleozoica.

El arco volcánico de la fase orogénica San Rafael, que afecta el borde del cratón del Río de la Plata hacia el W y S en territorio argentino, presenta una importante actividad volcánica entre los ca. 282 y 265 Ma (unidad volcánica Choiyoi, Kleiman y Japas 2009, Figura 8). Dicha orogénesis es la causa más factible del levantamiento general del basamento de la región y por ende, de las estructuras reportadas en este trabajo asociadas a esfuerzos compresivos a los que se suman otras evidencias descritas a lo largo de la cuenca.

Las fallas identificadas en el área, indicando una profundización de la cuenca hacia el norte, son de edad desconocida, pero comparten los *trends* estructurales típicos para el mesozoico del Uruguay (Nuñez *et al.* 2020). El Mesozoico en el Uruguay es típicamente un momento de tectónica extensional, siendo este evento el más factible para el origen del fallamiento extensivo estudiado en la localidad, tomando en cuenta la compatibilidad de los *trends* estructurales entre los afloramientos y la tectónica regional.

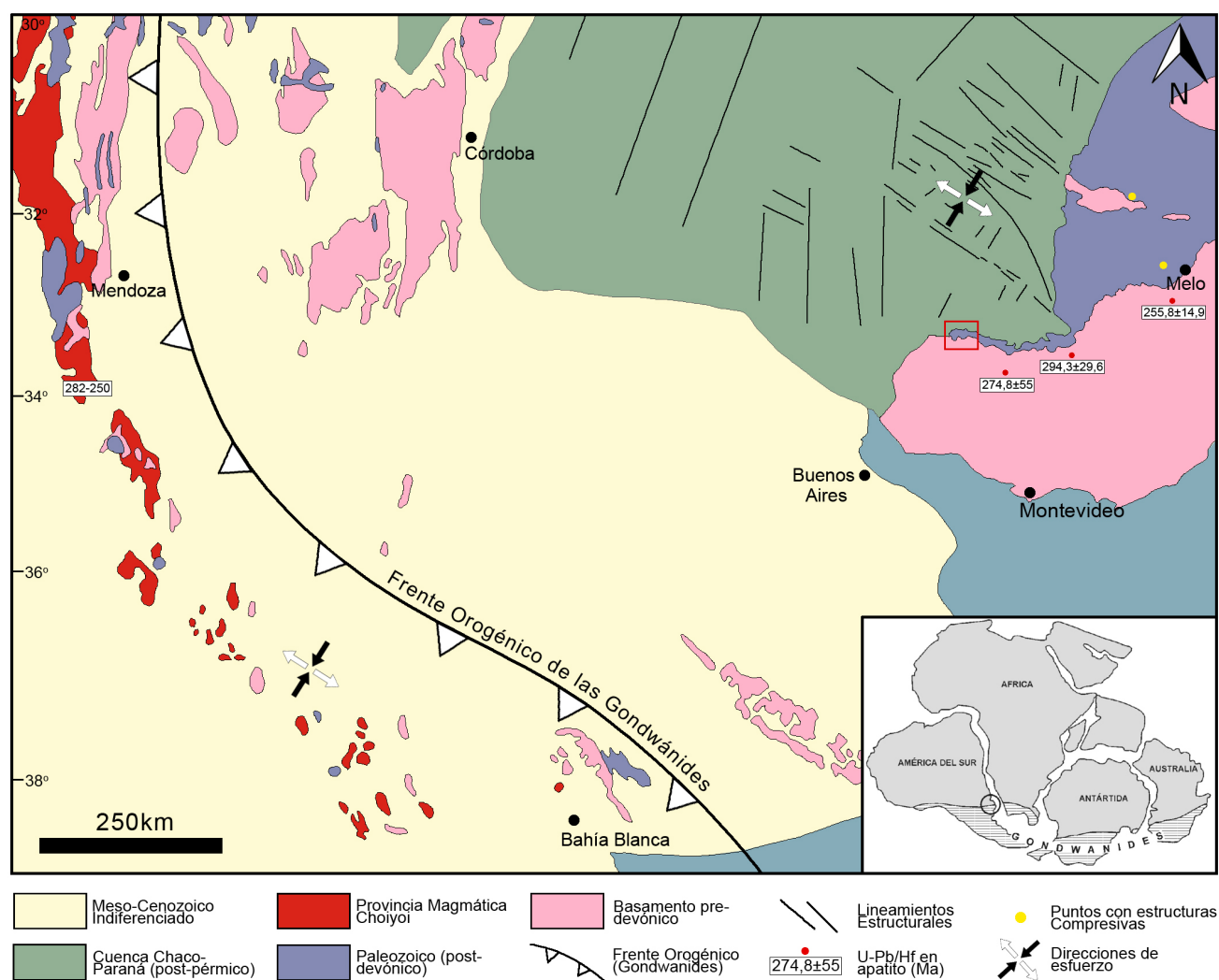


FIGURA 8. Esquema tectónico regional durante el Paleozoico para la región (modificado de Kleiman y Japas 2009).

FIGURE 8. Regional tectonic scheme for the region during the Paleozoic (modified from Kleiman y Japas 2009).

CONCLUSIONES

Fue caracterizada estratigráficamente y estructuralmente una sucesión decamétrica correspondiente a la Formación San Gregorio (Carbonífero superior) en el área de Paso del Puerto, siendo ésta el asomo glacial más meridional del Gondwana Occidental de la Cuenca Norte. Allí, ésta se apoya sobre rocas graníticas proterozoicas y aparece cubierta parcialmente por basaltos mesozoicos de la Formación Arapey y/o coluviones cuaternarios.

Los resultados de los trabajos realizados dejaron en evidencia la presencia de una sucesión de rocas depositadas en un ambiente con influencia glacial que sufrieron dos eventos de deformación, uno compresivo y otro extensional, cuyas principales evidencias reconocidas fueron sinformas, antiformas y fallamientos, en acuerdo con los modelos estructurales propuestos por otros investigadores para la región.

Las secciones estratigráficas analizadas indican una asociación de facies granodecreciente, dominando en

