

EL LÍMITE DEVÓNICO-CARBONÍFERO EN LA CUENCA DE TARIJA, BOLIVIA. SU INTERPRETACIÓN A PARTIR DE DATOS DEL SUBSUELO EN EL PIEDEMONTES CHAQUEÑO

David Zubieta Rossetti¹, Juan Manuel Reynaldi², Gustavo Dardo Vergani²

1: Consultor interno-Pluspetrol S.A. dzubietarossetti@gmail.com

2: Pluspetrol S.A. jreynaldi@pluspetrol.net, gvergani@pluspetrol.net

Palabras clave: Cuenca de Tarija, límite Devónico-Carbonífero, discordancias erosivas, diamictitas

ABSTRACT

The Devonian-Carboniferous limit in the Tarija Basin of Bolivia. Its interpretation from subsurface information in the Chaco Plain

The Devonian-Carboniferous boundary has a large importance in the Bolivian Sub-Andean and Northwest of Argentina. This boundary not only reflects changes in the paleo-climate and sedimentary environment, but can also act as a top seal for hydrocarbon accumulations in the reservoirs of Iquiri Formation. Several factors complicate its precise identification, as its lithological variability and palynological ages, which often are not accurate enough, and the presence of strong erosional unconformities.

The analysis developed presents a possible model for this boundary and overlying units in a sector of the piedmont zone and Subandino Boliviano foothills between 18°30' and 20°S. It is based on detailed analysis of exploration wells data located in the Tajibo-Tacobo area and two measured sections in the Quebrada Taputá (Serranía de Charagua), the Iquiri Formation is exposed, as well as its relation to the units deposited above.

Overlying the Iquiri Formation three unconformity-bounded sedimentary sequences with distinctive litho-stratigraphic characteristics were identified.

The unconformity D1 is chronologically located in the uppermost Devonian. It separates the Iquiri Formation, of shallow shelf marine deposits, from Sequence 1 which is part of a new cycle of sedimentation in a marine depositional environment with glacial and fluvial influence.

The unconformity D2, is the boundary between Sequence 1 and Sequence 2, although in some sectors this unconformity can completely erode Sequence 1, reaching the Iquiri Formation. This limit marks the boundary between the Devonian and Carboniferous

The unconformity D3, is a highly erosive surface of early Carboniferous age above this discontinuity sandstones of widespread distribution in the Tarija basin were deposited.

These major discontinuities are assigned to base level changes, probably caused by climatic factors.

INTRODUCCIÓN

La compleja relación que existe entre las unidades que se desarrollan entre la Formación Iquiri y el Carbonífero Inferior en el sector suroriental de Bolivia, ha generado diferentes estudios para

asignar una posición estratigráfica definitiva a las sedimentitas que yacen por encima de este límite. Los nombres formacionales asignados a principios del siglo XX están basadas en descripciones litológicas y más recientemente se utilizaron dataciones palinológicas y observaciones de superficie y subsuelo para definir la ubicación crono-estratigráfica de estas secuencias.

El estudio que abordamos está basado en el análisis de las diferentes unidades estratigráficas en función, no sólo de las características litológicas, sino también de su genética, dataciones palinológicas, análisis de electro-facies de los pozos analizados y la interpretación de secciones sísmicas. Con estos elementos se define con la mejor precisión posible la ubicación cronoestratigráfica de las secuencias que abarcan el intervalo Frasniano–Viseano (Devónico superior-Carbonífero inferior).

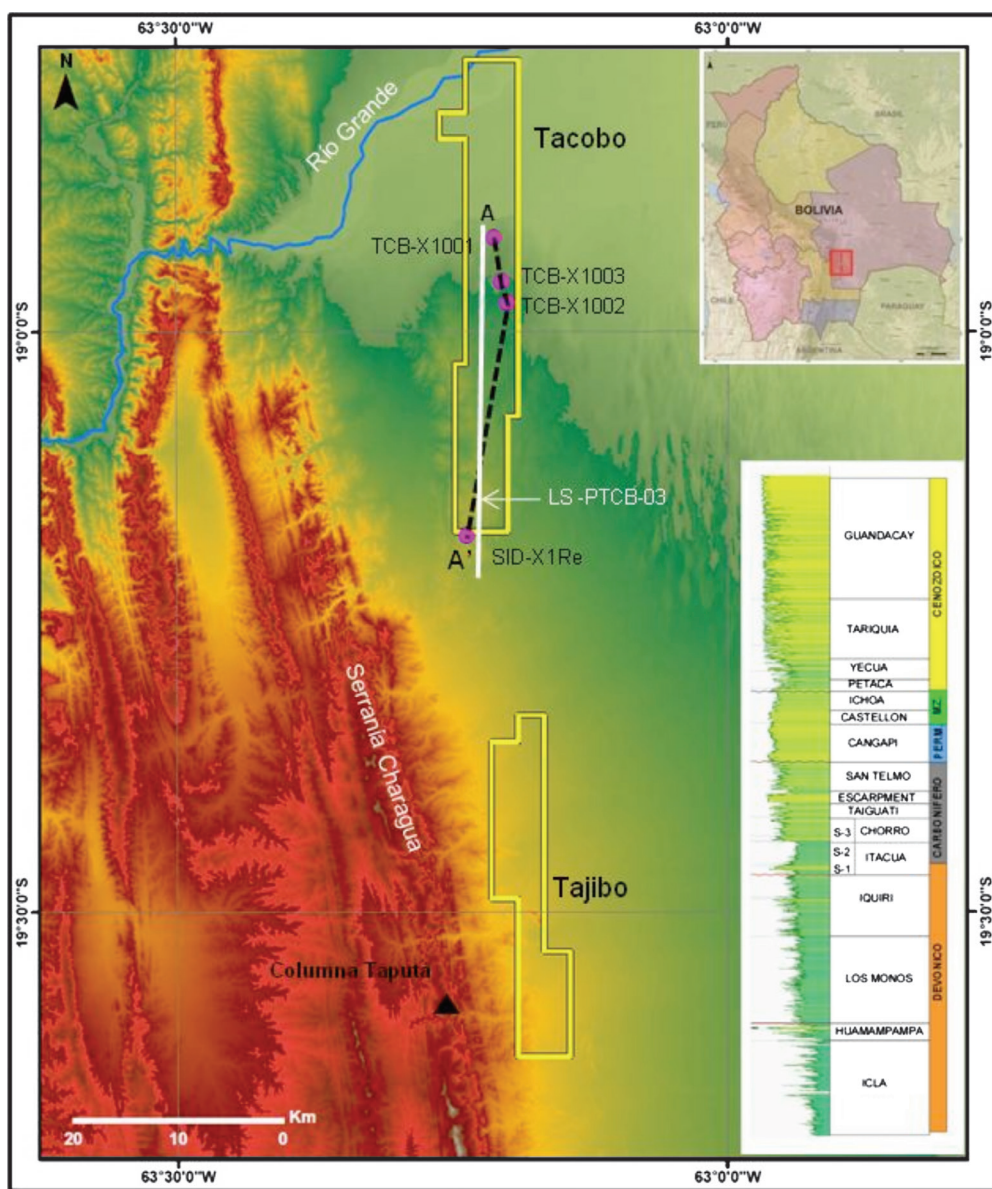


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. La columna estratigráfica y el perfil tipo, contienen las unidades formacionales del área de estudio, que incluyen edades del Devónico, Carbonífero, Mesozoico y Cenozoico.

La zona de estudio está ubicada en el piedemonte que se desarrolla al Este de la Serranía de Charagua, en el área de influencia de los yacimientos de Tacobo y Tajibo (Figura 1).

La estratigrafía del Carbonífero inferior contiene varias unidades que incluyen a las formaciones Itacua, Chorro y Taiguati. Si bien algunos autores reconocen la presencia de la Formación Tupambi en subsuelo, en este trabajo no se reconoce la unidad que fue definida en su localidad tipo considera que la ausencia de esta unidad. Las secuencias analizadas Sec-1, Sec-2 y Sec-3 corresponden tentativamente al intervalo comprendido entre las formaciones Itacua y Chorro, como se puede observar en la Figura 1, donde se presenta la columna estratigráfica generalizada.

