

10º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos
Sesiones Generales: "Energía y Sociedad, aliados inseparables"

POTENCIAL HIDROCARBURÍFERO EN LOS VALLES DE FIAMBALÁ Y CHASCHUIL, PROVINCIA DE CATAMARCA: BASE EXPLORATORIA ACTUAL

Miguel Ángel Pérez¹, Osvaldo Caccaglio², Federico David Carini¹, Leonel Wainstein²,

Leonel Jesús Rosales¹, Grony Garbán², Pablo Kokot²

1: MAPaS Consultora Geológica, miguelp@artemap.com.ar, federicoc@artemap.com.ar, leonelr@artemap.com.ar

2: DTP Laboratorios, ocaccaglio@dtplaboratorios.com, leonel.wainstein@dtplaboratorios.com,

ggarban@dtplaboratorios.com, pkokot@dtplaboratorios.com

Palabras clave: Cuenca de Paganzo, Exploración de frontera, Pérmico superior, Catamarca

ABSTRACT

Hydrocarbons potential from the Fiambalá and Chaschuil valleys, Catamarca province, Argentina: Exploratory framework

Fiambalá and Chaschuil valleys are located in the SW of the Catamarca province, Argentina, in a geological context in which several regional systems converge. In terms of hydrocarbons exploration, this is a new frontier basin, with very little background. There are no seismic records or exploratory wells in these areas. The generating potential is in a siliceous interval with oil stains and shows, belonging to the Upper Permian record of the Paganzo Basin. The basement of the basin would be formed by igneous and metamorphic rocks from the Precambrian to Lower Paleozoic.

Over the basement fluvio-lacustrine deposits of Upper Carboniferous age are developed, followed by continental red layers of the Lower and Upper Permian. These sequences mainly consist of ephemeral fluvial-alluvial, aeolian and saline to hypersaline lacustrine deposits. These last sedimentary facies are of interest as potential source rocks by incorporating elements of marine affinity in the top sequences. The Permian deposits are overlaid by sediments of unknown age (Cretaceous?). A thick package of Tertiary sediments, Neogene in age, formed by fluvial-alluvial deposits related to the development of the Andean Orogeny lies discordant in turn. The regional structure is mainly associated to the development of a thick-skin fold and thrust belt with eastern vergence, with buttress in the crystalline basement massifs of the Sierras Pampeanas Noroccidentales.

Hydrocarbon exploratory information comes from surface studies consisting of geological and geochemical surveys and detailed sampling; stratigraphic and structural geological mapping, stratigraphic detailed profiles in the column of interest, and mapping on a structural line, representative of the regional deformation of the basin. Samples taken from rocks and oil from outcrops, allowed to make estimations for oleogenetic potential and obtain curves for chemostratigraphic studies in the interval of interest. Surveys of Microbial and Gas prospection allowed to know the existence of thermogenic gases and butanotrophic microbes in soils, which would allow inferring the existence of a potential source rock in the subsoil. With the existing surface information, an initial 1D modeling of generation, migration and entrapment conditions was performed. The oil exploratory potential of the area regarding the potential organic content and its distribution, and the generating capacity of the Permian rocks, were evaluated in relation to the possible structural configuration of the deep subsurface.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta una síntesis de los resultados obtenidos de estudios geológicos y geoquímicos en los valles de Fiambalá y Chaschuil (Provincia de Catamarca), en relación, principalmente, al desarrollo de la Cuenca Neopaleozoica de Paganzo en su sector Norte.

A partir de la experiencia directa de los autores y de escasos datos publicados, es conocido que existen en el sector intervalos pelíticos que demostraron poseer potencial oleogenético en los análisis de laboratorio, asociados además a rastros de petróleo seco y asfáltico en afloramientos.

Se relevaron y recopilaron datos geológicos y de geoquímica de rocas, en la zona serrana circundante, y se realizaron muestreos para análisis geoquímicos y microbianos de suelos por medio de transectas sobre una parte de ambos bolsones.

Objetivos:

El objetivo básico es dar a conocer el estado actual del conocimiento y primeras interpretaciones para un Área exploratoria de frontera, No tradicional, Continental, y estimar o proponer acciones futuras.

Antecedentes exploratorios

Entre los años 1984 y 1992, YPF encaró, con la Comisión Geológica N° 3 con asiento en la Ciudad de Mendoza, la exploración detallada de los depósitos carboníferos y pérmicos de la Cuenca de Paganzo, y triásicos de la Cuenca de Ischigualasto – Villa Unión, con lo cual se cubrió una buena parte de la geología del Cetro-Oeste argentino. Los estudios y muestreos permitieron evaluar el potencial oleogenético de los intervalos pelíticos y calcáreos del Carbonífero, el Pérmico, y el Triásico, y obtener datos de la capacidad de roca reservorio que se puede esperar en estos intervalos estratigráficos.

En depósitos lacustre-someros a marinos del Pérmico superior, en la porción Norte de la Cuenca de Paganzo, se hallaron intervalos de pelitas silicificadas con buenas condiciones oleogenéticas y con rastros de petróleo seco en algunos cuerpos ígneos de intrusivos asociados a los afloramientos. Los trabajos de detalle por parte de YPF permitieron delimitar un sector de interés exploratorio que fue incorporado al plan exploratorio nacional como Área de Reconocimiento Superficial Ya-GS-LR Cat 4/89, a la cual se abocó la compañía en el período 1989-92. Los resultados de los trabajos fueron volcados en un informe técnico inédito. Trabajos de carácter geológico integrador que aportaron a la formación, desarrollo y evolución de la Cuenca de Paganzo fueron publicados por Fernández Seveso *et al.* (1993), Pérez *et al.* (1993), y Fernández Seveso y Tankard (1995), principalmente. Una parte de los resultados analíticos fueron publicados en un trabajo de Destéfano y De Castelli (1992).

Las publicaciones geológicas disponibles dedicadas al sector en estudio son relativamente escasas y de aplicación fragmentaria antes que regional e integradora. La información publicada resulta también desactualizada para los fines exploratorios. Las cartas geológicas relevadas y publicadas por el Servicio Geológico Nacional, que cubren buena parte del territorio en estudio y otros trabajos de carácter local y regional fueron también consultados.

En la zona no existen datos de registros sísmicos, ni pozos exploratorios de hidrocarburos que brinden información directa o indirecta del subsuelo.

Trabajos realizados

Las tareas de exploración geológica de superficie, consistieron en el relevamiento de puntos de control, mapeo y reconocimiento de estructuras y unidades estratigráficas mayores, dentro de los depósitos de la Cuenca de Paganzo, y muestreo de las secuencias del Pérmico Superior, principalmente en los intervalos pelíticos lacustres. Se visitaron y muestrearon puntos de control y se midió un perfil de detalle en el intervalo estratigráfico de interés, en un sector donde la columna no se halla afectada directamente por intrusivos, en el que además de la descripción sedimentológica estratigráfica se realizó muestreo sistemático para estudios de quimioestratigrafía y potencial oleogenético.

Se realizó un estudio de Geoquímica de superficie que consistió en la extracción de muestras para determinación de microbios butanotróficos y gases adsorbidos en suelo. (DTP Laboratorios 2012). Esta primera etapa de estudios posee carácter expeditivo, con muestreo acotado a los sectores considerados inicialmente como de interés exploratorio (zona del Valle de Fiambalá principalmente, y en el Sector Medio del de Chaschuil). El muestreo se realizó de modo lineal sobre transectas distribuidas de acuerdo a la disponibilidad de accesos (Fig. 1), siguiendo principalmente las trazas de las rutas provinciales 34 y 45. En cada uno de los puntos de muestreo, equidistantes 1000 m (promedio) entre sí, se tomó una muestra para análisis microbiológicos y una para gases adsorbidos del suelo. En total se analizaron 322 muestras de las cuales 161 corresponden a análisis microbiológicos y 161 para gases adsorbidos.

El análisis de las muestras y el procesamiento de los resultados de laboratorio permite determinar la presencia y ubicación de anomalías geoquímicas de superficie, la diferenciación entre gases de origen termogénico y biogénico, estimar la composición de los hidrocarburos migrados y su madurez térmica, e identificar áreas que requieran una evaluación adicional de geología, geofísica o geoquímica. Se confeccionaron transectas de anomalías en microbios y gases para contrastar con los resultados estratigráficos y estructurales.

Con la información de campo y laboratorio, además, se elaboró un corte estructural de escala regional y se ensayó un modelado oleogenético. Se recopilaron datos de diversas fuentes para completar el análisis.

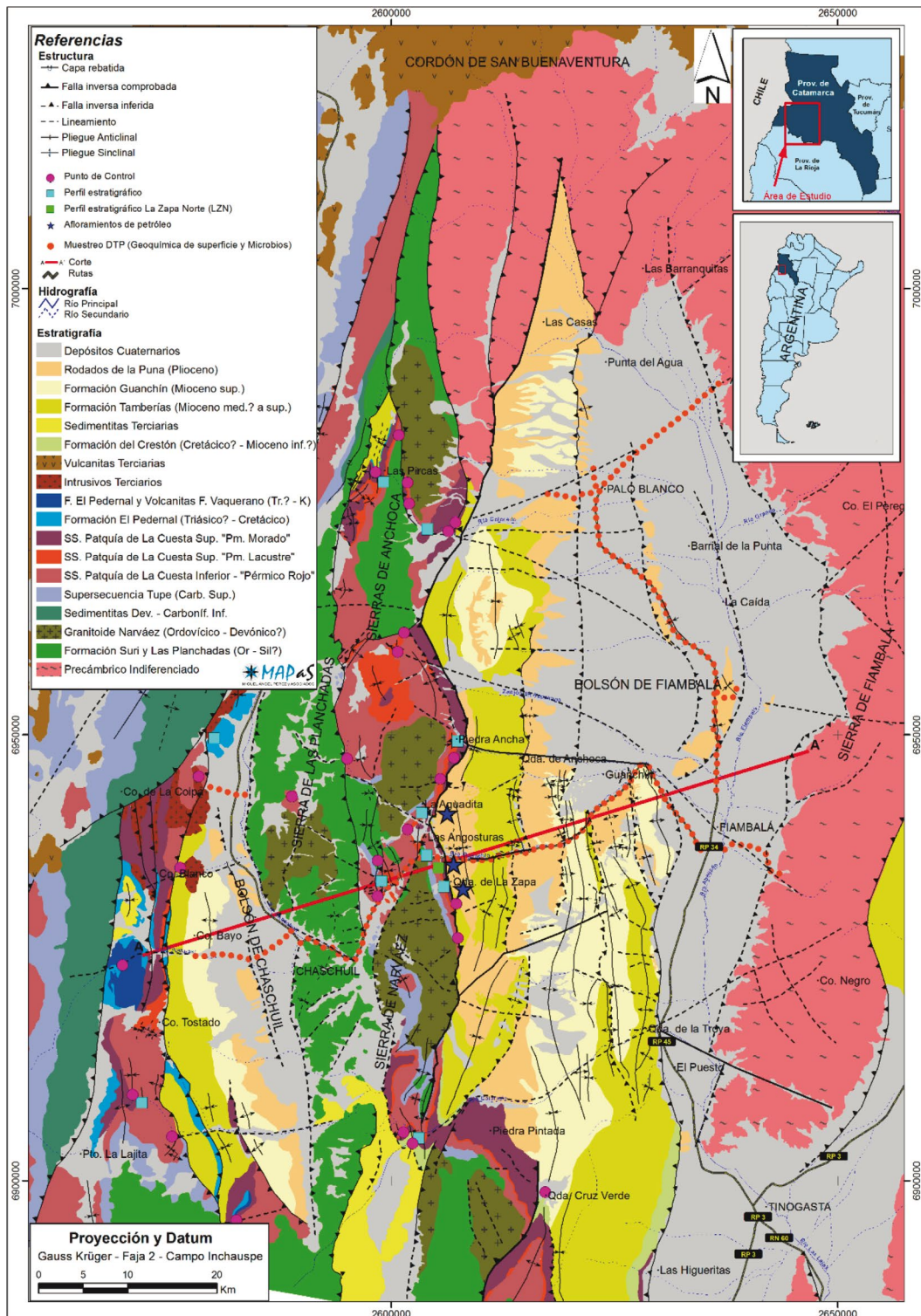


Figura 1. Mapa geológico del sector con ubicación de puntos de control principales, perfiles estratigráficos, estaciones de muestreo de gases y microbios en suelo, afloramientos de petróleo, y traza del corte estructural.

MARCO GEOLÓGICO

Geología regional

El área de estudio (Fig. 1), se encuentra emplazada en el extremo Norte del Sistema de Famatina (Valle de Fiambalá), y parte de la Puna Meridional (Valle de Chaschuil). Desde el punto de vista geotectónico presenta una gran complejidad, ya que en este sector convergen varios ámbitos o provincias geológicas con características estructurales y estratigráficas propias, y límites difusos para los cuales existen diferentes criterios de división. La Sierra de Fiambalá forma parte las Sierras Pampeanas Noroccidentales, caracterizadas por un complejo ígneo-metamórfico de edad precámbrica. El cordón meridional formado por las Sierras de Narváez y Las Planchadas-Anchoca, corresponde a las estribaciones septentrionales del Sistema de Famatina. Hacia el Norte el Cordón de San Buenaventura establece el límite natural entre estas provincias geológicas y el ámbito de la Puna Austral propiamente dicha, ámbito en el que también ingresan los estratos de interés analizados. Al Oeste del Valle de Chaschuil se discute la continuidad de Precordillera o Cordillera Frontal, mientras al Norte del mismo se desarrolla el ámbito puneño.