la base las areniscas y en el tope las ritmitas y pelitas. Dentro del apilamiento estratigráfico fueron distinguidas seis litofacies dominantes: fangolitas cuarzosas rojizas; heterolitas; diamictitas; ritmitas ocreas con *dropstones*; y grauvacas y arenitas medias a finas rojizas con *ripples*, macizas y estratificadas. Ocasionalmente aparecen intraclastos pelíticos y arenosos. Parte de estas litofacies sugieren la influencia glaciaria en la sedimentación en un ámbito probablemente marino, de borde de cuenca. Estos resultados son consistentes con lo esperado en base a las interpretaciones de ambiente sedimentario reportadas para la unidad en otros sectores de la cuenca.

A su vez, esta sucesión presenta desde el punto de vista estructural evidencias de tectónica compresiva y extensional. Allí, esta unidad presenta un patrón de plegamiento en pliegues derechos cilíndricos de plano axial N35°/90°, los cuales indican una dirección de compresión principal SSE/NNW (N115°). La causa más factible para las estructuras observadas sería la transmisión distal de esfuerzos compresivos desde el borde orogénico activo al SW del Cratón del Río de la Plata, que produce el levantamiento del basamento y, consecuentemente, origina el plegamiento descrito. A su vez, dichos pliegues se encuentran afectados por fallas normales de rumbo N110°-140° que coinciden con las direcciones extensionales del juracretácico.

Agradecimientos

A la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC-Udelar) por el apoyo a través de fondos del Programa PAIE. A los licenciados Pedro Martínez y Romina Sanabria por la colaboración en tareas de campo y gabinete. A la Intendencia Departamental de Flores por el apoyo logístico durante las actividades de campo. A los dos revisores anónimos que contribuyeron con sus sugerencias a mejorar la versión original del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J. 1963. The classification of cross-stratified units, with notes on their origin: *Sedimentology*, v. 2: 93–114.
doi:10.1111/j.1365-3091.1963.tb01204.x.
- Assine, M., de Santa Ana, H., Veroslavsky G. & Vesely, F. 2019. Exhumed subglacial landscape in Uruguay: Erosional landforms, depositional environments, and paleo-ice flow in the context of the late Paleozoic Gondwanan glaciation. *Sedimentary Geology* 369: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.03.011>
- Andreis, R., Ferrando, L. y Herbst, R. 1991. Terrenos carboníferos y pérmicos de la República Oriental del Uruguay. In: *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*, (Pre-impresión), 315–346. Buenos Aires.
- Andreis, R.R., Ferrando, L. y Montaña, J. 1993. Facies, paleoambientes e cronoestratigrafía del Permo-Carbonífero no

subsolo do setor nordeste da bacia gondwânica uruguiaia. Resumos Ampliados 1º Simposio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 39-40. Rio Claro.

