LAS SECUENCIAS SEDIMENTARIAS DEL DEVONICO EN EL SUBANDINO SUR Y EL CHACO. BOLIVIA Y ARGENTINA

Luis Albariño[1], Alejandra Dalenz Farjat[2], Luis Alvarez[2],
Roberto Hernandez[2], Miguel Pérez Leyton[3]

1 Pluspetrol SA. Lima 339 Buenos Aires, (1073) Argentina.
2 XR Exploracionistas Regionales, Parque Belgrano, Manzana N Casa 14 Salta, (4400) Argentina
3 Miguel Pérez Leyton, Charcas N° 651, Santa Cruz de la Sierra, Casilla Correo 5670, Bolivia

Keywords: Devonian, Genetic Stratigraphic, Paleoenvironment.

Abstract: *The Devonian Sedimentary Sequence in The South Subandean and Chaco Plains. Bolivia and Argentina.* A Sequences framework model is proposed for the Upper Silurian to the Devonian successions, which come from both, outcrop sections and subsurface data. The series are represented by shale and sandstone facies deposited mainly in a shallow marine environment; less significant are littoral and continental facies. This model has been sustained from analyses and evaluation of lithofacies and biofacies. Time lines have been assigned from the association of palynological taxa, which time-span and areal distribution is very well known. In addition, a specific benthonic fauna (trilobites and brachiopods) has been used. This proposed framework has allowed improving the identification and knowledge of the distribution of reservoir, source and seal rocks on a time-space basis.

Introducción

El presente trabajo sintetiza las tareas efectuadas sobre secciones clásica del Devónico y Silúrico Superior de Argentina y Bolivia en los sectores del Interandino y Subandino Sur, y su integración con datos de subsuelo, líneas sísmicas y pozos exploratorios, diseminados en la Faja Plegada del Subandino y en la Llanura Chaqueña. (Figura 1).
El objetivo de este trabajo es proponer un modelo estratigráfico - secuencial, paleogeográfico y paleoambiental para el Devónico, a fin de extrapolarlo a otros sectores de interés exploratorio.
Las sedimentitas del Siluro-Devónico son objeto de estudio desde principios del Siglo pasado por diferentes escuelas de pensamiento (White, 1923; Bard, 1928; Cathcart, 1928; Chamot, 1965; entre otros) .
Durante las décadas de los 70 y 80 comienzan los trabajos de síntesis que tienden a ordenar la nomenclatura formacional y bioestratigráfica tanto en Bolivia como en Argentina (Boneta et al., 1976; Pugliessi, 1975; Mendoza & Suarez Soruco 1981, Boso et. al, 1983; Vistalli, 1987).
En el transcurso de los años 90, diversos autores comienzan a proponer modelos de cuencas, procesos sedimentarios y modelos de estratigrafía genética (Starck et. al., 1992; Montemurro, 1994;).
Abundantes trabajos paleontológicos sobre la distribución de la fauna bentónica y taxa palinológicos, fueron efectuados en toda la cuenca aunque con poca o ninguna relación con los análisis de facies y la estratigrafía secuencial (Suarez Soruco, 1988; Suarez Siglos 1973, 1975, López & López 1975, Limachi et al, 1996 entre otros).
Durante los últimos años, el conocimiento geológico ha experimentado un gran avance con abundante y valiosa información, desde el punto de vista estratigráfico (Montemurro, 1994; Starck, 1996, Souza Cruz et. al., 2000), geoquímico (Moretti et al, 1995, 1996; Cruz et al, 2001), paleoecológicos (Dalenz - Farjat, 2000), estratigrafía secuencial y modelos de cuenca (Starck et al, 1996; Fernández Seveso et al. 1998, 2000; Miranda et al, 2000) entre otros.
Aun así, en la mayoría de los casos, la carencia de interrelación entre los análisis bioestratigráficos y secuenciales, había generado confusiones, erróneas correlaciones regionales entre perfiles de superficie y los datos de subsuelo, nuevas "denominaciones formacionales", tales como Formación Huamampampa Norte y Formación Huamampampa Sur, y erróneos "conocimientos" en la distribución de las principales rocas reservorios de la cuenca (Formaciones Huamampampa, Icla y Santa Rosa).

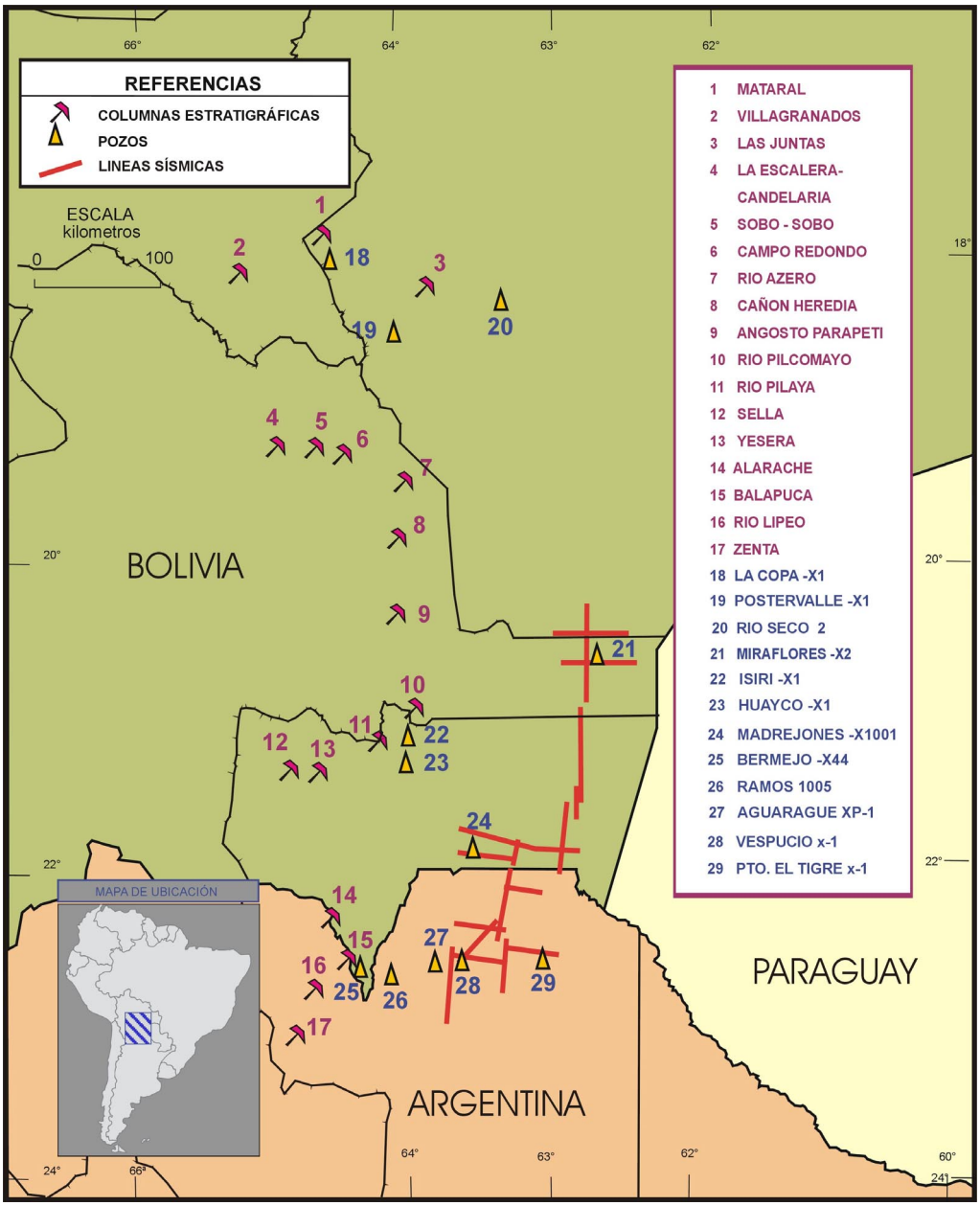


Figura 1 - Mapa de Ubicación.

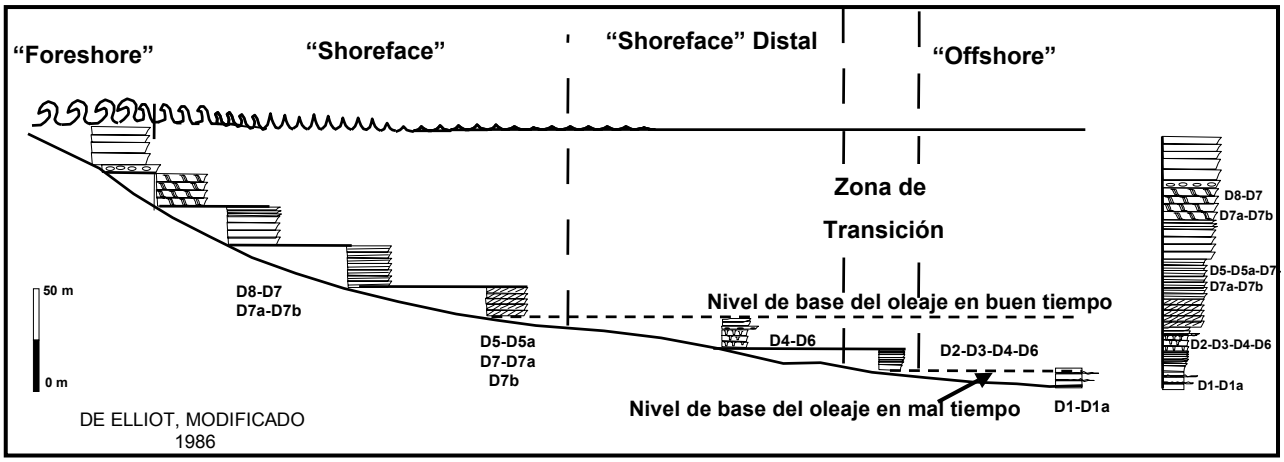


Figura 2 - Ambientes, Procesos Sedimentarios y Facies.

Metodología de Trabajo

El trabajo de campo consistió en el relevamiento estratigráfico de 17 secciones clásicas del Siluro-Devónico además del muestreo sistemático de los distintos cuerpos rocosos para estudios paleontológicos, palinológicos, geoquímicos y petrofísicos.
Las tareas del levantamiento estratigráfico se realizaron banco a banco, caracterizando sus facies y sus asociaciones de facies, con énfasis en las estructuras sedimentarias, arquitectura de base y techo de cada banco, las posibles variaciones faciales internas y la jerarquía de las discontinuidades. La representación gráfica de estas columnas sedimentarias fue efectuada a escala 1:500.
Del conjunto de facies individualizadas en los perfiles analizados, se ha podido identificar la presencia de 25 asociaciones de facies, las cuales han servido para el reconocimiento y determinación del paleoambiente deposicional.
Las biofacies definidas en las columnas, han aportado información estrechamente ligadas a la paleobatimetría, al contenido de nutrientes como al oxigeno disuelto en el agua y las condiciones hidrodinámicas del medio (A Dalenz Farjat en Alvarez et al., en prensa).
La bioestratigrafía empleada en este proyecto se basa en asociaciones de fauna y flora calibrada en la Cuenca Devónica Boliviana-Argentina en los sectores Andino, Interandino y el Subandino tanto por esporas, quitinozoarios, acritarcos, como por fauna bentónica boreal, calibrada a su vez en cuencas no gondwánicas.
La interpretación de los resultados ha permitido determinar la edad y el significado paleoambiental de las asociaciones recuperadas a lo largo de las columnas y pozos estudiados.
Finalmente se incorporó un conjunto de pozos ubicados en el ámbito del Subandino y del Chaco Argentino-Boliviano con su caracterización de electrofacies, estudios paleoambientales efectuados sobre testigos corona, información palinológica y sus limites de secuencias. Además, algunos de estos sondeos poseen su correspondiente ley de velocidad, imprescindible para ajustar las líneas sísmicas empleadas (Figura 1).

