



Cuenca Precordillera; claves exploratorias para el Paleozoico. Áreas Jáchal y Niquivil, San Juan

Por *Miguel Ángel Pérez, Verónica Bagur Delpiano, Domingo Graneros, Karen Breier y Mariela Lauría*

En este trabajo se describen las características de las potenciales rocas madre halladas en las secuencias del Paleozoico y del Mesozoico de la cuenca Precordillera, así como tendencias geoquímicas areales a través de la Precordillera Central.

Las áreas de exploración de Jáchal y Niquivil se encuentran en la parte NO de la provincia de San Juan, Argentina, en la cuenca Precordillera, calificadas como no productivas y se las considera como “exploración de frontera”, debido a su alto riesgo exploratorio.

La Precordillera está considerada como un terreno alóctono unido al margen continental de Gondwana durante el Paleozoico Inferior. Probablemente fue en su origen parte del paleocontinente de Laurentia, y se desprendió del actual margen oriental de Norteamérica. En la zona oriental de los EE. UU. y de Canadá se han desarrollado algunas cuencas sedimentarias de edad ordovícica, consideradas como análogas a la cuenca de Precordillera. Varios yacimientos gigantes de petróleo y gas se han descubierto allí, en un marco geológico muy similar al de Precordillera.

Este trabajo ha sido galardonado con el 1.º Premio (Compartido) del Simposio de Cuencas del VIIIº Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mar del Plata, noviembre de 2011).

La Precordillera se divide en tres ambientes geológicos diferentes, de Oeste a Este: Precordillera Occidental, Central y Oriental.

Desde 2006, se ha desarrollado un proyecto exploratorio que estudió en profundidad las áreas para definir las zonas más interesantes, asociadas con la geología de la Precordillera Central. Estos estudios sistemáticos permitieron realizar estudios geológicos detallados, muestreos geoquímico de afloramientos y suelos (*Microbial oil survey* y *Sorved soil gas survey*), la sísmica 2D y la perforación de un pozo exploratorio profundo.

En este trabajo se describen las principales características desde el punto de vista de las potenciales rocas madre halladas en las secuencias del Paleozoico y del Mesozoico, y algunas tendencias geoquímicas areales a través de la Precordillera Central. Al mismo tiempo, se hacen algunas especulaciones acerca de cómo pudo haber sido la evolución estructural de la Precordillera Central, con el fin de generar un sistema petrolero paleozoico.

Relevancia de la Precordillera

Desde antaño, la Precordillera ha sido motivo de numerosos trabajos geológicos y publicaciones científicas que abordaron la descripción e interpretación de sus ricas y complejas condiciones geológicas. Desde el punto de vista de la exploración petrolera, sin embargo, los trabajos publicados, fuesen estos para ámbitos locales o más regionales de criterio integrador para la unidad Precordillera, han adquirido relevancia en los últimos años. La información petrolera exploratoria de esta región se hallaba hasta entonces, parcialmente o en su totalidad, en informes técnicos inéditos, buena parte de los cuales no está disponible en la actualidad.

Esta síntesis pretende incorporar, a la información publicada por distintos autores, los conocimientos adquiridos en los últimos cuatro años de trabajos exploratorios en las áreas Jáchal y Niquivil, de la Precordillera sanjuanina norte, por parte de la compañía OIL m&s S.A. (Pérez et. ál., 2011).

Dada la amplitud regional y geológica que posee la Precordillera argentina, es conveniente aclarar que

las observaciones corresponden al sector de Precordillera del norte de la provincia de San Juan que abarcan las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, aunque algunos de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del plan exploratorio pueden fácilmente ser extendidos a otros sectores del dominio precordillerano.

Clasificación y particularidades

Desde el punto de vista del petróleo tradicional, no es posible enmarcar a las áreas exploratorias de la Precordillera en una "cuenca" específica. El término "bolsones intermontanos", dentro del cual se la suele incluir, resulta inapropiado. La Precordillera, que ha sido conocida

primero como provincia geológica y luego como terreno exótico, conforma una unidad geológica, estratigráfica y estructural en sí misma. Su historia evolutiva conjuga elementos antiguos con rasgos alóctonos, que no pueden ser homologados a los de las regiones geológicas vecinas, con otros relativamente más jóvenes que sí se integran al modelo histórico del borde continental sudamericano.

La Precordillera es el registro de la evolución de diferentes cuencas sedimentarias cuyo desarrollo abarca desde el Paleozoico Inferior hasta hoy. En el norte sanjuanino, se compone de terrenos de edades que van desde el Cámbrico hasta el Cuaternario, y han atravesado estadios sucesivos que incluyeron comportamientos de

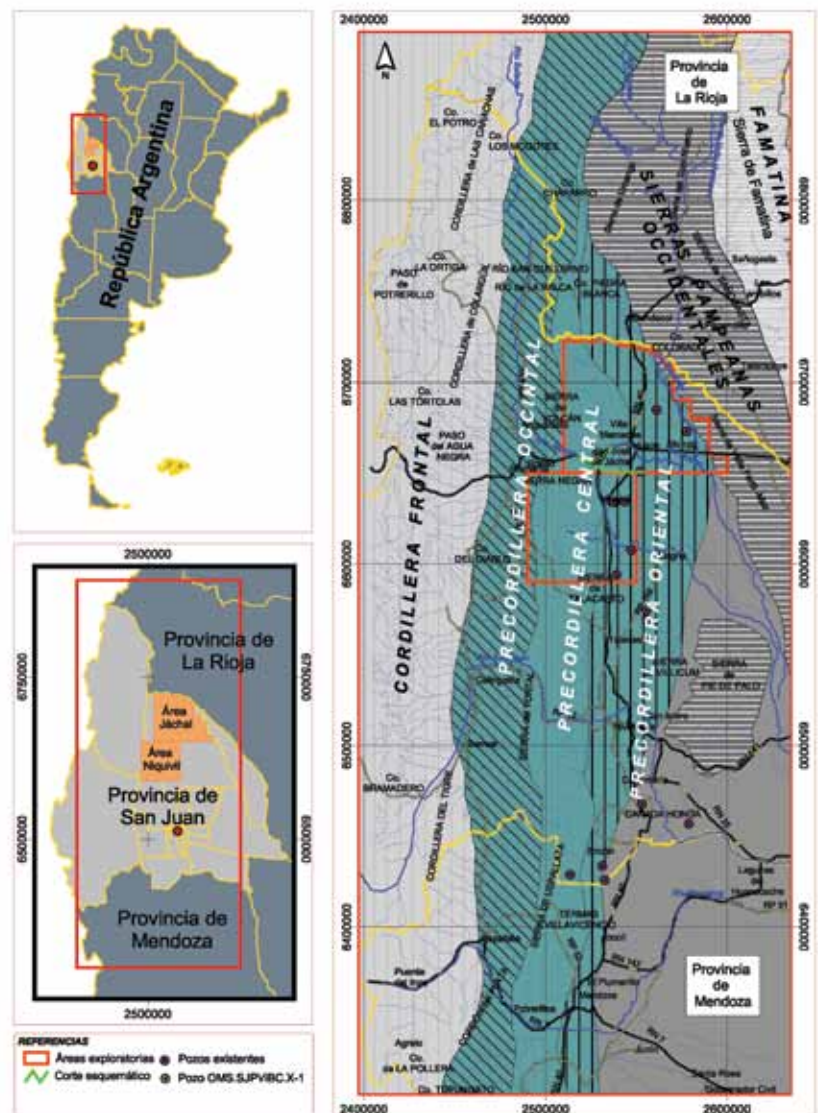


Figura 1. Mapa de ubicación relativa de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil en el esquema regional de dominios geológicos.

margen continental pasivo y activo, episodios de deformación creadores de elevación-erosión y subsidencia-depositación, y condiciones paleoambientales muy variadas. La actividad ígnea ha sido relativamente escasa. Sobre estos terrenos se halla la disposición morfoestructural actual de faja plegada y fallada, otro de sus rasgos regionales distintivos.

En este sentido, al menos hasta tanto se alumbró un horizonte productivo, quizá sería conveniente tomar a esta región con ese nombre dentro del contexto exploratorio petrolero local; "cuenca": Precordillera, continental, no productiva.

Ubicación

Las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil ocupan buena parte del noreste y centro de la provincia de San Juan (figura 1). Desde el punto de vista geológico y en relación con la Precordillera, el área Jáchal se emplaza mayormente en los ámbitos de Precordillera Central y Oriental. Hacia el Este se extiende abarcando la porción norte del denominado "Bolsón del Bermejo", hasta el pie del cordón serrano de Valle Fértil-Sierra Morada. Fuera del área, los dominios de la Precordillera se extienden contiguos hacia el Norte, en la provincia de La Rioja.

En el área Niquivil, contigua hacia el sur de la anterior (figura 1), participan terrenos de los tres ámbitos de la Precordillera, aunque sólo abarca el borde aflorado del Terciario de la Precordillera Oriental en el sector. Tanto la Precordillera Occidental como la Central se caracterizan por tener planos de sobrecorrimientos y pliegues asociados a movimientos provenientes del Oeste, en su mayor parte, mientras que en la Precordillera Oriental, los planos de fallamientos y la deformación de los estratos que dominan son los de vergencia occidental. La "zona triangular" generada por el encuentro de estos dos sistemas estructurales de vergencia opuesta se halla presente en ambas áreas exploratorias.

Los terrenos de Precordillera continúan al sur del área Niquivil a través de la provincia de San Juan (áreas exploratorias Talacasto y Caucete), hasta ocupar el norte de la provincia de Mendoza.

Principales características petroleras

La siguiente síntesis de antecedentes exploratorios corresponde a Precordillera sanjuanina Centro-Norte, sitio que ocupan las áreas exploratorias en las que se ha trabajado. En relación con su condición exploratoria, todas las áreas de la Precordillera resultan ser de frontera exploratoria, y de alto riesgo exploratorio.

Por lo antedicho, la región no posee datos petroleros de producción, y todas las acciones y procesos llevados a cabo históricamente han sido de carácter exploratorio. Una síntesis de la historia exploratoria en ambas áreas Jáchal y Niquivil en particular, se puede leer en Pérez et ál. (2011). En la actualidad, en la zona que cubren las áreas Jáchal y Niquivil, y su adyacente Mogna, se hallan perforados 12 pozos exploratorios y registrados 1.400 km de sísmica 2D. No existen *surveys* 3D realizados en la zona. Todos los pozos y registros sísmicos realizados antes del actual plan exploratorio fueron ejecutados en el ámbito de Precordillera Oriental, en terrenos terciarios de la cuenca de antepaís que manifiestan, en superficie, grandes estructuras positivas de pliegues y sobrecorrimientos.

A partir del comienzo de la etapa exploratoria llevada a cabo por OIL m&s S.A., desde finales de 2006, se profundizaron los estudios en la región y se determinaron sectores de interés asociados a la geología de Precordillera Central, sobre la cual, por primera vez, se realizaron estudios sistemáticos de superficie para la búsqueda de hidrocarburos, que posibilitaron relevamientos geológicos de detalle, muestreo geoquímico de rocas en afloramientos y de gases en superficie, registraci3n sísmica 2D y un pozo exploratorio profundo.

Marco geológico

La Precordillera configura en sí misma un rico panorama geológico que ha sido abordado con diferentes enfoques por varios autores (Baldis y Chebli, 1969; Furque y Cuerda, 1979, Astini et ál., 2005). El interés por el conocimiento de la evoluci3n geológica de esta entidad ha impulsado importantes investigaciones científicas a escala global que han suscitado di-

versas teorías y, por lo tanto, muchas controversias. Si bien persisten aún diferencias acerca de su origen y modo de emplazamiento, es un hecho aceptado que la Precordillera es un terreno, o parte de uno, adosado al margen continental gondwánico (Ramos, 1999; Aceñolaza y Toselli 2007). Inicialmente denominada *Terreno exótico de Precordillera* (Astini et ál., 1996), fue luego incorporada a una entidad mayor denominada *Cuyania* (Ramos et ál., 1996), y luego a un sistema aún mayor; *Occidentalia* (Dalla Salda 2005, Ramos y Dalla Salda, 2011).

En ese encuadre se hallan tres visiones principales que aducen al carácter alóctono o parautóctono de la Precordillera y podrían resultar de interés desde el punto de vista exploratorio.

Aspectos tales como el tipo y la edad del basamento cristalino, la estratigrafía, la paleobiología, el paleomagnetismo (posición paleogeográfica original del terreno exótico), y características geoquímicas e isotópicas de sus rocas son utilizados por los investigadores para explicar los diferentes orígenes posibles.

En las hipótesis que plantean un origen puramente alóctono de la Precordillera se interpreta que esta habría formado parte del Paleocóntinente Laurentia (parte de los actuales territorios de EE. UU. y Canadá), y fue adosada al margen del paleocóntinente Gondwana en el Paleozoico Inferior. Para explicar el mecanismo de acreci3n se han planteado dos posibilidades principales; la deriva de un microcontinente (Precordillera, Cuyania), proveniente de la actual Bahía de Ouachita en el SE norteamericano a través de un proceso de *rifting* (Thomas y Astini, 1996, Ramos 1999), o que sea parte de un desprendimiento mayor (Terreno Occidentalia, Dalla Salda, 2005), que permaneci3 adosado a Gondwana como un relicto lauréntico, cuando ambos paleocóntinentes se separaron luego de una colisi3n previa que habría ocurrido en el Ordovícico Inferior (Dalla Salda, 2005; Ramos y Dalla Salda, 2011). Para los que prefieren asignar a estos terrenos un origen "parautóctono", la Precordillera (o el terreno de Cuyania), sería un fragmento de corteza del mismo paleocóntinente Gondwana, que derivó tangencialmente por su periferia desde posiciones paleogeográficas ecuatoria-

les hasta establecerse en una nueva posición del mismo margen (Aceñolaza y Toselli, 2007; Finney, 2007).

Estudios de geofísica profunda –métodos para distinguir límites de “*terrane*s” actuales– (Comínguez y Ramos, 1991), y signos estudiados por varios autores de la deformación dúctil del borde de Puna y Sierras Pampeanas han contribuido también a asentar la idea de la Precordillera (Cuyania) como un terreno adosado al margen gondwánico.

A escala regional, la Precordillera argentina constituye una gran faja plegada y corrida que ocupa parte de las provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. Es diferenciada por varios autores en tres secciones o ámbitos, de Oeste a Este, que poseen algunas características geológicas distinguibles; Precordillera Occidental, Central y Oriental (figura 1).

La Precordillera Occidental está dominada por sobrecorrimientos de vergencia oriental cuyos planos de despegue se emplazan principalmente en terrenos ordovícicos, clásticos, de ambiente marino profundo. Los terrenos del Paleozoico Inferior de este ámbito se hallan muy deformados y poseen metamorfismo de bajo grado, que no está presente en los dos restantes de más al Este. En la Precordillera Central, los sobrecorrimientos poseen igual vergencia dominante, pero los planos de despegue exponen terrenos del Cámbrico, aunque el común denominador en la base estratigráfica de las escamas tectónicas afloradas es la plataforma calcárea del Ordovícico Inferior.

La deformación del Paleozoico Inferior es también fuerte para algunas unidades, y los estratos del Paleozoico Superior, el Mesozoico Alto y el Cenozoico se hallan relativamente más representados que en la anterior a escala de afloramientos.

El ámbito de Precordillera Oriental se diferencia de los dos restantes por la vergencia de la deformación, que es dominante hacia el Oeste y por la variedad litológica que expone en sentido norte-sur; mientras al sur de San Juan y norte de Mendoza los corrimientos exponen terrenos del Cámbrico, aquí, en la zona de trabajo exploratorio, dominan los estratos del Terciario, deformados en amplios sinclinatorios y anticlinorios.

La sierra de Pie de Palo, ubicada

al este de la ciudad de San Juan y a unos 140 km, en promedio, de las áreas exploratorias tratadas, exhibiría el basamento cristalino del sistema geológico precordillerano (Ramos et ál., 1996).

Las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil se hallan, en conjunto, sobre los tres ámbitos de Precordillera; Occidental, Central y Oriental. Los terrenos de la Precordillera Central son

los que se hallan mejor representados en ambas áreas, mientras la Precordillera Occidental está mejor expuesta en el área Niquivil (figura 2).