ANTECEDENTES

La relación entre la secuencia superior del Devónico y la parte inferior del Carbonífero en la región central y suroriental de Bolivia ha sido motivo de análisis durante los últimos 90 años por parte de varios investigadores ligados a la actividad del petróleo. Harrington (1920) denominó T-3 *shale* a unas diamictitas descritas por debajo de la Formación Tupambi y por encima de la Formación Iquiri. Posteriormente, la Formación Itacua, fue nominada por White (1929) para referirse a una secuencia similar compuesta por diamictitas en la Quebrada San Marcos (Serranía Aguaragüe) donde se midió un espesor de 145 m. En el yacimiento Camiri, ubicado en la Serranía de Sararenda, los geólogos de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) definen en subsuelo una secuencia con el nombre de “Violáceo” para referirse a unas pelitas violáceas desarrolladas entre las formaciones Iquiri y Tupambi. Años más tarde, en base a una nueva clasificación de palinozonas efectuada por Suarez y Lobo (1983), se postula el nombre de Saipurú para identificar a las sedimentitas ubicadas entre areniscas asignadas a la Formación Iquiri y la Formación Tupambi, Suárez Soruco y López Pugliesi (1983). La Formación Heredia es la última propuesta para nominar a las sedimentitas ubicadas en el intervalo Devónico/Carbonífero. Esta unidad postulada por Requena (1994) tiene en la Quebrada Heredia (Serranía de Yanguilo) su columna tipo. La serie está compuesta por areniscas, conglomerados, limolitas, lutitas y diamictitas cuyo espesor supera los 100 m. Secuencias de tercer orden y discontinuidades intra-carboníferas fueron identificadas en el área de la llanura Central de Santa Cruz. En este sector la secuencia que se desarrolla por encima de la Formación Iquiri está conformada predominantemente por facies arenosas asignadas a la Formación Tupambi. Los canales basales de esta unidad se asientan en contacto erosivo sobre la Formación Iquiri, Cardona *et al.*, (1999).

EVALUACIÓN DE DATOS

El análisis lito y bioestratigráfico de las secuencias definidas en el área de estudio está sustenta-

do en la interpretación de registros eléctricos, descripción de recortes de pozo, secciones sísmicas 2D y el análisis estratigráfico de dos columnas de superficie ubicadas en los flancos oriental y occidental de la serranía de Charagua, sobre la Quebrada Taputá, Poiré y Tineo (2013). Se describen a continuación las características de la Formación Iquiri y las secuencias Sec-1, Sec-2 y Sec-3 definidas como unidades que abarcan el intervalo comprendido entre el Devónico cuspidal y Carbonífero basal.

Formación Iquiri (Givetiano-Fameniano inferior)

La interpretación de la relación entre la Formación Iquiri y las unidades suprayacentes está basada en observaciones de campo de columnas estratigráficas y pozos exploratorios de la zona de estudio.

Las sedimentitas de esta secuencia forman parte del último ciclo transgresivo-regresivo de la cuenca siluro-devónica. Los afloramientos de la Formación Iquiri se describen como una serie continua compuesta por espesos bancos de sedimentos finos, facies heterolíticas ricas en lutitas y limolitas y areniscas de grano fino a muy fino subordinadas (Figura 2).

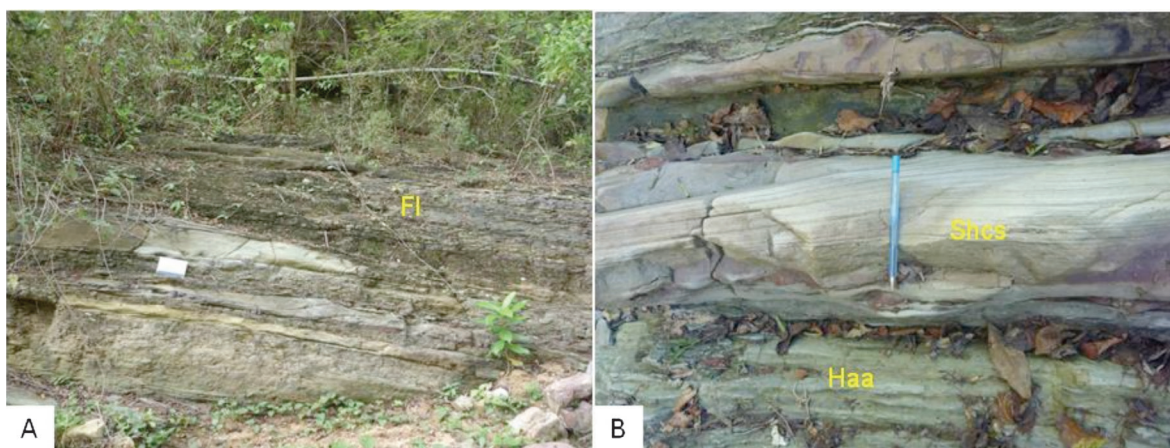


Figura 2. Afloramientos de la Formación Iquiri en la Quebrada Taputá. (A) Facies limo-arcillosas –FI– con intercalaciones de areniscas de grano fino, estratificación entrecruzada y distribución lenticular. (B) Facies de areniscas finas con estructura *hummocky* –Shcs– y facies heterolíticas limo-arenosas con estratificación *flaser* –Haa–. Fotografías de Poiré y Tineo (2013).

Las areniscas fueron clasificadas como arenitas sub-feldespáticas y líticas. Las determinaciones corresponden a secciones delgadas de muestras obtenidas en afloramientos. Los granos de cuarzo representan entre el 70 y el 90% del total, los feldespatos de ortosa y plagioclasa subordinada entre el 6 y el 10%, mientras que los líticos representados por rocas metamórficas (filitas y metacuarcitas) tienen concentraciones variables de 3 a 4%. Las intercalaciones de bancos arenosos alcanzan espesores de hasta 2,5 m (Figura 3).

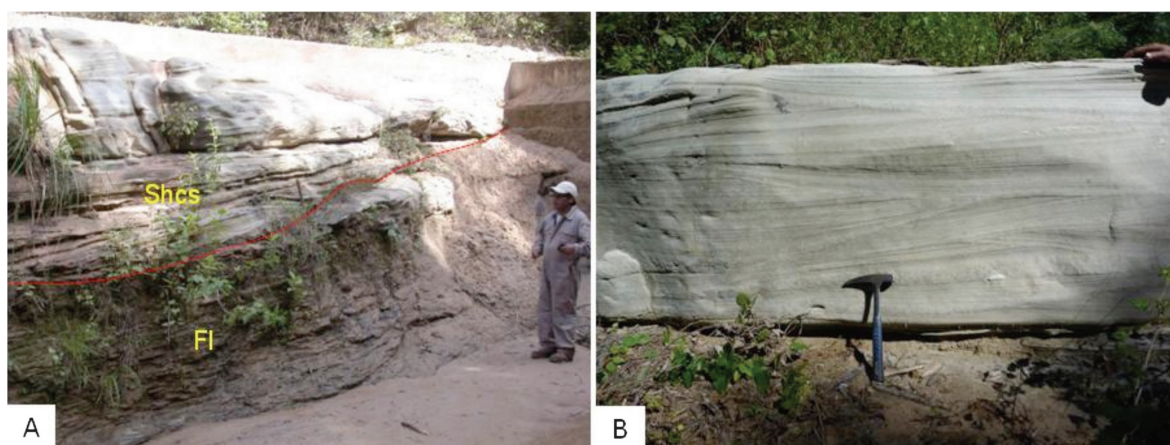


Figura 3. Afloramientos de areniscas de la Formación Iquiri en la Quebrada Taputá. (A) Areniscas con estratificación entrecruzada y base erosiva sobre lutitas. (B) Banco de areniscas de grano fino, con estratificación entrecruzada. Fotografías de Poiré y Tineo (2013).

Las descripciones de recortes de pozo hacen referencia a una serie monótona de lutitas y limolitas con intercalaciones de areniscas. Las lutitas son de color gris oscuro laminadas, fractura irregular concoidea. Son compactas, duras, tienen brillo sedoso y contienen partículas muy pequeñas de mica. Las limolitas son de color gris medio a gris oscuro, son masivas y micromicáceas, de fractura irregular, compactas y en partes arenosas y silíceas. La fracción psamítica corresponde a areniscas gris medio a gris blanquecino, grano fino a muy fino, excepcionalmente grano medio, subangular a subredondeado, selección buena a moderada, cuarzosas, consolidadas y micáceas, con cemento silíceo.