Sobre este sustrato complejo se estableció para el sector, luego de la deformación de la Orogenia Chánica durante el Devónico superior (Turner y Méndez 1975), el ámbito de sedimentación de la Cuenca de Paganzo (Carbonífero-Pérmico). En discordancia sobre los depósitos neopaleozoicos se halla la columna de sedimentos del Mesozoico y Cenozoico. Estos últimos conforman potentes paquetes de estratos continentales orogénicos y vulcanitas, como respuesta a la deformación andina iniciada en el Mioceno.

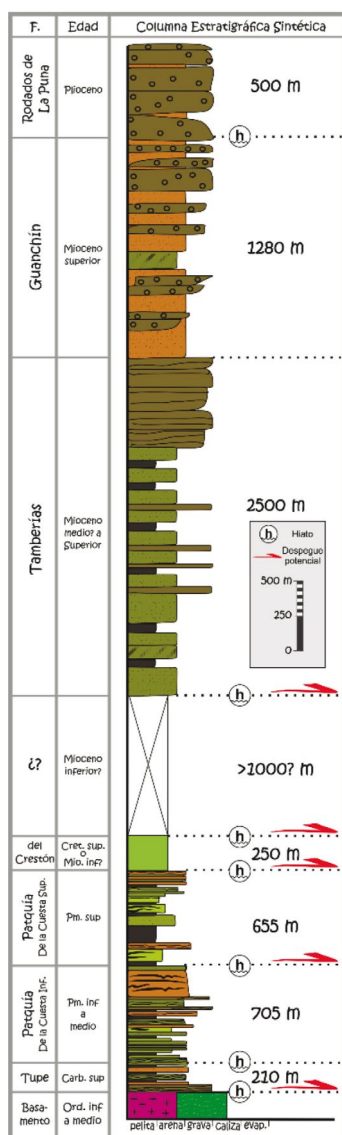
La interacción entre los esfuerzos tectónicos compresivos recientes desde el Oeste, y las estructuras paleozoicas heredadas, favoreció el desarrollo de valles tectónicos longitudinales con dirección Norte-Sur, que muestran su vez el efecto de una dinámica transversal oblicua transcurrente sobreimpuesta, con rumbo aproximadamente Noroeste-Sudeste a Oeste-Este que controló la integración entre las diferentes cuencas endorreicas preexistentes y el desarrollo del vulcanismo moderno. Allmendinger (1986), relaciona esta dinámica evolutiva terciaria al cambio de inclinación de la placa subductada de Nazca, que a estas latitudes varía de un segmento de subducción subhorizontal al Sur, a otro de mayor inclinación al Norte. A su vez son abundantes las evidencias regionales de fenómenos de delaminación miocena de la corteza bajo el Plateau de La Puna Austral (Kay y Kay 1993), que habría producido, entre otros fenómenos, importantes cambios en el volumen y tipo de magmatismo y variaciones en las tasas de exhumación.

Geología del sector evaluado

La región del Suroeste catamarqueño donde se emplazan los valles de Fiambalá y Chaschuil está conformada por diferentes entidades geológicas regionales que representan la evolución de

terrenos adosados al margen continental de Gondwana en el Paleozoico inferior y el consecuente desarrollo de ese margen activo a través del Paleozoico superior, Mesozoico y Cenozoico.

En el Oeste del área de estudio afloran rocas del basamento Paleozoico inferior, cubiertas en discordancia por el relleno Neopaleozoico y Mesozoico, con abundantes intrusivos de edad Terciaria. El sector de alta cordillera al Oeste del Río Chaschuil, posee unidades sedimentarias ausentes en el lineamiento aflorado al Oeste del valle de Fiambalá. La evolución de las cuencas parece ser de carácter multihistórico, y complicado a la luz de los conocimientos actuales. La expresión del arco volcánico terciario-cuaternario da un rasgo destacable a la morfología de la zona Noroccidental, donde los cerros volcánicos alcanzan alturas que superan los 6000 metros de altura sobre el nivel del mar. El volcanismo Neógeno presenta en líneas generales características afines a un magmatismo de arco. Con interrupciones, el volcanismo fue activo en la región desde el Mioceno, reconociéndose lavas y cuerpos volcánicos del Mioceno inferior y superior, Plioceno y Cuaternario (Pereyra y Rubiolo 1999).



El Valle de Chaschuil es una cuenca intermontana delgada, elongada meridionalmente, que se extiende desde aproximadamente el Río Tamberías (Sur del área de estudio) hasta desaparecer al pie de la Cordillera de San Buenaventura (Puna Austral). Si bien no existen datos geofísicos ni estudios estructurales de detalle que permitan conocer el subsuelo del bolsón, su disposición espacial se puede vincular a marcados lineamientos de alcance regional presumiblemente relacionados a una estructuración heredada pre-terciaria. El margen oriental del valle queda delimitado, sin relaciones estructurales claras, por la acción de retrocorrimientos pasivos de las Sierras de Las Planchadas y Narvárez-Anchoa. (Fig. 1). En estas Sierras afloran rocas de bajo grado metamórfico correspondientes al Complejo volcánico- sedimentario Suri-Las Planchadas (Coira *et al.* 2014), e intrusivos granodioríticos (Rubiolo *et al.* 2001), representantes del arco volcánico ordovícico del Sistema de Famatina (Coira *et al.* 2014) (Fig. 2). En discordancia se asientan unidades Neopaleozoicas, Mesozoicas y Neógenas. El frente de levantamiento principal de las sierras tiene lugar en su borde oriental, donde un corrimiento regional buzante con alto ángulo hacia el Oeste, monta a las unidades sinorogénicas del Mioceno y Plioceno del subsuelo del Valle de Fiambalá.

Figura 2. Columna estratigráfica sintética del área, principales hiatos sedimentarios (h) y niveles potenciales de despegue tectónico.

En el yaciente oriental tiene lugar una faja meridiana de sedimentitas terciarias estructuradas que corresponden al relleno sinorogénico de una típica cuenca de antepaís fragmentado (Dávila y Carter 2013). Afloran términos del Mioceno superior a Plioceno aunque, en base a evidencias indirectas de estudios regionales (Dávila 2010), se presume la existencia de un importante paquete sedimentario no aflorado del Mioceno inferior. Su estructuración muestra una vergencia principalmente oriental, de fajas falladas, plegadas y transportadas que responden al empuje activo desde el Oeste. Este sector representa una zona de interés exploratorio a la luz de los conocimientos estratigráficos y geoquímicos actuales. La deformación involucraría al Paleozoico superior, infrayacente al relleno de antepaís andino, que conjuntamente con las discordancias plegadas interterciarias podrían configurar situaciones de interés prospectivo. El interés exploratorio se hace extensivo al Valle de Fiambalá, ubicado inmediatamente al Este, y del que poco se conoce del subsuelo por carecer de estudios geofísicos o de perforaciones, pero para el cual las observaciones regionales y el modelado estructural inicial permiten interpretar la existencia de una columna en parte similar a la aflorante en las Sierras de Las Planchadas – Narvárez - Anchoca, con rocas del Paleozoico superior cubiertas en discordancia por unidades mesozoicas (?), y por el relleno de la Cuenca de Antepaís Terciaria. El valle posee elongación Norte –Sur y los únicos afloramientos pre-cuaternarios dentro de sus límites se restringen al cordón de “Los Cerrillos”, que se compone de asomos poco continuos, alineados submeridionalmente y con diseño convexo hacia el Este, de la Formación Rodados de La Puna (Plioceno), que tienen lugar en el eje central del Valle desde las inmediaciones de La Ramadita hasta Palo Blanco (Fig. 1).

En el extremo Oriental del área de estudio se halla el complejo ígneo-metamórfico Precámbrico - Paleozoico de las Sierras de Fiambalá, Zapata y Vinquis, que forman parte de las Sierras Pampeanas Noroccidentales. Estos bloques de basamento comparten el estilo estructural típico de Sierras Pampeanas, con desarrollo de corrimientos profundos de alto ángulo y vergencia Occidental, en contraposición a la vergencia andina Oriental (Figs 1 y 2).

Cuenca Neopaleozoica

Las rocas del Paleozoico superior comprenden el intervalo Carbonífero superior - Pérmico superior, que forma parte del relleno de la Cuenca de Paganzo. (Fernández Seveso *et al.* 1993) (Figs 1 y 2). El sustrato sobre el cual se asienta la Cuenca Neopaleozoica de Paganzo es considerado el basamento técnico exploratorio. A posteriori de los eventos compresivos de la Orogenia Chánica (Turner y Méndez 1975), en el Devónico superior, se generaron las condiciones para el desarrollo de depocentros en los cuales se inició la depositación durante el Carbonífero (Ramos *et al.* 1984, Astini 1996, Pérez *et al.* 2011).

En la zona de los bolsones analizados la sedimentación neopaleozoica se habría iniciado en depresiones en terrenos de edades Precámbrico, Cámbrico, Ordovícico, y Devónico, sobre los

que se instalaron cuerpos lacustres a los que traslaparon luego espesos sistemas terrígenos fluvio-aluviales, eólicos y lacustre-efímeros (Fig. 2).

El Carbonífero superior se halla representado por depósitos sedimentarios originados en paleoambientes muy variados. En el sector del borde occidental del Bolsón de Fiambalá (Fig. 1), posee facies de abanico aluvial húmedo que apoyan sobre cuerpos ígneos intrusivos (Ordovícico temprano?), y mantienen un claro dominio aluvial (al menos para los registros que se encuentran desde la localidad de Qda. de la Zapa al Norte), con un patrón de dispersión de sedimentos tendiente al Este. Hacia el Oeste de la vertiente oriental de la Sierra de Narváez, en la localidad Mina La Laja, el registro sedimentario se torna de neto dominio lacustre profundo, con facies aluviales finas que yacen discordantes sobre estratos ordovícicos de la Formación Suri. Estos depósitos, aflorados en la serranía que separa los bolsones de Chaschuil y Fiambalá, difieren en sus características genéticas y facies de sus correlativos del sector Oeste de la cuenca, de claro dominio marino en su origen y mayor espesor acumulado. Esta cadena meridional de afloramientos es correlacionable desde el sector Sur de Precordillera, donde fue estudiado sobre perfiles con buen contenido fosilífero; y marca a grandes rasgos la zona costera de la paleogeografía carbonífera.

En el área de estudios los depósitos del Carbonífero superior se adjudican formalmente a la Formación Agua Colorada (Turner 1967), equivalentes al Piso I de los “Estratos de Paganzo” de Bodenbender. Analizados desde el punto de vista secuencial en múltiples afloramientos de los ámbitos Oriental y Occidental de la Cuenca de Paganzo, por Fernández Seveso *et al.* (op. cit.), fueron tratados dentro de la Unidad Cronoestratigráfica Tupe. (Figs 2 y 3).

Así como el carácter parálisis de la sedimentación carbonífera dota a su registro de gran variedad ambiental dentro del área a la vez que pone de manifiesto lo irregular de la paleogeografía y la evolución de la cuenca de Paganzo para este período, la sedimentación pérmica es el reflejo de un comportamiento expansivo y somerizante del relieve depositacional. Los depósitos, de notable espesor estratigráfico y magníficamente expuestos en muchos afloramientos de la región, registran las importantes variaciones climáticas globales reconocidas para el Carbonífero-Pérmico en otras cuencas del mundo.

Los depósitos del Pérmico consisten de un imponente desarrollo de “capas rojas” de variado origen, que en la evolución de la cuenca cubren sucesivamente nuevos sectores depositacionales. Se trata de paleoambientes continentales, y en mucha menor medida marinos, y en su mayor parte oxidantes. Esta ampliación generalizada del esquema de distribución de sedimentos se observa en todos los ámbitos de la Cuenca de Paganzo y es una de las características sobresalientes de su carácter evolutivo.

Los depósitos correspondientes al Pérmico Inferior se hallan distribuidos en la zona central y occidental del área considerada aquí, con notable persistencia areal de sistemas sedimentarios compuestos de facies aluviales de barreal, de fluviales efímeros, areniscas de grandes campos eólicos, y de finos piroclásticos tobáceos, entre otras. En el ámbito de Precordillera Central riojana, al

Suroeste del área se han reconocido elementos marinos en la supersecuencia media. Esta fracción del registro Pérmico es equivalente a la denominada Formación Patquía en la porción Centro-Sur de la cuenca. Turner (1967), la llamó en esta zona Formación de la Cuesta. En el presente informe se la trata como Conjunto de Supersecuencias Patquía-de la Cuesta Inferior, dentro de la Unidad Cronoestratigráfica Patquía de la Cuesta (Fernández Seveso *et al.* 1993).

Los depósitos del Pérmico Superior suprayacentes se hallan más restringidos en su distribución geográfica actual. Si bien están dominados por paleoambientes continentales, se han reconocido facies sedimentarias con influencia marina en el Oeste, y aquí en el extremo Norte del sector en estudio. Las secuencias de origen lacustre estudiadas en detalle para este sector del Oeste catamarqueño por su contenido de materia orgánica, afloran en el faldeo occidental del Valle de Fiambalá y sobre la Sa. de Anchoca, en cordones que se extienden hacia el Norte para perderse bajo los aparatos volcánicos de la Puna Austral. Estos depósitos son descriptos con detalle estratigráfico en los párrafos que siguen, en los cuales se da cuenta de sus rasgos paleoambientales y su comportamiento secuencial. En la evaluación a escala de cuenca de Fernández Seveso *et al.*(1993), y Fernández Seveso y Tankard (1995), los depósitos del Pérmico superior fueron analizados bajo la denominación de Conjunto de Supersecuencias Patquía-de la Cuesta Superior. Los intervalos lacustres de interés oleogenético en particular corresponden a la parte baja de la primer Supersecuencia del conjunto (PDS1).