Ámbito de la Precordillera Central

La Precordillera Central de la zona centro-norte sanjuanina se caracteriza por exponer un profuso y variado registro geológico que

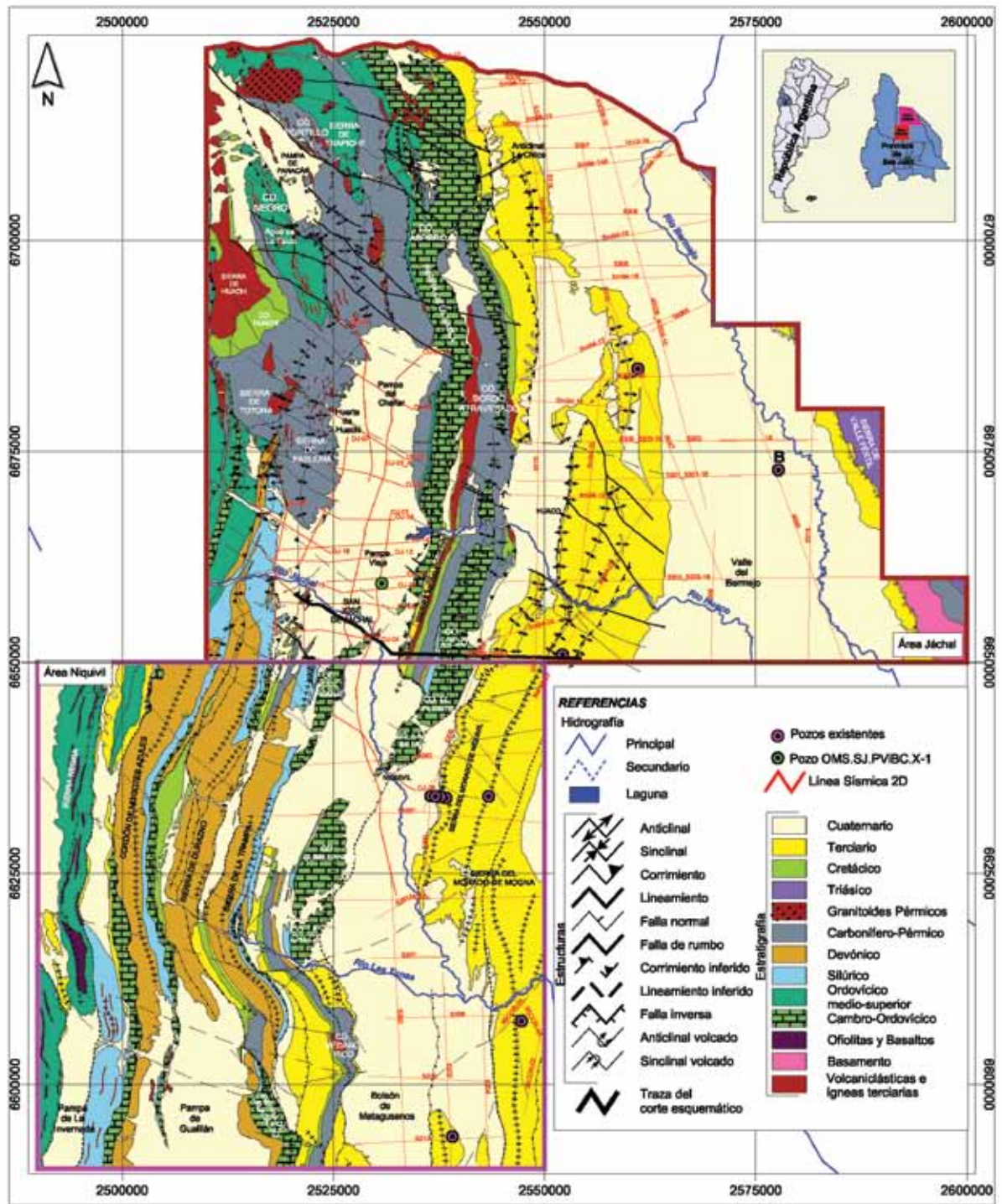


Figura 2. Mapa geológico simplificado de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, planimetría general de líneas sísmicas 2D y pozos exploratorios existentes. B: Ubicación del pozo intervenido (CS.Be./A.x-1-Bermejo).

abarca desde el Cámbrico hasta la actualidad, a excepción del Triásico, Jurásico y buena parte del Cretácico, intervalo en el que se advierte un importante hiato estratigráfico para el entorno del norte de Precordillera en general. Los depósitos del Paleozoico Inferior se hallan bien representados por unidades calcáreas, muy dolomi-

tizadas en los términos más antiguos, (Cámbrico y Ordovícico basal), y decididamente siliciclásticas a partir del Ordovícico Medio y hasta el Devónico Medio a Superior.

Una fuerte discordancia angular y erosiva separa los depósitos del Paleozoico Superior del Inferior plegado. Sobre una paleotopografía muy irre-

gular se preservan secuencias marinas de talud y glaciógenas del Carbonífero Inferior? a Medio, sobre las que, en la zona central del área de trabajo, progradan depósitos deltaicos y fluviales del Carbonífero Superior, que poseen equivalentes marinos con reducidos niveles calcáreos hacia el Norte, y siliciclásticos al Sur. Varios altos de

no depositación o depositación restringida se evidencian para tiempos del Carbonífero-Pérmico; tanto en sentido norte-sur como este-oeste. La pila neopaleozoica se completa con una importante sección de sedimentos continentales en capas rojas del Pérmico Inferior y Superior, mejor desarrollada hacia el norte de la Precordillera donde además de los depósitos de facies fluvio-aluviales y eólicas incorpora términos de origen marino.

Hasta fines del Cretácico no se registran depósitos sedimentarios aflorados dentro del área de trabajo en esta parte de la Precordillera. Una sección de depósitos fluviales y lacustres efímeros y de barreal del Senoniano, sobre los que yacen paquetes de areniscas eólicas y conglomerados volcánicoclásticos del Terciario, se apilan sobre los depósitos del Pérmico Superior en varias localidades de la zona de trabajo, en discordancia, aunque sin angularidad notable que ponga de manifiesto episodios de deformación previa. Sobre los estratos del Cretácico Superior tardío se registra la aparición de una unidad de areniscas eólicas bien distribuidas en este ámbito, que hacia el techo interactúan, localmente, con depósitos volcánicoclásticos, volcánicos, y clásticos. Estos paquetes del Terciario (asignados al tiempo que va de finales del Oligoceno? al Mioceno) poseen geometría de depositación en relación con aparatos efusivos localizados, varían lateralmente en espesor hasta desaparecer, se asocian a una familia de intrusivos ígneos que afectan a los estratos paleozoicos, y se hallan restringidos a la Precordillera Central y al sector norte de la zona de trabajo, ya que hacia el Sur (en el área Niquivil), no se hallan presentes.

La sección central de Precordillera posee escaso desarrollo de depósitos del Terciario en los afloramientos en relación con la parte oriental. Por encima de las secuencias volcánicoclástico-clásticas se hallan depósitos continentales fluvio-aluviales, eólicas y evaporíticos en origen, que adquieren cierta relevancia hacia los sectores orientales, mientras hacia el Oeste no están presentes, o se hallan en facies conglomerádicas. Los depósitos conglomerádicos del Cuaternario, fluviales y de bajadas aluviales adquieren relevancia en los valles deprimidos, donde alcanzan importantes espesores.

El registro ígneo de esta parte de

la Precordillera Central es de proporciones relativamente reducidas en el contexto. Se reconocen cuerpos de granitoides asignados al Pérmico?, restringidos al extremo norte del área Jáchal, y los productos de la antes mencionada fase volcánica-volcánicoclástica de mediados del Terciario. Las rocas efusivas se asocian a un sistema de diques y filones, principalmente andesíticos, emplazados en antiguas estructuras y discontinuidades estratigráficas regionales durante el Terciario (Mioceno), en coincidencia con el inicio de la tectónica andina en este ámbito. En el suroeste del área Niquivil se hallan también algunos cuerpos dacíticos del Terciario, emplazados en rocas del Paleozoico Inferior (figura 2).

Ámbito de la Precordillera Occidental

Dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, esta sección de Precordillera está conformada por estratos clásticos, muy deformados y con metamorfismo de bajo grado, del Ordovícico Medio y Superior y, en menor medida, rocas ígneas básicas del Paleozoico Medio. Se trata de grandes espesores de pelitas marinas de ambiente profundo que por sectores intercalan mantos interstratificados de vulcanitas básicas subcúbeas y diques. No se hallan, en los cordones aflorados de ambas áreas exploratorias, rocas asignables al Cámbrico. Tampoco se encuentran dentro de las áreas, en esta sección occidental de la Precordillera, los depósitos correspondientes al Paleozoico Superior. Depósitos sedimentarios de esa edad aparecen en el ámbito occidental hacia el borde oeste, donde se habrían generado otros depocentros separados por altos topográficos, como los nombrados para la Precordillera Central.

En los valles longitudinales aparecen estratos rojos del Terciario Superior, muy deformados, originados en cuencas alongadas que evolucionaron en relación con la reactivación neógena de la Precordillera. Dentro de las áreas se han mapeado dos principales eventos ígneos; las vulcanitas básicas y diques mencionados antes, y un dique de andesitas datado en el Jurásico Inferior, ubicado en el límite entre este ámbito de la Precordillera y el Central en el área Jáchal.

Ámbito de la Precordillera Oriental

Este ámbito de la Precordillera se diferencia de los dos anteriores por la vergencia de la deformación opuesta, predominantemente hacia el Oeste. Dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil sólo afloran terrenos del Terciario Medio y Superior, plegados y fallados (figura 2). En las perforaciones exploratorias, en la interpretación de algunos registros sísmicos, y en afloramientos que se hallan al Este, fuera de las áreas estudiadas, se ha establecido que hacia este ámbito se produce el acuñaamiento de los terrenos del Paleozoico Inferior, que llegarían sólo con algunos términos de la secuencia carbonática del Cambro-Ordovícico aflorada en la porción central de la Precordillera. El Paleozoico Superior aparece en el subsuelo occidental de este ámbito, parcialmente, con terrenos del Pérmico que habrían traslapado los depocentros carboníferos hacia altos relativos y apoyan sobre las calizas cambro-ordovícicas. Estratos carboníferos y pérmicos deberían hallarse en subsuelo profundo entre este ámbito de Precordillera y la Central, y en el borde oriental contra el terreno de pampeanas. Los estratos del Cretácico Superior, adelgazados, del este de la Precordillera Central, se hallan también representados en el subsuelo occidental de esta unidad, y existen interpretaciones según las cuales en las profundidades del borde oriental, podrían yacer términos de la cuenca triásica desarrollada, y aflorada, en el borde de pampeanas.

En general, por lo que la evidencia directa permite inferir, buena parte de este ámbito habría constituido un alto depositacional previo al Terciario, y son los depósitos de esta edad los que cubren, deformados y en secuencias diacrónicas, los terrenos que subsidiaron por la instauración de la cuenca de antepaís principal en el frente precordillerano.

Algunos diques andesíticos de poco desarrollo y pequeños cuerpos intrusivos de igual composición se hallan entre los estratos del Mioceno, o en los planos de falla del borde de la Precordillera Central, respectivamente.

Principales rasgos estructurales de la Precordillera en el sector

Tanto en la Precordillera Occidental como en la Precordillera Central

dominan los sobrecorrimientos y plegamientos debidos a esfuerzos provenientes del Oeste (Jordan et ál., 1993a), (figura 3). Este esquema de esfuerzos y la geometría resultante han permitido caracterizar a estas dos porciones de la Precordillera como una faja plegada y corrida (FPC) con estructuras de vergencia oriental, en cuya deformación, según se ha interpretado, no está involucrado el basamento (FPC de "piel fina", Allmendinger et ál., 1990), (figura 8).

Dentro de las áreas exploradas las "escamas tectónicas" que definen la faja plegada de vergencia oriental (Precordillera Occidental y Central) registran episodios de deformación indicadores de una historia evolutiva compleja, de gran interés exploratorio. La actual conformación estructural de esta porción de la Precordillera parece ser, en realidad, la suma de deformaciones de sobrecorrimientos y plegamientos. Una primera faja corrida y plegada se habría conformado a fines del Devónico, que produjo relieve de erosión y depositación durante el Paleozoico Superior. Los movimientos de la Orogenia Andina, durante el Terciario Superior, se impusieron sobre el conjunto y dieron origen a la actual faja plegada y corrida, que es en partes reactiva y en partes pliega las viejas estructuras.

Aquel primer episodio de deformación compresiva habría generado el contexto regional para los depocentros saltuarios en los cuales se inició la cuenca carbonífera-pérmica, mientras que la nueva faja corrida y plegada del Terciario construyó el frente y el espacio para el desarrollo de la cuenca de antepaís en el Este, involucrada posteriormente en los episodios de deformación, en parte coetáneos con la sedimentación, que conformaron la Precordillera Oriental.

La Precordillera Oriental también es una faja plegada y corrida, pero de vergencia occidental, considerada de tipo "piel gruesa", por hallarse, según los modelos, el basamento mecánico involucrado en la deformación (Zapata y Allmendinger, 1996). Dentro de las áreas exploratorias, los terrenos aflorados de esta unidad no son más viejos que el Terciario Medio-Superior. Es una pila sedimentaria de miles

de metros de espesor de estratos que han sido depositados y deformados en relación con la misma evolución estructural de la Precordillera Cuenca de Antepaís Terciaria, (Jordan et ál., 1993b). La participación del basamento cristalino de la cuenca paleozoica en la deformación de la Precordillera Oriental es coherente con el acuñaamiento que, al parecer, poseen los depósitos que representan al Paleozoico Inferior hacia este sector, y con la evolución periférica del paleocontinente Gondwana en ese

mismo tiempo.

La interacción de estos dos sistemas de corrimientos de vergencia opuesta delimita una "zona triangular" poco conocida en subsuelo, en su mayor parte hundida. Esta zona estructural se muestra angosta y comprimida desde el norte del área exploratoria Jáchal, donde aflora en el anticlinal de La Chilca, hasta sobrepasar la latitud del valle de Huaco, para luego ensancharse hacia el Sur, dentro del área exploratoria Niquivil en el Bolsón de Matagusanos.

Estratigrafía y potencial oleogénico

La frondosa estratigrafía de la Precordillera ha generado, a través de los años y por el interés que ha despertado en los investigadores, una gran cantidad de nombres formacionales que refieren tanto al relevo de situaciones localizadas como a estudios regionales y modelos evolutivos específicos. Muchos otros han sido también “importados” por correlación desde ámbitos geológicos vecinos en los cuales las unidades a las que aluden se hallan mejor representadas. A los fines de la aplicación exploratoria, los nombres de formaciones de todas las edades han sido simplificados al uso del que posee más historia o es más reconocido regionalmente (figura 4).

Desde el punto de vista de la exploración petrolera, resulta interesante distinguir a las siguientes etapas de la evolución de esta parte de la Precordillera por sus condiciones conocidas hasta ahora y su potencialidad en relación con el modelo propuesto:

- Secuencias del Paleozoico Inferior (Cámbrico-Devónico Medio y Superior?).
- Secuencias del Paleozoico Superior (discordancia angular-erosiva, Carbonífero Inferior-Pérmico Superior).
- Hiato depositacional Mesozoico (Triásico-Jurásico-Cretácico Inferior, Fase ígnea?).
- Cuenca del Cretácico Superior (Subsidencia generalizada).
- Cuencas del Terciario (sistema de cuencas de antepaís, fase ígnea, sedimentación-deformación).

Secuencias del Paleozoico Inferior (Cámbrico-Devónico Medio-Superior?)

Rocas del Cámbrico

Los afloramientos de las secuencias cámbricas de las áreas exploradas se hallan restringidos al ámbito de Precordillera Central. Los depósitos del Cámbrico Superior afloran en los principales corrimientos que exponen el Paleozoico Inferior Bajo en la Precordillera Central (corrimientos El Salto, San Roque y Niquivil, figura 3), y en el subsuelo, donde posiblemente se hallen también los términos estratigráficos del Cámbrico Inferior.

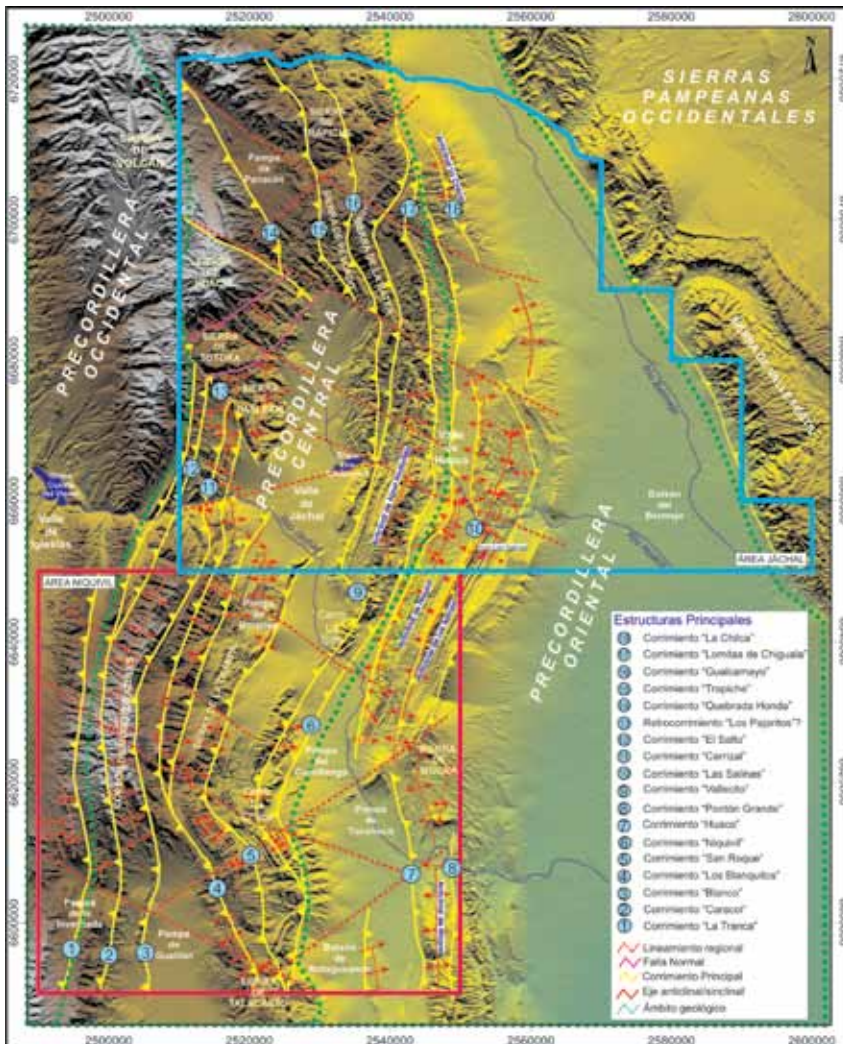


Figura 3. Imagen DEM de la zona de la Precordillera con los ámbitos geológicos, los límites de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, y las trazas de los principales elementos estructurales.

Evolución geológica y claves exploratorias

En estos apartados se intentará exponer sintéticamente las principales características estratigráficas, sedimentológicas, geoquímicas y estructurales observadas en las unidades geológicas afloradas, desde el punto de vista exploratorio petrolero.

El proyecto exploratorio llevado a cabo en las áreas Jáchal y Niquivil desde fines del año 2006 incluyó inicialmente estudios geológicos generales y de detalle, y muestreo de rocas, suelos y aguas para diferentes estudios. Se determinaron sectores de interés exploratorio primarios (SIEP), y se aplicaron planes de trabajo acordes con las prioridades, que incluyeron: nuevos muestreos y levantamientos geológicos de detalle,

estudios geoquímicos de rocas, de petróleos hallados en afloramientos y de gases en superficie. Se ensayaron correlaciones geoquímicas roca-roca, roca-petróleo y petróleo-petróleo. Se reprocesaron las secciones sísmicas existentes y se registraron y procesaron nuevas.

El modelo creado a partir de los estudios de superficie, geológicos y geoquímicos fue entonces extendido a las zonas de interés en el subsuelo del área Jáchal. Se realizó la intervención de un antiguo pozo exploratorio con rastros en Precordillera Oriental (CS. Be.I/A.x-1-Bermejo), (figura 2), y la perforación de un pozo exploratorio profundo, el primero en la Precordillera Central. El desarrollo detallado de los pasos exploratorios seguidos se puede leer en Pérez et ál. (2011).