Las electrofacies de esta secuencia se caracterizan por un patrón de rayos gamma (GR) e Inducción aserrado que define claramente a las facies heterolíticas de esta formación. Dentro del patrón aserrado se pueden identificar ciclos de somerización de entre 7 y 10 m que comienzan con facies finas de lutitas y pelitas físliles y terminan en bancos de areniscas con estratificación entrecruzada en artesas. El nivel de base de las arcillas tiene valores de entre 50 y 70 unidades API. El registro sísmico muestra una roca muy consolidada, con bajos tiempos de tránsito, encontrando mayores tiempo de transito en la Arenisca Guanaco, la cual confirma un ciclo de somerización que se estabiliza, conformando un cuerpo arenoso de casi 20 m. Su límite superior es transicional.

Esta formación caracteriza a un ambiente marino de plataforma externa. Albariño *et al.* (2002) define a toda la secuencia Devónica del Subandino Sur y el Chaco, de Bolivia y Argentina como una plataforma clástica de pendiente suave, amplia distribución espacial y sedimentos uniformemente estratificados.

La edad de esta formación está calibrada con dataciones palinológicas obtenidas en pozos, que le asignan el intervalo comprendido entre el Givetiano y Fameniano inferior (Pérez Leyton, 1999, 2001, 2007, 2012 y 2014).

Secuencia 1 (Fameniano superior-Struniano)

La secuencia 1 (Sec-1) es la unidad cronoestratigráfica basal del ciclo sedimentario que se desarrolla por encima de la Formación Iquiri. La edad de esta secuencia es asignada al Fameniano superior – Struniano, por estudios palinológicos en los pozos TCB-X1002 y TCB-X1003, Pérez Leyton (2007; 2013a). Está conformada por diamictitas de color gris medio a gris oscuro medio, con granos de cuarzo hialino diseminados en la matriz limo-arcillosa. Las limolitas y arcilitas son de color gris medio oscuro y las intercalaciones de areniscas tienen espesores de 1 a 4 m de potencia, son de color gris medio a gris muy claro y gris amarillento. El grano es fino a medio y en parte grueso, tienen regular a mala selección, son consolidadas y duras, contienen litoclastos oscuros de color verde, son micáceas y tienen cemento silíceo.

Las secciones estratigráficas levantadas en ambos flancos de la Serranía de Charagua, en la Quebrada Taputá, presentan características litológicas similares a las descritas en pozos. En la parte inferior de la secuencia se describen areniscas rojo púrpura pardusco, tienen grano fino a medio y clastos diseminados hacia el techo. Las facies de diamictitas limo-arenosas masivas, de colores rojizos son masivas con matriz arenosa y clastos de cuarzo. Intercalan delgadas capas de areniscas de grano fino de color gris claro con estratificación fina (Figura 4).

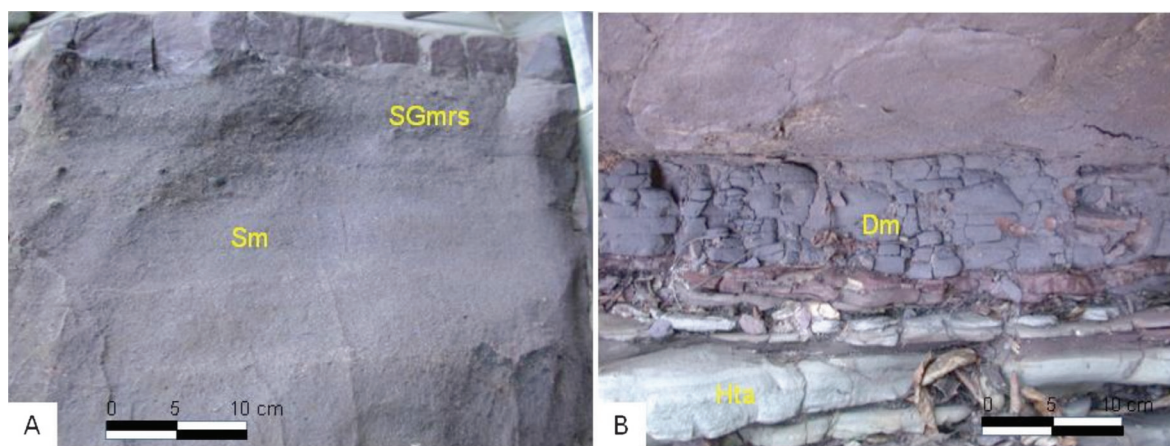


Figura 4. Afloramientos de areniscas y diamictitas de la Secuencia A en la Quebrada Taputá. (A) Areniscas ferruginosas masivas, de grano medio y grueso, con clastos diseminados en el tope. (B) Diamictitas limo-arenosas masivas. Fotografías de Poiré y Tíneo (2013).

La secuencia Sec-1 presenta en la parte basal niveles con estratificación muy fina de facies heterolíticas predominantemente arenosa y limolitas micáceas que tienen cierta semejanza con las facies de la Formación Iquiri, sin embargo, la presencia de intercalaciones de diamictitas masivas con granos de cuarzo flotando en la masa limo-arcillosa y areniscas de grano medio con pequeños clastos de cuarzo hialino (Figura 5) son la evidencia de un cambio en el ambiente de sedimenta-

ción de esta unidad. Se observaron en el techo de los bancos de areniscas ondulitas asimétricas. La repetición de pulsos con aporte de detritos de textura gruesa produce erosión localizada sobre las pelitas infrayacentes. Hay intercalaciones de arcilitas violáceas finamente estratificadas y laminadas con facies heterolíticas predominantemente arenosas y diamictitas rojo pálido intercaladas con lutitas rojizas. Las capas de areniscas de grano medio a grueso, presentan clastos de cuarzo hialino (Figura 5).

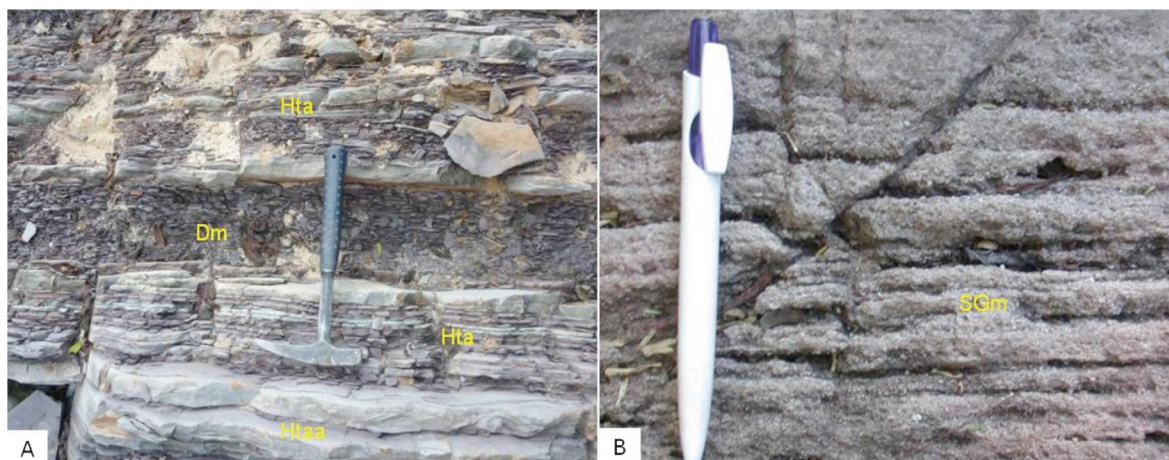


Figura 5. Afloramientos de litofacies de diamictitas, areniscas, areniscas conglomerádicas de la Secuencia 1, en el flanco occidental de la Quebrada Taputá. (A) Intercalación de facies heterolíticas muy arenosas -Htaa-, arenosas -Hta- y diamictitas -Dm- con matriz limo-arcillosa. (B) Facies de areniscas guijosas masivas -SGm-. Se interpreta a estos sedimentos como diamictitas con matriz arenosa y clastos dispersos. Fotografías de Poiré y Tineo (2013).

En secciones delgadas obtenidas en la Quebrada Taputá (Figura 6) clasifican a estas rocas como areniscas subfeldespáticas y areniscas sabulíticas, estas última con 10% de líticos y 6% de feldespatos, tienen mala selección y son consideradas como diamictitas.