Cuenca Mesozoica

Una de las características sobresalientes del sector de trabajo es la ausencia relativa de estratos de edad mesozoica confirmada. En esta parte del Oeste catamarqueño no se observan las secuencias continentales triásicas de rift, ni depósitos del intervalo Jurásico – Cretácico inferior (Figs 1 y 2). Existen unidades sedimentarias que podrían corresponder al Mesozoico en edad, de acuerdo al esquema estratigráfico realizado en sectores aledaños ubicados al Sur, donde han sido reconocidos rasgos sedimentarios y hallados elementos fósiles que probarían su edad Cretácico superior (Pérez *et al.* 1993). En las serranías del Valle de Fiambalá se reconocen al menos dos unidades geológicas sedimentarias y vulcanogénicas, en discordancia sobre los estratos del Pérmico superior, que podrían asignarse a esa edad, hasta tanto sean hallados elementos de datación directa (Zurbriggen 1993, Bayer 1994). En los afloramientos del borde occidental del Bolsón de Chaschuil y en localidades ubicadas al Sur del mismo, se reconocieron algunas decenas de metros de sedimentos que incluyen gruesos bancos carbonáticos organogénicos y otras rocas calcáreas y calcarenosas todas muy diagenizadas, cuyo estudio detallado en laboratorio reveló un ambiente de origen continental (o marino restringido?). Su contenido fosilífero por asociación estratigráfica-ambiental fue asignado al Triásico? con muchas reservas.

Las unidades estratigráficas asignadas al Mesozoico; la F. El Pedernal y las vulcanitas Vaquerano

(Rubiolo *et al.* 2001), en el Oeste y Norte del sector de interés, no poseen elementos que faciliten su datación. En los afloramientos del Valle de Fiambalá, un paquete arenoso de origen continental (Formación del Crestón), que yace en discordancia sobre los estratos del Pérmico superior podría tener correlación con depósitos del Cretácico alto, reconocidos al Sur de la región, aunque existen correlaciones que desde el Sistema de Famatina lo atribuyen al Mioceno Inferior.(Dávila 2010).

Cuenca Terciaria

La tectónica de la Orogenia Andina ha generado relieves y espacios de depositación para la formación de cuencas Terciarias y Cuaternarias, del tipo “Foreland” y “Piggyback” principalmente, con registro sedimentario muy extendido en el Centro Oeste argentino.

Tanto en el Valle de Fiambalá como en el de Chaschuil se observan afloramientos de los depósitos Terciarios, muy espesos y estructurados, que hunden acompañando a los estratos más antiguos hacia las zonas deprimidas del relieve, siempre desde el borde occidental aflorado (Fig. 1).

La espesa columna estratigráfica terciaria aflora al Sur del Valle de Fiambalá a través de la Ruta Nacional N° 60. Los depósitos orogénicos, en los que se reconoce una buena variedad de facies sedimentarias asociadas a paleoambientes aluviales y eólicos, con litologías conglomerádicas y arenosas con fracciones pelíticas subordinadas, representan los denominados terrenos Calchaquense (Bodenbender 1912), y Araucanense (Doering 1882), reconocidos y mapeados por Turner (1967), como Formaciones Tambería y Guanchín, respectivamente (Figs. 1 y 2). En la Quebrada de La Troya la primera de estas unidades alcanza un espesor de 2800, mientras que la segunda de ellas presenta 960 m de espesor (Bayer 1994).

Asociados a la estructuración final de esta región se hallan elementos ígneos de fase intrusiva y volcánica, conocidos como “Complejo Volcánico” o Serie Andesítica” (González Bonorino 1950). Este evento magmático se suele ubicar entre el Calchaquense y el Araucanense. La unidad Patquía - De la Cuesta está intruida por filones capa de edad Cretácico-Terciario, que en sus contactos con la roca de caja presentan brechamientos. Estos cuerpos efectuaron un aporte térmico que habría provocado el incremento localizado en la madurez de los niveles aflorados con buenos contenidos orgánicos (Destéfano y Decastelli 1992).

Sobre los depósitos terciarios estructurados se hallan los conglomerados gruesos, de espesor variable, de clastos y bloques, genéricamente denominados Rodados de la Puna (Penk 1920), que equivalen o engloban a varias formaciones del Plio-Pleistoceno de la región.

Estructura

La configuración estructural regional actual responde a una faja plegada y corrida de tipo “piel gruesa” a la que se superimpuso el vulcanismo de arco del Cenozoico (Pereyra y Rubiolo

1999). Esta deformación, producto de los empujes de la Orogenia Andina hacia el contrafuerte Pampeano, representado aquí por las sierras de Fiambalá, Zapata y Vinkuis al Este del Valle de Fiambalá, habría actuado a su vez sobre el sustrato deformado previamente a partir del Devónico superior.

Las fases de deformación finales de la Orogenia Andina involucraron a los estratos del relleno de antepaís plegándolos y generando discordancias que se registran en la actualidad en los afloramientos del Oeste del Valle de Fiambalá (Figs. 1 y 6).

Magmatismo

Las rocas ígneas más antiguas que afloran en el extremo septentrional de la Sierra de Narváez están representadas por una asociación de monzogranitos, granodioritas y tonalitas que definen una serie calcoalcalina, de características similares a las de otros intrusivos del Paleozoico del Sistema de Famatina. Estos granitoides intruyen a las formaciones Las Planchadas y Suri, representadas por vulcanitas y metasedimentitas, respectivamente, y corresponderían a un mismo evento magmático del Paleozoico Inferior (Cisterna *et al.* 2010). Los granitoides de la Sierra de Narváez corresponderían a un ambiente tectónico de arco volcánico, íntimamente relacionado con el evento efusivo Ordovícico (Cisterna 1992). El reconocimiento y caracterización de los registros volcánicos que se intercalan con las facies epiclásticas en la sucesión que aflora en la zona de Las Angosturas, indica que en el Sistema de Famatina la actividad volcánica asociada con depósitos sedimentarios de ambientes marinos de arcos de islas, se inició en el Tremadociano temprano (Cisterna *et al.* 2010).

Las sedimentitas de la unidad Patquía-De la Cuesta se hallan intruidas por filones capa de edad Cretácico-Terciaria, los cuales revelan una estructura de tipo macizo, con texturas escasamente porfíricas porfírica bien definida. En sus contactos con la roca intruida presentan brechamiento. Sus espesores oscilan entre 1.5 y 16 metros apareciendo en uno o más cuerpos emplazados en las sedimentitas citadas. Estos cuerpos volcánicos son de composición básica a intermedia y de naturaleza alcalina (Destéfano y Decastelli 1992).

El volcanismo Neógeno presenta características afines a un magmatismo de arco.

Paleogeografía y Evolución de la Cuenca de Paganzo

La Cuenca de Paganzo presenta una extensión aproximada de 150.000 km², explayándose por el centro y Oeste de la República Argentina, ocupa la casi totalidad de las provincias de San Juan y La Rioja, el Norte de Mendoza y San Luis, un sector del área occidental de Córdoba y la región suroccidental de Catamarca.

La Orogenia Chánica de edad Devónico Superior habría sido la responsable de la generación

del espacio inicial que dio origen a la cuenca de Paganzo, con movimientos que afectaron, intensamente en el Oeste, a rocas del Paleozoico Inferior y del Basamento Cristalino. Este sustrato de litologías variadas fue cubierto progresivamente por sedimentos neopaleozoicos clásticos, en los que participaron eventos de naturaleza volcánica y volcano-clástica en forma subordinada. (Pérez *et al.* 2016).

La Cuenca de Paganzo se habría establecido, por el Oeste, sobre el antepaís del borde gondwánico hacia el comienzo del período Carbonífero. En su borde occidental se reconocen depósitos marinos de talud, plataforma y deltas, mientras hacia el Este contiene depósitos continentales de edad Carbonífero superior-Pérmico (Grupo Paganzo), apoyados sobre el sustrato precarbonífero de las Sierras Pampeanas, el sistema de Famatina, Sur de la Puna y el borde oriental de la Precordillera.

Hasta inicios del Pérmico se reconoce una fuerte impronta glaciégena en los depósitos de la cuenca, que habría mantenido inicialmente posiciones paleolatitudinales altas, para luego situarse en la franja de clima templado hacia fines del Pérmico.

Estratigrafía de la Cuenca de Paganzo

Bodenbender (1911) separa en tres pisos los depósitos esencialmente terrígenos que rellenaron la Cuenca de Paganzo atribuidos por el autor al Carbonífero, Pérmico y Triásico respectivamente. Posteriormente, Azcuy y Morelli (1970) los reunieron en el Grupo Paganzo, y distinguieron una sección I o “Paganzo I” (inferior) de areniscas y pelitas con niveles de carbón atribuida al Carbonífero superior, y otra sección II o “Paganzo II” (superior) de capas rojas referida al Pérmico en sentido amplio, y concordante con la anterior.

En la (Fig. 3) se muestra el cuadro cronoestratigráfico para el ámbito nororiental de la Cuenca de Paganzo. Fernández Seveso *et al.* (1993) y Fernández Seveso y Tankard (1995), reagruparon los depósitos de la Cuenca de Paganzo en 4 ciclos mayores, en el rango de conjuntos de Supersecuencias: Guandacol, Tupe, Patquía - De La Cuesta Inferior y Superior, las cuales representan un lapso que se extiende desde el Carbonífero inferior alto hasta el Pérmico tardío.

Conjunto de Supersecuencias Guandacol (G)

Este conjunto depositacional representa el inicio del relleno de la cuenca; se halla restringido a los depocentros del ámbito centro-occidental y son principalmente sedimentos de origen glacimarino y de talud subácueo, que han labrado el zócalo estructurado por la Orogenia Chánica. En las bases de las secuencias son frecuentes los depósitos resultados de flujos gravitacionales mantiformes o de acarreo de detritos por fuertes pendientes, procesos que originan amalgamación de estratos y capas con laminación convoluta. Hacia los topes de las mismas se observan facies

depósitos traslapan en discordancia la topografía del basamento en la que todavía se manifiestan dorsales y otros accidentes indicadores de un paleorrelieve significativo especialmente en el sector occidental de la cuenca.

Su distribución areal es más amplia hacia los sectores Norte y oriental donde los depósitos ocupan nuevas depresiones. La SS T1 ocupa los espacios de mayor subsidencia todavía coincidentes con los del CSC Guandacol y comienza con depósitos de canal, turbidíticos, de talud y de fan deltas proximales. Las facies distales corresponden a flujos de fondo desarrollados en pendientes más suaves que cubren y traslapan a las secuencias infrayacentes (Fernández Seveso *et al.* 1993).

Las Supersecuencias T2, T3 y T4 muestran una fuerte disposición progradacional y representan una mayor variedad de ambientes. Las SS T3 y T4 representan el máximo traslape de la Supersecuencia y constituyen una transgresión caracterizada por planicies terrígeno-carbonáticas (especialmente T3 y en el ámbito occidental de la cuenca), donde es frecuente la presencia de depósitos correspondientes a facies de fango y pelitas calcáreas, mudstones y estromatolitos.

Conjunto de Supersecuencias Patquía-De La Cuesta Inferior (PDI)

Estos depósitos, bien representados en afloramientos de la zona de estudios, corresponden a la parte inferior y media del Pérmico. El desarrollo sedimentario de las secuencias basales está caracterizado por geometrías de canal bien desarrolladas, extendidas facies areno-pelíticas de arquitectura mantiforme y facies fangosas que muestran el carácter semipermanente y oxidante del ambiente, representando los distintos sectores geográficos de una planicie recorrida por cursos fluviales efímeros y barreales muy extendidos.

La evolución del Conjunto de Supersecuencias (CSC) se caracteriza por una marcada tendencia de aridización puesta de manifiesto por la progradación de sistemas que desde un dominio de facies de extraduna dan paso a sistemas en que los procesos eólicos adquieren predominancia. Esta evolución culmina con la instalación definitiva de facies de duna e interduna de un campo eólico de gran extensión regional.

El CSC Patquía - De la Cuesta Inferior ha sido subdividida en tres cortejos sedimentarios con rango de Supersecuencias, PDI1, PDI2 Y PDI3, cuya evolución estaría fuertemente controlada por cambios climáticos, desde condiciones que permitieron el funcionamiento de aparatos fluviales hasta aquellas en que la ausencia de agua superficial en el ambiente, permitió la acumulación y preservación de depósitos eólicos (Fig. 3).

Conjunto de Supersecuencia Patquía- De La Cuesta Superior (PDS)

Este es el otro gran ciclo reconocido dentro del área de trabajo. En este sector se encuentra el registro más completo y mejor aflorado de la cuenca, que contiene además facies sedimentarias que

permitieron la generación y preservación de materia orgánica capaz de producir hidrocarburos.

Este superciclo ha sido subdividido en cuatro Supersecuencias PDS1, PDS2, PDS3 y PDS4 (Fig. 3), y presenta ambientes de barreales extendidos, fluviales de cursos efímeros, y lagos someros, salobres, y con alguna influencia marina.

SISTEMA PETROLERO HIPOTÉTICO

Potencial de generación de hidrocarburos de la Cuenca de Paganzo

Los ciclos sedimentarios mayores del Carbonífero descriptos para la cuenca son portadores de importantes intervalos pelíticos, tanto marinos como continentales en origen, que contienen buenos porcentajes de Carbono Orgánico Total (COT; 4 a 8% en el sector), aunque nunca se han reportado en ellos valores oleogénéticos de interés. En general son pelitas de ambientes de talud marino y lacustre, de sistemas deltaicos y plataformas, de climas fríos, que contienen Kerógeno tipo III. (Fernández Seveso y Tankard 1995).