De la columna estratigráfica que se reconoce en la Precordillera, que abarca del Cámbrico Inferior al Superior, sólo la porción alta de este período estaría representada en superficie. Las unidades observadas han sido asimiladas a la formación San Roque (Baldis et ál., 1982), (figura 4). Es posible que una parte de la columna dolomítica atravesada en el pozo exploratorio OMS.SJ.PViBc X-1 (Pampa Vieja Bicentenario), (Pérez et ál., 2011), equivalga a la formación Zonda (Bordonaro, 1990), de mayor edad que la mencionada antes.

Las rocas del Cámbrico en este sector de la Precordillera son principalmente calizas con intercalaciones de dolomías, que conforman una asociación ciclotemática de ambientes mareales. La base está incompleta en afloramientos aunque una parte ha sido atravesada en el pozo exploratorio mencionado antes. Es una asociación cíclica de calizas estromatolíticas y dolomías finamente estratificadas, que por lo común finalizan con acumulaciones de trombolitos estratiformes y cupuliformes. La porción media posee calizas grises, grises amarillentas y ocre, con intercalaciones dolomíticas blanquecinas bien estratificadas. Algunos estratos poseen bandeado fino estromatolítico, de tipo estratífera y otros con crecimiento de estromatolitos que incluyen chert.

Hacia el techo, por debajo de la formación San Juan (Ordovícico Inferior), las calizas poseen, en general, escasa estratificación y laminación interstratal, son duras, muy compactas, de tonalidad superficial grisácea. Por sectores poseen rastros de vermes o bioturbaciones difusas, pero, en general, carecen de fósiles (Baldis et ál., 1982). Baldis y Beresi (1990) reportaron la existencia de restos de hidrocarburos (que luego denominan "hidrocarburos en forma de querógenos diseminados", en calizas organógenas y dolomías de las formaciones Zonda y San Roque, en muestras de las serranías de Niquivil, La Silla y Huaco (figura 2). Estos autores relacionan el contenido mencionado a la supuesta capacidad oleogénica de estas mismas formaciones.

En los trabajos exploratorios de superficie se tomaron numerosas muestras de los estratos cámbricos que fueron analizadas por su potencial oleogénico. En ningún caso se

obtuvieron valores porcentuales de COT (carbono orgánico total), que superaran el 0,1%. En los terrenos atravesados en el pozo exploratorio OMS.SJ.PViBc X-1 (Pampa Vieja Bicentenario), asignados a estas formaciones, se hallaron numerosas manifestaciones de hidrocarburos secos (tipo "dead oil"), en las fracciones dolomíticas principalmente.

Las formaciones calcáreas del Cámbrico en este sector de la Precordillera son consideradas de interés como posibles reservorios dolomíticos, homologadas a las equivalentes de regiones productivas de EE. UU. y Canadá, en las cuales funcionan Sis-

temas Petroleros similares al propuesto para las áreas exploratorias aquí tratadas (Pérez et ál., 2011).

Rocas del Ordovícico

Las rocas de esta edad son características de la Precordillera y representan quizá los depósitos más distribuidos y desarrollados. En la zona de trabajo poseen gran importancia exploratoria. El registro ordovícico dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil muestra relaciones geológicas que indican importantes cambios evolutivos de la historia de la Precordillera. En una primera

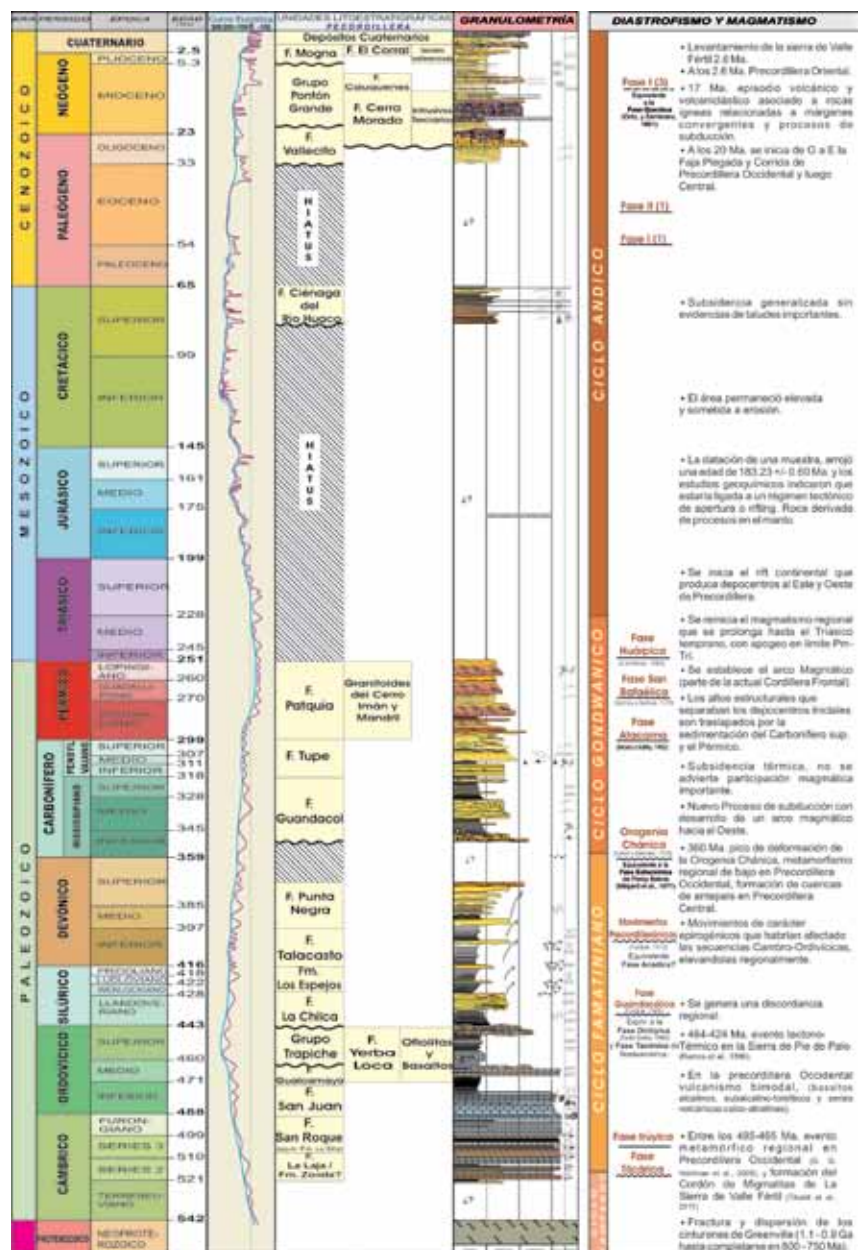


Figura 4. Tabla tectono-estratigráfica resumida para el ámbito de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil.

sección basal se registra la evolución de la plataforma carbonática cambro-ordovícica, mar somero de gran extensión que al parecer tuvo su equivalente ampliamente desarrollado en los bordes de Laurentia (Dalla Salda, 2005; Astini et ál., 1996). Un episodio transgresivo primero y una fuerte discordancia con generación de importantes taludes submarinos luego, marcan el fin de la depositación de rocas carbonáticas de plataforma y la instauración de un sistema de depositación marino profundo muy diferente. Estas condiciones de profundización y cambio del comportamiento del sistema marino, combinadas con la posición paleolatitudinal, al parecer favorecieron, como ocurre en rocas de esta edad y condiciones en otras partes del globo, la generación de materia orgánica primaria, de buena calidad.

Formación San Juan

La secuencia de esta edad se inicia con calizas de plataforma marina de la formación San Juan. Esta formación es portadora de una abundante fauna fósil y se considera que se extiende entre el Tremadociano (Beresi, 1990), y el Dapingiano. (Mestre et ál., 2008) citan el hallazgo de foraminíferos del Danwilliano, en el área Jáchal.

Es una sucesión calcárea que en su sección inferior posee calizas macizas o con estratificación gruesa, de ambiente de plataforma marina, estable, poco profunda y de baja energía, en una zona intermareal a submareal. La superior está constituida por facies de calizas fosilíferas con estratificación "fina", y en ocasiones con intercalaciones pelíticas, que se habrían depositado en un ambiente de plataforma calcárea restringida, en una zona submareal alta a supramareal. En la zona, las calizas de esta formación también poseen sectores dolomitizados (Vallecito y León, 2008). Las calizas de la formación San Juan también fueron atravesadas en subsuelo por el pozo OMS. SJ.PViBc X-1 (Pampa Vieja Bicentenario). En pozos exploratorios del ámbito oriental de la Precordillera fueron alcanzadas por debajo de estratos pérmicos y terciarios.

Esta formación ha sido muestreada en los diferentes sectores donde aflora en las áreas exploratorias, y desde el punto de vista oleogénico ha dado en general pobres valores de

contenido orgánico. En afloramientos se han hallado costras de material asociado a algunas formas biogénicas que, analizado en laboratorio, demostró ser muy rico en COT y con buen rendimiento de pirólisis, típico de petróleo seco. En las secciones atravesadas en el pozo OMS.SJ.PViBc X-1 (Pampa Vieja Bicentenario) se hallaron también manifestaciones de rastros secos (*dead oils*).

La formación San Juan en este sector de la Precordillera es considerada de interés exploratorio como formadora de posibles reservorios a través de procesos diagenéticos, debido a su carácter litológico, y de fracturación por el tipo de deformación a que habría estado sometida a fines del Paleozoico Inferior. También resultan de interés su relación genética y de proximidad estratigráfica con las potenciales rocas madres del sistema petrolero (Pérez et ál., 2011).

Formación Gualcamayo

En los últimos metros del techo de la formación San Juan se advierte un cambio de condiciones a partir del cual el sistema se "inunda". Este cambio de régimen se manifiesta definitivamente con los depósitos de lutitas negras y calizas y dolomías de la formación Gualcamayo (Baldis et ál., 1985). El cambio se observa continuo desde la formación infra-yacente; no se advierten discontinuidades estratigráficas que puedan asignarse a discordancia alguna, y la fauna hallada en la base calcárea-pelítica de la formación Gualcamayo es asignada al Ordovícico Medio-Dapingiano (o Llanvirniano Temprano), (Tortello y Peralta, 2004).

El registro del Ordovícico Medio de la zona explorada denota también el cambio de nivel eustático global que caracteriza a ese intervalo del período (Fortey, 1984), y al cual también parece responder esta transición en el registro sedimentario (Keller et ál., 1994), (figura 4). Dentro de la zona comprendida por las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, los afloramientos de la formación Gualcamayo se hallan circunscriptos al ámbito de la Precordillera Central; y dentro de esta, su máximo desarrollo se halla a las espaldas de las escamas tectónicas de más al Este y al Norte (figura 3). Así es que los máximos espesores pelíticos se hallan en el

extremo norte del área Jáchal, donde el sistema tiende a profundizar hacia un depocentro localizado poco más al Norte (Astini et ál., 2005), y disminuyen hacia el Sur, manteniéndose con espesores interesantes hasta la parte media del área Niquivil, donde desaparecen por el efecto erosivo de la discordancia silúrica.

En sentido estricto, el comportamiento de la formación Gualcamayo dentro de ambas áreas exploratorias es más complejo aun ya que en cada una de las escamas tectónicas posee particularidades. Sobre la espalda del corrimiento Niquivil (figura 3), se halla ausente en la parte central del área Jáchal por el efecto erosivo profundo que provoca el desarrollo de la cuenca Carbonífero-Pérmica (borde oriental del "depocentro Pasleam"). Los estratos de la formación reaparecen sobre esta escama en el sur del área, y pasan, sobre esta misma estructura, hasta el centro del área Niquivil donde vuelven a desaparecer por erosión. En la escama tectónica contigua al Oeste (corrimiento San Roque), la unidad mantiene el espesor en afloramientos, con sectores muy deformados por la tectónica preandina; en el norte, dentro del área Jáchal, yace bajo la discordancia del Ordovícico Medio, y, hacia el Sur, en el área Niquivil desaparece por deformación del frente de corrimiento, aunque está presente como remanentes tectónicos.

En el Oeste del área Jáchal, siempre en el ámbito de Precordillera Central, los depósitos de esta formación adquieren desarrollo hacia el Norte (corrimiento Quebrada Honda, figura 3). En ese sector, los depósitos de la formación Gualcamayo y los del Grupo Trapiche (Ordovícico Medio a Superior) que los sobreyacen se hallan plegados y fallados bajo la discordancia del Carbonífero.

Por el Oeste, hacia el sur del área Jáchal y en el área Niquivil, escasas son las manifestaciones de estratos equivalentes a los de esta formación. En dos localidades (corrimiento Los Blanquitos y corrimiento Blanco más al Oeste, figura 3), se hallaron afloramientos de secuencias dominadas por calizas (margas), y con escasa participación relativa de pelitas grises y negras. Si bien el registro aflorado es incompleto arealmente, se insinúa la tendencia a esperar facies profun-

das al este y preferentemente al norte de la zona que cubren ambas áreas exploratorias.

En el norte de la zona, en posiciones cercanas a un centro de cuenca, la formación Gualcamayo está formada por litologías que incluyen, de base a techo, una transición corta o casi nula desde las calizas de la formación San Juan, sobre las cuales se instala una sucesión rápidamente transgresiva de areniscas muy finas del tipo de flujos subácueos de fondo, y el máximo desarrollo de la formación corresponde a ciclos pelíticos que gradan de arcilitas y fangolitas finas de colores gris oscuro a negro a limos gris claros. Hacia el techo, se advierte una progradación arenosa muy fina, con escasos niveles calcáreos intercalados. Las secciones afloradas se hallan complicadas por la tectónica.

Las secciones que afloran al sur del área Jáchal y norte del área Niquivil (figura 2), muestran, donde se hallan menos erosionadas, condiciones más afines a paleoambientes menos profundos; la transición se define con

menos de una decena de metros de intercalaciones de limoracilitas de color gris oscuro a negras y calizas micríticas gris oscuro, a las que sobreviene el desarrollo del paquete pelítico de los ciclos arcillosos a limosos, grises y negros, y finalmente, el grueso de la formación es una fuerte progradación de limos, dolomías y calizas micríticas y arenosas muy finas, en desmedro de la fracción arcillosa.

La formación Gualcamayo, al igual que los estratos ordovícicos discordantes, que la sobreyacen en la porción norte de la zona explorada, posee gran interés exploratorio petrolero a partir de sus condiciones oleogénicas. Sus características como potencial generadora han sido evaluadas con más de 180 muestras de diferentes sectores de ambas áreas (Pérez et ál., 2011).

Los valores porcentuales de COT para estos estratos varían entre 0,3% en los depósitos de dominio calcáreo (al techo de la formación y en las secciones de las escamas más occidentales y sureñas), a 3% en algunos intervalos

pelíticos no calcáreos cercanos a la parte media en las secciones orientales y del norte. El valor promedio, al cual por lo general tienden las muestras de las fracciones puramente pelíticas, es de 1,35%, coincidente con el promedio general que depósitos similares y de esta edad poseen en muchas partes del mundo (Pérez et ál., 2011).

Mientras la variación en el contenido orgánico en esta formación responde a un patrón areal probablemente ligado a cambios faciales a escala de cuenca, otra importante variación desde el punto de vista exploratorio es observada cuando se evalúan las condiciones oleogénicas y la madurez de la materia orgánica.

Los diagramas de la figura 5 muestran algunos de los resultados de pirólisis Rock-Eval sobre muestras de la formación, discriminadas de acuerdo a la escama tectónica en la que se tomó la muestra de afloramientos y del pozo exploratorio OMS.SJ.PViBc X-1 (Pampa Vieja Bicentenario). Se deben considerar la edad (Ordovícico Medio) y la calidad (muestras

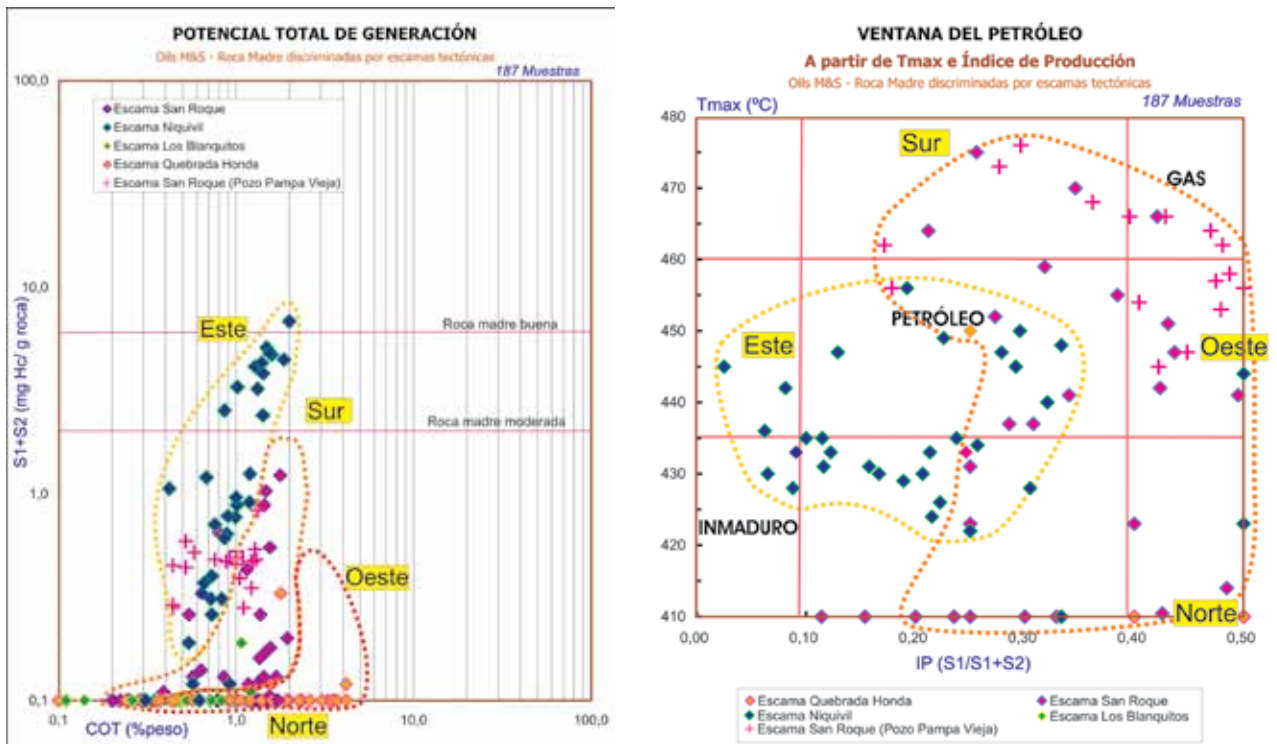


Figura 5. Diagramas geoquímicos para las muestras del Ordovícico Medio discriminadas por escama tectónica a la que pertenecen. 5A- Diagrama de potencial de generación en el que se advierte que las muestras del norte de la zona de exploración poseen mejores contenidos de COT, pero pobre rendimiento pirólitico; mientras hacia el este y el sur de la zona, los contenidos porcentuales de COT se mantienen cerca del promedio con mejores condiciones potenciales de generación de hidrocarburos. Los valores del pozo Pampa Vieja Bicentenario desplazados hacia la zona de la escama del este obedecen al muestreo del intervalo que incluye la fracción calcárea y dolomítica de la parte superior de la formación, de mucho menor contenido de carbono orgánico. 5B- Diagrama de madurez de la materia orgánica a partir del valor Tmax de la pirólisis en el que se observa que, en la actualidad, las muestras de las escamas orientales, y hacia el sur de la zona, tienden a situarse en ventana de generación de petróleo mientras las occidentales lo hacen hacia la ventana de gas, con menores posibilidades hacia el norte de la zona.

de afloramientos, faja plegada) de las rocas evaluadas en cuanto a los resultados objetivos, pero aún así, las tendencias, tanto en el potencial de generación (calidad como roca madre potencial), como en las relaciones de madurez de la materia orgánica, en función del valor Tmax surgido de la pirólisis, indican comportamiento diferencial para las escamas tectónicas evaluadas (ver posición de corrimientos en figura 3). Aún cuando las condiciones de contenido orgánico (% COT) tienden a aumentar hacia el Norte y Este (figura 5A), las de potencial de generación y madurez de la MO (para el estado y la posición actual) de la formación Gualcamayo, mejoran hacia el Este y al Sur (figura 5B).