Caracterización de los Ambientes Sedimentarios, Paleoclima y Paleobatimetría

La interpretación de los paleoambientes deposicionales fueron definidos por un conjunto de 25 asociaciones de facies (Alvarez et al, en prensa), los cuales se desarrollaron en su gran mayoría sobre una plataforma de pendiente suave (rampa).
La sedimentación silicoclástica en las plataformas marinas está condicionada por una serie de factores, los principales están dados por la profundidad del agua y por la intensidad de los aportes terrígenos, en este último caso estará relacionado con las condiciones tectónicas imperantes y por las condiciones climáticas.
Sobre las secciones afloradas, se ha podido interpretar los fenómenos de sedimentación bajo condiciones climáticas cambiantes de buen tiempo y de tormenta. El reconocimiento de estos factores climáticos en conjunción con los tipos de corrientes predominantes han servido para distinguir periodos de regímenes hidráulicos dominantes, ya sea de plataforma dominada por olas, plataforma dominada por mareas y plataforma dominada por tormentas durante el transcurso del Devónico.
La paleobatimetría y la energía prevaleciente se definió en base al conjunto de rasgos sedimentológicos de los cuerpos rocosos, la composición faunal, la determinación de tipos tróficos y el estudio de cada comunidad o asociación.
De acuerdo a las asociaciones de facies interpretadas y a la identificación de la fauna bentónica asociada se considera que la plataforma marina desarrollada durante el Devónico no alcanzó paleobatimetrías profundas, mayores a los 200 metros bajo el nivel del mar según Krumbein y Sloss o 500 metros según Johnson y Baldwin, en ambos casos, isobatas máximas como limite externo de la plataforma. En síntesis, no se ha podido reconocer el quiebre de la plataforma o inicio de la pendiente continental (Talud).
El conjunto de asociaciones de facies fue simplificado en los subambientes, procesos sedimentarios y facies sedimentarias propuestos por Elliott para plataformas marinas silicoclásticas (Figura 2), los que han sido diferenciados de la siguiente manera (Alvarez et al, en prensa):
Ambiente Sedimentario de Plataforma Continental:
Subambiente "Offshore": Este es un subambiente de interior de cuenca, desarrollado dentro de la plataforma continental. Dominan las facies pelíticas laminadas con procesos de decantación, suelen intercalar niveles ferruginosos con concreciones de oxido de hierro o sulfuros de hierro (pirita), escasamente bioturbadas. Intercalan delgados niveles lenticulares de arenas muy finas macizas a laminadas. (Asociaciones de facies D1, D1a, D2, D2a, y D3a), con episodios de mal tiempo que pueden incluir escasos lentes arenosos (D6).

Subambiente Zona de Transición: Los límites de depositación de este subambiente no son precisos, se tomará como límite superior el punto donde el oleaje deja de ejercer su acción en el fondo en periodos de buen tiempo y como límite inferior donde se registran eventos producidos por mar agitado en tiempos de tormentas. Dominan las facies pelíticas, macizas y laminadas, sobre las psamíticas, con bioturbaciones. Estas ultimas suelen ser finas a medianas con ondulitas simétricas y asimétricas. (Asociaciones de facies: D2a, D3, D4, D4a, D4b y D6).

Ambiente Sedimentario de Playa:

Subambiente "Shoreface": Este subambiente permanece siempre bajo el agua; se halla delimitado entre el límite inferior de marea baja y el punto donde el oleaje deja de ejercer su acción sobre el fondo, en periodos de buen tiempo. Si bien dominan las facies arenosas también participan las pelitas. Son comunes las ondulitas de olas alineadas paralelo a la costa de distinta escala y por incluir abundante fauna, son intensamente bioturbados. Se ha subdividido en "Shoreface" Distal, dominio de pelitas bioturbadas, wackes, definido por asociaciones de facies: D3, D3a, D3b, D4, D4a y D4b. Este subambiente, en períodos de mar agitado, podría incluir asociaciones de facies de tormenta (D6, D6a). Y en "Shoreface" Proximal, dominio de psamitas con ondulitas, definido por asociaciones de facies: D5, D5a, D7, D7a y D7b.

Subambiente "Foreshore" a "Backshore": Los límites de depositación de este subambiente lo constituyen los límites de marea alta y baja. Es la parte que puede ser considerada como la playa propiamente dicha. Los materiales que se depositan en esta zona son arenosos y las proporciones de pelitas son pequeñas. Las capas presentan laminación cruzada planar de bajo ángulo. Estas buzan en dirección al mar y representan verdaderas superficies de acreción. En la zona de trabajo se ha reconocido en escasos lugares definido por las asociaciones de facies D7, D7a, D7b, D8, D8a y D8b.

Ambiente Sedimentario Continental:

En las secciones estratigráficas relevadas este ambiente tiene una restringida expresión circunscripta al extremo sur del área de trabajo. Dentro de este ambiente se han reconocido el Subambiente continental fluvial y mixto (Fluvial Braided - Braid Delta?, Asociaciones de facies: P2, A2, A4, A5 modificado de D. Starck) los cuales poseen niveles constituidos por plantas Psilofitales preservadas en regulares a malas condiciones. Sin embargo, se han reconocido dentro de estos eventos pulsos de influencia marina evidenciada por la presencia de braquiópodos articulados y trilobites.

Acorde con las interpretaciones efectuadas por Scotese & Barrett (1990) y Scotese & Jan Golonka (1993) el paleopolo geográfico estuvo en constante movimiento durante este periodo de tiempo. (Figura 3)

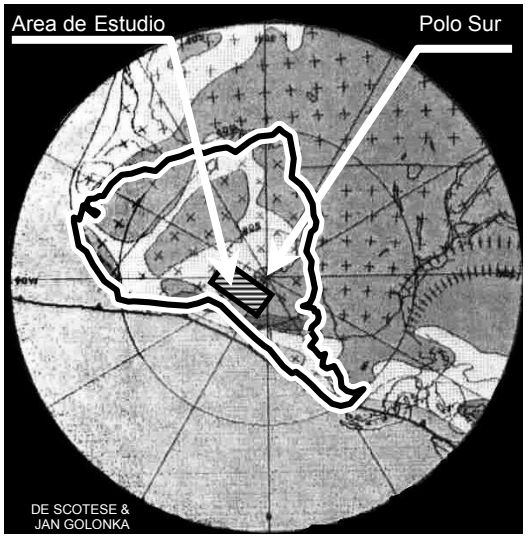


Fig. 3 - Reconstrucción Paleocontinental

En el transcurso del Devónico Inferior el paleopolo se encontraba en el limite entre el Paraguay y la Argentina, en el Devónico Medio entre el Sur de Bolivia y el Norte de Argentina, y durante el Devónico Superior en el centro oeste de la Argentina.

En consecuencia, de acuerdo a la reconstrucción paleocontinental (Scotese et al, 1993) durante el Devónico la sedimentación de las secuencias silicoclásticas en la cuenca se desarrolla a paleolatitudes mayores a los 60°, bajo condiciones de mar “frío”. Bajo estas condiciones se adaptó una fauna bentónica de moderada diversidad, la cual es contrastante con la actual en latitudes similares de mares continentales donde existe muy escasa fauna en comparación con la Devónica.

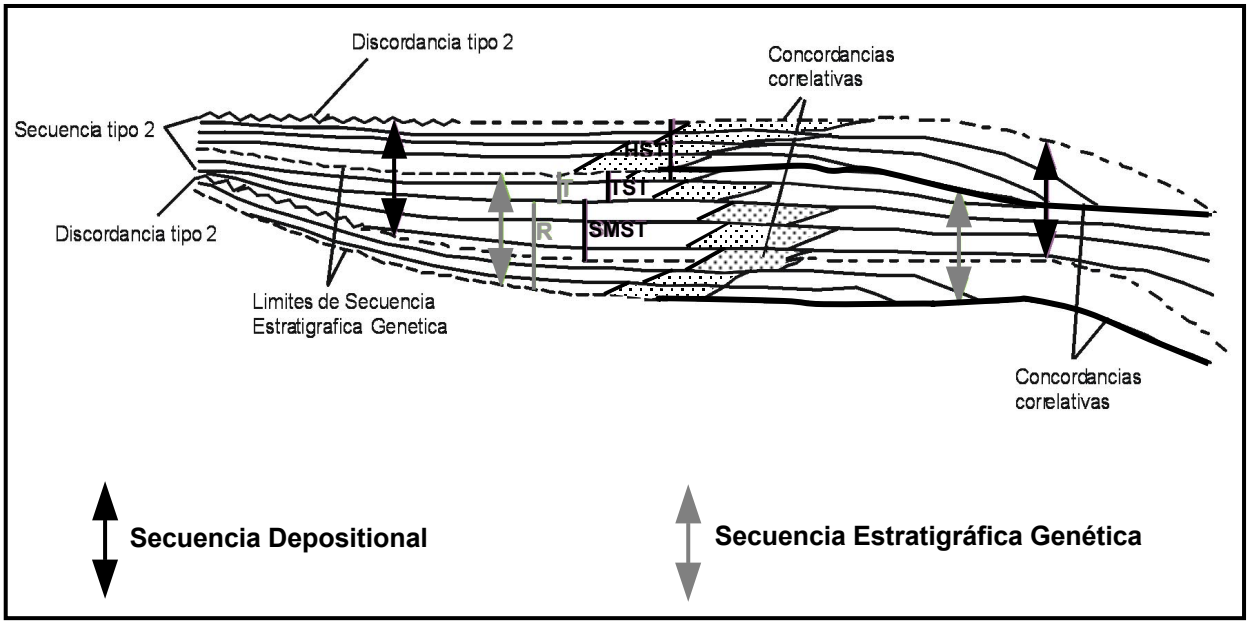


Figura 4 - Esquema comparativo de los límites de secuencia de tipo 2 definido por Exxon, y por Galloway. Tomado de Galloway (1989)