Las sedimentitas lacustres del Pérmico Superior, correspondientes a la PDS1 del CSS Patquía-De la Cuesta Superior, arrojaron en algunos de sus niveles del Suroeste catamarqueño valores de COT y Materia Orgánica Soluble (MOS), que les confieren capacidad oleogénica potencial como regulares a buenas generadoras de hidrocarburos líquidos. (Destéfano y Decastelli 1992). A estos niveles se relacionan los hallazgos de petróleo en fracturas y areniscas en afloramientos adyacentes a la unidad, y serían los generadores de los tenores de gas termogénico y las anomalías microbianas detectados en el suelo de los valles. (DTP Laboratorios 2012).

Roca Madre Potencial

En este sector de la Cuenca de Paganzo es donde el registro de las unidades que componen el Conjunto de Supersecuencias Patquía De la Cuesta Superior (PDS) (Fig. 3), se encuentra más completo y mejor aflorado. Este conjunto contiene el ciclo la PDS1, con facies sedimentarias que permitieron la generación y preservación de materia orgánica capaz de producir hidrocarburos.

Los términos estratigráficos del Pérmico superior se hallan aflorados en las vecindades del Valle de Chaschuil y el flanco occidental del Valle de Fiambalá (Fig. 1), así como también, en el sector Sur de la Sierra de Narváez, al Norte y al Este del Cerro Negro de Rodríguez, y al Noreste de las Sierra de Famatina. Las observaciones estratigráficas y sedimentológicas de detalle realizadas en varios perfiles indican que la faja de afloramientos se extiende por debajo de las vulcanitas de la Puna austral, y permitieron inferir la presencia de estas secuencias sedimentarias en el interior de los bolsones de Fiambalá y Chaschuil.

Distribución areal y espesores

El intervalo PDS1 que contiene los niveles de interés, posee buena distribución areal en afloramientos de la zona de estudio, y sus depósitos se hallan expuestos a lo largo de la serranía de Narváez, Las Planchadas, Anchoca, en el borde occidental del Valle de Fiambalá, y fueron también reconocidos al Oeste del Valle de Chaschuil (Quebrada del Infiernillo, Los Chinguillos, El Pedernal), y al Suroeste de la localidad de Tinogasta (Las Higuieritas, Puesto El Arbolito). Las características mencionadas y la disposición estratigráfica y estructural de los afloramientos permitirían inferir su presencia en el subsuelo de los Bolsones de Fiambalá y Chaschuil.

Una columna de detalle de la porción de interés oleogénico, en la mitad superior de la PDS1, fue medida y muestreada en el flanco oriental de la Sa. de Narváez en una sección no afectada por los intrusivos ígneos (Fig. 4). En esta sección se reconocen 90 metros de estratos silicificados que intercalan pelitas y areniscas en ciclos de somerización con variable contenido de materia orgánica.

Estratigrafía

En los afloramientos del Oeste y Sur del Valle de Fiambalá el Conjunto de Supersecuencias PDS (Fig. 3), asienta sobre el intervalo de areniscas eólicas con que finaliza la estratificación del Pérmico inferior; un conspicuo intervalo arenoso, tabular, registrado en todos los ámbitos de la cuenca. La Supersecuencia PDS1 con que comienza el conjunto, se compone de ciclos transgresivos-regresivos, correspondientes a facies aluviales efímeras de barreales a la que le siguen capas lacustres salino-someras, cubiertas por otras fluviales. Aceñolaza y Vergel (1987), han descripto microflora fósil correspondiente al Pérmico tardío temprano en los alrededores del río Chaschuil, en capas de esta unidad. En trabajos recientes Zavattier *et al.* (2017), estudiaron la porción lacustre de este intervalo, al que nombraron como F. La Veteada por su equivalente descripto en el ámbito de la Sa. de Famatina (Dávila *et al.* 2005). Los autores asociaron los depósitos de esta porción de la secuencia pérmica a un cambio climático a condiciones más benignas desde el Pérmico inferior que, en el entorno de cuerpos lacustres semipermanentes, habría generado ocasionalmente condiciones favorables para la preservación de la materia orgánica, de la cual se extrajeron diversos granos de polen y esporas derivados de plantas terrestres, y una importante asociación de microfitorplancton consistente principalmente en algas verdes (dominado por Zygnemataceae), junto a otros microfósiles de paredes orgánicas, la mayoría de los cuales poseen también probable afinidad con algas.

La asociación de polen y microfitorplancton estudiada por Zavattier *et al.* (2017), es asignada al Pérmico superior, Guadalupiano-Lopingiano.

La discordancia erosiva que afecta fuertemente los estratos superiores en la región Centro-Sur de la Cuenca no ha sido reconocida con el mismo énfasis en los afloramientos del sector.

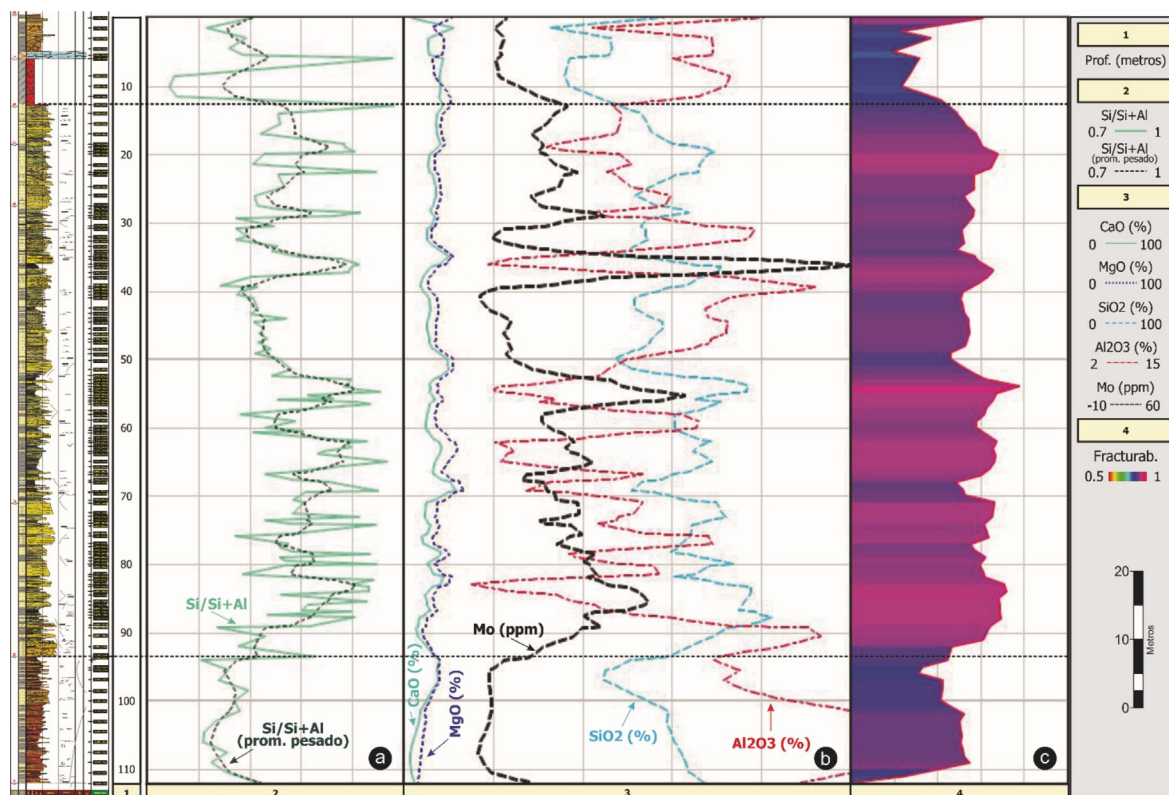


Figura 4. Perfil sedimentológico-estratigráfico de detalle LZN, y curvas XRF; a) Curva de contenido de $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$, b) Relaciones entre contenidos de $\%\text{CaO}$, $\%\text{MgO}$, $\%\text{SiO}_2$, $\%\text{Al}_2\text{O}_3$ y ppm de Mo, y c) Índice de fracturabilidad de Jarvis (BI) (Ver ubicación del perfil en Fig. 1).

Sedimentología y Paleoambientes de deposición

A escala de la cuenca esta primera Supersecuencia se compone de facies aluviales conpotentes depósitos proximales relacionados a flujos gravitacionales, que evolucionan con leve relación de onlap sobre la discordancia basal y en el interior de cuenca pueden ser relacionados a sistemas lacustres profundos a efimeros, y de playa. La asociación microfitorplanctónica hallada en la zona de trabajo (Zavattieri *et al.* 2017), se compone de algas que habrían crecido en un entorno lacustre hipersalino, asociadas a otras que por lo común son de agua dulce/salobre, o tolerantes a ciertos niveles de salinidad. Los autores especulan acerca de la posibilidad de que estos últimos grupos de taxones, provengan del ingreso de arroyos, ríos o inundaciones al sistema deposicional restringido.

En el sector extremo Norte de los afloramientos fueron descriptos microfósiles y acritarcos que conjuntamente con restos de ostrácodos y niveles calcáreos, sugieren algún tipo de influencia marina o ambientes cercanos a un entorno marino marginal restringido (Fernández Seveso *et al.* 1993).

En el Perfil LZN (Fig. 4), se describieron las facies sedimentarias a las cuales se asocian los contenidos orgánicos hallados en la supersecuencia PDS1. Se trata de un conjunto de ciclos

transgresivo-regresivos, de fangolitas negras y grises a areniscas muy finas, en discontinuidad por encima de las capas rojas de barreal. La sedimentación es dominada por procesos de tracción-decantación, con abundantes rasgos de deformación sinsedimentaria, que forman paquetes heterolíticos, con evidencias de procesos de desecación-inundación, aunque la fracción evaporítica está prácticamente ausente en afloramientos. En los topes y base de los ciclos se desarrollan canales arenosos de granometría variable, delgados en espesor, de corto desarrollo, y con fuertes rasgos de acreción lateral. La distribución de la sedimentación posee fuerte dispersión, con una componente dominante al Este y Sureste. Es un conjunto de facies sedimentarias muy particulares, muy silicificado, diferente a las clásicas pelitas ricas en materia orgánica, y en las cuales las fracciones más gruesas poseen también contenido orgánico.

La respuesta del intervalo analizado, desde el punto de vista químico, diverge de los indicadores sedimentológicos. En general la fracción fina de los depósitos está dominada por fangolitas y vaques muy finas totalmente silicificadas (Fig. 4a). Las componentes carbonática y magnésica de las litologías minoritarias (Fig. 4b); el contenido silíceo es la característica dominante, es directamente proporcional a la concentración de Mo (relacionado al contenido de carbono orgánico), y además parece reemplazar a la fracción arcillosa, representada por el contenido de Al_2O_3 cuya curva de concentraciones se invierte proporcionalmente. El carácter silíceo de la sedimentación no ha sido estudiado en detalle y podría vincularse a fenómenos diagenéticos asociados, entre otros posibles, a la constitución biogénica de las rocas de este intervalo, o a procesos relacionados al vulcanismo del arco magmático permotriásico.

Contenido orgánico

El intervalo pelítico que posee buen contenido orgánico, se conforma de facies heterolíticas con granometrías finas de decantación y tracción-decantación, con piritita autigénica, y areniscas y fangos de flujos de fondo. Estas rocas han sido afectadas por procesos de silicificación que produjeron estructuras nodulares secundarias de diagénesis, y les confirieron colores blanquecinos y amarillentos por alteración. En afloramientos el intervalo que posee niveles de pelitas con contenido orgánico relativo coincide con la silicificación y es de alrededor de 90 m en promedio, aunque la porción neta orgánicamente más rica de pelitas es relativamente delgada (de entre 15 y 20 metros de espesor). Así como se observa un mejoramiento de las facies ricas en materia orgánica hacia un aparente eje de depositación de dirección SE-NW en afloramientos, podría ser que, de acuerdo al sentido que según se infiere poseen los trenes de sedimentación, parte de las facies más profundas del sistema se hallen preservadas en subsuelo. No existe información de subsuelo que permita realizar interpretaciones y modelos de cuenca más acabados.