Un diagrama de madurez que incorpora valores de reflectancia porcentual (símil vitrinita en el querógeno ordovícico) manifiesta iguales tendencias (figura 6). En todas las muestras evaluadas mediante estudios de microscopía orgánica, los valores de reflectancia obtenidos, si

bien realizados sobre partículas “símil” vitrinita, son totalmente consistentes con el valor Tmax surgido en laboratorio para la misma muestra, y con las condiciones esperadas a partir de modelo geológico.

En los diagramas se han incorporado también los valores hallados en muestras de *cutting* de esta formación atravesada en la escama tectónica del corrimiento San Roque en el pozo OMS.SJ.PViBc X-1 (Pampa Vieja Bicentenario).

El paquete progredante de calizas y en menor cuantía dolomías del techo de la formación Gualcamayo son también evaluados como potencial reservorio de gas y petróleo, en asociación con las facies de roca madre que conforman las partes inferior y media de la unidad.

Grupo Trapiche

Este conjunto de unidades (Furque, 1963) engloba a las formaciones que sobreyacen en discordancia a la formación Gualcamayo (figura 4). Se trata de una sucesión clástica, de

talud, que se puede resumir en una primera porción compuesta de conglomerados y olistostromos (formación Las Vacas, Furque, 1963; Astini, 1998, Caballé et ál., 2002), o alternativamente por pelitas negras, vaques con bloques (formación las Plantas, Furque, 1963; Astini, 1998), sobre las que se establecen los depósitos de la formación Trapiche (Furque, 1963); una muy espesa pila de turbiditas y flujos subácueos en masa de talud.

La discordancia y los depósitos del Ordovícico Medio a Superior en el ámbito de Precordillera Central se hallan distribuidos en orden de importancia, hasta desaparecer, de Norte a Sur. En el norte del área Jáchal se hallan bien representados y son muy espesos; la formación Las Vacas se compone de estratos de conglomerados epiclásticos de basamento cristalino, conglomerados y olistostromos de calizas de la plataforma, y vaques con bloques aislados de calizas, principalmente. Algunos olistolitos de calizas del Ordovícico Inferior superan ampliamente la centena de

metros de longitud. La discordancia y los depósitos del Ordovícico Medio se observan también en la parte central del área Jáchal a espaldas del corrimiento San Roque (figura 3), progresivamente disminuida en el resalto de la discordancia y en el espesor y granometría de los depósitos (a la misma latitud, a espaldas del corrimiento Niquivil falta por erosión, como ocurre con la formación Gualcamayo). Hacia el sur del área Jáchal y dentro del área exploratoria Niquivil no se halla presente en la Precordillera Central; a juzgar por las relaciones estratigráficas observadas, y las tendencias mencionadas probablemente nunca se depositaron en este sector. Aquí los depósitos de la formación Gualcamayo son cubiertos en discordancia por los depósitos del Silúrico Inferior, y sólo en el ámbito de Precordillera Occidental pueden hallarse depósitos equivalentes en edad.

Los depósitos del Ordovícico Medio y Superior, por encima de la discordancia, varían también fuertemente de Este a Oeste. Las facies conglomerádicas y de vaques que se hallan por encima de la discordancia en el Norte y Este del área Jáchal, parecen dejar lugar a los depósitos profundos de pie de talud hacia el Oeste, en el ámbito de Precordillera Occidental, a diferencia de la formación Gualcamayo, que hacia el Norte y el Este expone sus facies de centro de cuenca o más pelíticas.

En el oeste de ambas áreas la formación Yerba Loca (Furque, 1963), conformada por secuencias turbidíticas, fangolitas hemipelágicas y limoarcilitas de fondo oceánico que intercalan cuerpos de lavas básicas subácneas, representarían el intervalo temporal de este grupo en el ámbito de Precordillera Occidental, a juzgar por el registro fósil reportado para ellas (Volkheimer, 1962), y la tendencia de los trenes de facies sedimentarias. Todo el conjunto litológico del Oeste está afectado por metamorfismo de muy bajo a bajo grado relacionado con la evolución del margen continental del paleocontinente Gondwana. Los cuerpos de ígneas básicas constituyen tanto ofiolitas como filones y diques, y se los ha definido como toleitas oceánicas (Voldman et ál., 2011), vulcanismo para el cual los mismos autores adjudican diferentes orígenes posibles; de

procesos extensionales (separación de Cuyania y Laurentia), o de colisión cortical por el cierre de una cuenca oceánica entre los terrenos de Chileña y Cuyania (Voldman et ál., 2011).

En resumen, tanto la discordancia como la porción potente y de más energía de los depósitos del Ordovícico Medio a Superior de la zona explorada se observan en el noreste de las áreas exploratorias, en coincidencia con otros rasgos geológicos regionales de interés para la evolución del Ordovícico en el protomargen del paleocontinente Gondwana.

Las formaciones Las Vacas y Las Plantas poseen importante contenido orgánico, al igual que su infrayacente formación Gualcamayo. Más de cuarenta muestras tomadas de los afloramientos del norte del área Jáchal dieron valores de 0,3% a 5% de COT, y condiciones de regulares generadoras potenciales de hidrocarburos, en su estado actual de madurez avanzada.

La formación Trapiche, al igual que la formación Yerba Loca, no ha demostrado poseer contenido orgánico de interés en las localidades muestreadas.

Rocas del Silúrico

Los depósitos de esta edad en la zona de exploración están bien representados por las dos formaciones que componen el Grupo Tucunuco (Cuerda, 1969): formación La Chilca (Cuerda, 1966) y la formación Los Espejos (Cuerda, 1966). El conjunto litoestratigráfico cubre el intervalo temporal que va desde fines del Ordovícico a la base inicial del Devónico (Peralta, 2011). Los afloramientos se hallan restringidos al oeste de la Precordillera Central y no se hallaron en el norte del área Jáchal (figura 2). En la Precordillera Occidental no han sido observados depósitos de esta edad en la zona de trabajo.

La formación La Chilca yace en discordancia angular sobre los depósitos ordovícicos de la formación Gualcamayo al este y centro de la zona de estudio, y sobre las calizas de la formación San Juan en las escamas más occidentales de la Precordillera Central. Son estratos de conglomerados, areniscas y limoarcilitas en su mayor parte originados en plataforma marina siliciclástica, dominada por tormentas, que hacia el suroeste

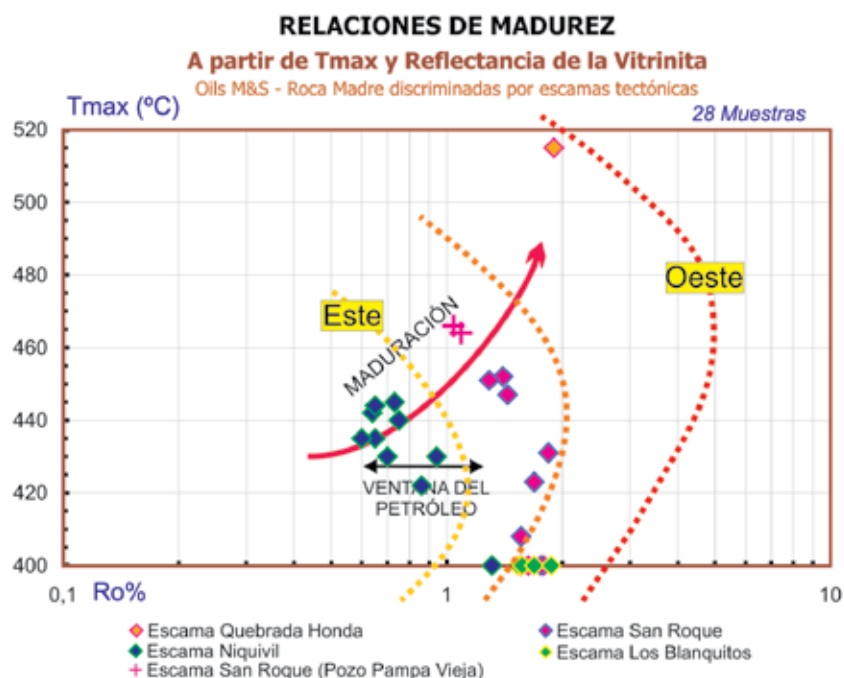


Figura 6. Diagrama de madurez que relaciona la Tmax surgida de la pirólisis y valores de reflectancia (Ro) de partículas "símil" vitrinita obtenidos de los estudios de microscopía orgánica, para las muestras del Ordovícico Medio discriminadas por escama tectónica a la que pertenecen. Se observa que en la actualidad las condiciones de madurez óptima se hallan en las escamas del Este, mientras las condiciones hacia el Oeste y al Norte tienden a ser de sobremadurez.

de la zona exploratoria pasan a litologías más finas de facies al parecer distales. La sección superior, de arenas amalgamadas es relativamente más potente al norte y al este (Astini y Maretto, 1996). Al sur y al oeste del cerro La Chilca, la discordancia angular elimina los estratos de la formación Gualcamayo. Al norte, dentro del área Jáchal, no se la observa en afloramientos, yaciendo sobre estratos del Grupo Trapiche. Es posible que exista un importante hiato sedimentario en la base de esta unidad.

La formación Los Espejos es una espesa secuencia de barras de plataforma marina dominadas por tormentas y oleaje. Paquetes de pelitas verdosas y moradas y facies heterolíticas, que gradan a estratos tabulares de areniscas bioturbadas, son el componente litológico dominante. También se observan cuñas conformadas por la concentración de caparzones de organismos marinos.

Los mayores espesores de esta unidad se hallan en los alrededores del río Jáchal (figura 2). Al norte del río, sobre el borde de la Precordillera Central se observa el mayor cúmulo de estos estratos, fuertemente deformados y cubiertos en discordancia por los depósitos del Carbonífero, o montados por estratos ordovícicos de antiguos sobrecorrimientos.

Tanto la formación La Chilca como la formación Los Espejos carecen de contenido orgánico de interés en el área de trabajo. El tipo de facies que se reconocen en estas unidades son indicadores de fondos marinos de alta energía y mucha oxigenación, no aptos para la conservación de la materia orgánica, y las muestras tomadas en algunos intervalos pelíticos así lo atestiguan.

Desde el punto de vista de potenciales reservorios, han sido evaluadas dadas su posición estratigráfica y participación en el modelo exploratorio. La formación La Chilca es la que posee los paquetes arenosos más importantes, pero se halla en su mayor parte muy alterada diagenéticamente debido probablemente al contenido ferroso de su base. En el sector centro-sur del área exploratoria Jáchal, donde se inicia con un intervalo limoarcilítico de capas rojas, es donde menos alterada se observa. En un perfil del sector, la evaluación petrofísica en muestras de

afloramientos de areniscas de la progradación del techo de la formación se determinaron valores promedio de 10% de porosidad.

En los sectores donde participan de una fuerte deformación de cobertura, despegadas de las calizas ordovícicas, los paquetes de arenas, cuarcítics, plegados, muestran en superficie fábricas de fracturación densa.

En estratos estructurados de la formación Los Espejos se han hallado numerosas manifestaciones de un material que rellena fracturas junto a cristales de calcita, y que, analizado en laboratorio, ha demostrado poseer contenido porcentual de COT, y el pico de S_3 en la pirólisis relativamente elevado, por lo que posiblemente se trate de formas "oxidadas" de hidrocarburos.

Ambas formaciones también adquieren interés en cuanto a su desarrollo sedimentario, en sectores exploratorios de la Precordillera Central donde podrían haber jugado un rol fundamental en la evolución de la materia orgánica de los estratos ordovícicos, en el modelo utilizado.

Rocas del Devónico

Los estratos del Grupo Gualilán (Devónico Inferior a Medio), que reúne a las formaciones Talacasto (Padula et ál., 1967) y Punta Negra (Braccacini, 1949) se hallan bien representados dentro de ambas áreas exploratorias, en afloramientos que se restringen al ámbito de la Precordillera Central. Dentro de las áreas, la formación Talacasto posee casi la misma distribución de afloramientos que los estratos silúricos, mientras la formación Punta Negra se desarrolla sólo al oeste del corrimiento San Roque, y sólo una faja menor de afloramientos sobrepasa el Río Jáchal hacia el Norte (figura 2).

La formación Talacasto está formada en su mayor parte por fangolitas y vaques arenosas de tonalidades verdosas, y en menor proporción areniscas finas y muy finas en estratos tabulares, y algunos rellenos de canal de arenas que llegan a granometría gruesa. En algunos sectores del oeste de Precordillera Central se inicia con un paquete basal de limoarcilitas laminadas gris medio a oscuro. Son mayormente depósitos originados en plataforma marina fangosa con rela-

tivamente escasa influencia de oleaje (Astini, 1991).

Por su parte, la formación Punta Negra (Devónico Medio a Superior?), restringida al borde oeste de la Precordillera Central y ausente en el ámbito de Precordillera Occidental, es una potente sucesión de estratos turbidíticos y vaques verdes arenosas con guijas, dispuestos en ciclos mayores de fuerte progradación. También se halla presente en los afloramientos del norte del río Jáchal, donde el registro Devónico en general es mucho menos voluminoso que el del Silúrico. La fuerte deformación precarboñífera que parece dominar este sector sobrepone, en superficie, estratos ordovícicos por encima de ella.

El cambio brusco del sistema de sedimentación por encima de las facies de plataforma marina de la formación Talacasto y el desarrollo de la espesa sucesión turbidítica sugieren una importante variación en el régimen de subsidencia que debe haberse incrementado hacia el borde oeste de la actual Precordillera Central a juzgar por la polaridad que se reconoce para la sedimentación en las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil. Un modelo de este tipo, de perfil asimétrico y polaridad este-oeste determinaron Bustos y Astini (1997), quienes además reportan incremento de granometría promedio y decrecimiento de la madurez mineralógica de las areniscas hacia la sección superior de la formación. En el oeste del área Jáchal, los estratos superiores incorporan conglomerados clasto sostén de guijas. El carácter progradante de la sucesión y el estilo de sedimentación son propios de relleno de cuenca de antepaís, interpretación que también abonan los autores citados.

Las condiciones que se interpretan para su génesis y la ubicación relativa que se insinúa en la paleogeografía de la formación Punta Negra, en conjunto con la edad a la que actualmente se asigna (Devónico Medio - *Eifeliano-Givetiano*), (Rustán y Vaccari, 2010), permitirían inferir un origen asociado al inicio del plegamiento y sobrecorrimiento de la Precordillera Occidental relacionado a la Orogenia Chánica (Salftly et ál., 1984), (figura 4), cuyo pico de deformación se estima alrededor de los 360 Ma para la región, y se la relaciona al emplazamiento del Terreno Chilenia al borde gondwáni-

co sudamericano (Ramos et ál., 1984). El resultado final de esta deformación compresiva, de pliegues y sobreco-rrimientos, se advierte en muchos sectores de ambas áreas exploratorias dentro de Precordillera Central, en relación con la depositación de esta formación y, principalmente, de los depósitos del Paleozoico Superior suprayacentes.

Varias muestras analizadas por potencial oleogénico en las fracciones pelíticas de la formación Talacasto dieron valores pobres a nulos de contenido en carbono orgánico. Las facies de pelitas verdes de plataforma no alcanzan el 0,1% de COT, mientras el intervalo pelítico basal de pelitas laminadas grises y negras no supera el 0,3% en promedio. Una muestra de la serie que apenas superó el 0,5% de COT dio resultados pirolíticos nulos.

Para la formación Punta Negra, sobre muestras tomadas en el área exploratoria Jáchal, el contenido de COT promedio no supera el 0,3%.

Al igual que la columna silúrica, estas formaciones adquieren interés por su desarrollo sedimentario en sectores exploratorios donde podrían haber jugado un rol fundamental en la evolución de la materia orgánica de los estratos ordovícicos.

Secuencias del Paleozoico Superior (discordancia angular-erosiva, Carbonífero Inferior-Pérmico Superior)

El registro del Paleozoico Superior en las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil involucra a los estratos de la cuenca Permo-carbonífera de Paganzo. Se utilizan los nombres de formación Guandacol (Frenguelli, 1944), para los depósitos asignados al Carbonífero Temprano a Medio, formación Tupe (Frenguelli, 1944) para los del tope del Carbonífero y Patquía (Frenguelli, 1944), para los del Pérmico Inferior y Superior.