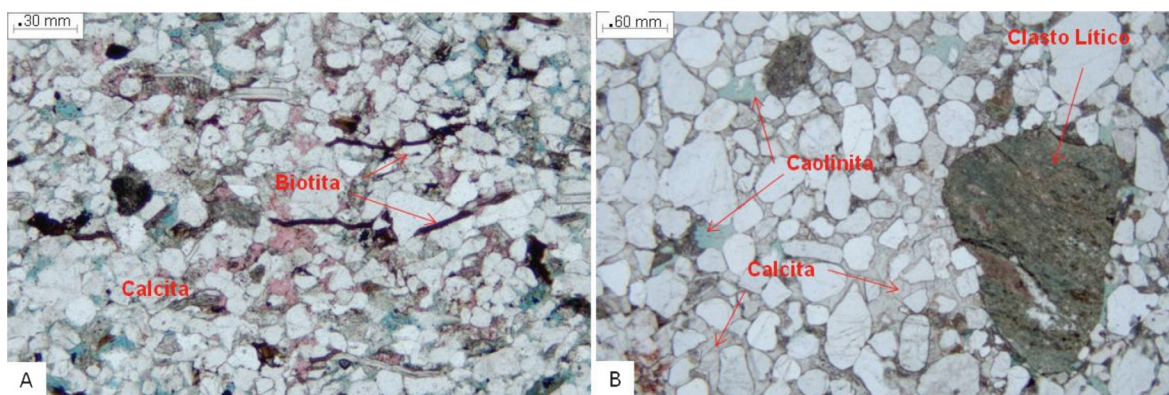


Figura 6. Secciones delgadas para estudio petrográfico y diagenético. (A) Arenita sub-feldespática de la Formación Iquiri, tiene grano muy fino a fino, granos subanguloso a subredondeado, selección buena y presencia de biotita (B). Arenita subfeldespática de la Secuencia 1, tiene grano muy fino a limo y arena fina, aislados granos de arena media, selección pobre a moderada. La presencia de un sábulo caracteriza la pobre selección de las diamictitas. Ambas secciones son en nicoles paralelos.

Los valores de GR e Inducción de esta secuencia definen también un patrón aserrado de aspecto más grueso y con valor de base de las arcillas con menores valores de GR (30 a 60 unidades API). La secuencia está definida por una mayor proporción de areniscas (en parte gravosas). Las facies heterolíticas cuando están presentes gradan a areniscas finas y muy finas. Se observan cuerpos arenosos de entre 2 y 5 m que culminan el patrón somerizante. El perfil sísmico muestra en términos generales una disminución en los tiempos de tránsito, evidenciando un intervalo mas “cerrado”, con menor porosidad y mayor cementación. Su límite superior es transicional, definido por un nivel de pelitas finas (alto valor de GR).

La parte media a superior de esta secuencia está caracterizada por la presencia de potentes bancos canalizados de areniscas amarillentas con intercalaciones de pelitas y diamictitas limo-arenosas y arenosas de color gris y rojo oscuro. Las areniscas son de grano fino a medio, con estratificación entrecruzada de bajo ángulo y laminación, también se presentan capas de areniscas masivas y diamictitas (Figura 7).

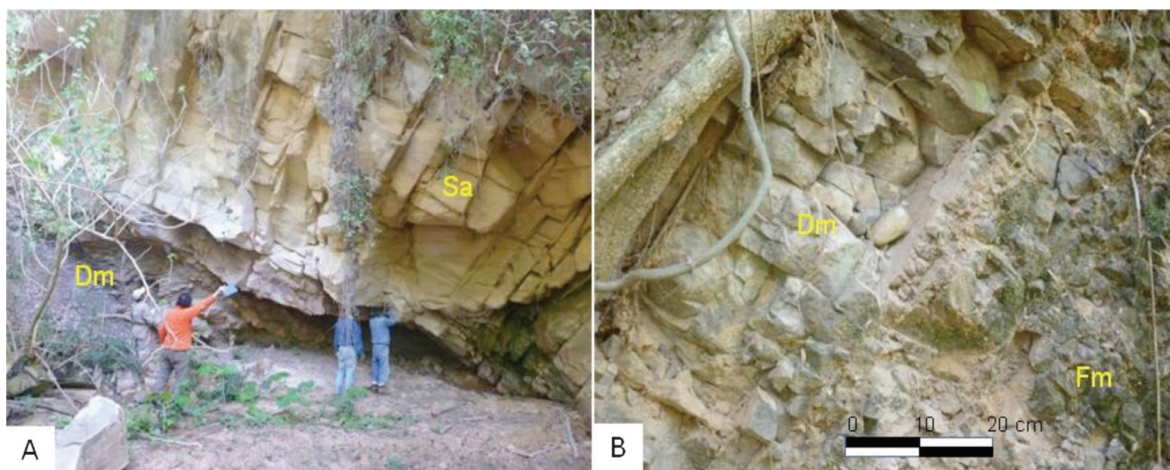


Figura 7. Afloramientos de areniscas y diamictitas arenosas de la Secuencia 1 en la columna de la Quebrada Taputá. (A) Areniscas con base acanalada, en contacto con diamictitas masivas. (B) Diamictitas arenosas pobremente estratificadas, en la base se desarrolla limolitas y diamictitas. Fotografías de Poiré y Tineo, 2013.

El espesor de estos cuerpos oscila entre 5 y 14 m. Las facies de diamictitas de color gris a gris oscuro tienen textura fina (matriz limo-arcillosa), son masivas y en parte se observan limolitas laminadas. El espesor total de la secuencia en el flanco oriental de Taputá es de 115 m.

La fracción fina está compuesta por lutitas, limolitas y diamictitas. Los bancos acanalados de areniscas son escasos en la columna occidental de Taputá y predominan en la sección descrita en el flanco oriental, tienen color gris claro a gris verdoso algunos (bancos) con motas marrón rojizo, las areniscas presentan grano fino a muy fino, subangular, regular selección, son poco consolidadas a friables.

En los pozos analizados, las diamictitas son de color rojo gris con tono violáceo, son principalmente limo-arcillosas, gris oscuro a verde oscuro, contienen inclusiones de cuarzo hialino, líticos, son menos frecuente las diamictitas arenosas de grano medio, grueso y muy grueso, contienen clastos líticos gris y verdoso. El cemento calcáreo está presente. Se describen también conglomerados polimícticos con litoclastos de chert, granito rosado, fragmentos de cuarzo opaco subredondeado a redondeado. Las lutitas y limolitas algo micáceas de color gris verdoso, gris medio y marrón rojizo y marrón moderado se describen en el pozo San Isidro Re-X1 (SID-X1Re). Se determinó en esta unidad material palinológico retrabajado del Devónico.

Secuencia 2 (Tournaciano-Visiano inferior)

Esta secuencia está compuesta por sedimentos finos con algunas intercalaciones de bancos de areniscas. Las limolitas y diamictitas, presentan generalmente colores rojizos. Las diamictitas son masivas y presentan una matriz limo-arcillosa con clastos de cuarzo redondeados a subredondeados y escasos guijarros de hasta 8 cm de diámetro (*dropstones*). Los afloramientos de esta secuencia son escasos en la Quebrada Taputá, en subsuelo se describen limolitas y arcilitas de color marrón moderado y gris verdoso. Las areniscas de grano fino a muy fino, son de color gris muy claro y gris verdoso, contienen cuarzo hialino y buena selección.

El perfil de GR en este intervalo aumenta su valor respecto de la secuencia 1, presentando el valor de base de arcillas más alto de todo el intervalo estudiado (100-120 unidades API), lo que indica un aumento significativo en la proporción de finos. El patrón general es aserrado presentando “incisiones” marcadas, que indican la deposición de pelitas finas, carbonosas. El perfil de inducción acompaña el patrón aserrado con valores algo más bajos, lo que indica un cambio en el de la salinidad. El perfil sónico presenta intervalos con altos tiempos de tránsito (deflexión a la izquierda).

Secuencia 3 (Visiano)

Esta secuencia está compuesta predominantemente por facies arenosas de color gris claro a muy claro, amarillentas de grano medio a grueso, cuarzo hialino, lechoso, subangular a subredondeado, presentan selección pobre, matriz arcillosa y cemento silíceo. En las secciones de superficie (Flancos este y oeste de Taputá) se describe areniscas con estratificación entrecruzada (Figura 8 A), contienen clastos de 2 a 4 mm y niveles de areniscas conglomerádicas. Los niveles de sedimentitas de grano fino (limolitas y diamictitas) de color marrón rojizo son menos frecuentes (Figura 8 B).