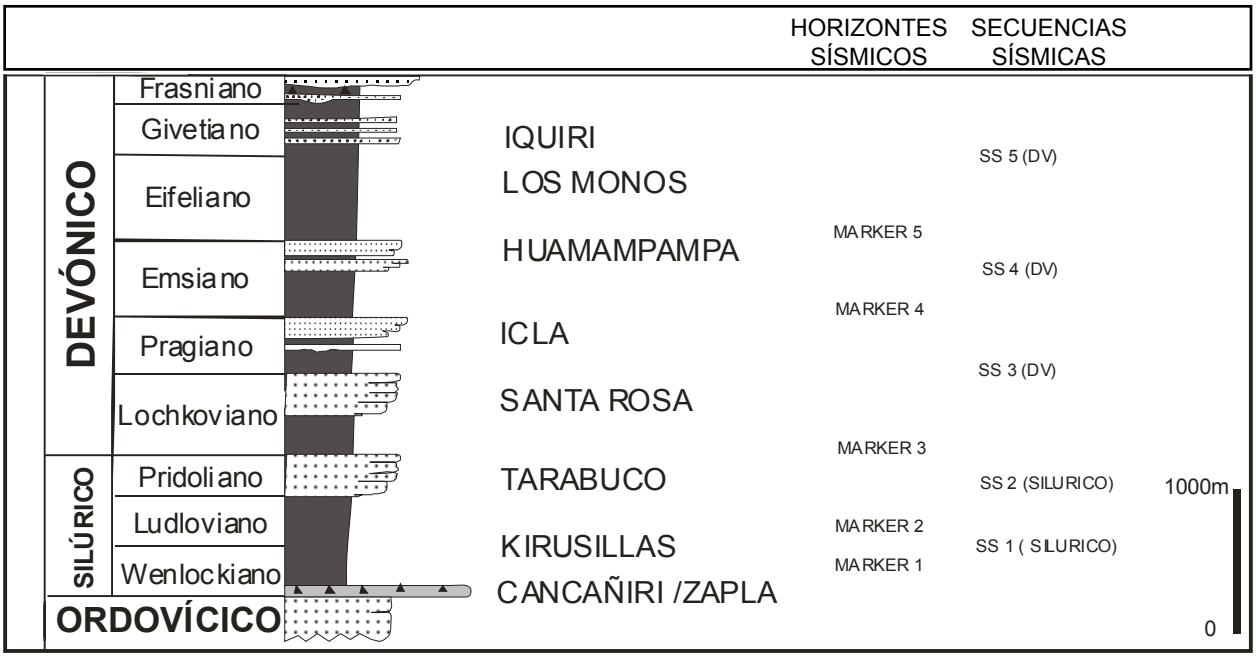
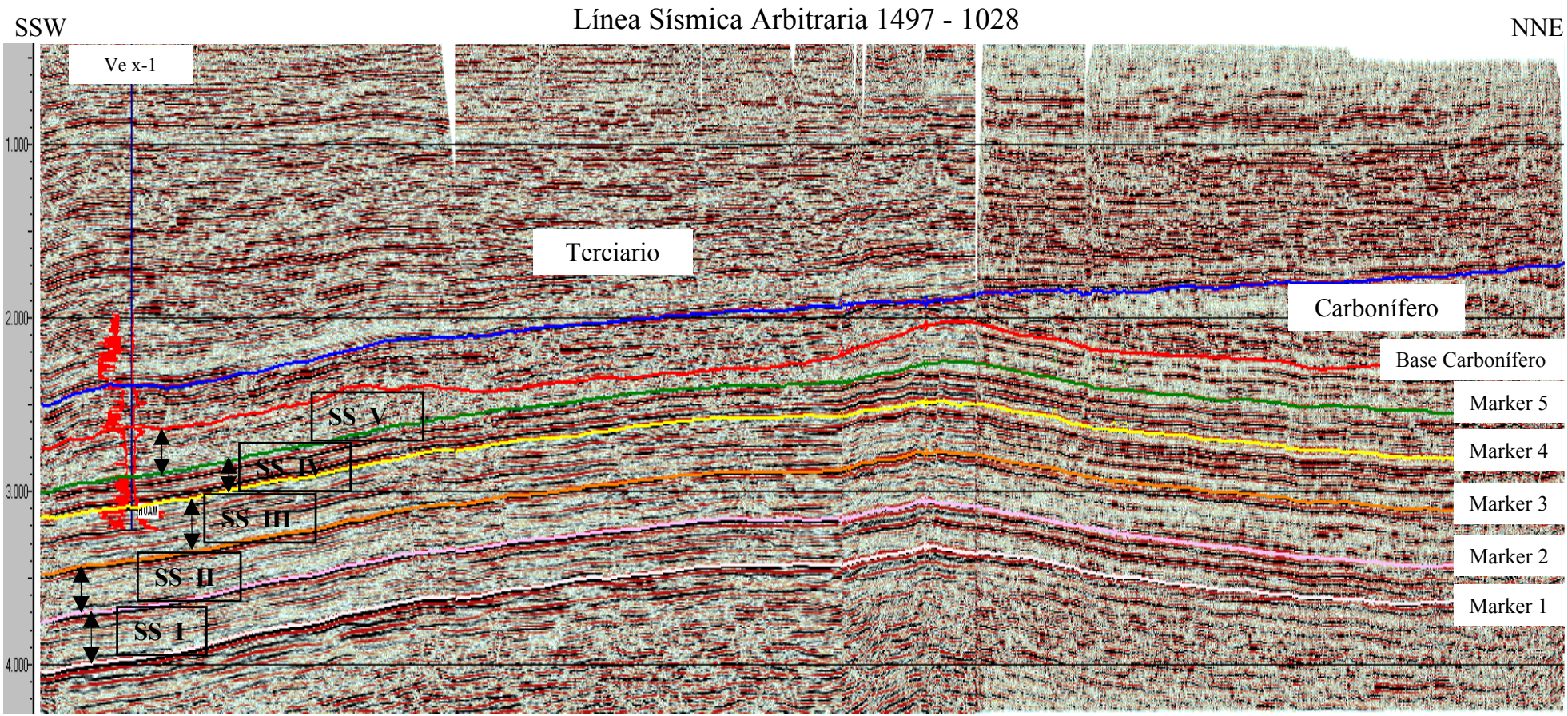


Figura 5 - Columna Estratigráfica Simplificada.

Este evento paleoecológico, sumado a temperaturas media global que pudieron haber sido un poco mayor que la actual debido a altas concentración de CO_2 (Berner 1997) y la falta de sedimentos de origen glacial se explicarían dentro de contexto de calentamiento global o efecto invernadero, que el planeta estaba sufriendo durante el Devónico (Gohrbandt 1993).

Metodología Secuencial Utilizada

De acuerdo a la metodología secuencial propuesta tanto por Vail et. al. (1977), como por Van Wagoner et. al. (1987, 1988, 1990) los limites de secuencias deposicionales están dados por superficies de discontinuidades erosivas, asociadas con los descensos eustáticos.
Para el análisis del trabajo estratigráfico secuencial propuesto, como así también durante las tareas de interpretación sísmica en el ámbito del Chaco, la identificación de los límites de secuencia en el sentido de Vail et al., Van Wagoner et al. fue dudosa.
En las columnas estudiadas y en las líneas sísmicas interpretadas tales discontinuidades (limites de secuencias) han sido difíciles de cuantificar y precisar, debido a escasas evidencias físicas encontradas.
Estos inconvenientes son previsibles de esperar en cuencas con márgenes en rampa marina, el cual es favorecido por un gradiente del sustrato muy suave y uniforme, desprovisto de barreras topográficas mayores y el desarrollo de condiciones paleobatimétricas uniformes. Por otra parte y tal como los indicara MacNaughton et al 1997, las condiciones batimétricas limitaron el reconocimiento de las parasecuencias y secuencias, ya que las mismas tiende a mostrar un pobre desarrollo tanto en las secciones de "offshore" como en las zonas muy someras, debido al escaso grado de contraste textural entre los terminos basales, con dominio de sedimentos finos y los terminos cuspidales, con dominio arenosos.
Las variaciones eustáticas quedan registradas con el movimiento de la línea de costa hacia el interior de la cuenca y consecuentemente el desplazamiento o migración de las litofacies y los ambientes deposicionales. Estos eventos (“Basinward Shift”) modifican los procesos sedimentarios y son reconocidos en las columnas estratigráficas como variaciones de las asociaciones verticales de facies.
Sobre los márgenes expuestos no se habrían producido, o son sumamente difíciles de reconocer en el campo, la presencia y/o desarrollo de valles incisos, evidencias de “by pass” sedimentario, como así también el reconocimiento de turbiditas, durante las caídas relativas del nivel del mar.
En este tipo de cuenca los mayores espesores del registro sedimentario del Devónico están asociados con los procesos regresivos representados por los Cortejos Sedimentarios de Nivel Alto y los Cortejos Sedimentarios de Nivel Bajo los cuales, muchas veces, son de difícil reconocimiento como tales.
Por su parte, las secuencias transgresivas son los eventos de menor desarrollo en el registro, los más “instantáneas” en el tiempo y contrariamente a los anteriores cortejos, esta superficie de máxima inundación es un rasgo claramente reconocible, adoptando características de superficie neta con muy localizada o nulas evidencias de erosión.
De esta forma, las superficies de inundación (o transgresivas) producen abruptas variaciones en las asociaciones verticales de facies, constituyéndose en elementos fundamentales de correlación entre secciones sedimentarias afloradas y perfiles de pozos. En consecuencia, a fin de poder delimitar las secuencias y con el objeto de resolver las dificultades planteadas se considero a la superficie de inundación como elemento indicativo de comienzo de cada ciclo eustático, igual metodología fue previamente adoptada por otros autores para definir Supersecuencias (Starck et al, 1992).
Durante las tareas de interpretación sísmica también debimos recurrir a esta metodología debido al carácter dominante en las secciones sísmicas constituidas por el gran paralelismo de los diferentes reflectores dentro del intervalo analizado.
Sin embargo, dentro de este patrón de reflexión, las superficies de máxima inundación se distinguen o diferencian de otros reflectores por su amplia distribución espacial, tales eventos geológicos, desde el punto de vista sísmico, se caracterizan por una alta continuidad de reflexión, facilitando su propagación lateral al conjunto de líneas.
Al utilizar estas superficies como elemento diagnóstico del inicio de un ciclo eustático completo (inundación - somerización) estamos interpretando una ciclicidad siguiendo los conceptos de la Secuencia Estratigráfica Genética propuesta por Galloway 1989. (Figura 4)



SS I: Configuraciones de tipo sigmoidal progradacional con ángulos de inclinación muy tendidos. En dirección hacia el Norte presenta una fuerte disminución del espesor.
SS II: Configuraciones de reflexión paralelas a subparalelas. En dirección al Norte presenta un incremento de espesor.
SS III: Configuraciones tipo sigmoidal progradacional con ángulo muy tendidos y configuraciones paralelas. En dirección al Norte presenta un incremento de espesor.
SS IV: Configuraciones de reflexión paralelas. Su espesor se incrementa muy levemente en dirección hacia el Norte.
SS V: Los reflectores carecen de continuidad y caracter, sin una clara definición de los patrones de reflexión. Su espesor es variable debido a los procesos erosivos del Carbonífero

Figura 6 -Línea Sísmica.

Datos e Interpretación Sísmica

Para las tareas de interpretación sísmica se emplearon 800 Kilómetros de secciones 2D ubicadas en el ámbito de la Llanura Chaqueña, a fin de tener una relación espacial amplia de la cuenca (Figura 1).
La calidad de los datos sísmicos en general es buena, especialmente a la profundidad de los principales objetivos, salvo el sector próximo a la frontera Argentino-Boliviana. Aquí los horizontes pierden parte de su "carácter" y continuidad, sin embargo es posible el seguimiento de los eventos reconocidos.
El conjunto de líneas se caracterizan por presentar cruces entre sí y poseer sondeos exploratorios ajustados con su correspondiente ley de velocidad y estudio palinológico. Estos últimos, han servido para dar mayor peso a los diferentes "markers" sísmicos de las secuencias identificadas.
Como ya mencionáramos, el ambiente de depositación esta caracterizado como una plataforma clástica de pendiente sumamente suave, sobre la cual se dificulta la identificación e interpretación de las discontinuidades entre cortejos sedimentarios, por tal motivo se decidió emplear a las superficie de inundación como elementos de correlación. Los depósitos generados por tales eventos geológicos son de amplia distribución espacial y están constituidos por sedimentos uniformemente estratificados. Desde el punto de vista sísmico, estos horizontes se caracterizan por una alta continuidad de reflexión, facilitando su propagación lateral al conjunto de líneas sísmicas.
El carácter dominante en las secciones sísmicas lo constituye el gran paralelismo de los diferentes reflectores dentro del intervalo considerado. Sin embargo, es factible el reconocimiento de terminaciones de reflexiones de tipo "Downlap", "Offlap" y "Onlap". Estas terminaciones conforman patrones de reflexión, tales como configuraciones subparalelas, progradacionales sigmoidales o tangenciales.
Mediante la interpretación regional se logró identificar 5 Secuencias Sísmicas (Figura 5) sobre la base de patrones de reflexión, configuración y perfil morfológico, limitadas por 5 superficies de inundación y por la discordancia del Carbonífero hacia el tope (Figura 6).

Estratigrafía Secuencial y Paleogeografía Devónica

Antes de efectuar las correlaciones entre las secciones estratigráficas afloradas y los pozos, se debieron transferir los datos palino-paleontológicos obtenidos. Como resultado de estas tareas, se logró definir los principales límites bioestratigráficos y consecuentemente las líneas tiempo.
Se efectuó una serie de correlaciones entre columnas sedimentarias de superficie y datos de pozos perforados tanto en el ámbito del Subandino como en el ámbito del Chaco en dos direcciones preferenciales para las trasectas, Norte - Sur y Este – Oeste. (Figura 7)

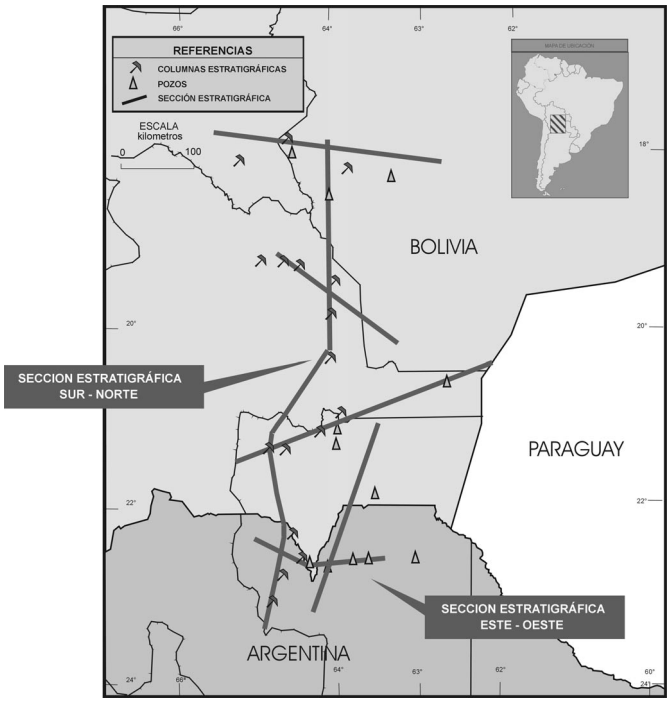


Fig. 7 - Ubicación Trasectas

Las secciones fueron niveladas a la base de la inundación Emsiano Inferior – Pragiano Superior, ya que la misma constituyen un excelente nivel de correlación y es reconocible en gran parte del área de estudio, tanto en secciones afloradas, perfiles de pozos y en secciones sísmicas.