La sedimentación se inició sobre un sustrato muy irregular, deformado y erosionado, del Paleozoico Inferior y focalizada en depocentros cuyo relleno aflora en la zona de exploración.

Dos sectores de relleno y dos altofondos son visibles en afloramientos y parte del subsuelo; el “depocentro Pasleam”, en el entorno del valle de Jáchal, y el “depocentro del río Las Tunas”, en las proximida-

des del cerro La Chilca (figura 2). En el centro-norte del área Niquivil, se advierte un importante alto relativo para la sedimentación del Carbonífero y parte del Pérmico que separa estos dos escenarios de depositación carbonífera (“Alto de Umango”), y lo mismo ocurre en el norte del área Jáchal, donde las capas carboníferas y pérmicas del “depocentro Pasleam” mantienen relación de “*onlap*” con los terrenos ordovícicos (“Alto de Panacán”).

En el área Jáchal, las posiciones

de borde de cuenca se hallan bien representadas en afloramientos del “depocentro Pasleam”, en Precordillera Central (figura 2). En localidades del norte, el sur y centro-este del área alternativamente se observan, desde posiciones de centro de cuenca hacia afuera, a las unidades Guandacol, Tupe y Patquía traslapar sobre basamento del Paleozoico Inferior, por encima de plegamientos y planos de corrimiento (figura 7).

En este depocentro, la formación Guandacol está caracterizada por una

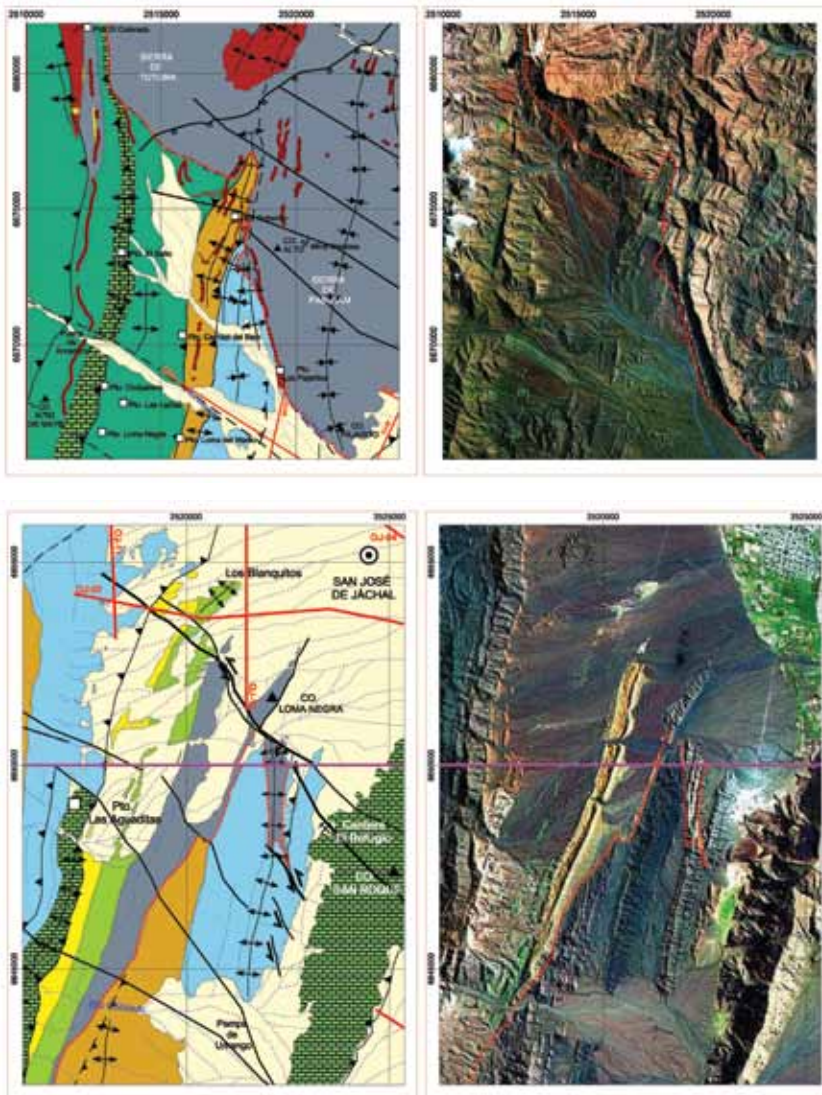


Figura 7. Mapas geológicos e imágenes satelitales de algunos de los sectores en que se observa la discordancia angular-erosiva del Paleozoico Superior (línea punteada roja), en el "depocentro Pasleam" (referencias geológicas en la figura 2).

7A- Sector de la sierra de Totorasierra de Pasleam donde la formación Guandacol (Carbonífero Inferior) traslapa hacia el Oeste (Precordillera Occidental), y cubre estratos del Paleozoico Inferior fallados y plegados.

7B- Sector al sur de la ciudad de S. J. de Jáchal donde el relleno del Paleozoico Superior se inicia con la formación Guandacol sobre estratos de la formación Los Espejos (Silúrico Superior), y traslapa hacia el "Alto de Umango" donde la formación Patquía (Pérmico Inferior-Superior) yace sobre la formación Punta Negra (Devónico Medio-Superior?).

sucesión de facies turbidíticas que incluyen depósitos de cañón, lóbulo y canal, y otros relacionados, bien representados entre la sierra de Totorasierra y el borde occidental de la sierra de Pasleam (figura 2), y en el flanco opuesto del valle de Jáchal (oeste de la sierra de la Batea). En posiciones de cuenca más interna, al este y norte de la sierra de Pasleam, se preserva una sección glaciégena basal que incluye grandes bloques de rocas ígneas del basamento cristalino y "dropstones". Al sur de la localidad de S. J. de Jáchal, en posiciones de

borde para el "depocentro Pasleam", la formación Guandacol se inicia sobre terrenos de la formación Los Espejos mediante una importante discordancia angular, con gruesos paquetes de conglomerados de flujos de detritos subácuos y depósitos glaciégenos (figura 7B). La base glaciégena de la formación Guandacol se observa en varias localidades de la cuenca de Paganzo y ha sido tentativamente asignada al Viseano por correlaciones de varios elementos (Fernández Seveso et ál., 1991). Por encima, en la columna estratigráfica,

en esta porción sur del depocentro ha sido reconocida también una secuencia, interpretada como depósitos de origen deltaico, portadora de importante flora fósil del Mississippiano Tardío (Serpukhoviano), (Balseiro et ál., 2009).

Sucesivamente hacia el Sur (hacia el "Alto de Umango"), la misma secuencia es cubierta por otro paquete de depósitos glaciégenos, que podría ser parte de los ciclos basales de la formación Tupe (Carbonífero Superior), (Fernández Seveso et ál., 1991), que traslapan sobre terrenos de la formación Los Espejos (labran un pavimento estriado). Por encima de estos, la misma formación Tupe, que continúa con una secuencia arenosa probablemente deltaica en su base, y que culmina con areniscas conglomerádicas y pelitas de origen fluvial, hace lo propio sobre la formación Talacasto (Devónico Inferior). Finalmente, las capas rojas de la formación Patquía, cuyo espesor continúa disminuyendo hacia el Sur, yacen discordantes sobre la formación Punta Negra (Devónico Medio a Superior?), (figura 7B). La relación erosiva de borde de cuenca para el "depocentro Pasleam" se manifiesta también al este de Precordillera Central, sobre el corrimiento Niquivil, donde la discordancia carbonífera, con depósitos de la formación Tupe, corta hacia el Norte sucesivamente terrenos devónicos, silúricos y ordovícicos, para establecerse en estratos de la formación San Juan (Ordovícico Inferior). Allí hay labrada una gran superficie erosiva con depósitos glaciégenos que yacen sobre pavimentos con estrías en sentido este-oeste sobre las calizas (figura 7C). El eje central de erosión coincide en latitud con la posición estimada del depocentro sobre la escama tectónica del corrimiento San Roque, y habría representado una "puerta" de entrada desde el Este hacia aquellos niveles de base. Los relictos glaciégenos son rápidamente cubiertos por pelitas deltaicas y carbonosas de la formación Tupe, con fauna marina del Carbonífero Superior (Pérez et ál., 1991). Sobre el corrimiento contiguo al Oeste (San Roque, figura 3), hacia el centro de depositación, la columna se inicia con depósitos de la formación Guandacol en facies glaciégenas, y turbidíticas marinas, con vaques guijosas, que apoyan discordantes

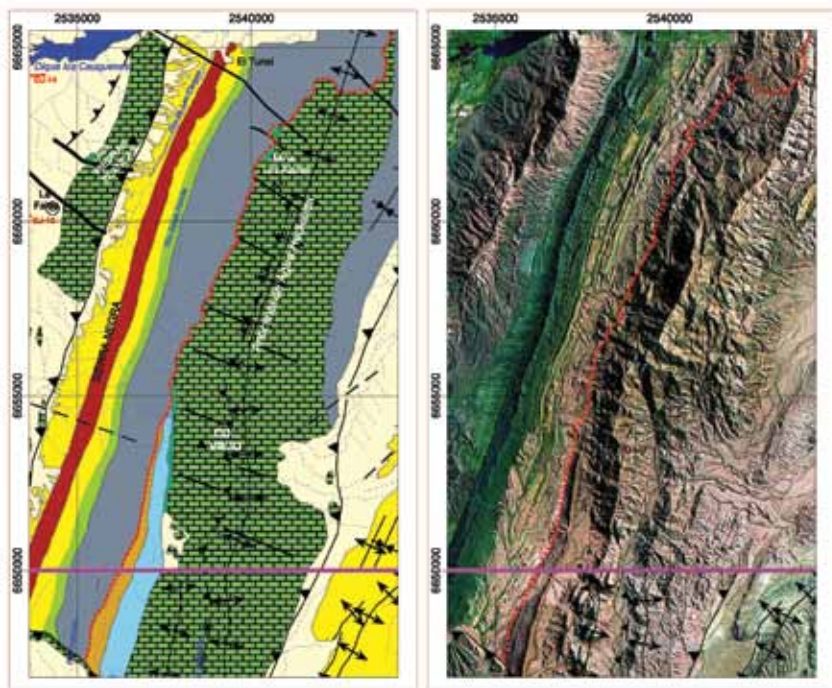


Figura 7C- Sector del cerro Viejo de Huaco, borde oriental del depocentro donde los depósitos de la formación Tupe (Carbonífero Superior) erosionan los estratos del Paleozoico Inferior; al Sur los estratos de la parte alta de la formación Tupe yacen sobre la formación Talacasto (Devónico Inferior), mientras al Norte, la base de esa misma formación del Carbonífero lo hace sobre las calizas de la formación San Juan (Ordovícico Inferior).

sobre el Grupo Trapiche (Ordovícico Medio a Superior). Las vaques contienen moldes de braquiópodos y escamas de peces asignados al Carbonífero Medio (OIL m&s S.A. 2006/11, Informes inéditos).

En la zona central del área exploratoria Niquivil, la depositación carbonífera se inicia con depósitos que podrían equivaler a la formación Guandacol, de espesos ciclos glacimarininos y turbidíticos, que en la sección del río Las Tunas (figura 2), yacen en discordancia sobre los estratos de la formación Talacasto, portadora de abundante fauna marina del Devónico Inferior tardío – *Emsiano* (Oil M&S S.A. 2006/11, Informes inéditos). Por encima de ese conjunto de ciclos se registra en discontinuidad otro importante episodio glaciígeno, también glacimarino (Berkowski y Milana, 1990), que por correlación debería representar la base de la formación Tupe. La secuencia grada a depósitos de limoarcilitas, areniscas muy finas, verdes y rojas, y mantos carbonosos. Por encima, algunos ciclos de pelitas y arenas desarrollan barras deltaicas que culminan con estratos de areniscas dominadas por estructuras primarias de olas, sobre las que progradan los depósitos de relleno fluvial, y

más al Sur espesos paquetes eólicos.

La formación Patquía está representada en la superficie de ambas áreas en el ámbito de la Precordillera Central. En el norte del área exploratoria Jáchal y en el sur de la de Niquivil, alcanza su mejor desarrollo. Es una secuencia de capas rojas continentales dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, aunque fuera de ellas, en la parte norte y oeste de la cuenca, se han hallado sedimentos y fósiles marinos (Fernández Seveso et ál., 1991).

Esta unidad parece poseer un registro completo del Pérmico Inferior a Superior a juzgar por las relaciones cicloestratigráficas y las correlaciones globales (Fernández Seveso et ál., 1991), que traslapa los altos relativos del sustrato de la cuenca de Paganzo a escala regional, con lo que parece evidenciar un cambio importante en el tipo de subsidencia para la cuenca.

Los depósitos reconocidos en la parte basal de la unidad incluyen secuencias de origen fluvial de sistemas entrelazados y de alta sinuosidad, con espesos bancos de areniscas de relleno de canales, y facies asociadas de llanura aluvial que por sectores interdigitan con depósitos de bajada aluvial. En la parte media, se halla

una secuencia eólica de potencia variable, característica del registro pérmico de la cuenca de Paganzo y vecinas, que se considera representa el tope del Pérmico Inferior.

El Pérmico Superior se halla bien representado en el este de la Precordillera Central en general. Por encima de las eolianitas, se registra una espesa columna de capas rojas que incluyen depósitos de sistemas lacustre someros a efímeros, fluvial efímero y eólicos.

En esta zona del norte sanjuanino el Paleozoico Superior de la Precordillera Central se halla discordante sobre los estratos deformados (plegados y fallados) del Paleozoico Inferior, al igual que ha sido reportado para los ámbitos de Precordillera Occidental y Oriental en otros sectores del sur de San Juan y de la provincia de Mendoza (Rolleri y Baldis, 1967; Furque, 1979). En superficie y en los registros sísmicos de subsuelo hay evidencias de que la zona habría formado parte de una faja corrida y plegada de vergencia oriental (en sentido amplio) antes del Carbonífero. Planos de corrimiento y plegamientos precarboníferos también han sido reportados sobre el río San Juan (al sur de la zona de exploración), (Alonso et ál., 2005) y en esta zona de la Precordillera Central sobre el río Jáchal (Álvarez Marrón et ál., 2006). Algunos de esos planos de corrimiento han sido reactivados por la orogenia andina.

Los planos de corrimiento y plegamientos precarboníferos fueron erosionados y en partes sepultados por la sedimentación del Carbonífero Temprano (figura 7A), que al parecer en esta zona desarrolló mayores espesores contra frentes locales de deformación ubicados hacia el Oeste como es el caso del “depocentro Pasleam”, que registra una espesa columna de facies de talud entre los actuales borde de Precordillera Occidental y la sierra de Pasleam, y menor desarrollo y ausencia de unidades estratigráficas en el Este, sobre los actuales corrimientos de San Roque y Niquivil (figura 3).

Los depocentros conocidos con que se inicia la sedimentación en la cuenca neopaleozoica (formación Guandacol), tanto los que se encuentran dentro de las áreas exploratorias aquí tratadas como los vecinos del Oeste (sierra de Volcánvalle de Iglesias-Calingasta), (López Gamundí et ál., 1987) y los del Este

(espesas secuencias turbidíticas del lineamiento del borde occidental de la sierra de valle Fértil), (Fernández Seveso et ál., 1990), podrían relacionarse, por su geometría de ejes alargados sur-norte y el tipo de depósitos que recibieron, a la evolución de esa faja plegada y corrida orogénica que habría incluido a la actual Precordillera Occidental y, con seguridad en esta zona exploratoria del norte sanjuanino, parte de la actual Precordillera Central ("Protoprecordillera", Rolleri y Baldis, 1967). El influjo de esta cuña orogénica hacia el antepaís pudo haberse comenzado a manifestar en la región con el cambio depositacional paulatino registrado por la formación Punta Negra en el Devónico Medio y haber evolucionado hasta el pico de deformación registrado a fines del Devónico, asignado a la orogenia chánica. El metamorfismo de bajo grado que posee la Precordillera Occidental parece coincidir en edad con este intervalo geológico, que habría concluido con el emplazamiento de rocas ofiolíticas (Ramos, 1999). En el contexto evolutivo del margen continental occidental del paleocontinente Gondwana este patrón coincide con la acreción del Terreno de Chilenia (Ramos et ál., 1984).

El desarrollo de la cuenca de Paganzo fue analizado en detalle, en toda su extensión, por Fernández Seveso et ál. (1991) en un trabajo en el cual se propuso un origen inicial transtensivo-transpresivo para la cuenca, generador de movimientos de rumbo y oblicuos, de acuerdo a la geometría de los depocentros y los indicadores de sedimentación analizados.

En el contexto evolutivo planteado para las áreas exploradas, la cuenca de Paganzo bien podría ser el resultado de la evolución de un sistema de cuencas de antepaís, en el sentido de DeCelles y Giles (1996), en el cual los depocentros occidentales de la Precordillera representan (sub) cuencas restringidas o acotadas, dentro de la cuña orogénica, mientras las espesas columnas de depósitos del lineamiento del borde occidental de la sierra de Valle Fértil-sierra de Maz serían el registro del extremo oriental de la cuenca de antepaís propiamente dicha, contra el abovedamiento flexural oriental hacia el cratón. En parte, los depósitos de la cuenca pro-

funda de antepaís podrían haber sido sepultados bajo los espesos depósitos de la cuenca de antepaís Terciaria. Los estratos del ámbito oriental de la cuenca de Paganzo podrían ser parte de la depositación, relativamente reducida, por detrás del abovedamiento (*Back-bulge depozone*).

Las rocas del Carbonífero de esta zona han sido evaluadas como potenciales generadoras de hidrocarburos desde hace varios años por distintas compañías. Los buenos espesores de pelitas negras de la formación Guandacol y de las facies de prodelta de la formación Tupe, muy atractivos a primera vista, no brindaron hasta ahora valores de interés en laboratorio.

La fracción pelítica de la formación Guandacol raramente brinda muestras que superen el 0,5% de COT, y los rendimientos pirolíticos son muy pobres. Algo similar ocurre con la facies de prodelta de la formación Tupe.