Braun, A.B., Sprechmann, P. y Gaucher, C. 2003. Stratigraphic age of phosphorite-nodules from the San Gregorio Formation of Uruguay. N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 12: 739-748. Stuttgart. Alemania.

Balistieri, P., Guimarães Netto, R., Verde, M. y Goso Aguilar, C. 2001. Comparación entre dos asambleas icnofosilíferas del Permo-Carbonífero en la Cuenca de Paraná (Fm. San Gregorio, Uruguay y Fm. Rio do Sul, Brasil). Actas III Congreso Uruguayo de Geología, p.1241. CDROM. <https://www.sociedadgeologiauy.org/actas-de-congresos/>

Beri, Á. y Goso, C.A. 1996. Análisis palinológico y estratigráfico de la Fm. San Gregorio (Pérmico Inferior) en el área de los cerros Guazunambi, Cerro Largo, Uruguay. Revista Española de Micropaleontología, 28: 67-79.

Caorsi, J. y Goñi, J. 1958. Geología Uruguaya. Instituto Geológico del Uruguay. Boletín N° 37, 1-73. Montevideo.

Cobbold, P., Massabie, A. y Rossello, E. 1986. Hercynian wrenching and thrusting in the Sierras Australes foldbelt, Argentina: Hercynica II, v. 2: 135–148.

Cobbold, P., Gapais, E., Rossello, E., Milani, E. y Szatmari, P. 1992. Permo-Triassic intracontinental deformation in SW Gondwana. En: De Wit, M.J. y Ransome, I.D. (eds), Inversion Tectonics in the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous Basins of Southern Africa. Balkema, Rotterdam : 23-26.

de Santa Ana, H., Beri, A., Goso, C. y Daners, G. 1993. Análisis estratigráfico de la Formación San Gregorio (Pérmico Inferior), en los testigos del pozo Cerro Largo Sur N°4 (DI.NA.MI.GE.), URUGUAY. 23(4): 347-351.

de Santa Ana, H. 2004. Análise tectono-estratigráfica das seqüências Permotriássica e Jurocretácea da Bacia Chacoparanense Uruguiaia ("Cuenca Norte"). Tese de Doutorado, IGCE–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil, 274 pp.

de Santa Ana, H., Goso, C. y Daners, G. 2006a. Cuenca Norte: estratigrafía del Carbonífero-Pérmico. En: Verovslasky, Ubilla, Martínez (eds), Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Paleozoico. DIRAC-FCIEN 147-204. Montevideo.

de Santa Ana H., Rossello E., Fulfaro V., Veroslavsky G. (2001): Evidencias de deformación compresiva permotriásica en la Cuenca Norte (Uruguay). XI Congreso Latinoamericano de Geología – Congreso Uruguayo de Geología, CD-Rom, Montevideo

de Santa Ana, H. y Veroslavsky, G. 2002. Evidencias de tectónica cenozoica en la región Norte de Uruguay. Actas II Jornadas de Cenozoico de Uruguay, p. 1-5. Montevideo.

de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., Fulfaro, V.J., Rossello, E.A., 2006b. Cuenca Norte: evolución tectónica y sedimentaria del Carbonífero- Pérmico. In: Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (Eds.), Cuencas Sedimentarias de Uruguay:

- geología, paleontología y recursos naturales – Paleozoico. Facultad de Ciencias – DIRAC, Montevideo, pp. 209–244.
- do Amarante, F., Scherer, C., Goso, C., dos Reis, A., Mesa, V. & Soto, M. 2019. Fluvial–eolian deposits of the Tacuarembó Formation (Norte Basin, Uruguay): depositional models and stratigraphic succession: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 90: 355–376. doi:10.1016/j.jsames.2018.12.024.
- du Toit, A.L. 1927. A geological comparison of South America with South Africa. Carnegie Inst. Washington. Publication. Nº 381. (1): 1-157. Estados Unidos.
- Falconer, J.D. 1931. Memoria Explicativa del mapa geológico de la región sedimentaria del Depto. de Cerro Largo. Instituto de Geología y Perforaciones. Bol. Nº 12. 1-22. Montevideo.
- Falconer, J.D. 1937. The Gondwana System of northeastern Uruguay with special reference to the Eogondwana beds. Instituto de Geología y Perforaciones. Boletín Nº 23. Montevideo.
- Fedorchuk, N., Griffisc N., Isbell, J., Goso, C., Rosa E., Montañez, E., Qing-ZhuYinc M., Huyskensc H., Sanbornc, M., Mundile, R., Vesely, F. y Iannuzzi, R. 2021. Provenance of late Paleozoic glacial/post-glacial deposits in the eastern Chaco-Paraná Basin, Uruguay and southernmost Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* Volume 106, 102989.
- Ferrando, L. y Adreis, R. 1986. Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay. I Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos. ARPEL. Actas (1): 295-322. Buenos Aires, Argentina.
- Ferrando, L. y Montaña, J..1987. Hipótesis preliminar sobre la evolución paleogeográfica de la Cuenca del Paraná en el Uruguay. In: Atas III Simposio Sul-brasileiro de Geologia (1): 392-400. Curitiba.
- Fossen, H. 2010. Structural Geology. Cambridge University Press, Cambridge, 463. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511777806>
- Gepp, M. 2016. Evaluación del potencial generador de hidrocarburos de la Formación San Gregorio (Paleozoico superior) en la perforación Achar E-1 (Tacuarembó, Uruguay). Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias (Inéd.) 83 pp. Montevideo. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/10130/1/uy24-18409.pdf>
- Gladstone, CH., McClelland, H., Woodcock, N., Pritchard, D. & Hunt, J. 2017. The formation of convolute lamination in mud-rich turbidites. *Sedimentology*, 65 (5), 1800-1825 <https://doi.org/10.1111/sed.12447>
- Goso, H. 1967. Guía Geológica. Excursión No. 3. (Uruguay). I Simposio Internacional de Estratigrafía y Paleontología de Gondwana. Instituto Geológico del Uruguay, 50 pp. Montevideo.
- Goso, H. 1981. Prospección uranífera y favorabilidad geológica en el Uruguay. IAEA-AG 162/24. 429-447. Viena.
- Goso, H. y de Santa Ana, H. 1986. Evolución tectónica y sedimentaria de la Cuenca Norte Uruguay. Modelo preliminar.

- LX RANE. Presente y futuro de la exploración de hidrocarburos en las cuencas latino-americanas, ARPEL, 30. Lima, Perú.
- Goso, C. 1995. Análise estratigráfica da Formação São Gregorio na borda leste da Bacia Norte uruguaia. Dissertação de Mestrado (*inédito*), IGCE–Unesp, Rio Claro, SP, 214 pp.
- Goso, C., de Santa Ana, H. y Veroslavsky, G. 1996. Modelo estratigráfico secuencial da Bacia Norte Uruguaia. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Anais. Salvador. pp. 159-161.
- González, V., Sanabria, R., Silva, H., Martínez, P. y Goso, C. 2019. Estudio estratigráfico-estructural de la Formación San Gregorio (Carbonífero Tardío-Pérmico Temprano), en el área de Andresito (Uruguay). Actas IX Congreso Uruguayo de Geología,
- Guillemain, C. 1911. Zur Geologie Uruguays. Zeitsch. Deutsh. Geol. Ges., Bd. 63: 203-220. Berlin.
- Harms, J., Southard, J., Spearing, D. y Walker, R. 1982. Structures and sequences in clastic rocks: SEPM, Short Course Notes 9, 161 pp.
- Hein, F. y Walker, R. 1977, Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided Kicking Horse River, British Columbia: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 14: 562–570.
- Hueck, M., Oriolo S., Dunkl, I., Wemmer, K., Oyhantçabal, P., Schanofski, M., Basei, M. & Siegesmund, S. 2017. Phanerozoic low-temperature evolution of the Uruguayan Shield along the South American passive margin. Journal of Geological Society of London, 174:609–626 jgs2016 101–. doi: 10.1144/jgs2016-101
- Kleiman, L. y Japas, M. 2009. The Choiyoi volcanic province at 34°S-36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): Implications for the Late Palaeozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana; Elsevier Science; Tectonophysics; 473; 3-4; 283-299.
- Kling, S. y Reif, E. 1969. The Paleozoic history of amphidisc and hemidisc sponges: new evidence from the Carboniferous of Uruguay. Journal of Paleontology, 43(6): 1429-1434.
- Lambert, R. 1939. Memoria Explicativa de la Carta Geológica de los terrenos sedimentarios y rocas efusivas del Departamento de Durazno. Instituto Geológico y de Perforaciones, Boletín N° 25. Montevideo.
- Lambert, R. 1941. Estado actual de nuestros conocimientos sobre la Geología de la República Oriental del Uruguay. Instituto Geológico y de Perforaciones, Boletín N° 29. Montevideo.
- Llambías de Olivar, A. 1918. Informe acerca de la investigación geológica efectuada en la Rep. O. del Uruguay. Instituto Geológico y de Perforaciones, Boletín N° 3: 20-42. Montevideo.
- Linol, B., de Wit, M.J., Milani, E.J., Guillocheau, F., Scherer, C. 2015. New regional correlations between the Congo,