Lochkoviano (408 - 401 Ma.)

El límite inferior del Lochkoviano esta definido por un evento transgresivo marino importante (superficie de inundación) el cual origina la expansión de la cuenca (Figura 8 y 9), un estado de cuenca hambrienta con generación de condiciones favorables para la acumulación de sucesiones condensadas compuestas por lutitas oscuras, ricas en materia orgánica. Este evento marca el primer registro disóxico y/o anóxico para el periodo Devónico. (Cruz et. al. 2001).
El registro sedimentario de este evento transgresivo ha sido identificado en el sector Norte del área de estudio (Tarabuco, Icla) siendo equivalente a la Formación Jumbate (J. Oller, 1996.), "cuello pelítico" o Lutitas del Boomerang (Montemurro 1994), pozos ubicados dentro de la faja plegada (Yacimientos Ramos, Aguaragüe, entre otros, base Formación Icla) como así también ha sido reconocido en líneas sísmicas, constituyéndose en un excelente horizonte sísmico (“marker" sísmico 3).
En el sector Sudoeste del área de estudio solo ha sido posible reconocer el desplazamiento en el arreglo vertical de las litofacies.
Sobre la mencionada superficie de inundación se ha reconocido el desarrollo de un evento progradante, el cual estaría constituido por 3 secuencias genéticas de tercer orden (SG I, SG II, SG III) . La dirección de progradación habría tenido una preferencia desde el Oeste - Sudoeste hacia Este - Noreste.
En el sector sur del área, este episodio comienza con asociaciones de facies de “shoreface”, las cuales pasan hacia arriba en asociaciones de facies características de ambiente costeros, mixtos o de transición, próximos al borde de cuenca, perfiles Río Lipeo, Alarache, Quebrada Zenta, (Formación Baritú Starck 1996, Hernández et. al. 2000), o en los perfiles Sella, Yesera (Sección Inferior de la Formación Santa Rosa, Souza Cruz et. al. 2001, Hernandez et. al. 2000). En el resto de las zonas estudiadas el conjunto de rasgos faciales son característicos de asociaciones de facies de “shoreface” proximal a distal.
Si bien son pocos los datos que al presente disponemos, el movimiento de la línea de costa hacia el interior de la cuenca continuó hasta fines del Lochkoviano, esta interpretación esta sustentada en las características litológicas y electrofaciales observadas en los pozos San Alberto respecto de los pozos Ramos y Aguaragüe (Formación Icla). Esto podría ser el desarrollo culminante del evento regresivo normal (Posamentier et al 1992, 2000), o tal vez dicho registro sea una secuencia de orden menor, en respuesta al desarrollo de un evento regresivo forzado (Regresión Forzada, Posamentier et al 1992, 2000).
El limite superior esta dado por un episodio transgresivo, reconocido en distintos sectores de la cuenca.

Pragiano (401 - 396 Ma.)

El limite inferior del Pragiano esta definido por un evento transgresivo marino de menor extensión que el anterior (se considera a este límite dentro de un nivel que podría involucrar la máxima inundación), el cual si bien expande los límites de la cuenca su extensión fue de menor magnitud. Sin embargo, el mismo origina un estado de cuenca subhambrienta o sub-balanceada y posibilita la generación de condiciones favorables para la acumulación de sucesiones condensadas compuestas por lutitas oscuras, ricas en materia orgánica, tales como las secciones encontradas en los perfiles de Icla, Campo Redondo y Candelaria. Este evento marca el segundo registro disóxico y/o anóxico para el periodo Devónico.
Esta superficie de inundación, ha sido reconocida en gran parte del área de estudio como en las columnas de Icla, Candelaria, Campo Redondo en el sector Norte (parte inferior de la Formación Icla), y en pozos dentro de la faja plegada tales como Ramos y Aguaragüe entre otros (Tope de la Formación Icla) (Figuras 8 y 9).
La única evidencia reconocible en las columnas afloradas en el extremo sur del área de estudio, sería el pasaje transicional entre distintos subambientes deposicionales (Columnas de Alarache, Río Lipeo, Sella).
Sobre la superficie de inundación se instaura un episodio sedimentario regresivo, el cual estaría constituido por 2 secuencias genéticas de tercer orden (SG IV y SG V). El mismo ha sido reconocido en el sector sur y suroeste del proyecto, en secuencias de borde de cuenca se identificaron asociaciones de facies de ambientes litorales y continentales, las cuales engranan lateralmente hacia el Este - Noreste con asociaciones de facies de “shoreface”. La dirección de progradación predominante es desde el Oeste - Sudoeste hacia el Este - Noreste, es decir, sin grandes cambios respecto al periodo anterior.

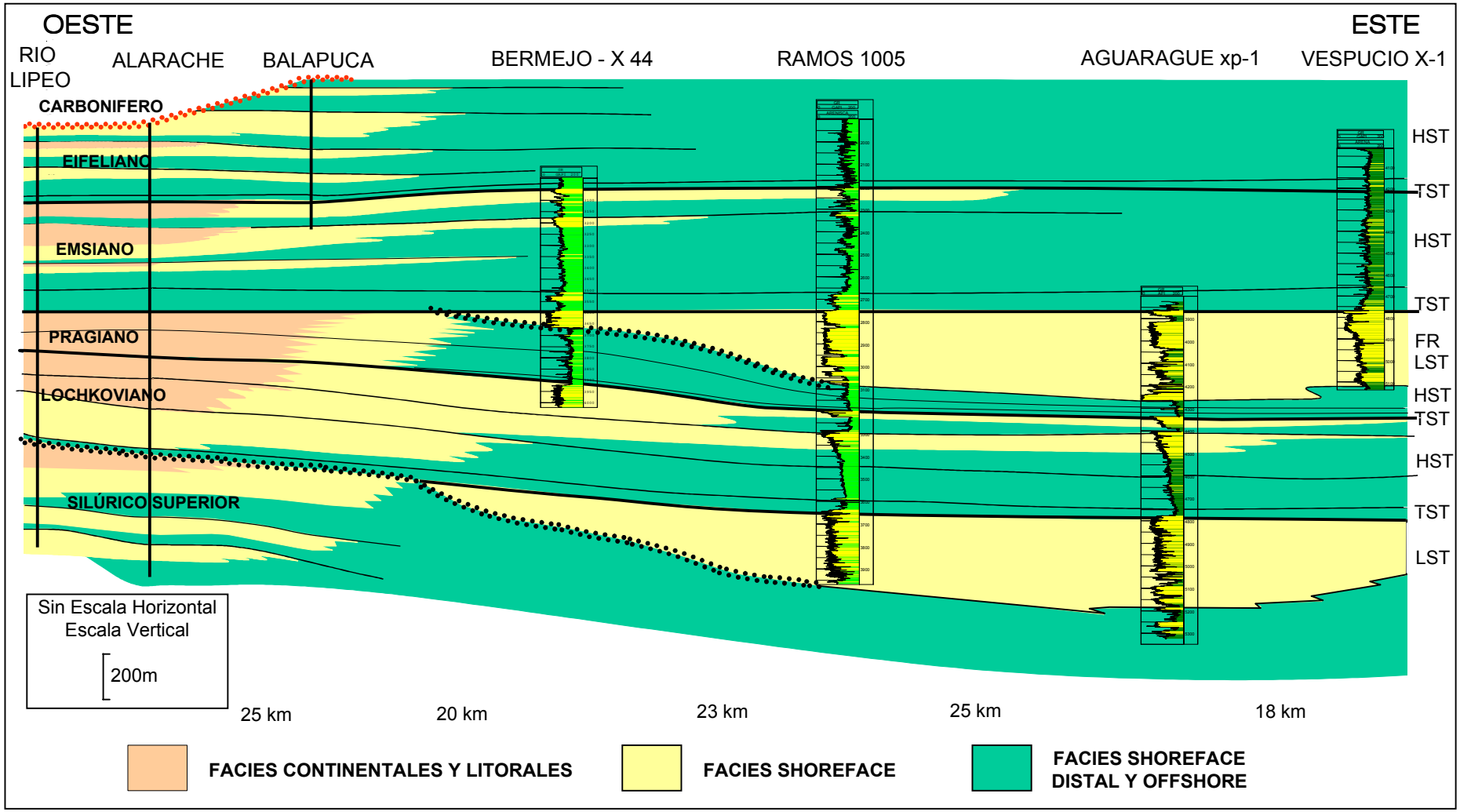


Figura 8 -Corte Estratigráfico E-W - Silúrico Superior - Devónico Medio.

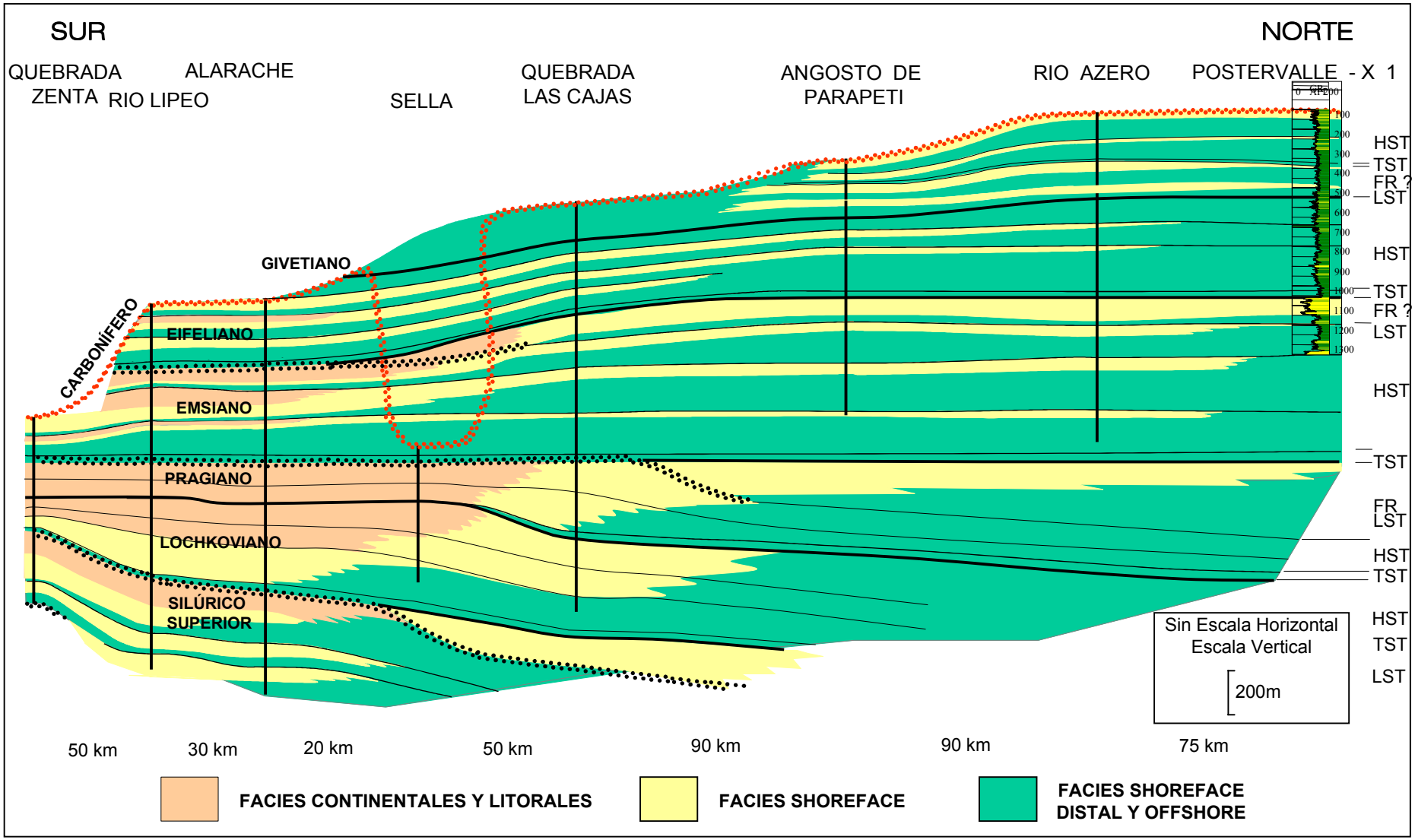


Figura 9 -Corte Estratigráfico N-S - Silúrico Superior - Devónico Medio.