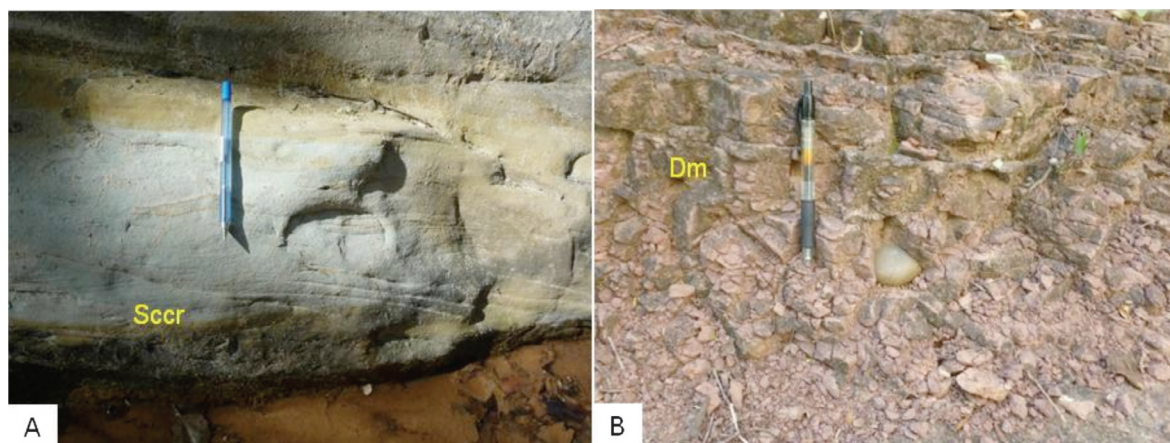


Figura 8. Afloramiento de areniscas y diamictitas en el flanco oriental de la Quebrada Taputá. (A) Areniscas finas a medias, con estratificación entrecruzada. (B) Diamictitas masivas con clastos redondeados de cuarzo, disperso en sedimento limo-arcilloso.

El contraste litológico entre la Sec-2 y Sec-3 es también notorio en las diagráfias de pozo. La base de la Sec-3 es erosiva. Los primeros bancos de la secuencia 3 están conformados por areniscas gris claro a gris verdoso, grano fino a medio, menor grueso, de cuarzo translúcido, de regular a mala selección, intercalan limolitas gris verdoso y verde azulado con presencia de pirita. Algunos metros más arriba, se describen en el pozo Tacobo-X1001 (TCB-X1001), niveles de areniscas conglomerádicas vari-colores, conteniendo líticos de chert, cuarcitas y granitos. Las diamictitas son de color marrón rojizo oscuro a gris violáceo, masivas, contienen granos de cuarzo hialino fino a medio. El límite superior de esta secuencia no ha sido definido.

Los efectos de una deformación sin-sedimentaria producen repliegues a diferente escala. (Figura 9). Son frecuentes los grandes deslizamientos que producen flujos gravitacionales de facies predominantemente arenosas (Figura 9).

El patrón de esta secuencia es cilíndrico - aserrado con bajos valores de GR, característicos de sedimentos mayormente arenosos. Presenta cuerpos de arenisca con forma cilíndrica suave, con espesores que alcanzan los 45 m. El perfil de inducción es similar a la curva de GR. El perfil sísmico muestra un intervalo con marcadas variaciones de tiempo de tránsito, siempre dentro de valores rápidos (60-80 Us/ft), representando las variaciones e intercalaciones entre niveles arenosos.

La secuencia Sec-3 está conformada por facies gruesas de areniscas de diferente textura y estructura interna, son frecuentes los bancos de areniscas con estratificación entrecruzada, masiva y con frecuencia presentan deslizamientos gravitacionales, producidos en un ambiente sub-ácueo. La base de esta secuencia es netamente erosiva, mientras que el techo, no ha sido analizado. Se presentan intercalaciones de niveles de diamictitas y limolitas de colores rojizos, la secuencia carece de palinimorfos preservados para determinar su edad, Pérez Leyton (2013a).

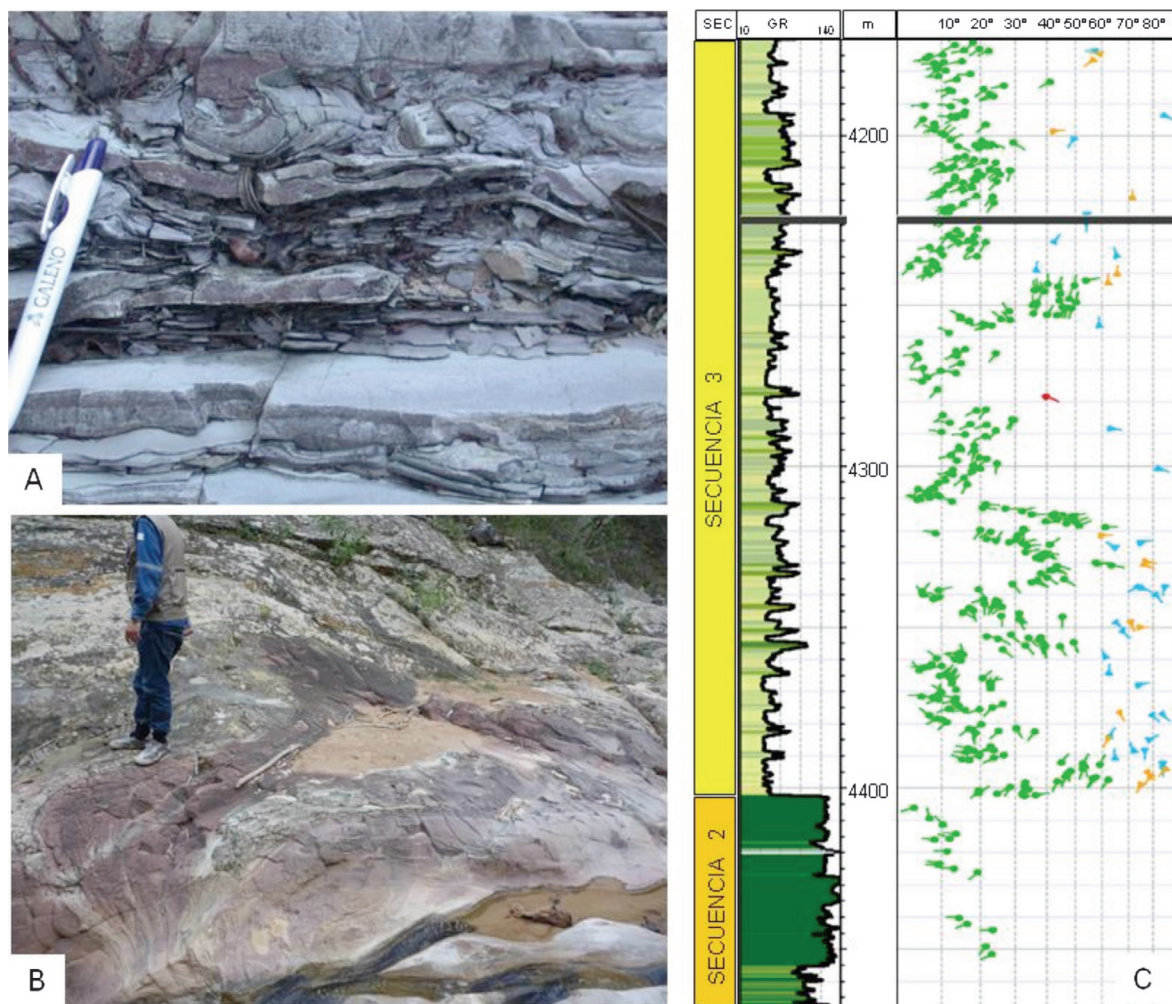


Figura 9. Deformación sin-sedimentaria en las secuencias Sec-1 y Sec-3 en afloramientos y subsuelo. (A) Facies heterolíticas con ondulaciones deformadas en el flanco oeste de la Quebrada Taputá. (B) Areniscas deslizadas de la Secuencia 3 en el flanco oriental de la Quebrada Taputá. (C) Perfil de buzamiento de las estructuras sedimentarias en la parte inferior de la Sec-3. Pozo exploratorio del área de estudio.

CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La relación discordante entre la Formación Iquiri y la Sec-1 está bien documentada. Este contacto se define no sólo por el cambio litológico que experimenta la secuencia post Iquiri, sino también por un marcado contraste en los registros de pozo. En la correlación estratigráfica A-A (Figura 10) nivelada al techo de la Arenisca Guanacos, de amplia distribución regional, el espesor de la Formación Iquiri en el pozo TCB-X1003 es de 700 m y representa la columna más completa de esta unidad en la zona de estudio. La parte superior de esta serie abarca el intervalo entre los pisos Frasniano superior y se extiende hasta el Fameniano inferior. La erosión que sufre esta unidad se registra en los pozos San Isidro-X1 (SID-X1) y Tacobo-X1001 (TCB-X1001) ubicados al sur y al norte de TCB-X1003, donde el espesor erosionado es de 300 y 200 m respectivamente. Esta

erosión diferencial del sustrato marino determina un paleo relieve labrado con anterioridad a la sedimentación de la Sec-1.

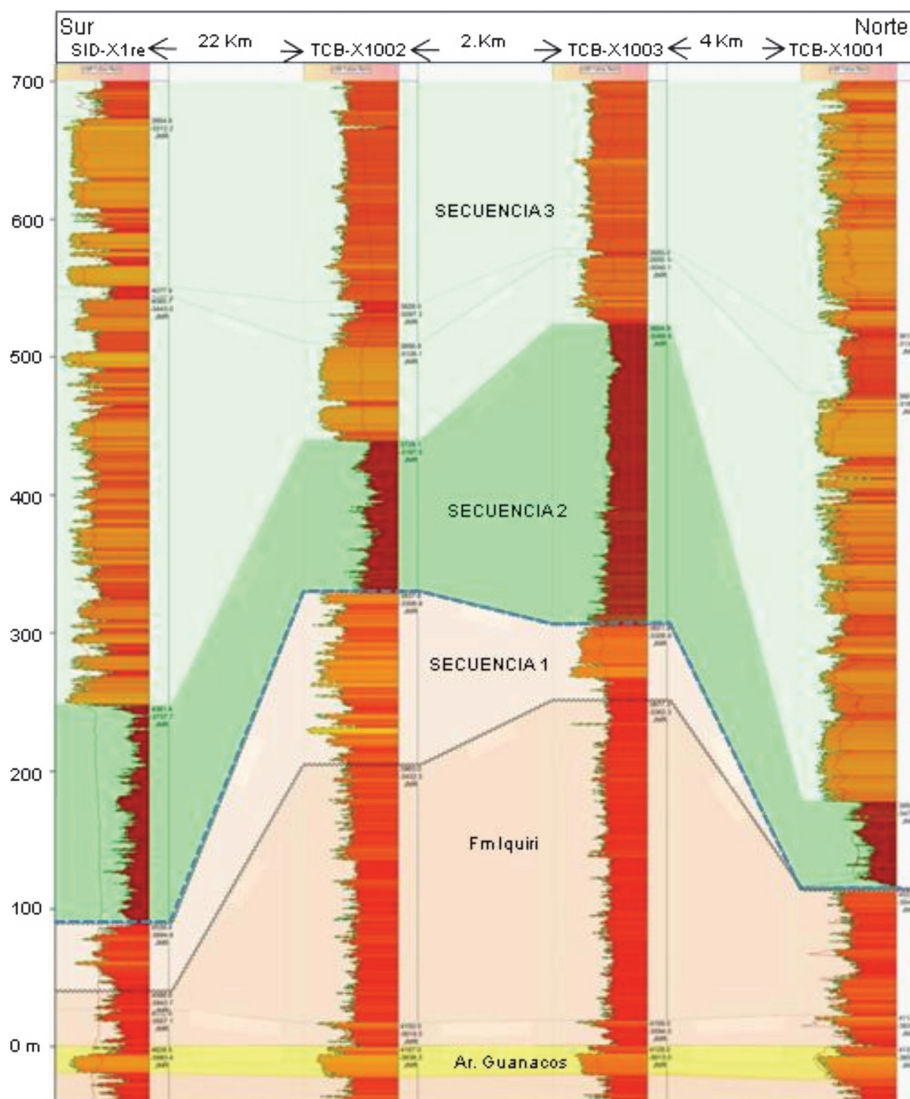


Figura 10. Correlación lito-estratigráfica norte-sur entre los pozos SID-X1re, TCB-X1002, TCB-X1003 y TCB-X1001. La línea discontinua en azul al techo de la Sec-1 representa el límite entre los sistemas Devónico y Carbonífero. La correlación está nivelada al techo de la Arenisca Guanacos. Ver ubicación de la sección A-A' en la Figura 1.

La Formación Saipurú es una unidad definida por Suárez-Soruco y López (1983) en la Quebrada Taputá. Sus características litológicas corresponden a la Sec-1 y Sec-2 definidas en subsuelo en la zona de Tacobo. El análisis palinológico de los niveles muestreados indican de acuerdo a estos autores la presencia de dos asociaciones bien definidas: la zona de *Retispora lepidophyta* en la parte inferior que indicaría una edad Devónico más alto y la de *Reticulatisporites magnidictyus* en la superior que caracteriza al Carbonífero inferior. Los estudios bioestratigráficos en Tacobo, muestran que la secuencia perteneciente a la Formación Iquiri puede alcanzar edades que corres-

ponden al piso Fameniano inferior (Pérez Leyton 2013) mientras que a la Sec-1 es asignada al piso Fameniano superior – Struniano (Pérez Leyton 2007).

La secuencia Sec-2 conformada por una serie continua de pelitas (diamictitas y lutitas) tiene límites superior e inferior netos, que son definidos en superficie y pozos. Esta secuencia esta mejor preservada en el pozo TCB-X1003, mientras que su espesor se reduce a solo 60 m en el pozo TCB-X1001. La erosión de la secuencia Sec-2 en este pozo pudo haber alcanzado a 300 m como máximo.

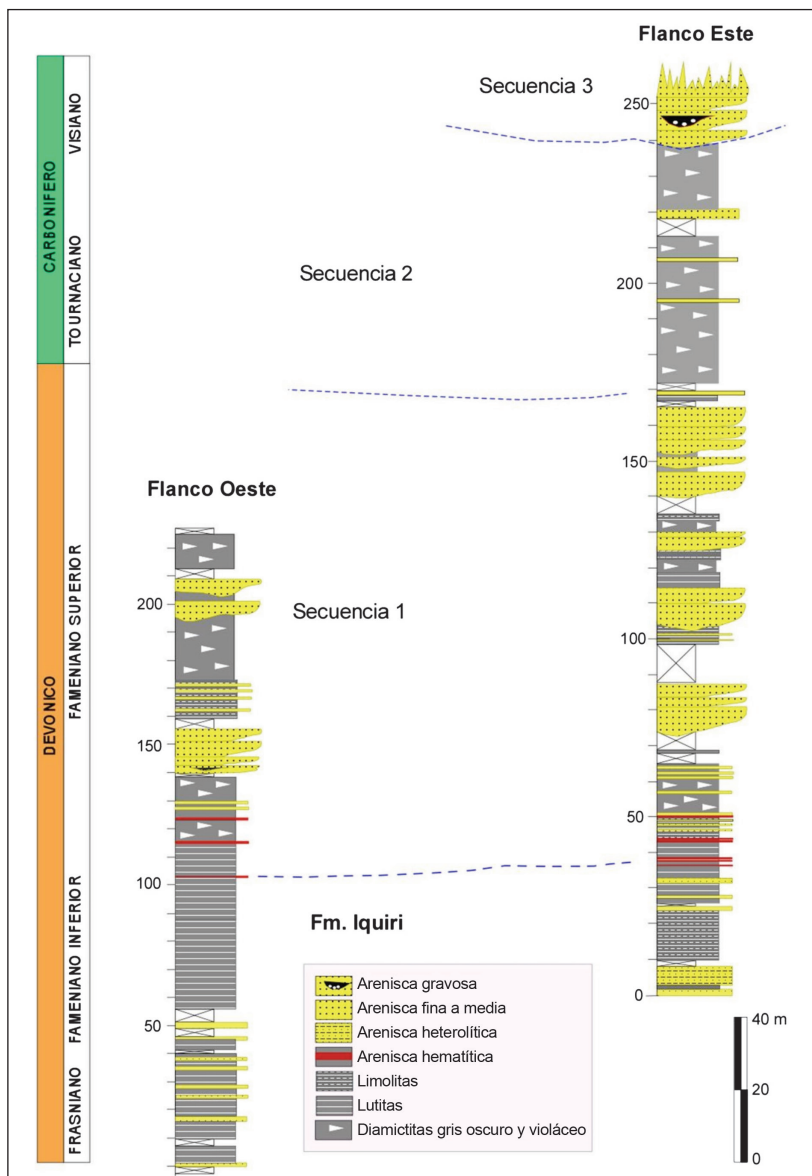


Figura 11. Columna estratigráfica de la Quebrada Taputá. Se presentan las secciones estratigráficas de los flancos oeste y este de la Quebrada Taputá, en la Serranía de Charagua, ubicada al oeste del área de estudio. Ver ubicación de la columna en la Figura 1.