- Paraná and Cape-Karoo Basins of Southwest Gondwana. In: de Wit, M., Guillocheau, F., de Wit, M. (eds) *Geology and Resource Potential of the Congo Basin. Regional Geology Reviews*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29482-2_13
- Mackinnon, J. 1967. Informe sobre Estratigrafía del Gondwana en la región Noroeste del Uruguay. *Gondwana Stratigraphical Symposium*, 973-983. Buenos Aires.
- Manigault, B. 1982. Decrochements senestres a la limite des granites de la Sierra de los Rios et des gres San Gregorio Tres Islas, Uruguay. En *Actas I: Quinto Congreso Latinoamericano de Geología*. Argentina. pp. 519 - 528
- Marques-Toigo, M. 1970. *Anabaculites* nov. gen., a new miospore genus from San Gregorio Formation of Uruguay. *Ameghiniana*, 7(1): 79-82.
- Marques-Toigo, M. 1973a. Estudo palinológico de concreções calcárias da Formação San Gregorio, NE da República Oriental do Uruguai – Bacia do Paraná. *Dissertação de Mestrado (inédito)*, Porto Alegre, UFRGS, 109 pp.
- Marques-Toigo, M. 1973b. Ammonoids x pollen and the Carboniferous or Permian age of San Gregorio Formation of Uruguay, Parana Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 44 (supl.): 237-241.
- Marques-Toigo, M. 1974. Some new species of spores and pollens of Lower Permian age from the San Gregorio Formation in Uruguay. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 46(3/4): 601-616.
- Marques-Toigo, M. 1988. Palynobiostratigraphy of the southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence. 7^o *International Gondwana Symposium*, São Paulo, pp. 503-516.
- Martínez Macchiavello, I.C. 1963. Microesporomorfos tipos contenidos en el glacial en la base del Sistema de Gondwana en Uruguay. *Boletim da Universidade do Paraná. Geologia*, (10): 1-14. Curitiba.
- Masquelin, H., Aífa, T., Hallot, E., Veroslavsky, G., Muzio, R., Scaglia, F. 2011. Evidencias de deformación compresiva tardía post-pérmica en la cuenca norte de Uruguay. En: *XVIII Congreso Geológico Argentino*, Neuquén.
- Marstrander, R. 1915. Informe Preliminar sobre las riquezas minerales de la República Oriental del Uruguay. Instituto Geológico y de Perforaciones, Boletín N° 2. Montevideo.
- Miall, A. 1978, Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary, in Miall, A.D., ed., *Fluvial Sedimentology: Canadian Society of Petroleum Geologists, Special Publication 5*, p. 587–604.
- Milani, E. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 255 p.
- Milani, E. J.; & De Wit, M. J. 2008. Correlations between the classic Parana and Cape-Karoo sequences of South America