Los estudios geoquímicos para evaluación del potencial oleogénico de las pelitas pérmicas que se realizaron en el plan exploratorio de YPF mencionado, incluyeron determinaciones de

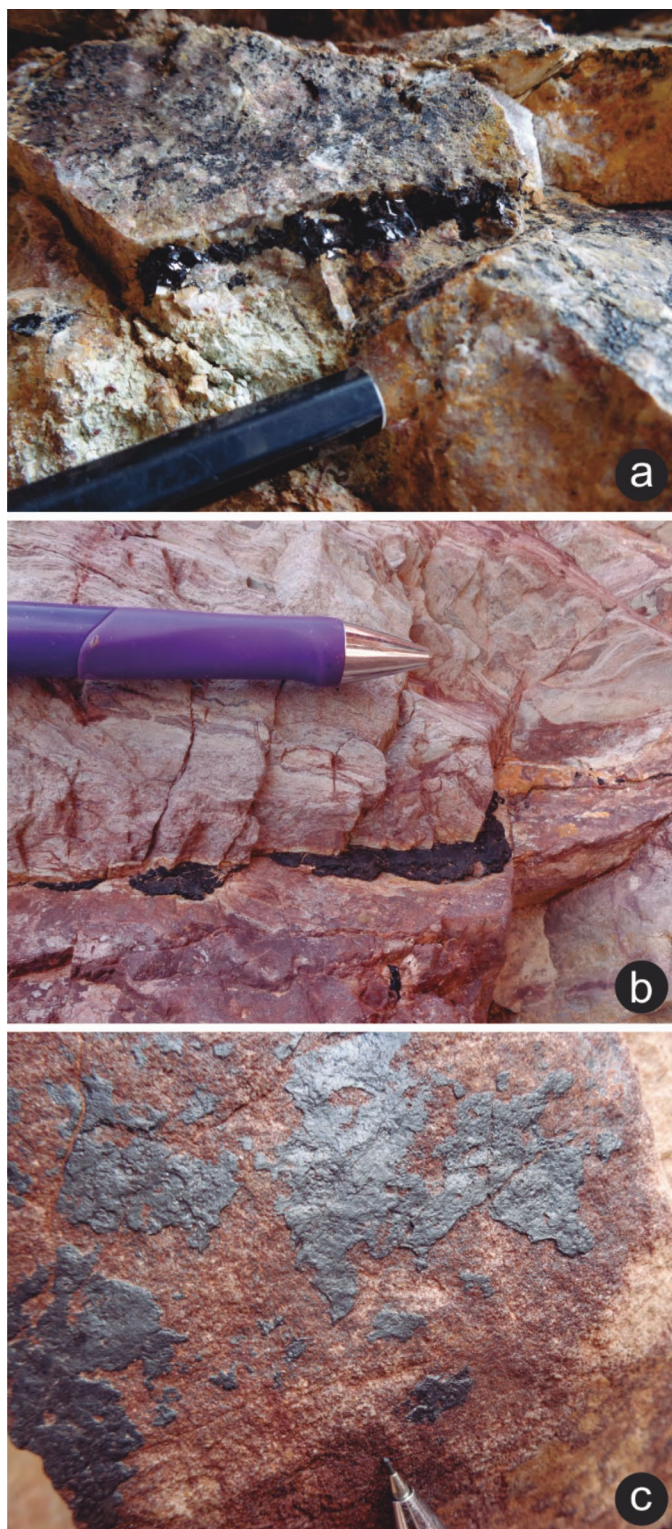


Figura 5. Petróleo seco en afloramientos: a) Qda. de la Zapa; en fracturas y oquedades de intrusivo al tope del intervalo, b) Pto. La Aguadita, en planos estratales al techo del intervalo rico en materia orgánica, sin intrusivos ígneos, y c) Pto. La Aguadita, en planos de fracturas, capas rojas, zona sin intrusivos.

COT (% en peso de Carbono Orgánico Total), contenido de MOS (Materia Orgánica Soluble, ppm en extractos de roca). La existencia de materia orgánica en las muestras fue determinada mediante estudios de Absorbancia previos a la extracción. A un número reducido de muestras se las sometió a estudios ópticos y de pirólisis.

El contenido de materia orgánica medido en por ciento en peso de Carbono Orgánico Total (COT) del intervalo pelítico estudiado en afloramientos se acentúa hacia un eje de profundización SE-NW. Los tenores de COT de interés hallados fluctúan entre 0,5% y picos de 7%, fuertemente afectados por la relación facial y la paleogeografía de sedimentación. El promedio general de las muestras de afloramientos para la columna total ronda el 1,25 %.

En inmediaciones del Perfil Quebrada de la Zapa, los tenores de carbono orgánico total (COT), en general oscilan entre el 1 y 3%. Mientras que, para el sector del Perfil Piedra Ancha los valores de COT son más variables y algo más bajos que los del perfil anterior, oscilando en general entre 0.5 y 1.5%, lo que ubica a las muestras estudiadas como regulares a buenas desde el punto de vista de su contenido orgánico (Destéfano y Decastelli 1992).

El contenido orgánico medido como MOS (Materia Orgánica Soluble

de extractos de roca) posee variaciones en relación directa con el contenido de COT, afectado por las mismas características paleosedimentarias.

El grueso de las muestras de afloramientos brindó valores de entre 1 y 400 ppm, pero existen picos que sobrepasan las 4700 ppm, y una buena concentración de valores que fluctúan entre 400 y 1000 ppm en muestras de posiciones cercanas al eje depositacional. Por otra parte, el 50% de los valores de las muestras se halla por encima de los estándares considerados para roca madre potencial (300 a 3000 ppm), de Landais y Connan (1980).

Destéfano y Decastelli (1992), mencionan que las proporciones de materia orgánica soluble (MOS) encontrados en inmediaciones del Perfil Quebrada de la Zapa, son bastante continuas, oscilando en su mayoría entre los 1000 y 2000 ppm, y califican a dichas rocas como buenas generadoras desde este punto de vista de su contenido orgánico. En el Perfil Piedra Ancha, los contenidos de MOS en algunos ejemplares superaron las 500 ppm, y están casi en su totalidad en un rango inferior a las 1000 ppm, por lo que definen al intervalo de pelitas como regulares a buenas generadoras en la consideración de su riqueza en materia orgánica soluble. En el perfil sedimentológico de detalle LZN (Fig. 4), se utilizaron las concentraciones de Mo, V, y otros elementos y compuestos del análisis XRF del muestreo sistemático para homologar el contenido orgánico.

Tipo de Materia Orgánica

Las observaciones microscópicas realizadas sobre las muestras de afloramientos de perfiles del borde de Sa. de Narváez, al Sur del área evaluada (Fig. 1), permitieron determinar materia orgánica de origen continental, mayormente no leñosa, leptinitica, asociada a kerógenos de Tipo KI y KII. (Destéfano y Decastelli 1992). En la localidad de Qda. de la Zapa predomina la forma subcoloidal, asimilable a un Kerógeno Tipo I. Las escasas muestras de afloramientos que fueron sometidas a estudios de pirólisis mostraron tendencia a ubicarse entre los campos KII y KI. Para muestras de otro perfil, los mismos autores reportan predominio de Materia Orgánica del tipo amorfo aglutinado, con presencia de material finamente dividido, y con la pirólisis que ubica a las muestras procesadas como de Tipo II, con algunos ejemplares que tienden al Tipo III, hecho coincidente con una mayor presencia de elementos leñosos detectados por vía óptica. La evaluación del tipo de materia orgánica es coincidente con la asociación microfitoplanctónica de algas verdes de afinidad lacustre hipersalino con presencia de elementos de agua dulce a salobre reportados e interpretados por Zavattieri *et al.* (2017), como influjos externos al sistema restringido.

Madurez, variaciones regionales

Los diferentes estudios de laboratorio, realizados con varias técnicas, coinciden en ubicar

a la materia orgánica del intervalo pelítico del Pérmico superior en la Ventana de Generación de Petróleo, y como se verá luego un resultado similar brinda la relación de contenido de gases hallados en suelos.

Las determinaciones de IAT (Índice de Alteración Térmica), son variables y están influenciadas por la presencia de intrusivos ígneos que han afectado térmicamente la roca. Por lo común las muestras analizadas poseen IAT 2+ a 3+, con valores que llegan a 4+ en posiciones próximas a las rocas ígneas (Destéfano y Decastelli 1992).

En los resultados de pirólisis se halló que las muestras califican dentro o próximas a la ventana de generación de petróleo, con valores de Tmax de 435° a 445°, cuando no se ven afectadas directamente por los intrusivos, y hasta los 560°, en ventana de gas, cuando se trata de pelitas en contacto con las ígneas.

De los estudios estratigráficos y de laboratorio se deduce que la madurez alcanzada por las capas del Pérmico superior es debida a las condiciones de soterramiento en que se hallaban antes de ser expuestas, y a ella se añadió el aporte térmico de los intrusivos del Terciario. A una conclusión muy similar se llega analizando los productos de generación termogénica obtenidos en el muestreo de suelos.

En varias localidades del borde Este de la Sierra de Narváez donde afloran las pelitas silicificadas del intervalo potencialmente generador, se halló petróleo sólido, asfáltico (Figs. 1 y 5).

Roca Reservorio y Roca Sello Potenciales

La columna neopaleozoica, la faja psamítica, posiblemente del mesozoico alto, y la potente depositación terciaria abundan en areniscas y conglomerados que podrían ofrecer potenciales reservorios a las migraciones de hidrocarburos que pudieran haber sucedido en el sector de cuenca útil de estas áreas de frontera (Fig. 2).

La situación más atractiva podría estar en los cuerpos arenosos que se relacionan genéticamente al intervalo pelítico bituminoso, y se intercalan al mismo o forman parte de los ciclos superiores de la secuencia. Los cuerpos intrusivos ígneos, que en afloramientos yacen concordantes dentro del intervalo de interés, pueden constituir también prospectos potenciales.

Existen datos de muestras de mano reportados para las localidades antes mencionadas de Qda. de la Zapa y Piedra Ancha (Fig. 1), para los niveles del Pérmico superior (Destéfano y Decastelli 1992). El análisis de las características litológicas y petrofísicas de un total de 40 muestras de rocas clásticas, correspondientes a areniscas cuarzo-feldespáticas, medias a finas, con gruesas subordinadas, intercaladas con fangolitas, demostró que varias de ellas poseen porosidad, principalmente secundaria de microfisuras y en menor medida por disolución, de entre 8 y 25%, con valores de permeabilidad de entre 5 y 168 mD. Los procesos diagenéticos identificados por los autores fueron compactación mecánica y química, y cementación.

La columna de pelitas y en menor medida evaporitas (yeso y calizas delgadas), que se hallan inmediatamente por encima de la PDS1 en la columna aflorada constituiría un sello potencial evaluable.

Condiciones estratigráficas

El comportamiento de los sistemas depositacionales pérmicos a escala de cuenca para esta región es todavía poco conocido por la dispersión de los afloramientos y la falta de información del subsuelo. La extensión de la faja aflorada de los depósitos pérmicos con condiciones oleogénicas ha sido reconocida hasta el extremo Norte de la serranía de Anchoca, en la localidad Las Pircas (Fig. 1), y al parecer se extiende por debajo de la cobertura volcánica del Sur de la Puna catamarqueña.

La definición de la columna estratigráfica por encima del Pérmico superior, de los eventos ígneos, y el comportamiento de las discordancias es también un factor de importancia al tiempo de completar la evaluación del sector.

A escala regional se observa que los efectos erosivos del desarrollo de la cuenca terciaria (y posiblemente la mesozoica), son más importantes en el borde occidental del Valle de Fiambalá, en el borde del lineamiento serrano Narváez-Anchoca, que en los paquetes sedimentarios que hunden al Sur del valle.

Condiciones Estructurales. Transectario Chaschuil - Guanchín

Ámbito estructural de la cuenca en los valles

La estructura del área presenta una gran complejidad. La importante deformación ándica imperante coexiste con diferentes estilos estructurales heredados. El diseño estructural general del área responde a fallas meridianas a submeridianas y plegamientos, cuyos trazos acunian hacia el Norte hasta desaparecer bajo la Puna Austral.

Particularmente para el área de la transecta del río Chaschuil-Guanchín (A-A' en Fig. 1) existen numerosos trabajos superficiales que abordan temáticas específicas (Turner 1967; Carrapa *et al.* 2006, 2008; Rubiolo *et al.* 2001; Safipour *et al.* 2015), pero poco se conoce a ciencia cierta de la configuración estructural en el subsuelo, debido principalmente a la ausencia de estudios geofísicos de perforaciones. En superficie las rocas se encuentran deformadas, conformando fajas falladas, plegadas y transportadas. En el ámbito de las sedimentitas terciarias orogénicas la discordancia labrada por los conglomerados pliocenos varía en magnitud y expresión, dependiendo principalmente de su ubicación estructural, ya que fueron depositados durante una etapa de deformación activa (Schoenbohm *et al.* 2015), que localmente los falló y plegó, aunque en menor grado que las unidades terciarias más antiguas.

Basado en datos estratigráficos y estructurales de superficie levantados a lo largo de la mencionada transecta, y de contribuciones de los autores anteriormente citados, Manceda (2018) obtuvo un corte estructural regional que permite estimar la disposición de los estratos en el subsuelo de los valles de Fiambalá y Chaschuil. De acuerdo a la estratigrafía regional (Fig. 2), y de los rasgos de la deformación observados en afloramientos, se considera que coexiste en el subsuelo una tectónica mixta donde participan bloques de basamento (expuestos en la Sierra de Las Planchadas – Narváez), con una tectónica de piel delgada mejor definida hacia el Este, donde los principales planos de despegue para los corrimientos de vergencia oriental deberían ubicarse en los estratos carboníferos o del Pérmico superior. Este modelo supone que las superficies de desacople favorecieron el transporte de láminas de basamento hacia el antepaís y una imbricación de láminas delgadas en el bolsón de Fiambalá que involucraría la columna de rocas con edades neopaleozoicas a neógenas. Los bloques de basamento que conforman la Sierra de Fiambalá actúan como contrafuerte estructural en respuesta al empuje desde el Oeste, y mediante corrimientos profundos de alto ángulo y de vergencia opuesta, exponen rocas del basamento de Sierras Pampeanas Noroccidentales. El desplazamiento lateral que poseen los bloques de basamento afecta el modelado de la sección y resulta difícil obtener un balance de materiales. El acortamiento involucrado en el tramo podría rondar los 50 km.