Estudios realizados con palinomórfos en varios pozos, determinan una edad Tournaciano-Visiano para esta secuencia. Sin embargo hay también otras determinaciones basadas en el contenido micro-

paleontológico representado por granos de polen de los géneros *Plicapollenites*, *Circumplicatipollis*, *Potonieisporites* y *Crucisaccites*, que le asignan una edad tentativa westphaliana (Palma y Asociados, 1998).

La secuencia Sec-3 está conformada por facies gruesas de areniscas de diferente textura y estructura interna, son frecuentes los bancos de areniscas con estratificación entrecruzada, masiva y con frecuencia presentan deslizamientos gravitacionales, producidos en un ambiente sub-ácueo. La base de esta secuencia es netamente erosiva, mientras que el tope, no ha sido analizado. Se presentan intercalaciones de niveles de diamictitas y limolitas de colores rojizos, la secuencia carece de dataciones para determinar su edad.

Los afloramientos de la Quebrada Taputá proporcionaron información adicional sobre las facies y sus características de las diferentes secuencias definidas en subsuelo (Figura 11).

Las características litoestratigráficas que presentan las secciones de superficie, concuerdan con la información obtenida en pozos. Sin embargo, los resultados sobre determinaciones palinológicas son estériles o proporcionan información dudosa, las edades que se nombran en la Quebrada Taputá son las obtenidas en los pozos, Pérez Leyton (2013b).

La distribución de facies de las secuencias Sec-1, Sec-2 y Sec-3 esta representada en el corte litoestratigráfico del área Tacobo (Figura 12). Los eventos erosivos que se producen en la base de las secuencias Sec-1, Sec-2 y Sec-3 se interpretan como relacionados con drásticas variaciones

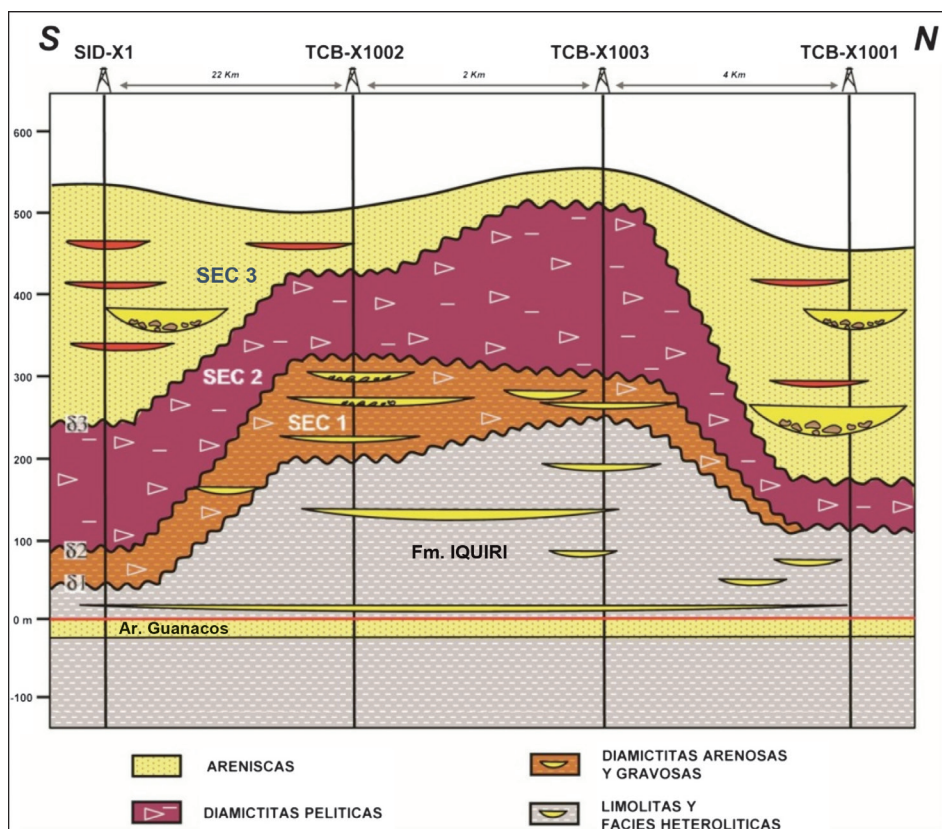


Figura 12. Corte litoestratigráfico esquemático del Devónico superior y Carbonífero inferior. Los pozos están graficados en forma equidistante y su distancia real indicada entre pozos. Ver ubicación del corte en la Figura 1.

del nivel de base de la cuenca. La geometría de profundos paleocanales tiene lugar a cientos de kilómetros al sur del área de estudio, adjudicados a erosión producida por glaciares sobre la sedimentación carbonífera, Schulz *et al.*, (1999).

La interpretación de las secuencias sísmo-estratigráficas en secciones 2D y su calibración con datos de pozo, proporciona elementos de análisis para comprender la compleja distribución de las secuencias de la cuenca carbonífera (Figura 13).

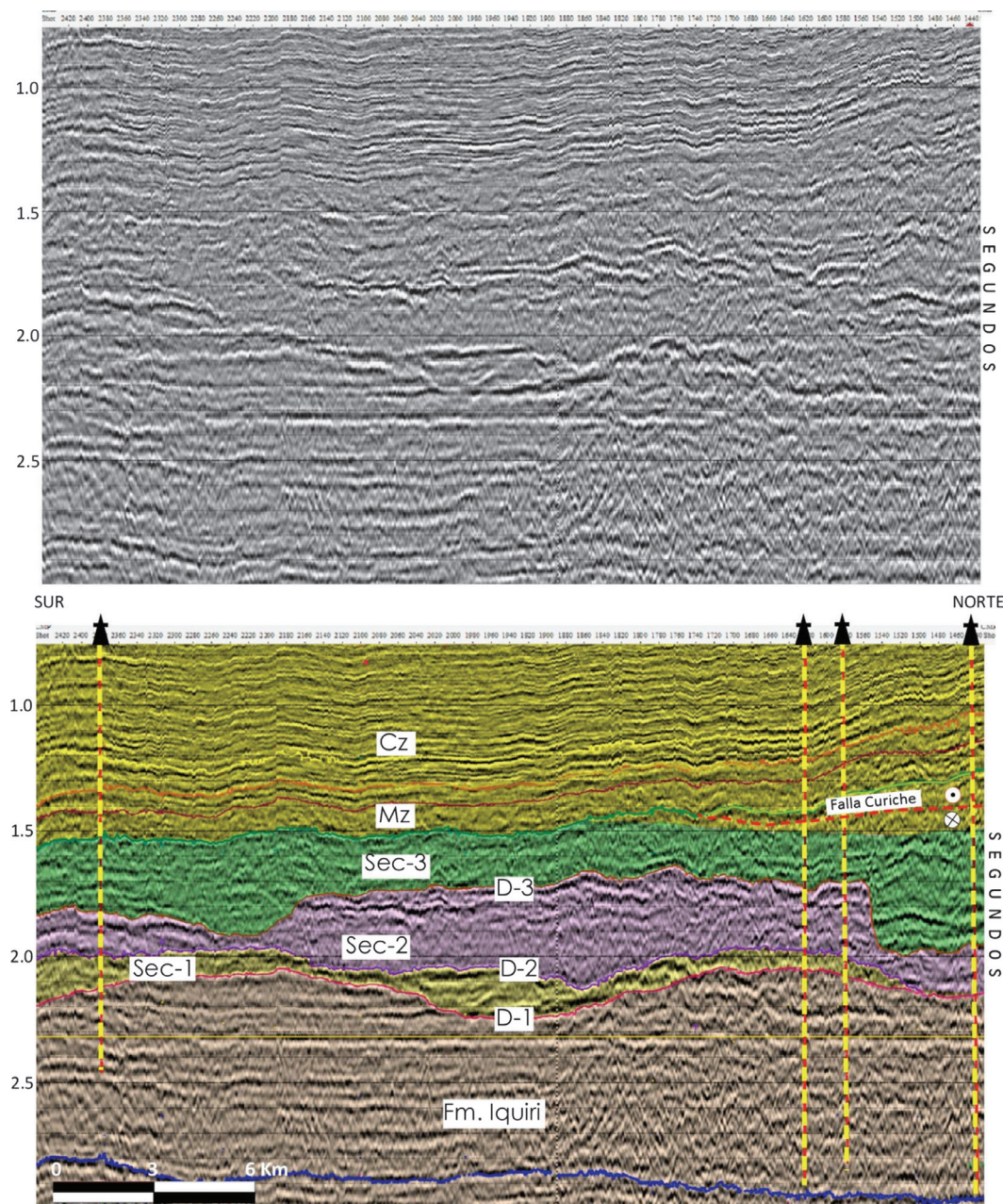


Figura 13. Sección sísmica 2D sin interpretar (arriba) y su interpretación (abajo) muestra la relación sísmo-estratigráfica de la Formación Iquiri y las secuencias sobreyacentes. La sección sísmica está nivelada a la Arenisca Guanacos. La escala vertical de la sección sísmica está exagerada para resaltar el efecto erosivo de las discordancias. Ver ubicación en la Figura 1.