Los mejores valores de COT hallados (mayores a 40%) se relacionan a las facies de borde marino y lacustre de la formación Tupe en las que se desarrollaron mantos carbonosos. En todos los depósitos del carbonífero del sector, la materia orgánica es de tipo leñosa de bajo rendimiento pirolítico. Algunos intervalos de la formación Tupe están siendo ahora reevaluados con nuevos datos en el área exploratoria Niquivil.

Como formadoras de potenciales reservorios de hidrocarburos, las fracciones arenosas de ambas formaciones han sido evaluadas a partir de muestras de afloramientos. Las areniscas de frente deltaico y de algunos ciclos fluviales de la formación Tupe muestran buenos valores de porosidad y permeabilidad, mientras las areniscas de lóbulos turbidíticos de la formación Guandacol poseen, en general, porosidad relativamente alta y baja permeabilidad.

Los depocentros permocarboníferos están siendo evaluados dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil en relación con su desarrollo y génesis, y también en su participación en las etapas de deformación posteriores. Las condiciones de deformación del sustrato en el que se asientan y la siguiente etapa de relleno de los depocentros iniciales pueden haber jugado un rol fundamental en la evolución de la materia

orgánica del Paleozoico Inferior en algunos sectores de la Precordillera Central y Oriental.

Hiato depositacional Mesozoico (Triásico-Jurásico-Cretácico Inferior, Fase ígnea?)

Dentro de la zona que ocupan las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil en la Precordillera, no han sido registrados, en afloramientos, depósitos sedimentarios entre el Pérmico Superior y el Cretácico Superior.

A escala regional, los depósitos triásicos se restringen a las cuencas de *rift* (extensión triásicojurásica, Tankard et ál., 1995) a ambos lados del ámbito precordillerano; cuenca de Ischigualasto por el Este y del río Blanco por el Oeste.

Este amplio hiato sedimentario es un notable rasgo de la zona exploratoria, que parece no haber recibido sedimentación por más de 140 Ma. En los afloramientos no se advierte deformación previa importante ni una superficie erosiva de importancia correlativa a tal intervalo temporal. En ambas áreas exploratorias, Jáchal y Niquivil, los depósitos de la cuenca cretácica son los que comúnmente yacen sobre estratos de Pérmico Superior, sin que medie angularidad importante.

En el oeste del área exploratoria Jáchal, en el borde de la Precordillera Occidental se registra un sistema de diques ígneos que intruyen a las pelitas levemente metamorfizadas de la formación Yerba Loca. Se trata de andesitas leucocráticas, microcristalinas porfíricas, que, desde el punto de vista geoquímico, han sido calificadas como gabros subalcalinos de una secuencia ligada a un régimen tectónico de apertura o *rifting*, con carácter primitivo; es decir, el de una roca derivada de procesos en el manto (Oil M&S S.A. 2006/11, informes inéditos). La datación radimétrica (Ar/Ar) arrojó edad de 183,23 +/- 0,60 Ma. (Jurásico Inferior alto- *Pliensbachiano*).

Las especulaciones relacionadas al comportamiento del flujo térmico a partir del Devónico Medio, así como durante el hiato de depositación mesozoica y durante las siguientes fases evolutivas del sector son también motivo de análisis en el esquema exploratorio planteado para estas áreas de frontera.

Cuenca Cretácica

En la zona que ocupan las dos áreas exploratorias, restringida al ámbito de la Precordillera Central, se halla una secuencia sedimentaria de capas rojas en discordancia sobre estratos del Pérmico. Son depósitos que se hallan extendidos, aunque con cambios faciales, desde el norte del área Jáchal (C^o Portillo), hasta el sur del área Niquivil (sierra de Talacasto). En la zona centro-sur del área exploratoria Jáchal ha sido diferenciada como Formación Ciénaga del Río Huaco (Limarino et ál., 2000), (figura 2).

Se trata de una unidad de espesor variable, con discordancias poco notables en base y techo. Se compone de una secuencia basal arenosa a la que le suceden depósitos finos lacustre-evaporíticos que, en sectores muy puntuales, poseen niveles calcáreos con fósiles de edad Cretácico Superior (Pérez et ál., 1991; Limarino et ál., 2000).

En sectores correlativos al norte de la zona de trabajo, fuera del área Jáchal, se ha consignado un nivel de tobas vítreas, en teoría, por debajo de los niveles fosilíferos mencionados antes, cuya edad radimétrica fue establecida en el Cretácico Inferior alto (Albiano), (Tedesco et ál., 2007).

Los depósitos se hallan, en todas las localidades visitadas, y yacen sobre el Pérmico Superior sin que se observe angularidad notoria. En el área Jáchal, al este de la Precordillera Central, la secuencia se inicia con estratos arenoso-conglomerádicos fluviales, cuarzosos, que poseen

direcciones de paleocorrientes diferenciadas de las de los estratos pérmicos infrayacentes. El sistema grada a mantos arenoso-pelíticos rojos de depósitos de barreal encima de los cuales, en algunos sectores localizados, se instalan cuerpos lacustre-evaporíticos con barras de somerización con capas de yeso nodular y a veces delgados niveles de ostracoditas calcáreas. Los niveles de barreal de la base poseen huellas de saurópodos. En el sur del área Niquivil se compone de areniscas eólicas.

En los afloramientos mapeados y muestreados, no se han detectado facies de interés oleogénico en esta unidad.

Cuencas del Terciario (sistema de cuencas de antepaís, fase ígnea, sedimentación-deformación)

Una de las características más conocidas de este sector de la Precordillera es la existencia de la cuenca terciaria de antepaís, con su máximo desarrollo en el ámbito oriental (Jordan et ál., 1993b). La secuencia sedimentaria de relleno en la zona de antepaís propiamente dicha, posee varios miles de metros de espesor de estratos de origen continental (Milana et ál., 2003), con el máximo desarrollo ubicado bajo el borde oriental de la Precordillera Central (Zapata y Allmendinger, 1996).

La cuenca de antepaís terciaria es, en realidad, un sistema de cuencas que incluye depósitos sobre los tres ámbitos de Precordillera. Esta etapa de depositación no será objeto

de este trabajo y sólo se citarán los aspectos destacables para la exploración de hidrocarburos en la zona de las áreas, en Precordillera Central y su borde contra Precordillera Oriental.

Por encima de los estratos que poseen fósiles del Cretácico Superior aparece una secuencia de capas rojas limoarcillosas que intercalan niveles de areniscas eólicas en arreglo, estrato creciente hasta una progradación definitiva de mar de arena (Pérez et ál., 1991). La discordancia de la base de la secuencia no se advierte con facilidad, pero hacia el techo de la pila eólica se advierte que existió interacción entre estos depósitos y los volcanoclásticos de la formación cerro Morado. Los depósitos de aridización (extraduna-interduna-duna) son englobados en la formación Vallecito (Furque, 1979), se hallan bien representados en ambas áreas exploradas y quizá sean del Oligoceno Alto o Mioceno Temprano (Jordan et ál., 1993b). Estos depósitos parecen adquirir gran desarrollo hacia el sur de la zona explorada, y hacia el oeste. El espesor de los depósitos eólicos aumenta en escamas tectónicas sucesivas en esa última dirección. Debajo del corrimiento Blanco, al oeste de la sierra del Durazno, las eolianitas poseen más de 1.000 metros de espesor (figura 2).

En el este y norte del área exploratoria Jáchal, sobre los depósitos eólicos de la formación Vallecito, aflora una secuencia sedimentaria volcanoclástica de conglomerados, areniscas, brechas andesíticas, y coladas basálticas traquiandesíticas

(Hammar et ál., 2008). Estos autores determinaron que se trata de productos de magmatismo alcalino de ambiente continental de margen de placa bajo condiciones extensionales de retroarco. Las facies sedimentarias son propias de una bajada aluvial relacionada a un aparato volcánico, con interacción de ambiente eólico.

Los depósitos corresponden a la que Furque (1979) denominó Formación Cerro Morado y fueron asignados por Jordan et ál. (1993b), al Mioceno Medio (14 a 15 Ma). Dos dataciones realizadas por Limarino et ál. (2002) de muestras extraídas en el cerro Huachi dieron edades de 17,6 y 18,3 Ma (Mioceno Medio). En los afloramientos del Centro-Sur del área exploratoria Jáchal, los estratos de esta unidad engrosan e incluyen mayor componente ígnea de Sur a Norte y de Este a Oeste a la altura del valle de Jáchal y el cerro Huachi (figura 2). En este sector serrano del noroeste del área exploratoria Jáchal, los depósitos volcanoclásticos poseen gran desarrollo.

Sobre el corrimiento Niquivil también el carácter erosivo de la base de los depósitos se agudiza hacia el Norte; elimina los estratos terciarios y cretácicos y erosiona el Pérmico Superior de la formación Patquía en forma profunda. En el mismo sector, los estratos de la formación Cerro Morado son montados por estratos del Cámbrico en el cerro Bordo atravesado (figura 2).

Aún cuando se hallan segmentados por los corrimientos actuales, se advierte que los depósitos se acotan alrededor de la sierra de Huachi, en el noroeste del área. Los depósitos prácticamente no afloran dentro del área exploratoria Niquivil (figura 2), y la expresión dentro del área exploratoria Jáchal parece ser la terminación sur de un sistema bien desarrollado en el norte de San Juan y oeste de la provincia de La Rioja (Limarino et ál., 2002). Alrededor de la sierra de Huachi, se hallan varios cuerpos intrusivos de la modalidad de diques que afectan al Paleozoico Inferior y Superior. En la zona de la sierra de Pasleam, varios diques andesíticos establecidos en antiguos planos de corrimiento en el Paleozoico Inferior y en la discordancia del Paleozoico Superior fueron muestreados y datados. Se trata de andesitas anfíbólicas

clasificadas desde el punto de vista geoquímico como riocitas, asociadas a procesos ígneos relacionados con márgenes convergentes y con procesos de subducción. La edad radiométrica para dos muestras de esta zona fue de 17,3 Ma (Mioceno Medio), (OIL m&s S.A. 2006/11, Informes inéditos).

La principal etapa de deformación creadora de la (actual) Precordillera Central se habría iniciado, según Jordan et ál. (1993a), entre los 16 y 14 Ma, extendiéndose hasta los 5 Ma. La zona triangular y la Precordillera Oriental se habrían comenzado a formar, para alcanzar la forma actual, hace 2,6 Ma (Zapata y Allmendinger, 1996).

La relación entre la formación de los elementos que conforman el sistema de la cuenca de antepaís del Bermejo, la deformación y la actividad ígnea durante el Mioceno son variables exploratorias de interés para la Precordillera Oriental y la escama externa de la Central, y la zona triangular que media entre ambas.

Las tendencias de potencial oleogénico y la madurez térmica de la materia orgánica varían arealmente entre las diferentes escamas tectónicas de la Precordillera Central (figura 5 y 6). En el presente, la potencial roca madre se halla con mejores condiciones y en ventana de generación en el corrimiento más oriental de esta faja (corrimiento Niquivil), (figura 3). En el borde de la Precordillera Oriental, contra la zona triangular en la sierra del Morado de Niquivil, existen afloramientos de hidrocarburos secos alojados en fracturas y grietas de la formación Huachipampa y Quebrada del Cura (Pérez et ál., 2011). De acuerdo al sistema petrolero y al modelo geológico establecidos para la Precordillera Central, este petróleo podría ser "remigrado", pero la evaluación final depende de la adquisición de nuevos datos en esa zona.

Los niveles eólicos, de gran espesor y con interesantes relaciones faciales de tipo dunainterduna, poseen valores de porosidad primaria moderados en muestras superficiales, de alrededor del 10%, y baja permeabilidad. No se han detectado restos de hidrocarburos secos en estas rocas.

Su comportamiento evolutivo, desde el punto de vista exploratorio, está siendo evaluado.

Estructura y evolución

Si bien la morfoestructura actual de la Precordillera es, en buena parte, el resultado de la suma de sobrecorrimientos y plegamientos provocados por los empujes de la orogenia andina, con la consecuente generación de relieve, erosión y depositación, la configuración estructural definitiva del sector debería asociarse a la larga historia evolutiva iniciada en el Paleozoico Inferior para el protoborde gondwánico.

La descripción y la interpretación de la estructura precordillerana, el origen, la geometría y la cinemática de sus escamas tectónicas (figura 3), entre otras muchas propiedades, han sido abordadas por numerosos especialistas en el tema y reportadas en varias publicaciones. En esta síntesis se pretende puntualizar sobre algunos rasgos estructurales que hacen al potencial exploratorio petrolero de la zona.

Los siguientes rasgos evolutivos estructurales de la Precordillera dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil resultan de interés exploratorio:

- Estructuración del Paleozoico Inferior.
- Estructuración del Devónico Superior.
- Estructuración del Paleozoico Superior-Mesozoico.
- Estructuración del Terciario.

Estructuración del Paleozoico Inferior

Las relaciones estratigráficas estudiadas dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil y la connotación geológica regional indican que un importante cambio tectónico ocurrió a partir del Ordovícico Medio. La finalización de la etapa de sedimentación carbonática en plataformas marinas extendidas desarrollada durante el Cambro-Ordovícico tiene una expresión marcada en el norte del área Jáchal con la aparición de la discordancia del Grupo Trapiche (fase Guandacol, Furque, 1979; fase Oclóyica, Astini et ál., 1996), aunque no se observan relaciones angulares notorias en afloramientos de ese sector. Al sur de la zona, dentro del área exploratoria Niquivil, la depositación silúrica se inicia en discordancia angular erosiva sobre estratos del ciclo

cambror-ordovícico inicial (formación Gualcamayo al Este, y formación San Juan hacia el Oeste).

Para Astini et ál. (1996, 2005), la compresión del Ordovícico Medio en la zona habría estado asociada al emplazamiento de Precordillera (o Cuyania, en el modelo acrecional), y la generación de un arco orogénico (Famatina) al este de esta, que provocó metamorfismo y deformación de vergencia occidental en la periferia del paleocontinente Gondwana. Los depósitos de la formación Gualcamayo y del Grupo Trapiche serían así producto de la instauración de una cuenca de antepaís de polaridad este-oeste. Para el modelo que plantea una hipotética colisión entre los paleocontinentes Laurentia y Gondwana durante el Ordovícico (Dalla Salda, 2005; Ramos y Dalla Salda, 2011), la Precordillera debió, en tiempos cambror-ordovícicos, formar parte de una cuenca al este de la cual se desarrollaba la faja colisional que dio origen al “Orógeno Famatiniano-Apalachiano”, (Dalla Salda, 2005).

En el norte de la zona, la deformación a la que fue sometida la sucesión cambror-ordovícica en el Ordovícico Medio a Superior no parece haber generado plegamiento importante a juzgar por el tipo de discordancia que se observa. Es una posición paleogeográfica de cuenca profunda (fosa?) para el conjunto del Ordovíci-

co Medio a Superior. Hacia la latitud central del área exploratoria Jáchal, en el flanco oeste de la sierra de la Batea, los depósitos del Grupo Trapiche pierden expresión regional pero su base conglomerádica erosiona el techo de la formación Gualcamayo y reduce su espesor a la altura del cerro Áspero. En el sector norte no se observan depósitos del Silúrico o del Devónico yaciendo sobre estratos del Ordovícico Superior, y este, a su vez, se encuentra ausente en los sectores del centro y sur de la zona explorada donde los depósitos siluro-devónicos tienen su máxima expresión. Al norte de la sierra de Pasleam, los estratos deformados del Ordovícico Medio y Superior son cubiertos por depósitos de la cuenca neopaleozoica.

Los estratos asignables al Silúrico o Devónico tampoco se observaron participando de los corrimientos precarboníferos que afectan al Ordovícico en ese sector, por lo que es posible que esta zona haya sido elevada para fines de dicho período.

Los rasgos erosivos que se observan en la porción sur de la zona exploratoria también adquieren relevancia para el propósito exploratorio desde que las rocas del Ordovícico Medio (formación Gualcamayo y base del Grupo Trapiche), son rocas madres potenciales del sistema petrolero activo propuesto para la Precordillera Central (Pérez et ál., 2011).

La discordancia angular de la base del Silúrico elimina los depósitos del Ordovícico Medio hacia el sur y oeste del cerro La Chilca (figura 2).

Estructuración del Devónico Superior-Carbonífero Inferior

Este es el rasgo de deformación estructural más fuerte observado dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil antes de los plegamientos de la orogenia andina. En ambas áreas exploratorias en el ámbito de la Precordillera Central se observan, en superficie y en el subsuelo, rasgos de deformación precarboníferos. Los depósitos con que se inicia la sedimentación del Paleozoico Superior yacen en discordancia angular sobre estratos plegados y fallas (figura 7). Estructuras de este tipo, por debajo de la discordancia del Paleozoico Superior, en este y otros ámbitos de Precordillera, han sido reportadas por varios trabajos (Furque 1979, von Gosen, 1997, Alonso et ál., 2005, Alvarez Marrón et ál., 2006).