Hacia fines del Pragiano acontece un fuerte movimiento de la línea de costa en dirección hacia el interior de cuenca, este desplazamiento es interpretado como una regresión forzada, la cual origina una retracción de la cuenca y el ingreso de importantes volúmenes de psamitas. Este mecanismo permitiría explicar los importantes cuerpos arenosos proximales en posiciones mas internas de la cuenca como las encontradas en los Yacimientos de Ramos, Aguaragüe y San Alberto, entre otros (Formación Huamampampa).
Este episodio regresivo (SG VI) estaría conformado por 4 secuencias genéticas de orden menor, las que comienzan con depósitos clásticos de “shoreface” proximales? y yacen en forma abrupta sobre depósitos más profundos del cortejo sedimentario anterior.
Sobre la plataforma, estos potentes depósitos psamíticos se habrían acumulado durante la caída del nivel del mar, un subsecuente nivel estable y nueva caída del nivel relativo. Estos cuerpos rocosos serían respuesta a caídas episódicas del nivel relativo del mar, dentro de un ciclo regresivo mayor (Figura 10). En consecuencia, se genera un apilamiento de depósitos de regresiones forzadas adjuntadas o vinculadas ("Attached Forced Regressive Deposits"), los cuales se extendieron en grandes distancias de regresión por el bajo gradiente de la rampa, entre otros factores. (Figura 11)

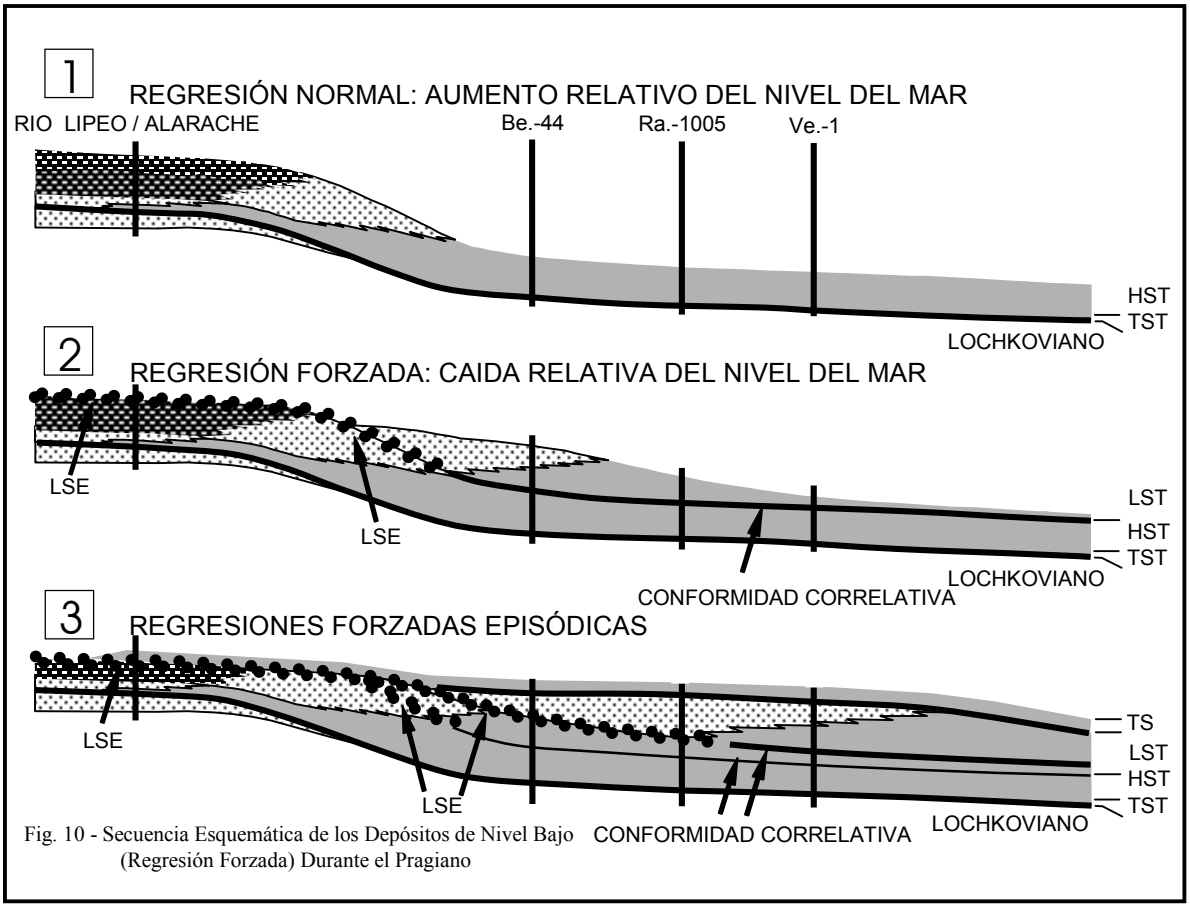


Fig. 10 - Secuencia Esquemática de los Depósitos de Nivel Bajo (Regresión Forzada) Durante el Pragiano

El límite superior de la Secuencia VI es reconocida por una nueva superficie de inundación (Pragiano Superior - Emsiano Inferior).

Emsiano (396 - 388 Ma.)

El límite inferior del Emsiano esta definido por una nueva inundación marina (base SG VII, "marker" sísmico 4) la cual origina la última expansión de la cuenca para el Devónico Inferior, en consecuencia, genera un estado de cuenca hambrienta y excelentes condiciones para la acumulación de sucesiones condensadas compuestas por lutitas oscuras, ricas en materia orgánica. Este evento marca el tercer registro anóxico para el periodo Devónico (Figuras 8 y 9).

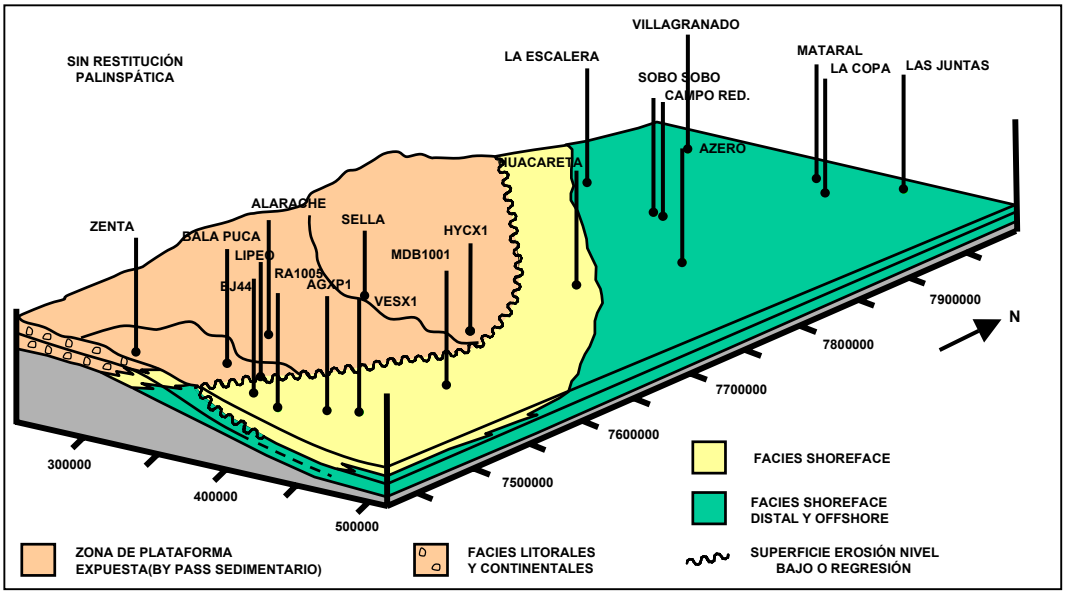


Figura 11 -Paleogeografía Pragiano Superior.

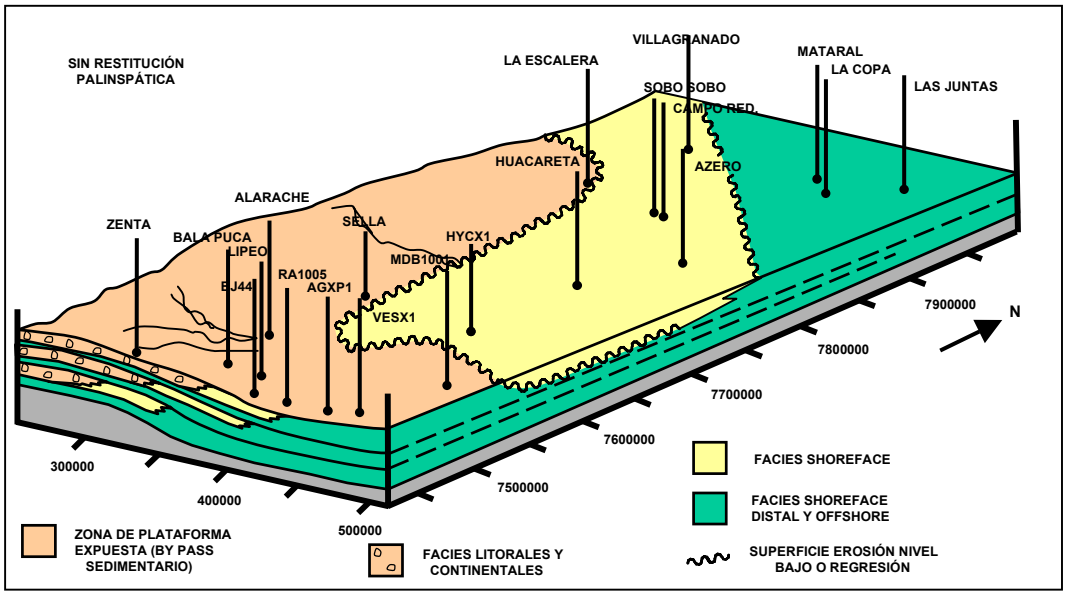


Figura 12 - Paleogeografía Emsiano Superior.

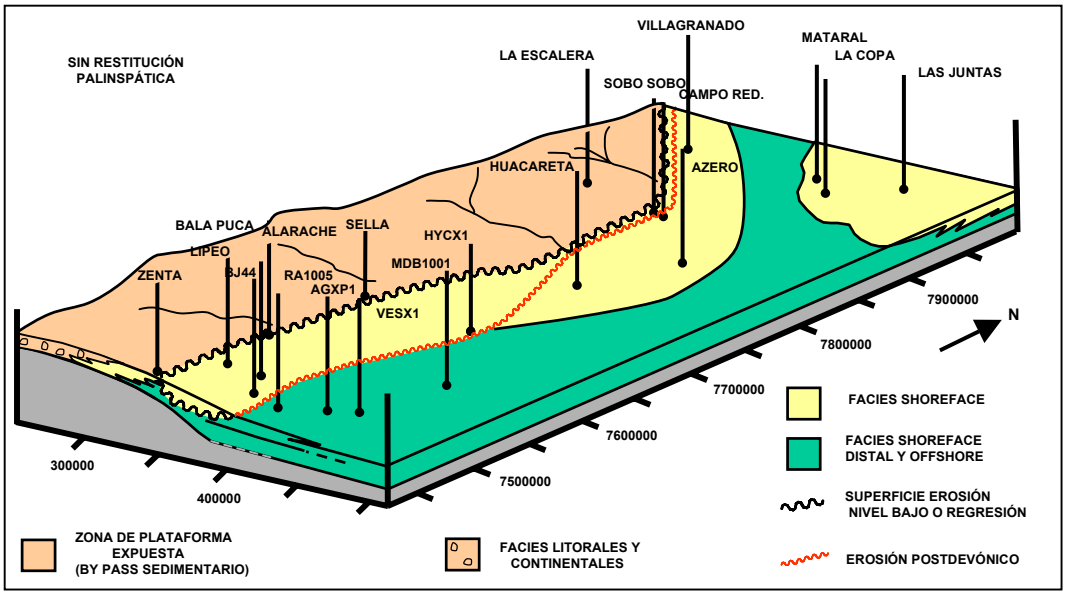


Figura 13 -Paleogeografía Givetiano.