La discordancia D-1 produce erosión, generando paleovalles de profundidad variable, que posteriormente son rellenados por la Sec-1. En el sector norte de la línea sísmica se observa que esta secuencia es totalmente erosionada, de tal manera que la Sec-2 yace directamente sobre el substrato de la Formación Iquiri. Se observa también que la discontinuidad D-3 que separa las secuencias Sec-3 de la Sec-2 produce una fuerte erosión y probablemente constituya una de las discontinuidades más importantes del Carbonífero. La erosión y posterior relleno de los paleovalles que produce la Discordancia D-3 se observa en ambos extremos de la sección. En otros sectores de la cuenca se constató que la Formación Tupambi está en contacto con sedimentitas de la Formación Iquiri, Palma (2004) y más antiguas, Starck *et al.*, (1992), y Starck y del Papa, (2006). Esta unidad que en el área de estudio fue definida como la Sec-3 tiene una edad mucho más joven de la asignada con la estratigrafía vigente (Tournaciano-Visiano).

CONCLUSIONES

El intervalo neo-paleozoico en la Cuenca de Tarija estuvo afectado por glaciaciones regionales durante el Devónico superior y la mayor parte del Carbonífero. El registro litológico y sedimentológico de las secuencias descriptas en el área de estudio muestran el efecto de los avances y retrocesos que experimentaron los glaciares desarrollados en el extremo Sureste de Bolivia y Noroeste de Argentina.

El análisis realizado permitió definir en el área de estudio la presencia de tres discordancias en el intervalo Devónico tardío (Frasniano) – Carbonífero temprano (Tournaciano-Viseano): D-1, D-2 y D-3. Estas discordancias presentan una fuerte acción erosiva localizada en algunos sectores, tal como se observó tanto en la línea sísmica, como en la correlación entre pozos.

Sobreyaciendo a la Formación Iquiri se diferenciaron tres Secuencias sedimentarias con características litoestratigráficas bien definidas, separadas por las discordancias antes mencionadas.

La discordancia D1 se ubica temporalmente en el Devónico terminal. Separa a la Formación Iquiri, asociada a depósitos marinos de plataforma somera, de la Secuencia 1 que forma parte de un nuevo ciclo de sedimentación, en un ambiente depositacional marino con influencia glacial y fluvial.

La discordancia D2, es el límite entre la Secuencia 1 y la Secuencia 2, llegando en algunos sectores a erosionar completamente la Secuencia 1 y apoyarse sobre la Formación Iquiri. Este límite marca el pase entre el Devónico y el Carbonífero. La discordancia D3, es una discontinuidad fuertemente erosiva del Carbonífero temprano, sobre la que se depositan cuerpos arenosos de distribución regional en la cuenca de Tarija. Las discontinuidades identificadas se asignan a importantes cambios del nivel de base producidos probablemente por factores climáticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Pluspetrol Bolivia Corporation SA. por permitir la publicación de este informe, y al colega Facundo Fuentes por su análisis crítico y aportes enriquecedores al trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- Albariño, L., A. Dalenz-Farjat, L. Álvarez, R. Hernández, y M. Pérez Leyton, 2002, Las secuencias sedimentarias del Devónico en el Subandino Sur y el Chaco. Bolivia y Argentina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de los Hidrocarburos, IAPG, CD Trabajos Técnicos 21p., Mar del Plata, Argentina.
- Cardona, R., D. Zubieta Rossetti, E. Aguilera, J. Jarandilla, 1999, Estudio sismo-estratigráfico del Sistema Carbonífero en el Piedemonte y Llanura Central de Bolivia. IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Tomo II, Trabajos Técnicos 15 p., Mar del Plata, Argentina.
- Harrington, G.L., 1922, Northern Aguaragüe range from Camatindi to Cuevo quebrada. Informe interno Standart Oil Co. Bolivia, junio 1922.
- Palma y Asociados, 1998, Análisis estratigráfico de superficie: Sierra de Charagua, Serranías de Florida y Bajo Izozog. Subandino Centro y Gran Chaco, Bolivia, Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation SA.
- Palma, M., 2004, Las sedimentitas del Límite Devónico-Carbonífero en el Subandino Central de Bolivia, XII Congreso Peruano de Geología, Sociedad Geológica de Perú, Resúmenes extendidos 4 p. Lima Perú.
- Pérez Leyton, M., 1999, Informe palinológico de muestras seleccionadas de varios pozos de la llanura Centro y Sur de Bolivia, Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation.
- Pérez Leyton, M., 2001, Informe palinológico final de muestras de recortes del pozo Tacobo-X1001. Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation.
- Pérez Leyton, M., 2007, Informe palinológico final de muestras de recortes del pozo Tacobo-X1002. Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation.
- Pérez Leyton, M., 2012, Informe palinológico final de 4 muestras de recortes del pozo SID-X1. Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation.
- Pérez Leyton, M., 2013a, Informe palinológico final de 4 muestras de recortes del pozo TCB-X1003. Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation.
- Pérez Leyton, M., 2013b, Informe palinológico final de muestras de superficie del Perfil Quebrada Taputá. Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation.
- Pérez-Leyton, M., 2014, Reportes palinológicos preliminares del pozo San Isidro SID-X1-RE. Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation.
- Poiré, D.G. y D. E. Tineo, 2013, Levantamiento estratigráfico y muestreo de superficie del Devónico y Carbonífero del perfil de la Quebrada de Taputá, Sierra de Charagua, Subandino de Bolivia, Informe interno Pluspetrol Bolivia Corporation S.A.
- Requena-Mendoza, E., 1994, Formación Heredia, unidad Neodevónica del Subandino Boliviano, Revista Técnica de YPFB, Vol. 15 (1-2), 9 p., Santa Cruz, Bolivia.

- Schulz, A., M. Santiago, R. Hernández, C. Galli, L. Álvarez, y C. Del Papa, 1999, Modelo estratigráfico del Carbónico en el sector Sur de la Cuenca de Tarija, IV Congreso de Exploración y Desarrollo de los Hidrocarburos, IAPG, Trabajos Técnicos 17 p., Mar del Plata, Argentina.
- Suárez Soruco, R. y J. Lobo Boneta, 1983, La fase compresiva eohercínica en el sector oriental de la cuenca cordillerana de Bolivia. Presentación del mapa paleogeológico pre- Formación Tupambi (Namuriano), elaborado en base a información palinológica. Revista Técnica de YPF 9 (1-4) p. 189-202.
- Suárez Soruco, R. y M. López Pugliesi, 1983, Formación Saipurú, nuevo nombre formacional para representar a los sedimentos superiores del Ciclo Cordillerano (Devónico superior-Carbonífero), Revista Técnica de YPF. Vol. 9 (1-4), p. 209-213.
- Starck, D., E. Gallardo, y A. Schulz, 1992, La discordancia pre Carbónica en la porción Argentina de la cuenca de Tarija, Boletín de información Petrolera, Tercera Época, año IX, n° 29. p. 2-11.
- Starck, D. y C., del Papa, 2006, The northwestern Argentina Tarija Basin: Stratigraphy, depositional systems, and controlling factors in a glaciated basin, Journal of South American Earth Sciences 22. p. 169-184.
- White, K.D., 1929, Geological report on the Aguarague Range between Yaguacua and Ipa, Bolivia. Informe inédito Standard Oil Co.