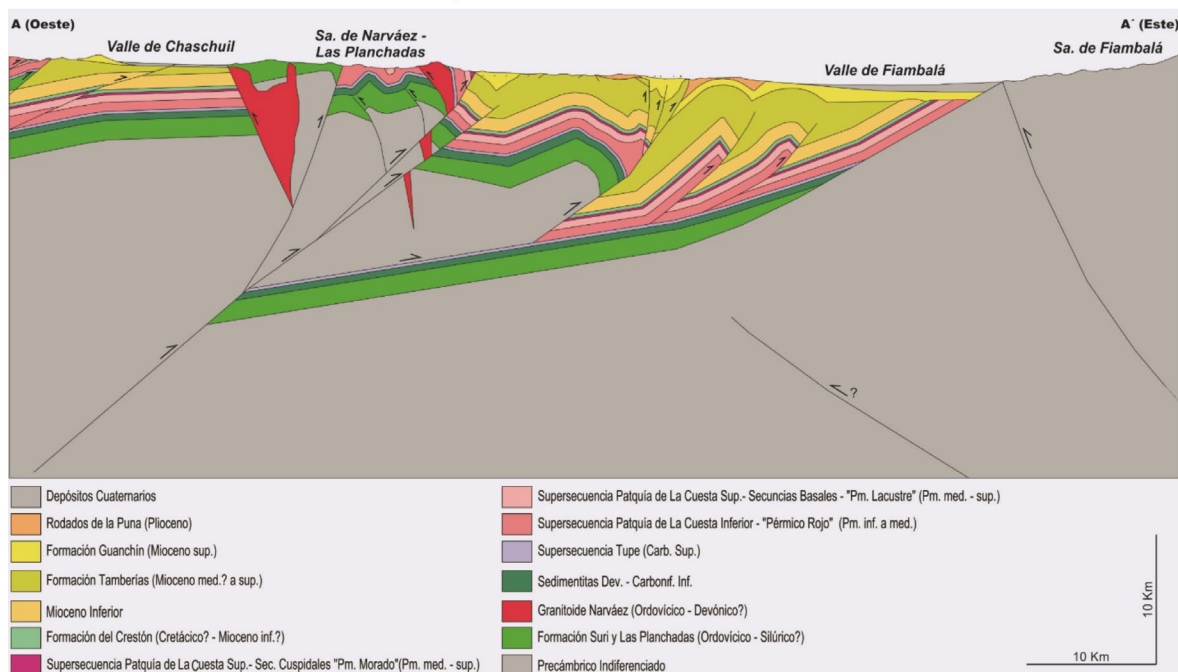


Figura 6. Corte estructural a lo largo del río Chaschuil-Guanchín. Modelo estructural a partir de datos estructurales de superficie y mapeo estratigráfico (Manceda 2018). (Ver ubicación en Fig. 1).

Las dataciones termocronológicas publicadas (Carrapa *et al.* 2006, 2008; Safipour *et al.* 2015) registran la evolución estructural cenozoica vinculada a la orogenia andina, y sugieren que para la traza en cuestión la exhumación se concentró durante el Mioceno tardío y Plioceno. A su vez, en concordancia con las relaciones estructurales observadas en campo, los datos termocronológicos muestran un claro rejuvenecimiento de los corrimientos hacia el Este con la generación de corrimientos fuera de secuencia dentro de la Sierra de Las Planchadas, posiblemente en respuesta al contrafuerte pampeano.

Potencial Generador de Hidrocarburos

Para el Sistema Petrolero Hipotético planteado se realizó un modelado oleogénico para el sector Suroeste del Valle de Fiambalá que incluyó la información de campo y laboratorio obtenida para la roca madre potencial, la evolución tectonoestratigráfica del sector, y los parámetros de la relación tiempo-deformación aportados por los investigadores antes citados (Figs. 7 y 8). Para la obtención de los diagramas geohistóricos, de generación y ventanas de madurez teórica para hidrocarburos se utilizaron valores de contenido orgánico y madurez de la roca madre en afloramientos no afectados por los intrusivos básicos.

En los afloramientos del lineamiento serrano Narvárez–Anchoca es común hallar a la F. del Crestón, de edad imprecisa entre Cretácico superior y Mioceno inferior (esta última se usó en el modelado pues se consideró como la más desfavorable), que yace en discordancia sobre las secuencias finales del relleno Pérmico superior, y sobre ella, también en discordancia, la espesa columna clástica orogénica que colmató el antepaís cordillerano desde el Mioceno. La columna se completa con los espesos conglomerados del Plioceno superior, que yacen sobre una fuerte discordancia erosiva. El espesor erodado en cada uno de los hiatos, parámetro importante en el

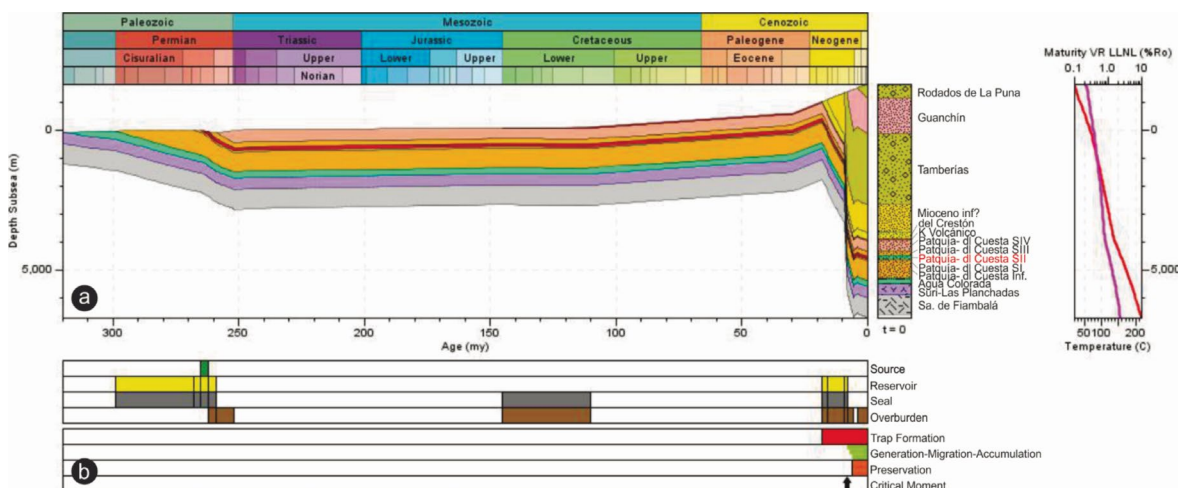


Figura 7. Modelado de generación; a) Diagrama geohistórico, y b) Sistema Petrolero Hipotético y principales eventos de exhumación reconocidos en los estudios termocronológicos. (Brissón 2018, Comunicación personal).

análisis geohistórico, es mayormente desconocido. Se consideraron valores mínimos probables a partir de los estudios de termocronología de distintos investigadores.

Las condiciones de enterramiento y paleoflujo térmico halladas para la zona del Valle de Fiambalá indican que en la posición más desfavorable desde el punto de vista de la evolución tectonoestratigráfica el intervalo de interés podría haber alcanzado las condiciones iniciales de generación de hidrocarburos en la segunda mitad del Mioceno (Fig. 8).

Generación, migración y acumulación

La ausencia actual de una columna de depósitos mesozoicos y del cenozoico basal en afloramientos implica que, a la luz del conocimiento incompleto que se tiene de la región, todas las expectativas de generación que expliquen la existencia de petróleo seco proveniente del intervalo Pérmico superior, deban ajustarse, en los modelos posibles, a la evolución de la cuenca terciaria orogénica. Si se asumen las condiciones tectonoestratigráficas menos favorables en el análisis geohistórico, como ser: i) mínimos espesores erodados bajo las discordancias de los hiatos del Pérmico superior – Cretácico, Cretácico – Terciario inferior, Terciario inferior – Terciario superior, y Mioceno superior – Plioceno, ii) que el intervalo de la F. del Crestón es de edad Mioceno inferior, iii) que el análisis se hace en relación al desarrollo del Valle de Fiambalá el cual se asume que contiene las estructuras más nuevas en el esquema de la cronología de la deformación, entre otras, se puede ver que las condiciones de generación en subsuelo para el Suroeste de la zona, podrían haberse iniciado en tiempos del Mioceno alto (Figs. 7 y 8).

En los afloramientos se advierte la movilidad que tuvo el hidrocarburo hacia las rocas adyacentes, por encima y por debajo de la faja de pelitas silicificadas (Fig. 5). Se han hallado shows

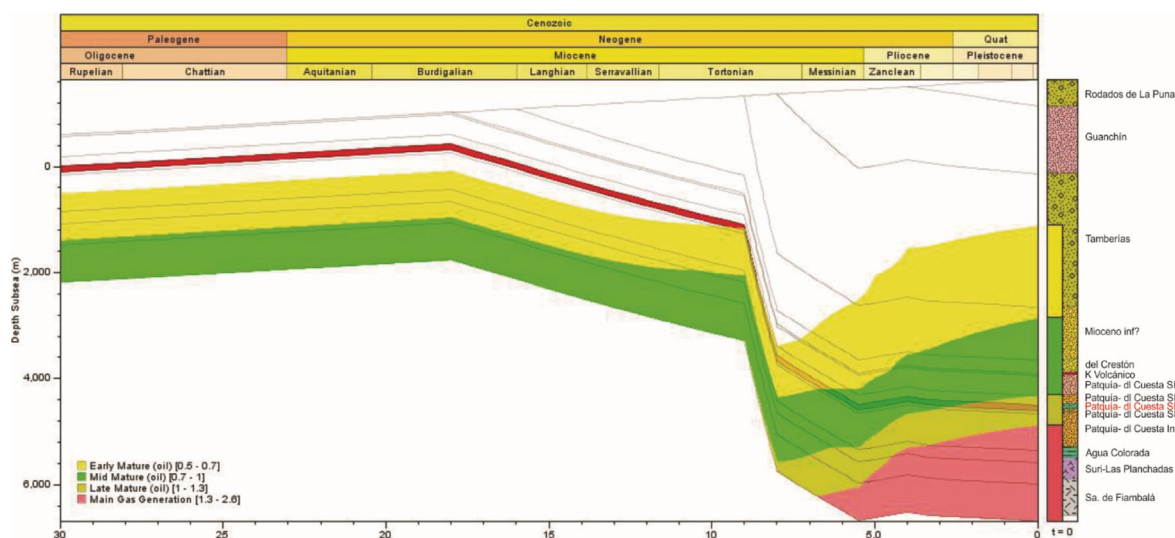


Figura 8. Modelado de generación; Ventana de generación teórica de hidrocarburos (Detalle para el Terciario), en el Sector Suroeste del Valle de Fiambalá. (Brissón 2018, Comunicación personal).

de petróleo seco en fracturas con calcita diagenética en lentes de areniscas entre las pelitas de la secuencia que sobreyace al intervalo de interés, muy por encima de este.

El modelo estructural realizado a partir de los datos de superficie (Fig. 6), prevé que puedan existir estructuras interesantes en subsuelo que involucrarían el intervalo potencialmente generador. La cronología de la deformación y la relación de ésta con los eventos de Generación, migración y acumulación hallados en el modelo, es materia teórica a la luz de los conocimientos actuales. Es necesario obtener información de campo y laboratorio que permitan precisar parámetros y ajustar intervalos de tiempo.

Formación de trampas

La relación tiempo – espacio entre la generación potencial de hidrocarburos en los valles de Fiambalá y de Chaschuil, y la secuencia de deformación para el sector fue evaluada a partir del diagrama de la Fig. 8, y de los episodios de exhumación de la columna sedimentaria interpretados a partir de los modelos termocronológicos publicados. Los principales eventos teóricos de levantamiento relativo de la columna sedimentaria se pueden observar en la Fig. 7b, ubicados en la escala temporal en relación a los de la evolución de la Materia Orgánica. Para las condiciones asumidas en el modelo 1D la formación de potenciales trampas podría haberse iniciado a principios del Mioceno, precediendo el momento crítico de generación estimado hacia la parte alta del mismo período.

EVIDENCIAS DE HIDROCARBUROS HALLADAS EN SUPERFICIE

En los Valles de Fiambalá y Chaschuil no existe información de subsuelo de aplicación a la exploración de hidrocarburos. En la actualidad las especulaciones que surgen de los modelos descriptos en los párrafos anteriores poseen su correlato real sólo en hallazgos parciales realizados en afloramientos y suelos de la zona de interés.

Petróleo en afloramientos

En la faja aflorada en la vertiente oriental de la Sa. de Narváez – Anchoca (Fig. 1), se hallan manifestaciones de petróleo seco en afloramientos, siempre en asociación directa con el intervalo silicificado de interés, potencialmente generador. Los shows de petróleo seco, sólido, asfáltico, aparecen impregnando y rellenando pequeñas oquedades, fisuras y planos de estratificación, en modalidades diferentes; dentro de la roca ígnea intruida -en el contacto térmico entre los cuerpos intrusivos y las areniscas y fangolitas silicificadas-, en la fracción arenosa interestratificada, y en planos de estratificación y caras de fracturas en las capas rojas infra y suprayacentes, hasta alcanzar

estratos que en la columna se hallan a más de 200 m por encima de la faja de rocas con contenido orgánico (Fig. 5).

Relevamiento de Gases y Microbios en suelos

Como complemento a la información geológica y geoquímica de rocas, se desarrolló un plan de estudios geoquímicos de microbios y gases en suelo, tal lo expresado al inicio. (DTP Laboratorios 2012) (Fig. 1).