El registro sedimentario de este evento ha sido identificado en toda el área de estudio (Base de la Supersecuencia Las Pavas), también ha sido reconocido en líneas sísmicas (Base de la Formación Los Monos en Llanura Chaqueña), constituyendo este como un excelente horizonte sísmico de correlación.
Sobre la mencionada superficie, se ha reconocido el desarrollo de un episodio sedimentario regresivo constituido por 3 secuencias genéticas de tercer orden (SG VII, VIII, IX) en un arreglo progradante normal. El aporte sedimentario habría tenido una dirección preferencial Oeste - Sudoeste hacia el Este - Noreste.
En el sector sur y oeste del área de trabajo, el comienzo de estos episodios regresivos están dados por asociaciones de facies de “shoreface”, las cuales pasan hacia arriba en asociaciones de facies características de ambiente mixtos próximos al borde de cuenca (perfiles Río Lipeo y Alarache, Secuencias Las Pavas I y II). El conjunto de asociaciones de facies se interdigitan hacia el interior de cuenca, en dirección Este - Noreste, con asociaciones de facies características de ambientes marino más distales (Angosto de Huacareta, pozos Huayco- Formación Huamampampa-).
Hacia fines del Emsiano acontece el desplazamiento de la línea de costa en dirección hacia el interior de la cuenca y consecuentemente la migración del tren de facies. Este mecanismo de desplazamiento es interpretado como una nueva secuencia de tercer orden (SG X) en respuesta a un descenso del nivel relativo del mar (Regresión Forzada). También es posible interpretar este episodio como resultante de la regresión normal. En ambos casos, esta nueva migración y el posterior emplazamiento del tren de facies explican los cuerpos arenosos proximales en posiciones mas internas de la cuenca. Sin embargo, es necesario aclarar que nuestra interpretación se inclina por adoptar un modelo de regresión forzada. (Intervalo superior del Angosto de Huacareta - Formación Huamampampa -, tal vez Margarita).
Esta nueva caída del nivel del mar, de menor magnitud que la originada durante el Pragiano, genera una distribución espacial y areal de los cuerpos psamíticos diferente a la precedente, pero manteniendo el área de aporte sedimentario desde el oeste, (Figura 12)
El limite superior de este tiempo geológico esta nuevamente definido por una superficie marina transgresiva.

Eifeliano (388 - 380 Ma.)

Las columnas sedimentarias ubicadas en el sector oeste del área presentan una significativa erosión que suprime gran parte del Devónico Medio y Superior (sucesiones del Eifeliano, Givetiano, Frasniano y Fameniano), debido al fuerte proceso erosivo del Carbonífero, por tal motivo el esquema presenta algunas zonas “oscuras” (de difícil resolución) con dudas en cuanto a la interpretación de la paleogeografía (Figuras 8 y 9).
Gran parte de la información proviene de los pozos y líneas sísmicas ubicadas en el ámbito del Subandino Sur y el Chaco los cuales permiten reconstruir la paleogeografía, sin embargo, las secuencias clásticas arenosas (Formación Los Monos o Formación Tonono) presentan poco grado de desarrollo entre los terminos basales y los cuspidales de cada parasecuencia debido al fuerte predominio de los sedimentos finos.
El limite inferior esta dado por una superficie de inundación, la cual registra la más importante expansión de la cuenca y por consiguiente la más fuerte migración del tren de facies hacia el continente (base SG XI y "marker" sísmico 5) . Esta nueva inundación origina el segundo evento anóxico de importancia para la cuenca. (Cruz et. al. 2001).
La superficie de inundación ha sido reconocida en el extremo sur sobre los perfiles de Río Lipeo, Alarache, Balapuca (base de Secuencia Las Pavas III); en el sector central Angosto de Huacareta, Río Azero, Sobo-Sobo (base Formación Los Monos) y en la sección media de todos los pozos estudiados en el ámbito de la Llanura Chaqueña.
Sobre la mencionada superficie ha sido posible el reconocimiento, al menos, de 4 discretos ciclos transgresivos-regresivos (SG XI, XII, XIII, XIV) en un claro arreglo progradante, correspondientes a un episodio regresivo normal.
El limite superior que ha podido ser reconocido denota una fuerte somerización del sistema progradante, acompañada por el desplazamiento de la línea de costa hacia el interior de la cuenca con la consecuente migración del tren de facies, marcando el comienzo de un nuevo ciclo de descenso del nivel relativo del mar.

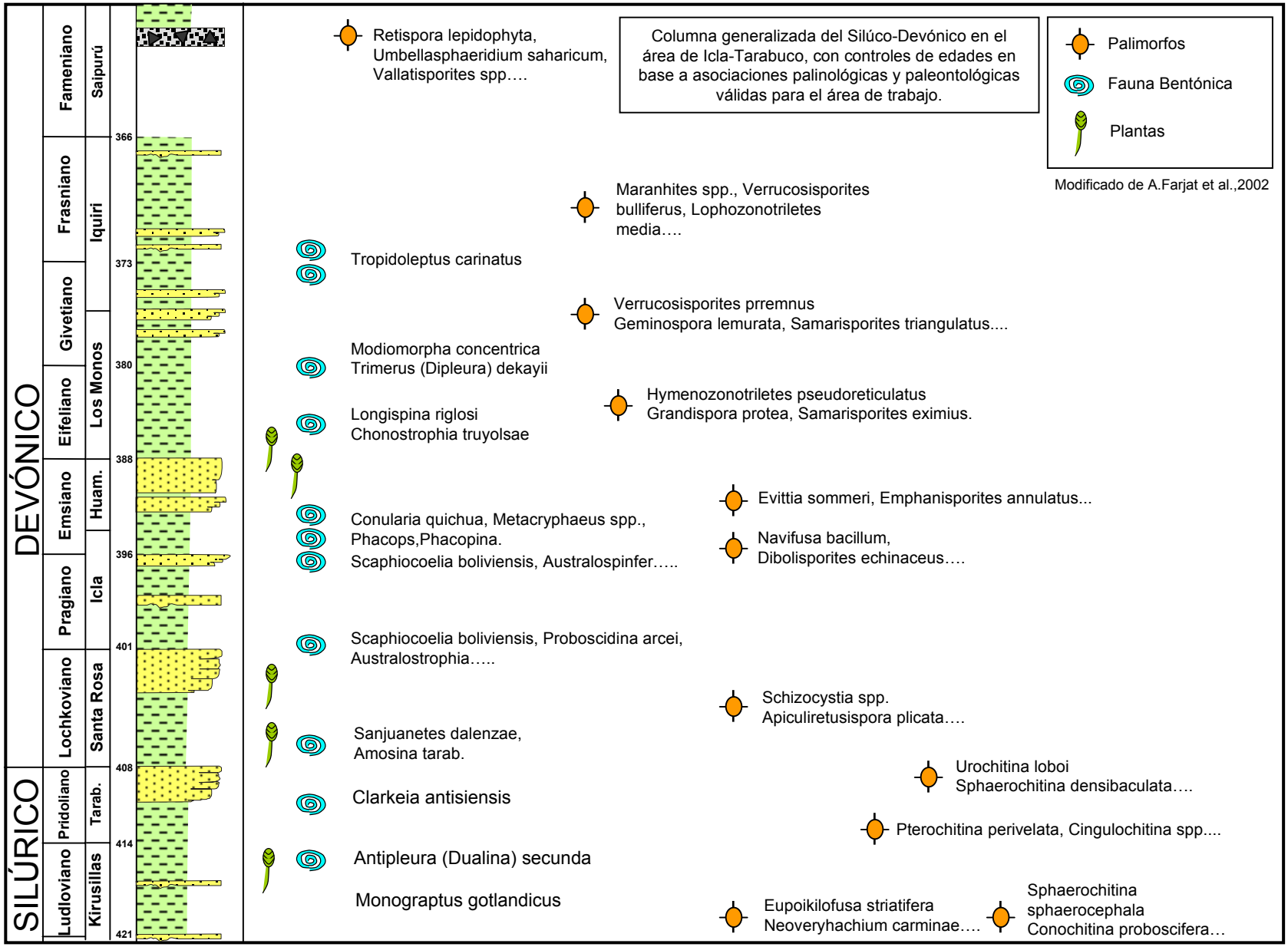

DEVÓNICO
SILÚRICO
Fameniano
Frasniano
Givetiano
Eifeliano
Emsiano
Pragiano
Lochkoviano
Pridoliano
Ludloviano
Saipurú
Iquiri
Los Monos
Huam.
Icla
Santa Rosa
Tarab.
Kirusillas
366
373
380
388
396
401
408
414
421
Columna generalizada del Silúco-Devónico en el área de Icla-Tarabuco, con controles de edades en base a asociaciones palinológicas y paleontológicas válidas para el área de trabajo.
Palimorfos
Fauna Bentónica
Plantas
Modificado de A.Farjat et al.,2002
Retispora lepidophyta, Umbellasphaeridium saharicum, Vallatisporites spp….
Maranhites spp., Verrucosisporites bulliferus, Lophozonotriletes media….
Tropidoleptus carinatus
Verrucosisporites prremnus Geminospora lemurata, Samarisporites triangulatus....
Modiomorpha concentrica Trimerus (Dipleura) dekayii
Hymenozonotriletes pseudoreticulatus Grandispora protea, Samarisporites eximius.
Longispina riglosi Chonostrophia truyolsae
Evittia sommeri, Emphanisporites annulatus...
Conularia quichua, Metacryphaeus spp., Phacops,Phacopina.
Navifusa bacillum, Dibolisporites echinaceus….
Scaphiocoelia boliviensis, Australospinfer…..
Scaphiocoelia boliviensis, Proboscidina arcei, Australostrophia…..
Schizocystia spp. Apiculiretusispora plicata….
Sanjuanetes dalenzae, Amosina tarab.
Urochitina loboi Sphaerochitina densibaculata….
Clarkeia antisiensis
Pterochitina perivelata, Cingulochitina spp....
Antipleura (Dualina) secunda
Monograptus gotlandicus
Eupoikilofusa striatifera Neoveryhachium carminae….
Sphaerochitina sphaerocephala Conochitina proboscifera…

Figura 14 -

Givetiano (380 - 373 Ma.)

El limite inferior del Givetiano ha sido reconocido por el abrupto incremento de facies psamíticas hacia posiciones internas de la cuenca. Este evento comienza con depósitos clásticos de "shoreface" proximales? y yacen en forma abrupta sobre depósitos más profundos del cortejo sedimentario anterior.
El arreglo sedimentario es interpretado como producto de una sucesión de 2 ciclos regresivos-transgresivos (SG XV, XVI) cuyos depósitos psamíticos desarrollados hacia el interior de la cuenca representarían fenómenos de nueva regresión forzada.
El aporte de sedimentos silicoclásticos se habría visto favorecido, a su vez, por el cambio en las condiciones hidráulicas de sedimentación. Así como, durante gran parte del Devónico la sedimentación estuvo predominantemente marcada por fenómenos de acumulación clásticas bajo condiciones de buen tiempo, durante el Givetiano inferior los fenómenos de sedimentación bajo condiciones de tormenta en la plataforma fueron los dominantes.
Como ya hemos mencionado, el reconocimiento de estos factores climáticos en conjunción con el tipo de corriente predominantes han servido para distinguir un lapso de tiempo donde los regímenes hidráulicos dominantes generaron una plataforma dominada por tormentas, tales como los reconocidos en los perfiles de Angostura del Piraí (Bossi 1983), Río Bermejo (Spalletti en Palma & Asociados 1999), entre otros.
Los dos mecanismos mencionados (regresión forzada y condiciones de mal tiempo) permitirían explicar los importantes volúmenes de areniscas en posiciones internas de la cuenca, tales como los encontrados en los Yacimientos Camiri, Guairuy y Tucán o la sección aflorada del Río Azero, Río Bermejo y Las Juntas. (Figura 13)
Como ya hemos mencionado en párrafos anteriores la falta de afloramientos en secciones occidentales, erodados principalmente por el Carbonífero, impiden definir con claridad el resto de la evolución, sin embargo los saltuarios datos permiten inferir una nueva etapa transgresiva hacia fines del Givetiano.