Las relaciones de discordancia entre el Paleozoico Inferior y el Superior se observan en los alrededores del valle de Jáchal, donde afloran los bordes erosivos del “depocentro Pasleam”. El desarrollo de la columna sedimentaria del depocentro carbonífero parece haber contribuido a preservar en buena forma la estructu-

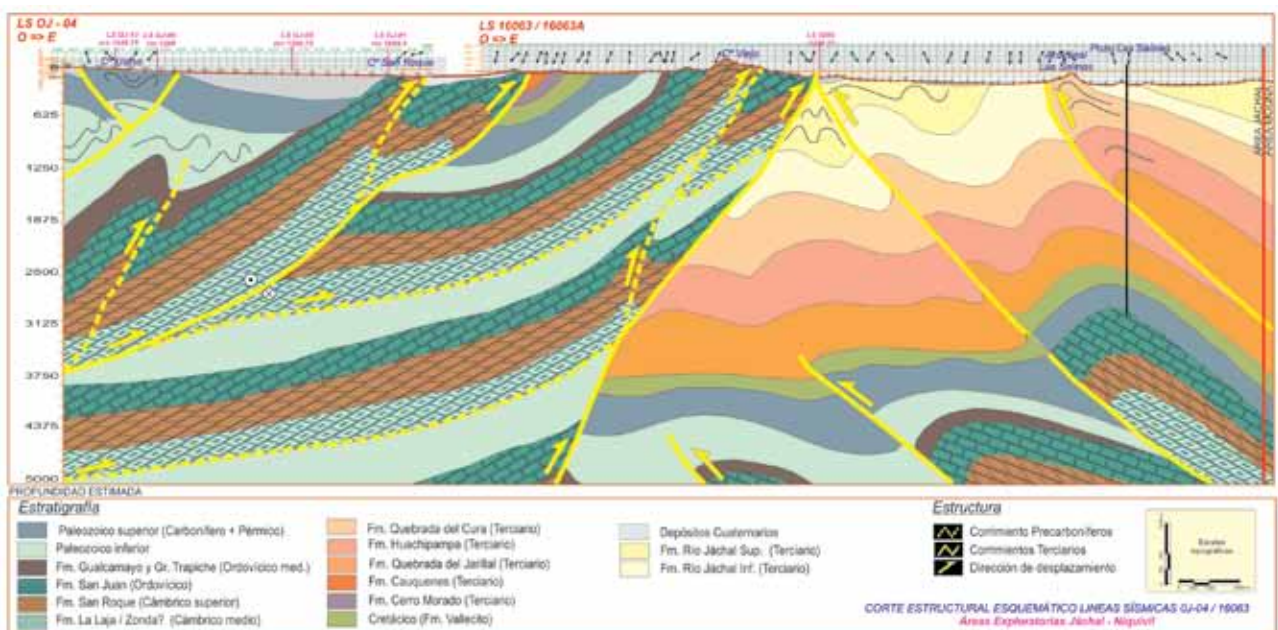


Figura 8. Corte estructural esquemático de la Precordillera Central y la Precordillera Oriental dentro de las áreas exploratorias. Ubicado a la latitud media de la zona de trabajo (ver ubicación de la traza en la figura 2).

ra original del sustrato de la cuenca frente a la deformación del Terciario (figura 7). La masa rocosa del Carbonífero Inferior incluso parece haber influido en la geomorfología actual del valle (figura 3).

La sedimentación del Paleozoico Superior apoya con facies marinas de talud sobre estratos inclinados y fallados del Cámbrico, Ordovícico, Silúrico y Devónico. El reflejo inicial de la deformación en este ámbito podría estar asociado al inicio y transcurso de la depositación de la formación Punta Negra en el Devónico Medio a Superior. El plegamiento de la Precordillera Occidental parece haber generado un frente tectónico que produjo el cambio en la depositación del Devónico Medio y luego evolucionó con el fallamiento y plegamiento que originó la extensión de la faja corrida y plegada hacia el Este (hacia posiciones de la actual Precordillera Central), donde se habrían originado relieves y espacios de sedimentación para la instalación de un sistema de cuencas de antepaís (DeCelles y Giles, 1996), en los que probablemente se desarrolló el conjunto de estratos carbonífero-permicos (cuenca de Paganzo).

El desarrollo de una cuña tectónica hacia el Este y la formación de un sistema de cuencas de antepaís son coherentes con las observaciones de deformación precarbonífera intensa en otros sectores de la Precordillera que abonaron la idea del desarrollo de la "Protoprecordillera" (Rolleri y Baldi, 1967).

La evolución del paleozoico Medio y Superior en la zona de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil podría asociarse a la idea de una colisión en el borde del paleocontinente Gondwana (Ramos et ál., 1984), en el Devónico Medio a Superior, que coincidiría con el pico de deformación de la orogenia chánica, y con el metamorfismo regional de bajo grado en Precordillera Occidental que habría sido adquirido en el mismo tiempo durante el Devónico (Boedo et ál., 2011, Heredia et ál., 2011).

La orogenia chánica pudo haber jugado un rol fundamental en la configuración temporal del sistema petrolero de la Precordillera Central (Pérez et ál., 2011). La deformación y la depositación concomitante de fines del Devónico y principios del

Carbonífero pueden haber generado las condiciones de carga litostática y flujo termal para la evolución de la materia orgánica de las potenciales rocas generadoras del Ordovícico, y creado las estructuras a las que posteriormente migraron los fluidos. La conjunción favorable de estas condiciones daría lugar al establecimiento de un sistema petrolero paleozoico, del tipo de los que han formado yacimientos gigantes de hidrocarburos en zonas de geología muy similar a la de América del Norte ("*Mid-continent oil province*" de EE. UU. y la faja Apalachiana de EE. UU. y Canadá, por ejemplo), (Pérez et ál., 2011).

Los efectos compresivos de la orogenia andina, al parecer, reactivaron algunos de los viejos planos del Devónico y generaron nuevos para dar forma a la faja plegada y corrida moderna (Alonso et ál., 2005; Álvarez Marrón et ál., 2006). Los altos ángulos con que inclinan los estratos en algunos frentes de corrimiento del Terciario podrían obedecer a estas condiciones.

La estructuración del Paleozoico Inferior puede haber favorecido la creación de reservorios mediante procesos de dolomitización hidrotermal y recristalización carbonática de grandes espesores calcáreos, como ocurre en grandes yacimientos de las cuencas análogas mencionadas (Smith, 2006; Luczaj et ál., 2006; Grammer et ál., 2010).

Estructuración del Paleozoico Superior-Mesozoico

Durante el lapso Triásico-Jurásico-Cretácico Inferior, la zona exploratoria permaneció elevada, sin recibir sedimentación. En el Suroeste, en el ámbito de Precordillera Central se advierte la erosión de los depósitos del Paleozoico Superior en los afloramientos, pero al Norte, la columna del Pérmico Superior parece hallarse preservada (figura 2).

Desde el Pérmico Medio al Triásico Medio se produjo el emplazamiento del magmatismo asociado al Grupo Choiyoi (Martínez et ál., 2011), en una amplia región del oeste argentino, si bien sus efectos sobre esta porción de la Precordillera son poco conocidos. Algunos pequeños cuerpos de granito y granodiorita, principalmente, han sido asignados

al Permo-triásico por sus relaciones de campo (Zambrano et ál., 1996), (figura 2). En los laterales regionales al Este y Oeste, se produjeron fallamientos extensionales que generaron cuencas continentales, durante el Triásico y el Jurásico, que algunos autores relacionan al mismo fenómeno de magmatismo, que es considerado extensional postsubducción (Martínez et ál., 2011).

En la actualidad, no se dispone de elementos concretos para estimarlo, pero el magmatismo extendido del permo-triásico puede haber resultado en un aporte interesante al flujo térmico del subsuelo precordillerano, de gran importancia en el ajuste de un modelo oleogénico paleozoico. La sedimentación se habría restablecido en la zona de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil en el Cretácico Superior, en coincidencia con la etapa de subsidencia regional generalizada. En la actualidad, se la encuentra fragmentada en los sobrecorrimientos de la Precordillera Central, pero la cuenca parece haber tenido pendientes suaves y continuidad lateral antes de la estructuración terciaria.

Estructuración del Terciario

La deformación compresiva de la orogenia andina habría comenzado a modelar la zona de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil en el ámbito de Precordillera Occidental hace aproximadamente 20 Ma (Jordan et ál., 1993a), (figura 8). En la Precordillera Central esta parece haber comenzado, en la zona de exploración, en coincidencia con el vulcanismo de la formación Cerro Morado (17 Ma). Estos depósitos de filiación volcánica que poseen fase extrusiva e intrusiva fueron afectados por los corrimientos del este de la misma Precordillera Central que se habría mantenido en crecimiento hasta los 5 Ma.

La Precordillera Oriental habría comenzado su evolución hace aproximadamente 2,6 Ma (Zapata y Allmendinger, 1996). La deformación de este ámbito posee vergencia occidental. Dentro de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, la estructura superficial está dominada por las formas de grandes anticlinales abiertos y sinclinales cerrados (y viceversa que compensan la geometría de la

deformación), que exponen exclusivamente a depósitos terciarios de la cuenca del Bermejo.

En los modelos de interpretación, se considera que el basamento cristalino, sobre el cual yacerían adelgazados hacia el Este los términos estratigráficos del Paleozoico, participa de la deformación, con lo cual la faja corrida y plegada del este de la Precordillera es considerada de tipo "piel gruesa", en contraste con los ámbitos Central y Occidental en los cuales la condición sería de "piel fina" (Zapata y Allmendinger, 1996).

Las condiciones del subsuelo de Precordillera Oriental por debajo de la columna terciaria han sido relevadas parcialmente en afloramientos fuera de las áreas exploratorias. Algunas de las perforaciones realizadas en este ámbito han atravesado la totalidad de la columna cenozoica en posiciones donde esta se halla adelgazada por condiciones paleogeográficas. En esos casos, el trépano ha penetrado en estratos de calizas asignados al Ordovícico Inferior (formación San Juan).

Los estratos del Paleozoico Inferior y Superior y, por ende, sus condiciones petroleras nunca han sido evaluados allí en forma directa. Tampoco la existencia de depósitos de la cuenca triásica continental adyacente al Este ha sido comprobada en el subsuelo de esta porción de Precordillera Oriental, y su presencia allí permanece en el plano de la especulación.

Los dos sistemas de corrimientos de vergencias opuestas generan al enfrentarse una zona triangular de "piel gruesa" (Zapata y Allmendinger,

1996). Para estos autores, la estructuración de Precordillera Oriental, que involucra al basamento, es la que deforma a la opuesta Central donde los dos sistemas se sobreponen. El resultado sería una zona triangular en la cual la complejidad estructural se transfiere hacia los dos sistemas de deformación, en vez de formar los clásicos cabalgamientos acuñados.

La zona triangular tiene una porción norte dentro del área exploratoria Jáchal, en la cual los dos sistemas opuestos se sobreponen, y un sector al Sur, dentro del área exploratoria Niquivil, donde están separados por el valle de Matagusanos, sin que interactúen entre sí (Zapata y Allmendinger, 1996).

Desde el punto de vista exploratorio, la estructuración terciaria en ambas áreas debería asociarse principalmente a las condiciones oleogénicas halladas en los afloramientos del borde de Precordillera Central contra la zona triangular, donde la potencial roca madre se halla en ventana de generación de petróleo.

La existencia y las condiciones de esos estratos de roca madre potencial en el subsuelo de la Precordillera Oriental y la zona triangular intermedia no se han podido evaluar en forma directa, aunque podrían estar presentes en subsuelo profundo, principalmente en el sector norte del área exploratoria Jáchal.

La tendencia de madurez térmica de la roca madre potencial evaluada en los afloramientos y en el pozo OMS.SJ.PViBc X-1 (Pampa Vieja Bicentenario) de la Precordillera Cen-

tral indica que, para esta parte de la faja plegada, las condiciones en la actualidad mejoran hacia el Este, en las láminas tectónicas relativamente más jóvenes. Esta tendencia podría estar reflejando una conjunción de factores tales como la historia evolutiva del sector con empuje tectónico recurrente desde el Oeste, la existencia de un centro efusivo magmático terciario que intruyó parte de las rocas evaluadas en el noroeste, el apilamiento tectónico del Paleozoico Medio (que no está presente en el este de Precordillera Central), y quizá el desarrollo localizado de los depocentros del Carbonífero.

Conclusiones

Luego de cuatro años de trabajos en las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil de la Precordillera, algunas conclusiones pueden ser consideradas claves exploratorias.

En cuanto a la evolución geológica

En los sectores precordilleranos de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil no se halla expuesto el basamento cristalino.

Dos etapas de evolución geológica son diferenciables en el Paleozoico Inferior. Un primer ciclo de deposición carbonática en plataformas marinas extendidas en el Cámbrico y hasta el Ordovícico Medio, tras el cual se registra un episodio de inundación fuerte, una discordancia y la finalización de la deposición carbonática.

Un estadio posterior, con el

desarrollo de una cuenca marina profunda hacia el Oeste, que generó el depósito de gradas secuencias sedimentarias de talud y de fondo abisal en los ámbitos de Precordillera Central y Occidental.

Asociados a otros fenómenos regionales de magmatismo y tectonismo, estos episodios podrían ser el registro de la relación que para tiempos cambro-ordovícicos existió entre este terreno (Precordillera, Cuyania, Occidentalía), y el paleocontinente Laurentia, actualmente en el este de América del Norte. La sucesión estratigráfica, el tipo de facies sedimentarias y la componente paleobiológica equivalentes para esa edad en EE. UU. y Canadá, entre otros parámetros, poseen gran similitud y están relacionadas a la formación de grandes yacimientos de petróleo y gas.

Los estratos del Silúrico y el Devónico en las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil están restringidos a Precordillera Central, limitados por el frente de la actual Precordillera Occidental. La formación Punta Negra (Devónico Medio a Superior?), podría representar el inicio de un frente de deformación que avanzó desde el Oeste e inició la formación de una cuña tectónica que finalmente involucró a la Precordillera Central, constituyó una faja plegada y corrida hacia el Este, y generó las condiciones para el desarrollo inicial de la depositación del Paleozoico Superior.

La deformación de la Precordillera Occidental y de la Central para el Paleozoico Medio coinciden con otros episodios datados en esa época en el Oeste (metamorfismo suave, magmatismo), que podrían atribuirse a fenómenos de subducción y posterior acreción de un terreno en el margen occidental del paleocontinente Gondwana. En conjunto, estos episodios corresponderían a la orogenia chánica.

El Paleozoico Superior en las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil se halla en Precordillera Central en discordancia angular al igual que ocurre en la Precordillera Occidental y en la Precordillera Oriental en otros sitios de la Precordillera.

El relleno carbonífero-pérmico de la cuenca de Paganzo podría ser el resultado de un sistema de cuencas de antepaís formado por la generación de la cuña tectónica de la orogenia

chánica. El relleno se habría iniciado con depósitos marinos de facies de talud y glaciógenas, en depocentros localizados asociados a frentes de corrimientos en Precordillera y el borde de sierras pampeanas. Las condiciones marinas en el ámbito occidental de la cuenca persistieron hasta el Carbonífero Superior Alto. Los depósitos del Pérmico Inferior y Superior sobrepasaron los altofondos generados entre los depocentros, evidenciando un cambio en el tipo de la subsidencia para la región.

Entre el Pérmico Superior y el Cretácico Superior la zona de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil permaneció sin recibir depositación y relativamente poco afectada por la erosión. No se hallan depósitos triásicos de *rift* en la zona de las áreas, y su existencia en el subsuelo oriental del área exploratoria Jáchal no ha sido documentada.

La cuenca de depósitos asignados al Cretácico Superior se extiende en ambas áreas exploratorias, y representa un episodio de subsidencia generalizada regional. No se observan facies sedimentarias que indiquen taludes de depositación importantes, y las facies sedimentarias más "profundas" parecen estar en el centro-sur del área Jáchal.

El inicio de la deformación terciaria en la Precordillera Central parece coincidir con el emplazamiento de un centro magmático a los 17 Ma en el noroeste del área exploratoria Jáchal, que produjo la intrusión de diques, derrame de coladas andesíticas y flujos piroclásticos, con erosión y depositación asociados a la topografía.

En la zona de las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil, existen sobrecorrimientos y plegamientos previos a la depositación del Paleozoico Superior. En el borde de la Precordillera Occidental y del oeste de la Precordillera Central, algunos de esos planos han sido reactivados por los sobrecorrimientos del Terciario.

La Precordillera Oriental en las áreas exploratorias Jáchal y Niquivil está dominada por los afloramientos de rocas terciarias. Las rocas con potencial oleogénico estudiadas en Precordillera Central, de existir, se hallarían en el subsuelo profundo, y sus condiciones actuales no se conocen.

La zona triangular que genera el enfrentamiento de los dos sistemas

estructurales de vergencia opuesta de la Precordillera Central y la Precordillera Oriental no es del tipo de las que poseen cabalgamientos estructurales en subsuelo.

En cuanto a las condiciones petroleras

De los intervalos aflorados evaluados para potencial roca madre del sector, las mejores condiciones se hallaron en los intervalos pelíticos marinos del Ordovícico Medio de la Precordillera Central. Las potenciales rocas generadoras poseen cualidades de contenido orgánico, madurez y oleogénesis que en los afloramientos varían arealmente en relación con su posición estructural y marcan tendencias que son muy importantes para el desarrollo del plan exploratorio.

Las potenciales rocas reservorio conforman un abanico amplio de edades, litologías y procesos mecánicos y químicos. Los intervalos del Silúrico, Devónico y principalmente Carbonífero, Pérmico, Cretácico y Terciario de la Precordillera Central poseen intervalos arenosos importantes. Es poco probable que se hallen condiciones favorables de porosidad primaria, en las rocas paleozoicas del subsuelo, pero sí existen buenas posibilidades de hallar hidrocarburos atrapados en rocas calcáreas, dolomíticas y clásticas en trampas que combinen estructuración y diagénesis acordes con la evolución del sistema.

Para la Precordillera Central, la generación de estructuras por compresión del Devónico Superior-Carbonífero Inferior y los fenómenos asociados conforman la condición más atractiva para establecer los parámetros tiempo de generación-migración-entrapamiento.

Para la Precordillera Central, se puede establecer un sistema petrolero paleozoico análogo a los que se aplican en zonas productivas con condiciones geológicas en parte paralelas a las de esta región, como por ejemplo en EE. UU. y Canadá. De acuerdo con las tendencias oleogénicas establecidas para la Precordillera Central, el borde este de esa faja, la zona triangular y parte de la Precordillera Oriental poseen perspectivas exploratorias muy alentadoras en las que se trabaja actualmente.

En estos cuatro años de desarrollo exploratorio sobre las áreas Jáchal y

Niquivil, se ha logrado establecer en buena medida el potencial petrolero y revertir algunos criterios que desfavorecían al sector como cuenca generadora con posibilidades de albergar yacimientos. El estudio y la comprensión de algunos aspectos de la geología y la geoquímica de la zona, junto al hallazgo de petróleo seco en superficie, y la ejecución de un pozo profundo en un ámbito geológico que no había sido perforado hasta ahora, permitieron ajustar la idea de un modelo geológico y verificar un sistema petrolero activo de aplicación exploratoria. ■

Agradecimiento

A la empresa Oil M&S S.A. por permitir la publicación de este trabajo.