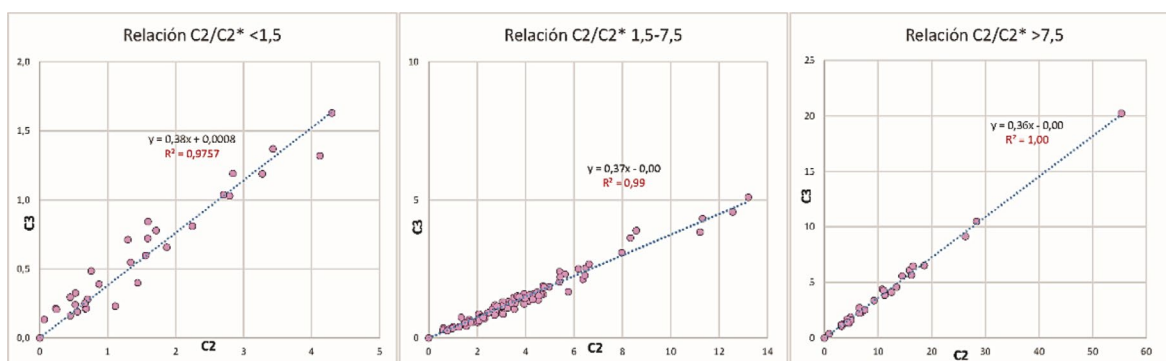


Figura 9. Evaluación de $C2/C3$, indicador que se relaciona a la fuente de aporte para los gases hallados, mediante clases de $C2/C2^*$ (Etano/Etileno). Los valores altos de R^2 , próximos a 1, indicarían una única fuente de hidrocarburos. (Sechman 2015).

En el análisis de gases adsorbidos se utilizaron las determinaciones de alcanos ($C1$ a $C4_{total}$), y alquenos ($C2^*$ y $C3^*$). Con el tratamiento estadístico de las concentraciones halladas en suelos, se determinaron valores de fondo, umbral y anomalía verdadera. Se vio que los gases de hidrocarburos y las concentraciones halladas responden a origen termogénico.

Se interpreta que las relaciones analizadas son muy consistentes e indican una única fuente de generación de los gases, para las concentraciones halladas en los suelos de ambos valles. (Fig. 9).

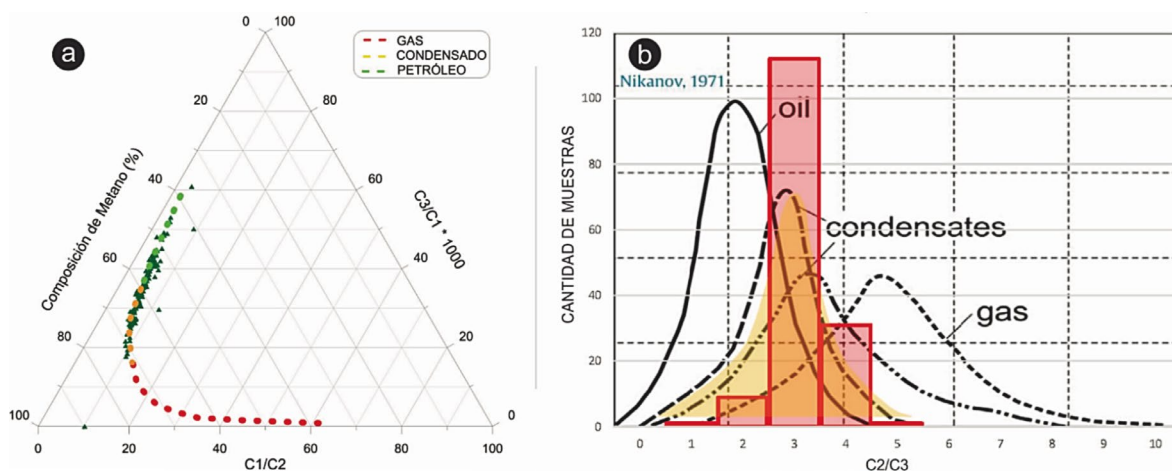


Figura 10. Evaluación del posible origen de la población de gases en el total de muestras analizadas, mediante diferentes metodologías. En todos los tests utilizados la población se concentra entre los campos Petróleo-Condensado. a) Diagrama ternario de composición, de Pixler 1969. b) Diagrama de frecuencias de la relación $C2/C3$ (Sechman 2015).

La condición de una única fuente de Hidrocarburos es coherente, y lo esperable para el entorno geológico y oleogénico analizado.

Las pruebas realizadas con diferentes metodologías coinciden en que la población de gases provendría de una fuente de Condensado-Petróleo (Fig. 10). Los indicadores son consistentes con los obtenidos a partir del análisis químico y óptico de las muestras de la Roca Madre Potencial evaluada en afloramientos. Para algunos autores los gases de hidrocarburos que llegan a superficie están empobrecidos en las moléculas pesadas, con lo cual relaciones como C_2/C_3 , u otras testeadas que indican Condensado a Petróleo, podrían asignarse a petróleo (Sechman *et al.* 2015).

El análisis estadístico de la relación C_2/C_{2+} (Etano/Etileno), permitiría interpretar que existe baja actividad microbiana oxidante de alcanos a alquenos, lo que, de acuerdo a los autores citados, podría significar que la micromigración de hidrocarburos proveniente de las acumulaciones profundas es relativamente intensa.

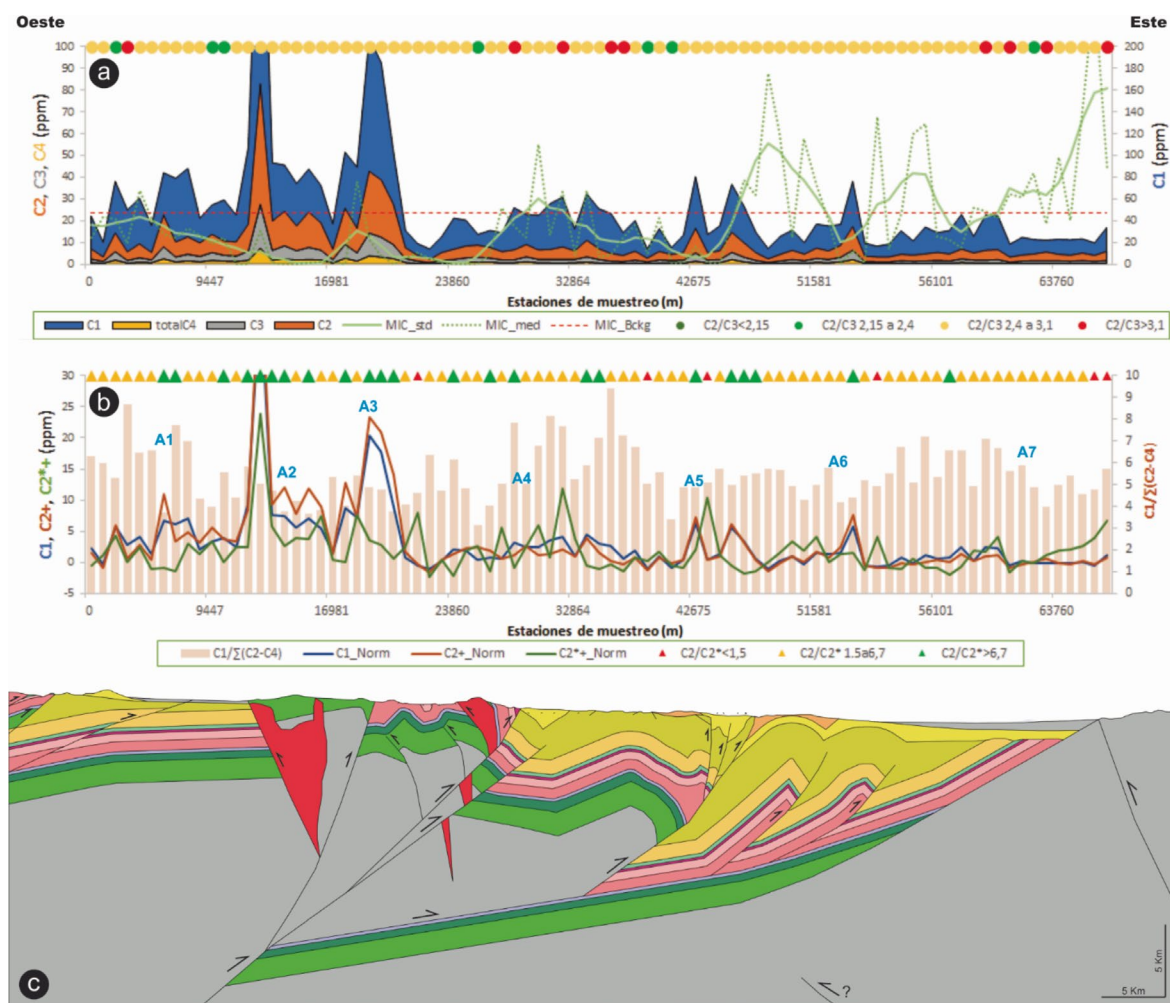


Figura 11. Transecta geoquímica compuesta entre los Valles de Fiambalá y Chaschuil, en relación al corte estructural modelado a partir de datos de superficie (ver ubicación de estaciones de muestreo y corte estructural en Fig. 1). a) Concentración de gases C_1 a C_{4tot} medidos y valores microbianos medidos y estadísticos en relación al valor de fondo. b) Concentraciones normalizadas de C_1 , C_{2+} y C_{2*+} , relación C_1/C_{2+} , y relación C_2/C_3 . c) Corte estructural regional, ver referencias en Fig. 6.

El resultado del análisis microbiano, por su parte, documentó la presencia de sectores anómalos a lo largo y a través del eje del Valle de Fiambalá. Para el sector de Chaschuil, donde la cobertura de muestreo fue relativamente menor y resumida al sector Sur, la presencia de microbios resultó menos importante.

Con los datos obtenidos del muestreo de microbios y gas en suelos se elaboraron 4 transectas geoquímicas para posiciones a lo largo y ancho del Valle de Fiambalá y sur del Valle de Chaschuil. En la Fig. 11 se observa una de ellas, compuesta entre los valles de Fiambalá y Chaschuil, que muestra valores de concentraciones de gases en suelos, medidas y normalizadas, parámetros de relación de gases, y valores medidos y estadísticos de microbios butanotróficos, en comparación al modelo estructural obtenido con datos de superficie.

En la Fig. 11a se muestra la distribución de los valores estadísticos de Microbios oxidantes de butano sobre la transecta. Los valores hallados guardan buena relación con la estructuración de superficie y el modelo de subsuelo, con anomalías que coinciden con los sectores de fallamiento y los de afloramientos de la roca madre del Pérmico superior con petróleo seco (Zona Este de Sa. de Narváez – Las Planchadas). En cuatro sectores de la parte oriental de la traza se advierten valores estadísticos anómalos de microbios; en tres sectores de la zona centro están en coincidencia con los planos de fallas y ejes anticlinales mapeados en superficie o las estructuras modeladas en profundidad, mientras en el extremo Este podrían estar reflejando la posible existencia de la roca madre potencial en el subsuelo somero del borde de la Sa. de Fiambalá.

En cuanto a las concentraciones de gases C_1 a $C_{4\text{tot}}$ medidas varían fuertemente en los sectores del Oeste de la traza (Fig. 11a). El normalizado de las concentraciones de acuerdo a valores de fondo locales de subsets generados por clases de la relación Etano/Etileno (C_2/C_{2+} , Fig. 11b), permite observar los sectores que mantienen picos de comportamientos anómalos (A1 a A7). En los tramos estructurados en los que se halla aflorado el Paleozoico inferior y los intrusivos, están las máximas concentraciones halladas para la serie de alcanos (A_2 y A_3). Los valores normalizados para esta zona mantienen picos anómalos de C_2+ con tendencias decrecientes de los cocientes C_1/C_{2+} , y C_2/C_{2+} . Esta zona de relieve positivo se halla fuertemente estructurada y la configuración de subsuelo es desconocida y difícil de modelar, y el origen de estas posibles anomalías resulta incierto.

En la zona de valles, principalmente al Este (Valle de Fiambalá), se observan también picos anómalos en concentración de C_1 medido, que son acompañados por las concentraciones de homólogos C_2 a C_4 medidos (Fig. 11a). Las concentraciones normalizadas de alcanos y alquenos mantienen picos de anomalías (A_4 a A_6), que, si bien admiten interpretaciones particulares son, en todos los casos, coincidentes con las principales estructuras mapeadas en superficie y la geometría modelada en subsuelo (Fig. 11c).

Potencial “shale” del intervalo de interés oleogenético

La disposición y geometrías del intervalo Pérmico superior en subsuelo es desconocida. Aun así, el potencial de conformar reservorios No convencionales de Petróleo o Gas debería también ser considerado si se tiene en cuenta la silicificación profunda que acompaña a la concentración de la materia orgánica, y la existencia de importantes cuplas mecánicas (pelita silicificada-arenisca), que posee el intervalo. Una evaluación de BI (Índice de fracturabilidad de Jarvie), para el cual se utilizaron las determinaciones del análisis quimioestratigráfico, muestra las condiciones del intervalo para este propósito (Fig. 4c).

PERSPECTIVAS

La región de los valles de Fiambalá y Chaschuil, con roca madre potencial, petróleo en afloramientos, modelos que permiten sugerir la existencia de estructuras y generación de hidrocarburos en tiempos sincrónicos, y estudios que prueban la presencia de gases termogénicos en suelos podría constituir un objetivo de interés exploratorio, a estudiar con detalle progresivo en tópicos tales como:

Estratigrafía y estructuración del sector Oeste del Valle de Chaschuil y Puna austral.

Secuencia de deformación de la Faja Plegada y Corrida andina, a través de ambos valles.

Estratigrafía de detalle sobre las secuencias pérmicas que permita inferir polaridad y trenes de sedimentación a escala de cuenca al Este, Norte y Oeste de los valles.

Estudios de gases y microbios en suelos, sistematizados por etapas.

Conocimiento del subsuelo, estudios en planes por etapas en función de los resultados exploratorios de superficie.

Evaluación del potencial No convencional del intervalo, con vistas de aplicación a la región y a las nuevas industrias que se hallan en proceso de establecerse.