Frasniano (373 - 366 Ma.)

El principal problema para proponer un modelo evolutivo y paleogeográfico del Frasniano es la fuerte erosión acaecida a fines del Devónico Superior (?) y el Carbonífero Inferior. Esta discordancia erosiva produjo la falta casi total de datos en las columnas sedimentarias estudiadas, en el sector oeste del área de estudio.

Consideraciones Cronoestratigráficas

Uno de los alcances del trabajo lo constituye el encuadre cronoestratigráfico, el cual hasta el momento pocos autores han intentado llevar a cabo. Tal vez, la principal causa sea la escasa resolución cronológica obtenida mediante los estudios paleontológicos, si bien estas disciplinas (palinología y paleontología) han logrado pequeños y constantes avances aun la definición del método no permite tener una mejor resolución temporal, encontrándose próxima al rango de 7 millones de años. (Figura 14).
Esta pobre resolución de la bioestratigrafía ha llevado a numerosos autores a emplear la estratigrafía secuencial o genética "pura", con el grave riesgo de correlacionar eventos de edades distintas. Con el empleo de tal metodología, se posee una mejor "resolución temporal", al interpretar ciclos de inundación–somerización, debido a que se logran definir secuencias con una duración menor a los 3 millones de años. Pero esta "mejor" definición cronoestratigráfica ha inducido a erróneas correlaciones entre secciones afloradas en posiciones proximales de la cuenca y de pozos ubicados en posiciones internas de la cuenca.
Las dataciones empleadas en la calibración del Devónico Tipo (Cuencas no Gondwánicas) se determinan sobre la base de la presencia de conodontes, graptolites y amonites, a su vez se encuentran calibradas por dataciones radiométricas de 2 niveles volcánicos en Europa.
En la cuenca Devónica de Argentina-Bolivia no se tienen conodontes, ni graptolites y son muy escasos los amonites, estas carencias se deben a:
El primero es la concentración a nivel mundial de conodontes (organismos fosfáticos) depositados en sedimentos carbonáticos de aguas templadas. Las sucesiones del Devónico esta representadas por facies silicoclásticas y bajo condiciones de aguas frías.
El segundo factor son los graptolites que se encuentran en profundidades de mar abierto y de "offshore" en niveles de energía hidrodinámica muy bajas. Los graptolites comienzan a extinguirse en el Devónico

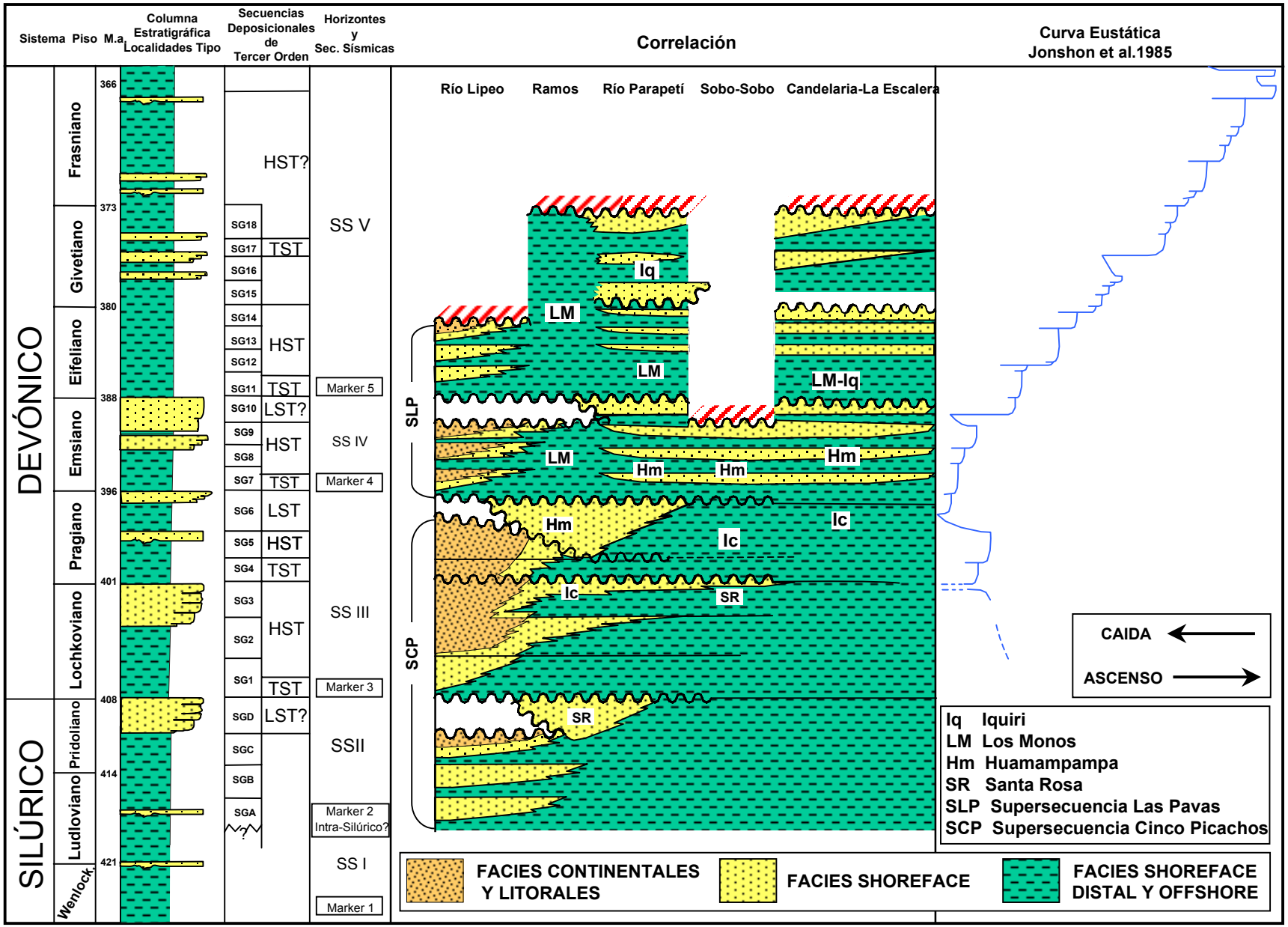

Sistema
Piso
M.a.
Columna Estratigráfica Localidades Tipo
Secuencias Deposicionales de Tercer Orden
Horizontes y Sec. Sísmicas
Correlación
Curva Eustática Jonshon et al.1985
DEVÓNICO
SILÚRICO
Frasniano
Givetiano
Eifeliano
Emsiano
Pragiano
Lochkoviano
Pridoliano
Ludloviano
Wenlock
366
373
380
388
396
401
408
414
421
HST?
TST
HST
TST
LST?
HST
TST
LST
HST
TST
HST
TST
LST?
SG18
SG17
SG16
SG15
SG14
SG13
SG12
SG11
SG10
SG9
SG8
SG7
SG6
SG5
SG4
SG3
SG2
SG1
SGD
SGC
SGB
SGA
SS V
Marker 5
SS IV
Marker 4
SS III
Marker 3
SSII
Marker 2
Intra-Silúrico?
SS I
Marker 1
Río Lipeo
Ramos
Río Parapetí
Sobo-Sobo
Candelaria-La Escalera
SLP
SCP
Iq
LM
LM-Iq
Hm
Ic
SR
CAIDA
ASCENSO
Iq Iquiri
LM Los Monos
Hm Huamampampa
SR Santa Rosa
SLP Supersecuencia Las Pavas
SCP Supersecuencia Cinco Picachos
FACIES CONTINENTALES Y LITORALES
FACIES SHOREFACE
FACIES SHOREFACE DISTAL Y OFFSHORE

Figura 15 -

Inferior, tiempo en el cual para el borde de Gondwana occidental (Bolivia - Argentina), se tenían plataformas y no mar abierto. Por lo tanto no existían paleobatimetrías propicias para la colonización de esta fauna pelágica. Por otro lado el control de temperatura fue determinante para la ausencia de graptolites en esta parte del Gondwana, con aguas frías.
Finalmente los goniatites invadieron la cuenca austral en cada evento de subida del nivel del mar de manera esporádica y eventual, de ahí su relativa rareza en el hemisferio sur.
Por lo mencionado la base de las dataciones del Devónico en la cuenca se sustenta en dos tipos de faunas:
Fauna No Especializada: El Devónico tipo a nivel mundial tanto en Alemania, Checoslovaquia, Francia y Bélgica, se desarrolló en paleolatitudes muy bajas, en aguas templadas, con facies calcáreas. Mientras que en Gondwana las facies depositadas son silicoclásticas, la fauna desarrollada en estos mares es de temperaturas frías y de latitudes altas a muy altas. En este panorama, la fauna bentónica del hemisferio sur se caracteriza por ser de largos biocrones, aguas frías y por lo tanto es poco diversificada y poco especializada. Las anteriores condiciones expuestas hacen que esta fauna sea dominante en la cuenca y se asocie entre sí siguiendo controles ambientales (biofacies), cortando líneas tiempo. Por lo tanto, esta clase de asociaciones no es propicia para utilizarla en dataciones.
Fauna Especializada: Se define así a aquellos grupos de fauna que generaron hábitos muy específicos, por lo cual se desarrollaron muy rápidamente en áreas considerables o restringidas pero que por ser tan especializadas eran muy frágiles a cualquier cambio tanto climático, geográfico, como genético, sufriendo la extinción de cada especie de manera violenta. Estos grupos muy especializados sufrieron severas extinciones a nivel específico, estas condiciones son las mejores para caracterizar fauna de cortos biocrones.
En consecuencia, la datación en las secuencias estudiadas se realiza a través de la fauna bentónica no especializada, mezclada con fauna especializada. A esta componente, se adicionan por un lado fauna boreal que invade la cuenca Gondwánica de provincias norteñas en eventos transgresivos de subida del nivel del mar, los cuales son relativamente sincrónicos, y por el otro lado, fauna endémica que se desarrolló en el Gondwana durante las progradaciones y agradaciones de la cuenca.
Como ya hemos mencionado la mejor resolución bioestratigráfica dentro del Devónico es equivalente al nivel de piso geológico (aproximadamente 7 Millones de años) por tal motivo el ordenamiento cronológico de los cortejos sedimentarios y las secuencias de menor orden aquí propuestos admiten otras posibles interpretaciones dentro de las líneas tiempo bien establecidas.

Consideraciones Petroleras

El aporte más importante de esta nueva organización estratigráfica, es la identificación, evaluación y análisis de cada uno de los elementos que conforman el Sistema Petrolero del Devónico (Figura 15).
Dentro de estos constituyentes esenciales analizaremos solamente a los reservorios y sellos. Dejamos excluido del análisis a las potenciales rocas madres y a sus procesos concomitantes, ya que los mismos forman parte del trabajo de Cruz et al, 2001.