Bibliografía

- Aceñolaza F. G. y A. J. Toselli, 2007. "Evolución del borde gondwánico de Argentina en el Paleozoico: Cuyania, ¿un fragmento gondwánico o un alóctono lauréntico?". E. Díaz-Martínez e I. Rábano (Eds.), *4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America*. Cuadernos del Museo Geominero, N.º 8. Instituto Geológico y Minero de España.
- Allmendinger, R.W., D. Figueroa, D. Snyder, J. Beer, C. Mpodozis and B. L. Isacks, 1990. *Foreland shortening and crustal balancing in the Andes at 30°S latitude*, *Tectonics* 9(4): 789-809.
- Alonso J. L., L. R. Rodríguez-Fernández, J. García-Sansegundo, N. Heredia, P. Farías and J. Gallastegui, 2005. "Gondwanic and Andean structure in the Argentine central Precordillera: The Río San Juan section revisited". *6th International Symposium on Andean Geodynamics* (ISAG, Barcelona), Extended Abstracts: 36-39.
- Álvarez-Marrón J., R. Rodríguez-Fernández, N. Heredia, P. Busquets, F. Colombo and D. Brown, 2006. "Neogene structures overprinting Palaeozoic thrust systems in the Andean Precordillera" at 30.° S latitude *Journal of the Geological Society*, London, Vol. 163, pp. 949-964.
- Astini, R. A., 1991. "Sedimentología de la Formación Talacasto: Plataforma fangosa del Devónico precordillerano, Provincia de San Juan". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 46: (3-4)277-294.
- Astini, R. A., 1992. *Tectofacies ordovícicas y evolución de la cuenca eopaleozoica de la Precordillera Argentina*. Estudios geol., 48: 315-327.
- Astini, R. A., 1998. "El Conglomerado de Las Vacas y el Grupo Trapiche de la Precordillera: tectónica distensiva en el Ordovícico Superior". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53: 489-503.
- Astini, R. A. y H. M. Maretto, 1996. "Análisis estratigráfico del Silúrico de la Precordillera Central de San Juan y consideraciones sobre la evolución de la cuenca". *XIII.º Congreso Geológico Argentino y III.º Congreso de Exploraciones e Hidrocarburos*. Actas I: 351-368. Buenos Aires.
- Astini, R. A., V. A. Ramos, J. L. Benedetto, N. E. Vaccari y F. L. Cañas, 1996. "La Precordillera: un terreno exótico a Gondwana". *XIII.º Congreso Geológico Argentino y III.º Congreso de Exploraciones e Hidrocarburos*. Actas V: 293-324. Buenos Aires.
- Astini, R. A., F. Dávila, O. López Gamundi, F. Gómez, G. Collo, M. Ezpeleta, F. Martina y A. Ortiz, 2005. "Cuencas de la región precordillerana". En: Chebli G., Cortiñas J., Spalletti L., Legarreta L. y E. Vallejo, (Eds.): "Fronteras exploratorias de la Argentina". *VI.º Congreso de exploración y desarrollo de hidrocarburos*. Mar del Plata. Actas: 115-145.
- Baldis, B. A. y G. Chebli, 1969. "Estructura profunda del área central de la Precordillera Sanjuanina". *IV.º Jornadas Geológicas Argentinas*, Mendoza, Actas I: 47-66.
- Baldis, B. y M. S. Beresi, 1990. "Presencia de hidrocarburos en las Formaciones Zonda y San Roque (Cámbrico y Ordovícico de la Precordillera), y posibilidades prospectivas". *XI.º Congreso Geológico Argentino*. Actas 1; 183-186.
- Baldis, B. A., M. Beresi, L. O. Bordonaro y A. Vaca, 1982. "Síntesis evolutiva de la Precordillera argentina". *V.º Congreso Latinoamericano de Geología Argentina*, Actas IV: 399-445. Buenos Aires.
- Baldis, B. A., C. Armella, y N. Cabaleri, 1985. "Desarrollo de la plataforma carbonática ordovícica argentina". *VI.º Congreso Latinoamericano de Geología*, 1: 149-181.
- Balseiro D., J. J. Rustán, M. Ezpeleta, N. E. Vaccari, 2009. *A new Serpukhovian (Mississippian) fossil flora from western Argentina: Paleoclimatic, paleobiogeographic and stratigraphic implications*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280(3-4): 517-531.
- Bercowski, F. y J. P. Milana, 1990. "Sedimentación glacial: nueva interpretación para la Formación Guandacol (Carbonífero) en el perfil de Río Francia, Precordillera central, San Juan". *III.º Reunión Argentina de Sedimentología*, Actas: 37-42.
- Beresi, M., 1990. "El Ordovícico de la Precordillera de San Juan". *11.º Congreso Geológico Argentino*. Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan, 3: 32-46.
- Boedo F. L., G. I. Vujovich y S. P. Barredo, 2011. "La faja máfica-ultramáfica de Precordillera occidental en el área del Cordón del Peñasco, Provincia de Mendoza". Simposio de Tectónica Preandina, *XVIII.º Congreso Geológico Argentino*, Neuquén. Actas CD-ROM.
- Bordonaro, O., 1990. "El Sistema Cámbrico de la Provincia de San Juan". *11.º Congreso Geológico Argentino*. Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan, San Juan. 2: 18-30.
- Braccacini, O., 1949. "Observaciones estratigráficas en la Precordillera sanjuanina". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5 (1): 5-14.
- Bustos U. D. y R. A. Astini, 1997. "Formación Punta Negra: análisis secuencial y evolución de la cuenca devónica precordillerana". *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 4: 97-109.
- Caballé, M., A. Cuerda y M. Alfaro, 2002. "El ordovícico siliciclástico de la región de Guandacol. Relaciones entre sedimentación, tectónica y graptofaunas". *XV.º Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, Santa Cruz. Actas CD-ROM.
- Comínguez, A. H. y V. A. Ramos, 1991. "La Estructura Profunda entre Precordillera y Sierras Pampeanas de la Argentina: Evidencias de la Sísmica

- de Reflexión Profunda". *Revista Geológica de Chile*, v. 18, p. 3-14.
- Cuerda, A., 1966. *Formación La Chilca, Silúrico Inferior, San Juan*. Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires, Notas 4 (1): 3-12.
- Cuerda, A., 1969. *Sobre la graptofauna del Silúrico de San Juan, Argentina*. *Ameghiniana*, 6: 223-235.
- Dalla Salda L., 2005. "El orógeno famatiniano-apalachiano". *XVI.° Congreso Geológico Argentino*, La Plata. Buenos Aires. Actas CD-ROM.
- Decelles P. G. and K. A. Giles, 1996. "Foreland basin systems". *Basin Research* 8, 105-123.
- Fernández Seveso, F., M. A. Pérez y L. A. Álvarez, 1990. "Análisis estratigráfico del ámbito occidental de la cuenca de Paganzo, en el rango de grandes ciclos depositacionales". *XI.° Congreso Geológico Argentino*, San Juan.
- Fernández Seveso, F., M. A. Pérez, I. E. Brissón y L. A. Álvarez, 1991. *Sequence stratigraphy and tectonic analysis of the Paganzo basin, Western Argentina*. *Comptes Rendus XIII ICC-P*. Buenos Aires. 2: 223-260.
- Finney, S. C., 2007. *The paraautochthonous Gondwanan origin of the Cuyania (Greatthier Precordillera) terrane of Argentina. A re-evaluation of evidence used for support an allochthonous Laurentian origin*. *Geologica Acta*, 5(2): 127-158.
- Fortey, R. A., 1984. "Global earlier Ordovician transgressions and regressions and their biological implication". En: Bruton D. L: (Ed.): *Aspect of the Ordovician System*: 37-50.
- Frenguelli, J., 1944. "Apuntes acerca del Paleozoico Superior del noroeste argentino". *Revista Museo La Plata (Nueva Serie)*, 2 (Geología), 15: 213-265.
- Furque, G., 1963. "Descripción geológica de la Hoja 17b, Guandacol, Provincia de San Juan. 1:200.000". *Servicio Geológico Nacional*, Boletín N.º 92, 104 pp.
- Furque, G., 1979. "Descripción geológica de la Hoja 18 c, Jáchal (Provincia de San Juan)". *Servicio Geológico Nacional*, Boletín N.º 164.
- Furque, G. y A. Cuerda, 1979. "Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza". En: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. 1: 455-522.
- Grammer G. M., J. Schulz, D. Barnes, R. Gillespie, W. B. Harrison, and J. E. Thornton, 2010. "Stratigraphic Control on the Lateral Distribution of Hydrothermal Dolomites away from Major Fault Zones". Adapted from an oral presentation at *AAPG Annual Convention and Exhibition*, New Orleans, Louisiana, USA.
- Hammar M. V., A. L. Banchig, N. Mendoza y G. Vallecito, 2008. "Evidencias de una zona extensional (Cuenca de retroarco) durante el Mioceno Medio, Precordillera central, Jáchal, San Juan". *XVII.° Congreso Geológico Argentino*, Jujuy. Actas 119-120.
- Heredia N., P. Farías, J. García Sansegundo y L. Giambagi, 2011. "Evolución geodinámica de la Cordillera Frontal de los Andes (30°-33° s) y su entorno durante el Paleozoico tardío". *XVIII.° Congreso Geológico Argentino*, Neuquén. Actas CD-ROM.
- Jordan, T. E., R. W. Allmendinger, J. F. Damanti and R. Drake, 1993a. "Chronology of motion in a complete thrust belt: the Precordillera, 30-31°S", *Andes Mountains: Journal of Geology*, v. 101(2), p. 135-156.
- Jordan, T., R. Drake y C. Naeser, 1993b. "Estratigrafía del Cenozoico Medio en la Precordillera a la latitud del Río Jáchal, San Juan, Argentina". *XII.° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, 2: 132-141.
- Keller, M., F. Cañas, O. Lehnert y N. Vaccari, 1994. "The Upper Cambrian and Lower Ordovician of the Precordillera (Western Argentina): Some stratigraphic reconsideration". *Newsletters on Stratigraphy*, 31:115-32.
- Limarino, C. O., L. Net, P. Gutiérrez, V. Barreda, A. Caselli, y S. Ballent, 2000. "Definición litoestratigráfica de la Formación Ciénaga del Río Huaco (Cretácico Superior), Precordillera Central, San Juan, Argentina". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55 (1-2): 83-99.
- Limarino, C. O., L. Fauquén, R. Cardó, M. Gagliardo, y L. Escoteguy, 2002. "La faja volcánica miocena de la Precordillera septentrional". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59: 289-304.
- López Gamundí, O. R., L. Álvarez, R. Andreis, I. Espejo, F. Fernández Seveso, D. Kokogián, L. Legarreta, C. Limarino y H. Sessarego, 1987. "Cuencas Intermontanas (Intermontane basins). En: G. Chebli y L. Spalletti (editores), "Cuencas Sedimentarias, Simposio Cuencas Sedimentarias Argentinas", X.° Congreso Geológico Argentino, Tucumán. 123-267.
- Luczaj J. A., W. B. Harrison III, and N. Smith Williams, 2006. "Fractured hydrothermal dolomite reservoirs in the Devonian Dundee Formation of the central Michigan Basin". *AAPG Bulletin*, v. 90, no. 11, pp.1787-1801.
- Martínez A., L. Giambagi, D. Codega y D. Aguilera, 2011. "El magmatismo gondwánico extensional Pérmico Medio a Triásico Medio entre los 32° y 34° LS, Argentina". *XVIII.° Congreso Geológico Argentino*, Neuquén. Actas CD-ROM.
- Mestre, A., G. Nestell, S. Heredia y M. González, 2008. "Primeros foraminíferos de la Formación San Juan (Darriwiliano), Precordillera Central". *XVII.° Congreso Geológico Argentino*, Jujuy. Actas CDROM.
- Milana, J. P., F. Bercowsky y T. Jordan, 2003. "Sedimentología y magnetoestratigrafía del neógeno de la Sierra de Mogna y su relación con la cuenca de antepaís andino". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58: 447-473.
- Oil M&S S.A., 2006-2011. Informes inéditos del Proyecto Exploratorio Áreas Jáchal y Niquivil, Provincia de San Juan, Argentina.
- Padula, E., E. Roller, A. Mingram, P. Criado Roque, M. Flores y B. Baldis, 1967. "Devonian of Argentina". *International Symposium on the Devonian System*, Proceeding, 2. Calgary, Canadá.
- Peralta S. H., 2011. "Facies changes in the Silurian of Precordillera: tectosedimentary and paleogeographic significance". *XVIII.° Congreso Geológico Argentino*, Neuquén. Actas CD-ROM.
- Pérez, M. A., F. Fernández Seveso, L. A. Álvarez e I. E. Brissón, 1991. "Análisis ambiental y estratigráfico del Paleozoico Superior en el área anticlinal de Huaco, San Juan, Argentina". *X.° Congrès International de la Stratigraphie et géologie du Carbonifère et Permien*, (Buenos Aires). *Comptes Rendus*, 2: 297-318.

- Pérez M. A., D. Graneros, V. Bagur Del-piano, M. Lauría y K. Breier, 2011. "Exploración de frontera: del modelo superficial a la perforación profunda. Áreas exploratorias Jáchaly Niquivil en la Precordillera de San Juan, Argentina".
- Ramos, V. A., 1988. *Tectonics of the Late Proterozoic-Early Paleozoic a collisional history of southern South America*. Episodes, 11 (3): 168-174.
- Ramos, V. A., 1999. *Rasgos estructurales del territorio argentino. Evolución tectónica de la argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales*. Buenos Aires. Geología Argentina. Capítulo 24. Anales 29 (24): 715-784.
- Ramos V. A. y L. Dalla Salda, 2011. Occidentalía: "¿Un terreno acrecionado sobre el margen gondwánico?". XVIII.º Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén. Actas CD-ROM.
- Ramos, V. A., T. Jordan, R. Allmendinger, S. Kay, J. M. Cortés, y M. Palma, 1984. "Chilenia: un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes Centrales". IX.º Congreso Geológico Argentino. S.C. Bariloche: Actas II: 84-106.
- Ramos, V. A., Vujovich, G. I. y Dallmeyer, R.D., 1996. "Los klippe y ventanas tectónicas de la estructura preándica de la Sierra de Pie de Palo (San Juan): edad e implicaciones tectónicas". XIII.º Congreso Geológico Argentino y 3.º Congreso Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 377-392.
- Rolleri, E. y B. Baldis, 1967. "Paleogeography and distribution of Carboniferous deposits in the Argentine Precordillera". I.º Simposio Internacional de Estratigrafía y Paleontología del Gondwana (Mar del Plata), Anales: 1005-1024.
- Rustán J. J. y N. E. Vaccari, 2010. "Trilobites de la Formación Punta Negra (Devónico Medio) en la sección de Loma de los Piojos (Precordillera de San Juan, Argentina): nuevos elementos para la datación y correlación de los 'estratos postdevónicos' de Keidel". X.º Congreso Argentino y VII.º Congreso Latinoamericano de Paleontología.
- Salifty, L., S. Gorustovich, y M. Moya, 1984. "Las fases diastróficas en los Andes del Norte Argentino". Intern. Simp. Central-Andean, Tectonics and Relations with Natural Resources. Academia Nacional de Ciencias, Bolivia.
- Smith L. B., 2006. "Origin and reservoir characteristics of Upper Ordovician Trenton-Black River hydrothermal dolomite reservoirs in New York". AAPG Bulletin, V. 90, No. 11, P. 1691-1718.
- Tankard, A. J., M. A. Uliana, H. J. Welsink, V. A. Ramos, M. Turic, A. B. França, E. J. Milani, B. B. de Britos Neves, N. Eyles, J. Skarmeta, H. Santa Ana, et ál., 1995. "Tectonic controls of basin evolution in southwestern Gondwana", in A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, *Petroleum basins of South America*: AAPG Memoir 62, p. 5-52.
- Tedesco, A. M., C. Limarino y P. L. Ciccioli, 2007. "Primera edad radimétrica de los depósitos cretácicos de la Precordillera Central". Revista de la Asociación Geológica Argentina. v.62 Nº 3. Buenos Aires.
- Thomas, W. and R. A. Astini, 1996. *The Argentine Precordillera: a traveller from the Ouachita embayment of North America Laurentia*. Science, 273:752-757.
- Tibaldi A. M., J. E. Otamendi, E. A. Cristofolini, I. Baliani, G. I. Vujovich y R. D. Martino, 2011. "Reconstrucción de la estructura térmica y física del Arco Famatiniano expuesto en la Sierra de Valle Fértil, San Juan, a través de estimaciones termobarométricas". XVIII.º Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Actas CD-ROM.
- Tortello, M. F. y S. H. Peralta, 2004. "Trilobites del miembro inferior de la Formación Gualcamayo (Llanvirniano temprano) en el cerro La Chilca, Precordillera de San Juan, Argentina". Boletín Geológico y Minero, 115 (4): 665-682.
- Vallecito, G. y L., León, 2008. "Reconsideración de la estratigrafía de la Formación San Juan (Ordovícico) en el anticlinal de Huaco". XVII.º Congreso Geológico Argentino. Jujuy. Actas CD-ROM.
- Voldman G. G., G. L. Albanesi, G. Ortega, A. L. Banchig y V. A. Ramos, 2008. "Los depósitos de talud ordovícicos de la Precordillera: bioestratigrafía, metamorfismo e implicancias geotectónicas". Actas del XVII.º Congreso Geológico Argentino Jujuy. Actas CD-ROM.
- Voldman G. G., V. A. Ramos y G. L. Albanesi, 2011. "Magmatismo de rift Ordovícico de Cuyania: ¿Obducción de ofiolitas o extensión post-colisional?". XVIII.º Congreso Geológico Argentino. Neuquén. Actas CD-ROM.
- Volkheimer, W., 1962. "Nuevos hallazgos del Paleozoico marino en la Precordillera de San Juan". Revista de la Asociación Geológica Argentina, 17 (1-2): 97-104.
- Von Gosen W., 1997. "Early Paleozoic and Andean structural evolution in the Rio Jáchal section of the Argentine Precordillera". Journal of South American Earth Sciences. Volume 10, Issues 5, 361-388.
- Zambrano, J., A. Sánchez y M. B. Hernández, 1996. "Aspectos estratigráficos y estructurales del sector Gualcamayo-Guandacol, (provincias de La Rioja y San Juan-Argentina), relacionados con la exploración minera metalífera". XIII.º Congreso Geológico Argentino y III.º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 1: 531-540.
- Zapata, T. R. and R. W. Allmendinger, 1996. "The thrust front zone of the Precordillera, Argentina: a Thick-skinned triangle zone". American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 80(3), p. 359-381.