- and southern Africa and their basin infills flanking the Gondwanides: du Toit revisited. Geological Society, London, Special Publications, 294(1), 319–342. doi:10.1144/SP294.17
- Milani, E. & Ramos, V. 1998. Orogenias paleozoicas no dominio sul-occidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociencias*, 28(4): 473 – 484
- Mones, A. y Figueiras, A. 1981. A geo-paleontological synthesis of the Gondwana formations of Uruguay, de Cresswell M. & Vella P. (eds): Gondwana Five: Proceedings of the Fifth International Gondwana Symposium, pp. 47-52 AA Balkema, Rotterdam.
- Núñez, P., Masquelin, H., Prezzi, C., Aifa, T., Muzio, R., Loureiro, J., Peel, E., Campal, N., y Bettucci, L. 2020. Aeromagnetic patterns in Southern Uruguay: precambrian-Mesozoic dyke swarms and Mesozoic rifting structural and tectonic evolution. *Tectonophysics* 789: 228373
- Oppenheim, V. 1934. Sobre a bacia sedimentar gondwânica na República Oriental do Uruguay. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. 6, (3): 143-153. Rio de Janeiro.
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W. & Rossi, P. 1988. Memoria Explicativa y Carta Geológica del Uruguay (1:500.000). DI.NA.MI.GE. 90 pp. Montevideo.
- Rocha-Campos, A., Basei, M., Nutman, A., Kleiman, L., Varela, R., Llambias, E., Canile, F., da Rosa, O. 2011. 300 million years of Permian volcanism recorded in the Choiyoi igneous province (W Argentina) and their source for younger ash fall deposits in the Paraná Basin: SHRIMP U–Pb zircon geochronology evidence. *19(2)*, 509–523. doi:10.1016/j.gr.2010.07.003
- Rocha-Campos, C., Basei, M.A.S., Nutman, A.P., Santos, P.R., Passarelli, C.R., Canile, F. M., Rosa, O.C.R., Fernandes, M.T., de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., 2019. U-Pb zircon dating of ash fall deposits from the Paleozoic Paraná basin of Brazil and Uruguay: a reevaluation of the stratigraphic correlations. *J. Geol.* 127, 167–182.
- Serra, N. 1946. Problemas de nuestra estratigrafía. *Revista de Ingeniería*, Mes 11, 679-688. Montevideo.
- Tankard, A., Ultiana, M., Welsink, H. y Ramos, V. 1995 Structural and tectonic controls of basin evolution in southwestern Gondwana during the Phanerozoic. En: *Petroleum Basins of South America* (A. J. Tankard, R. Suarez Soruco, y H. J. Welsink, eds): AAPG Special Volume. M62. <https://archives.datapages.com/data/specpubs/memoir62/01tanker/0005.htm>
- Taylor, J. 1976. Informe al Gobierno de la R. O. del Uruguay. Informe 1111. Instituto Geológico del Uruguay (IGU). 1-33. Montevideo.
- Terra Arocena, E. 1926. Nota sobre el piso Itararé, y los esquistos marinos de Rincón de Alonso. *Inst. Geol. Perf. Bol No.*

8: 8-20. Montevideo.

van der Pluijm, B. & Marshak, S. 2004. *Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics*. 2nd Edition, WW Norton, *New York*.

Walther, K. 1919. Líneas fundamentales de la estructura geológica de la República O. del Uruguay. *Revista del Instituto Nacional de Agronomía*, (2) 3: 186 pp. Montevideo.

Walther, K. 1924. Los resultados de las perforaciones practicadas en el departamento de Cerro Largo en busca de Carbón de Piedra. *Instituto de Geología y Perforaciones*, Boletín N° 6: 3-19.

Walther, K. 1936. Contribución a la petrología y estratigrafía del glacial gondwánico uruguayo. *Instituto Geológico y de Perforaciones*. Boletín N° 22: 259-275.

White, I.C. 1908. Relatório sobre as Coal Measures e rochas associadas ao Sul do Brasil, Comissão de Estudos de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro, tomo 1, 300 pp.

Ybert, J.P. y Marques-Toigo, M. 1970. *Polarisaccites* nov. gen. *Rev. Pollen et spores*, Vol. XII:(3), 469-481. Paris.