Rocas Reservorios y Sellos

Sobre la base de la nueva organización estratigráfica se identificaron los principales reservorios productivos dentro de la sección analizada, estableciendo pautas de seguimiento a través de los modelos paleogeográficos propuestos.
La cuenca recibió los mayores aportes sedimentarios de arena durante los episodios de máxima contracción de la cuenca ocurridos durante el Devónico Inferior y Medio, es decir, durante el Lochkoviano Superior, Pragiano, Emsiano y Givetiano Inferior, los cuales son coincidentes con la Curva Eustática Global propuesta por Johnson et. al. 1985. (Figura 15) En consecuencia, las principales rocas reservorios estarían asociadas con fuertes eventos regresivos en la mayoría de los casos con regresiones forzadas.
Por otro lado, si bien al presente disponemos de escasos datos, no debemos descartar que similares procesos hayan ocurrido durante el Silúrico Superior (SG "D"), ya que importantes volúmenes de arenas fueron introducidos a la cuenca, tales como los niveles productivos, (mal denominado Formación Santa Rosa), en los Yacimientos Ramos y Aguaragüe entre otros.
La sola presencia de estos importantes volúmenes de arenas no garantiza la existencia de buenas rocas recipientes, debido a los severos procesos diagenéticos que obliteraron sus propiedades primarias. En consecuencia, las mejores condiciones de porosidad y permeabilidad estarán controladas por la generación

de un sistema de fracturas y/o fisuras relacionadas a movimientos flexodeslizantes asociados con la tectónica Andina. Los cuales en definitiva crearan las condiciones petrofísicas secundarias óptimas de los reservorios.
Las unidades litoestratigráficas consideradas son las denominadas Formación Santa Rosa, Formación Icla, Formación Huamampampa y Formación Iquiri, las que constituyen los principales objetivos productivos en toda la cuenca, teniendo en cuenta que dependerá de la ubicación del área dentro de la cuenca para que esta tenga mayor o menor interés petrolero.
Por su parte, los principales intervalos que poseen comportamiento para constituirse como rocas sellos lo constituyen las sucesiones pelíticas. Estos depósitos están asociados con las más importantes transgresiones marinas del Lochkoviano basal (Formación Icla en los Yacimientos Ramos, Aguaragüe entre otros; base de la Formación Roboré en el Yacimiento Yapacani), Pragiano basal (Tope Formación Icla en los Yacimientos Ramos y Aguaragüe), Pragiano Superior - Emsiano Inferior (base de la Formación Los Monos en los Yacimientos Ramos, Aguaragüe, Madrejones, entre otros) Eifeliano (Formación Los Monos en el Yacimiento Huayco) y del Givetiano Superior a Frasniano (Formación Iquiri en los Yacimientos de Río Seco, Camiri, Guairuy, Tatarenda).

Trampas

Los reservorios considerados poseen gran continuidad areal, siendo en cierta medida las condiciones petrofísicas antes expuestas las que condicionan o restringen su existencia. Hasta el momento, las trampas descubiertas son del tipo estructural y según se deduce de la evolución tectónica de la región, éstas habrían comenzado a formarse durante las diferentes fases de la orogenia Andina, de esta manera, la generación de trampas estará condicionada a la presencia de trenes estructurales.
Desde el punto de vista regional, estos trenes estructurales forman parte de un conjunto de estructuras asociados a bloques colgantes, los cuales se extienden en dirección preferencial de Norte a Sur por varias decenas de kilómetros.
En sección transversal, las estructuras son ligeramente asimétricas con vergencia hacia el este, ambos flancos tienen fuerte pendiente siendo el occidental ligeramente más tendido.
Estas estructuras están conformadas por elongados anticlinales con cierre en las cuatro direcciones con decenas de kilómetros de longitud y cierres estructurales de varios cientos de metros, tal como el Yacimiento Ramos con 1500 metros entre otros. (Gómez Omil R y Lúquez J. 1998).

CONCLUSIONES

- La combinación de la información procedente del análisis estratigráfico, palino-paleontológico y de subsuelo han permitido plantear un nuevo modelo estratigráfico secuencial del Devónico para la región del Subandino Sur y la Llanura Chaqueña.
- El desarrollo de la arquitectura estratal o armazón sedimentológico estuvo sujetos a: variaciones en el nivel del mar, la fisiografía de los márgenes de la cuenca, la subsidencia y el clima.
  El elemento de mayor impronta, reconocible en la fuerte ciclicidad observada del intervalo estudiado, es el control eustático. Las variaciones eustáticas gobernaron la distribución de las principales rocas reservorios asociadas a episodios regresivos (Regresiones Forzadas y Normales) que ocurrieron durante el Silúrico Superior ? (Pridoliano), Lochkoviano Superior, Pragiano Superior, Emsiano Medio a Superior y Givetiano Inferior. Por otra parte, rigieron la distribución de las rocas generadoras asociadas a importantes eventos transgresivos reconocidos durante el Lochkoviano Inferior, el Emsiano Inferior y durante el Eifeliano.
  La curva eustática local obtenida manifiesta una buena correlación con la curva eustática presentada por Johnson para las secuencias Devónicas de Euroamerica.
- Otros importante factor, especialmente en rampas marinas, es la fisiografía de la cuenca, ya que la misma condiciona el comportamiento de los sistemas fluviales durante los periodos de descenso relativo del nivel del mar. La instauración de valles incisos sobre la plataforma expuesta dependerá de la diferencia de pendiente entre el perfil fluvial y el perfil de la plataforma (Posamentier et al 1992), aparentemente ambos perfiles mantuvieron el mismo gradiente, entre otros factores. Esta configuración habría impedido la existencia de valles incisos .

Por otro lado, la configuración de los margen han sido de diferentes magnitud durante toda la historia evolutiva de la cuenca, el margen Sur y Oeste fue mas activo en el aporte de sedimentos respecto al margen Este asociado al Cratón Brasileño.

- La arquitectura secuencial aquí propuesta, bajo la influencia del conjunto de parámetros básicos que la controlan, ha permitido definir un incremento de espesor de las secuencias definidas desde el Oeste hacia el Este en dirección al Cratón Brasileño y de Sur (Argentina) a Norte (Codo de Santa Cruz).
- El estudio integral ha permitido proponer un nuevo encuadre cronoestratigráfico del Devónico para el ámbito del Interandino, Subandino Sur y la Llanura Chaqueña en Argentina y Bolivia.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Pluspetrol SA por autorizar la publicación del presente trabajo. Hacemos extensivo el agradecimiento a María Silvia Castro por la elaboración y diseño de las figuras.

Bibliografía citada en el Texto

Albariño, Luis M. 2000. Informe de Correlación Sísmica de las Secuencias Siluro-Devónicas. Informe Interno Pluspetrol E & P. Buenos Aires.

Albariño, Luis M. 2000 Estratigrafía Secuencial del Silúrico Superior y el Devónico en el Subandino Sur y el Chaco. Bolivia - Argentina. Informe Interno Pluspetrol E & P. Buenos Aires.

Alvarez, Luis A., Dalenz Farjat, Alejandra, Hernández, Roberto y Albariño Luis (En prensa): Integración del análisis de líneas - tiempo, facies y biofacies como metodología de trabajo en plataformas silicoclásticas devónicas del sur de Bolivia y noroeste de Argentina.

Berner, R. 1997. The Rise of Plants and Their Effect on Weathering and Atmospheric CO_2. Science 276. Page 544 - 546.

Bossi, G 1983. Tempestitas en la Formación Iquiri en la Angostura del Río Piraí (Dto. Santa Cruz - Bolivia). II Reunión Internacional Proyecto 193 "Silúrico y Devónico de América Latina" IUGS-IGCP, Sucre.

Cruz, C. Albariño, L. Sylwan, C. y Villar H. 2001. Source Rocks and Hydrocarbons South of The Santa Cruz Elbow. Bolivia and Northwest Argentina. AAPG Denver 2001.

Chamot, G 1965. The classical Devonian of Icla. Geology of the Icla - Huamampampa area Chuquisaca Department. Bolivian Gulf Oil Company Geological report 01.98

Chlupac, I. 1994. Devonian Trilobites. Evolution and Events. Geobios 27(4): 487-505.

Fernández Seveso, F. ,Vistalli, M.C. y Viñes, R.F. 1998. The Silurian-Devonian Chaco Basin: a Review for Reservoir Correlation in Argentina and Bolivia. Extended Abstracts Volume. 1998 AAPG International Conference & Exhibition. Rio de Janeiro, Brazil (452-453).

Fernández Seveso, F. ,Vistalli, M.C. y Viñes, R.F. 2000. Correlación de reservorios en la Cuenca Silúrica - Devónica del Chaco. Una revisión integrada previa a la adquisición de bloques exploratorios en Bolivia. BIP (61): 152-167.

Galloway, W.E. 1989. Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis I: Architecture and Genesis of flooding surface Bounded Depositional units. AAPG, 73 (2), 125-142.

Gohrbandt, K.H.A. 1993: Paleozoic Paleogeographic and Depositional Developments on the Central porto-Pacific Margin of Gondwana: Their Importance to Hydrocarbon Accumulation. Pergamon Press, Earth Sciences and Resources Institute: 267-287.

Hernandez, M., Alvarez, L. y Dalenz - Farjat, A. 1999. Informe Geológico Areas Entre Ríos y O´Connor. Departamentos de Chuquisaca y Tarija Bolivia. Inédito. Informe Interno Pluspetrol. XR S.R.L.

Hernandez, M., Alvarez, L. Y Dalenz Farjat, A. 2000. Estratigrafía secuencial y Paleoecología de la Cuenca Subandina-Chaqueña (Siluro-Devónico). Inédito. Informe Interno Pluspetrol. XR S.R.L.

Johnson, H.D. & Baldwin, T. 1986. Shallow siliciclastic seas. En Reading, H.G. (Ed.) Sedimentary environment and facies. Page 229-282. Blackwell Sci. Pub., Oxford.

Johnson, J.G. Klapper, G. & Sandberg C.A., 1985. Devonian eustatic fluctuations in Euroamerica. Geological Society of America Bulletin, v 96, p 567-587.

Krumbein, W.C. & Sloss, L.L, 1963. Stratigraphy and sedimentation. W. Freeman, and Co. San Francisco.

Limachi, R., Goitia V.H., Sarmiento, D., Arispe, O., Montecinos, R., Diaz Martinez, E., Dalenz Farjat, A., Liachenco, N., Pérez Leyton, M.A. y Aguilera E., 1996 Estratigrafía, Geoquímica, Correlaciones,

Ambientes Sedimentarios y Bioestartigrafía del Silúrico - Devónico de Bolivia. Memoria XII Congreso Geológico de Bolivia, Tarija. Pagina 183-197.
Palma & Asociados 1999 Análisis Estratigráfico de Superficie Sierras Espejos, Inca y Abapó. Subandino Sur, Bolivia. Inédito. Informe Interno Pluspetrol.
Pérez Leyton M.A. 1997 Informes Palinológicos Pozos Huayco – x 1, Río Salado 1 y 2, Honduras – x 1 - x 2 y pozos en Chaco Argentino Boliviano. Inédito. Informe Interno Pluspetrol. Santa Cruz de la Sierra
Pérez Leyton M.A. 1999. Informes Palinológicos Pozos del Chaco y Subandino Argentino-Boliviano. Inédito. Informe Interno Pluspetrol. Santa Cruz de la Sierra
Pérez Leyton M.A. 2000 Informe Palinológico Proyecto Devónico. Columnas Litológicas y Pozos Exploratorios. Informe Interno Pluspetrol. Inédito. Santa Cruz de la Sierra.
Posamentier H. W., Allen G.P., James D.P. & Tesson M. 1992 Forced Regressions in Sequence stratigraphic Framework: Concepts, Examples, and Exploration Significance. AAPG V76, N°11. 1687-1709
Posamentier H.W. & Morris W. 2000. Aspects of the stratal architecture of forced regressive deposits. Hunt D. & Gawthorpe (eds.) Sedimentary Responses to Forced Regressions. Geological Society, London, Special Publications, 172. Page. 19-46 The Geological Society of London 2000.
Scotese, Ch. R. & Golonka J. 1993. Paleogeographic Atlas. Paleomap Project. Mobil E & P.
Starck, D. Gallardo, E y Schulz, A. 1992. El Siluro-Devónico de la Cuenca Subandina y su Potencial Exploratorio. Informe inédito YPF. Comisión Geológica N° 4.
Starck, D 1996. Facies Continentales en el Siluro-Devónico de la Cuenca del Noroeste. Provincia de Salta, Argentina. Memorias del XII Congreso Geológico Bolivia. Tarija. P 231-238.
Suarez Soruco, R. 1988. Estudio Bioestratigráfico del Ciclo Cordillerano de Bolivia. Tesis Academia de Ciencias.
Suarez Soruco R y Diaz Martínez E. 1996. Léxico Estratigráfico de Bolivia. Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. Volumen 17 Número 1- 2.