CONCLUSIONES

El conocimiento de la región desde el punto de vista exploratorio es relativamente escaso y no existe información directa ni indirecta de subsuelo. Las conclusiones obtenidas provienen de la información colectada en superficie, los resultados de laboratorio y el modelado de parámetros surgidos de esas mismas observaciones:

- El intervalo Guadalupiano-Lopingiano (Pérmico superior) del Norte de la Cuenca de Paganzo posee una secuencia de fangolitas y limolitas silicificadas de constitución y diagénesis particulares, portadora de una importante asociación fósil de microfitorplancton algáceo, que en afloramientos posee contenido orgánico de interés para la generación de

hidrocarburos.

- La secuencia medida posee espesor variable de alrededor de 90 m con COT promedio de 1,25 %, y picos de 7%, aunque en afloramientos el contenido de pelitas es variable y los intervalos con riqueza orgánica importante conforman entre 15 y 20 metros netos totales. La evolución de los trenes de facies hacia posiciones de interior de cuenca podría haber permitido el desarrollo de espesores mayores.
- Las muestras analizadas demostraron ser portadoras de KI y en menor medida KII y KIII. La madurez térmica media las sitúa en Ventana de Petróleo, y en afloramientos está muy influenciada por el contacto con intrusivos ígneos.
- Dentro de la faja de afloramientos, así como por encima y por debajo de ella se hallan shows de petróleo seco en areniscas, en planos de estratificación, en caras de fractura y en oquedades de los intrusivos ígneos.
- La faja de afloramientos se extiende por los bordes de los valles y la disposición estructural hace prever que se halle en el subsuelo. Los afloramientos se extienden por algo más de 100 km, e ingresan al ámbito de Puna Austral donde no han sido evaluados.
- El modelado estructural regional a partir de datos de superficie para el sector Sur del área estudiada permite inferir que podrían existir estructuras en el subsuelo de los valles, principalmente en el Valle de Fiambalá, que involucren al intervalo potencial generador en posiciones de interés exploratorio.
- Un primer intento de modelado oleogénico para el sector Sur del área estudiada muestra que la secuencia de interés podría haber alcanzado condiciones de soterramiento ideales e iniciado la generación en el Mioceno alto, lo que por lo conocido actualmente la situaría favorablemente en relación a la generación de estructuras en el Sureste de la región, que se habría iniciado a principios del mismo período.
- Un survey de microbios butanotróficos y gases adsorbidos en suelo a través de los valles demostró la existencia de anomalías de gas butano y concentraciones de gas termogénico en suelos. Las anomalías parecen guardar relación directa con las estructuras mapeadas en superficie y las modeladas en subsuelo.
- El análisis de las relaciones entre concentraciones de gases adsorbidos en los suelos de ambos valles, es muy consistente en indicar una única fuente de generación para los mismos. La condición de una única fuente de hidrocarburos es coherente, y lo esperable, para el entorno geológico y oleogénico analizado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración invaluable de los licenciados Ignacio Brissón y René Manceda en el modelado de datos oleogénicos y estructurales, y la discusión de esos

tópicos, respectivamente, al igual que a los licenciados Fernando Fernández Seveso y Luis Álvarez, conocedores cabales de la geología de la zona, por la lectura crítica del manuscrito, y al Dr. Héctor Villar por el análisis de muestras. Al Lic. Daniel Boggetti y el Dr. Gustavo Peroni, quienes arbitraron el escrito, y aportaron valiosas recomendaciones.

REFERENCIAS CITADAS

- Aceñolaza, F.G., y M.M. Vergel, 1987, "Hallazgo del Pérmico superior en el Sistema de Famatina", XX Congreso Geológico Argentino, Actas 3, p. 125-129, San Miguel de Tucumán.
- Allmendinger, R. W., 1986, "Tectonic development, southeastern border of the Puna plateau, northwestern Argentine Andes", *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97(9), p. 1070-1082.
- Astini, R.A., 1996, "Las fases diastróficas del Paleozoico Medio en la Precordillera del oeste argentino—evidencias estratigráficas", Actas XIII Cong. Geol. Arg. y III Cong. de Expl. de Hidrocarburos, actas V, p. 509-526, Buenos Aires.
- Azcuy, C. y J. Morelli, 1970, "Geología de la comarca Paganzo-Amaná. El Grupo Paganzo. Formaciones que lo componen y sus relaciones", *Asoc. Geol. Arg., Rev.* 25 (4), p. 405-429, Bs. As.
- Bayer, M., 1994. "Perfil sedimentológico-Estratigráfico en la Quebrada del Río La Troya, Departamento Tinogasta, Provincia de Catamarca. Estratos Terciarios Continentales", Trabajo Final de Licenciatura, Dpto. de Geol. y Min. (Fac. Cs. Fís. – Mat. y Naturales), UNSL. (Inédito).
- Bodenbender, G., 1911, "Constitución Geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes, República Argentina", *Bol. de la Acad. Nac. de Ciencias*, XIX (1), p. 5- 221, Córdoba.
- Bodenbender, G., 1912, "Parte meridional de la provincia de La Rioja y regiones limítrofes", *An. Min. Agric., Secc. Geol., Mineral y Min.*, VII, 3, Buenos Aires.
- Carrapa, B., J. Hauer, L. Schoenbohm, M.R. Strecker, A.K. Schmitt, A. Villanueva y J.S. Gomez, 2008, "Dynamics of deformation and sedimentation in the northern Sierras Pampeanas: An integrated study of the Neogene Fiambalá Basin, NW Argentina", *Geol. Soc. of Am. Bull.*, v. 120, p. 1518-1543.
- Carrapa, B., M.R. Strecker y E.R. Sobel, 2006, "Cenozoic orogenic growth in the central Andes: Evidence from sedimentary rock provenance and apatite fission track thermochronology in the Fiambalá Basin, southernmost Puna Plateau margin (NW Argentina)", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 247, p. 82-100.
- Cisterna, C., B. Coira y E. Brussa, 2010, "Depósitos volcánicos – sedimentarios del Tremadociano inferior en la sierra de Narváez. Eventos volcánicos tempranos del arco magmático ordovícico, Sistema de Famatina, Argentina", *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.*, 67(2), p. 317-326.
- Cisterna, C., 1992, "Granitoides paleozoicos de la Sierra de Narváez, Sistema de Famatina, Argentina: Hidrización de magmas en un margen continental activo", *Est. Geol.* 48, p. 229-235.
- Coira, B., C. Cisterna y M. Koukharsky, 2014, "Formaciones Suri y Las Planchadas, Sistema de Famatina, Noroeste de Argentina: Un Problema Estratigráfico", XIX Cong. Geol. Arg., Cba, Arg.

- Dávila, F.M., 2010, "Dynamics of deformation and sedimentation in the northern Sierras Pampeanas: An integrated study of the Neogene Fiambalá basin, NW Argentina", Comment and discussion, Geological Society of America Bulletin.
- Dávila, F.M., R.A. Astini y M. Ezpeleta, 2005, "Sucesiones lacustres postgondwánicas-preandinas en la región de Famatina (La Rioja y Catamarca)", Rev. Asoc. Geol. Arg., 60, p. 88-95.
- Dávila, F.M. y A. Carter, 2013 "Exhumation history of the Andean broken foreland revisited", Geological Society of America; Geology, 41 (4), p. 443-446.
- Destefano, M.C. y O.O. Decastelli, 1992, "Evaluación de sedimentitas Neopaleozoicas como Rocas Generadoras y Reservorio, su relación térmica con cuerpos intrusivos, en el Bolsón de Fiambalá, Cuenca de Paganzo, Catamarca. Argentina", 4º R. Arg. de Sed., La Plata, Argentina, T. 2, p. 81-88.
- Doering, A., 1882, "Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor General de la expedición al Río Negro (Patagonia)", III, Buenos Aires.
- DTP Laboratorios, 2012. Relevamiento Geoquímico de Superficie, Chaschuil, Provincia de Catamarca- Argentina. Informe Inédito.
- Fernández Seveso, F., M.A. Pérez, I.E. Brisson y L. Álvarez, 1993. "Sequence Stratigraphy and Tectonic analysis of The Paganzo Basin, Western Argentina", XII Congres International de la Stratigraphie et Géologie Du Carbonifere Et Permien, v. 2, p. 223-260.
- Fernández Seveso, F. y A.J. Tankard, 1995, "Tectonics and stratigraphy of the Late Paleozoic Paganzo basin of western Argentina and its regional implications", en Tankard A., S. Suarez y H. Welsink (eds.), Petroleum Basins of South America, Am. Ass. of Pet. Geol. Memoir 62, p. 285-301.
- González Bonorino, F., 1950, "Geología y Petrografía de las Hojas 12d (Capillitas) y 13d (Andalgalá), Provincia de Catamarca", Direc. Nac. de Geol. y Min., Bol. 70, 100 p., Bs. As.
- Kay, R. W. y S.M. Kay, 1993, "Delamination and delamination magmatism", Tectonophysics, 219 (1-3), p. 177-189.
- Landais, P. y J. Connan, 1980, "Relation uranium-matière organique dans deux bassins permien français: Lodève (Hérault) et Cérilly-Bourbon-L'Archambault (Allier)". Bulletin du Centre de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine 4, 709-757.
- Manceda, R., 2018, "Corte estructural regional sobre la transecta del Río Guanchín. Bolsones de Chaschuil y Fiambalá. Catamarca". Reporte interno para MAPaS.
- Penk, W., 1920, "Der Südrand der Puna de Atacama (NW-Argentinien). Ein Beitrag zur Kenntnis des Andinen Gebirgstypus und der Frage der Gebirgsbildung", Der Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, 1, p. 3-420. Leipzig.
- Pereyra, F. y D. Rubiolo, 1999, "Bosquejo morfoestructural del sector occidental de Catamarca", XIV Congreso Geológico Argentino, actas II, p. 46-49, Salta.
- Pérez, M.A., F. Fernández Seveso, L. Álvarez e I. Brisson, 1993, "Análisis Ambiental y Estratigráfico del Paleozoico Superior en el Área Anticlinal de Huaco, San Juan, Argentina". XII Congres International de la Stratigraphie et Géologie Du Carbonifere Et Permian. Volume 2, p. 297-318.
- Pérez, M.A., F.D. Carini, D. Figueroa, R. Manceda, R. Calegari y L. Constantini, 2016, "El carácter de la discordancia neopaleozoica en Precordillera Central del Norte sanjuanino". Acta geológica lil-loana 28 (Suplemento): III Jornadas de Geología de Precordillera 2016, p 136-142.

- Pérez, M.A., M.V Bagur Delpiano, D. Graneros, M. Lauría y K. Breier, 2011, "Cuenca Precordillera: Claves Exploratorias para el Paleozoico. Áreas Jáchal y Niquivil, San Juan. Argentina", Simposio de cuencas. VIII CONEXPLO, Mar del Plata. Argentina, p. 275-319.
- Pixler, B.O., 1969, Formation Evaluation by Analysis of Hydrocarbon Ratios, *Journal of Petroleum Technology*, V. 21, pp. 665-670
- Ramos, V., T. Jordan, R. Allmendinger, S. Kay, J. Cortés y M. Palma, 1984, "Chilenia: un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes Centrales". 9° Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, Argentina, Actas 1, p. 84-106.
- Rubiolo, D., O. González, R. Seggario, F. Hongn y L. Martínez, 2001, "Carta Geológica de la República Argentina: Fiambalá, 2769-IV" (versión a validar), Dirección Nacional del Servicio Geológico, Secretaría de Minería, escala 1:250.000, Buenos Aires.
- Safipour, R., B. Carrapa, P.G. DeCelles y S.N. Thomson, 2015, "Exhumation of the Precordillera and northern Sierras Pampeanas and along-strike correlation of the Andean orogenic front, northwestern Argentina", *Geological Society of America Memoir* 212, p. 181-199.
- Sechman, H., G. Izydor, P. Guzy y M. Dzieniewicz, 2015 "Surface geochemical exploration for hydrocarbons in the area of prospective structures of The Lublin Trough (Eastern Poland)", *Marine and Petroleum Geology* 61, p. 22-38.
- Schoenbohm, L.M., B. Carrapa, H.M McPherson, J.R. Pratt, S. Bywater-Reyes y E. Mortimer, 2015, "Climate and tectonics along the southern margin of the Puna Plateau, NW Argentina: Origin of the late Cenozoic Punaschotter conglomerates". *Geol. Society of America Memoir* 212, p. 251-260.
- Turner, J.C., 1967, "Descripción geológica de la Hoja 13b, Chaschuil, Provincias de Catamarca y la Rioja", *Direc. Nac. de Geol. y Min.*, v. 106, p. 1-78.
- Turner, J.C. y V. Mendez, 1975, "Geología del sector oriental de los departamentos de Santa Victoria e Iruya, Provincia de Salta, República Argentina". *Bol. Acad. Nac. Cs.* 51, p. 11-24, Córdoba.
- Zavattieri, A.M., P.M. Gutiérrez y M. Ezpeleta, 2017, "Syndesmion stellatum (Fijałkowska) Foster et Afonin chlorophycean algae and associated microphytoplankton from lacustrine successions of the La Veteada Formation (Late Permian), Paganzo Basin, Argentina". *Paleoenvironmental interpretations and stratigraphic implications. Review of Palaeobotany and Palynology* 242, p. 1-20.
- Zurbriggen, M.J., 1993, "Perfil Sedimentológico-Estratigráfico en la Quebrada de Las Higueritas, Departamento Tinogasta, Provincia de Catamarca. Estratos Continentales", Trabajo Final de Licenciatura, Dpto. de Geol. y Min. (Fac. Cs. Fís. - Mat. y Naturales), UNSL. (Inédito).