

# POTENCIAL EXPLORATORIO DE LA ZONA DE RIVADAVIA, CUENCA CUYANA, MENDOZA.

Max A. Torres<sup>1</sup>, Jorge J. Cerdan<sup>1</sup>, Daniel A. Boggetti<sup>2</sup>, y Héctor Villar<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>ASTRA C.A.P.S.A., <sup>2</sup>PyT Consultora S.R.L. y <sup>3</sup>CIRGEO

## ABSTRACT

The Rivadavia area is located in the eastern side of the CC y B-17 block in the Cuyana basin in the Mendoza province. Located in the foothills of the andean orogenic belt, the Triassic sedimentary column remained tectonically undisturbed during the late Tertiary. The main tectonic features of the area are a NW-SE trending pre-rift paleohigh (Phillips) and a Triassic rift and postrift (sag) depocenter (Rivadavia).

The Rivadavia area is considered underexplored based on the results of a new evaluation of the block completed by ASTRA. The traditional perception of the source rock (Cacheuta Fm) being immature in the area is disputed by new geochemical analyses performed in the LP x-1 well. The analyses evidenced exceptionally high TOC content and generation index (S2). The thermal maturity showed a marginally mature liquid prone sapropelic amorphous kerogen with Ro: 0.6. The biomarkers and chromatographic data of extracted fractions is slightly comparable with low maturity oils (EVR: 0.6 - 0.7) founded in producing areas of the basin. Considering the marginal position of the analysed well with respect to the depocenter ("kitchen"), a short migration from the sourcing area to the exploration plays is postulated.

New exploration plays developed in the transition zone between the Phillips paleohigh and the Rivadavia depocenter include stratigraphic and structural concepts. Stratigraphic plays are thought to be favoured by important facies changes due to increased subsidence rates during deposition in the postrift phase. Four-way closures were mapped in the hanging wall as a result of extensional faulting. Potential reservoirs with updip closures include a forestepping system tract in the fluvial Rio Blanco Fm and lowstand deposits in the Cacheuta - Potrerillos boundary. Two prospects are presented as examples of the exploration potential of the Rivadavia area, known as El Mirador and Bodega La Escondida. Reserves are estimated as 8.2 MMBO and 10 MMBO, respectively. Potential could be significantly increased with improved seismic coverage.

## INTRODUCCION

La cuenca Cuyana ha acumulado cerca de 1500 MMBO, de trampas estructurales y estratigráficas. Los yacimientos demuestran estar en la fase final de su desarrollo, evidenciado en el alto porcentaje de agua (95%) de las historias de producción. El potencial de las trampas de tipo combinadas o estratigráficas de la cuenca es importante como por ejemplo, la Fm Papagayos del yacimiento Vizcacheras con 220 MMBO de producción acumulada. La exploración ha estado concentrada en los ejes estructurales positivos y sus flancos, dejando de lado a las zonas estructuralmente deprimidas como es el caso de los bloques Pampa del Sebo y Rivadavia (CC y B-17). En estas grandes zonas geográficas de la cuenca, la exploración y en particular la búsqueda de trampas sutiles y combinadas ha tenido un carácter secundario. Un análisis exploratorio del área Rivadavia concluye que la misma presenta un potencial hidrocarburífero importante.

El área de Rivadavia se encuentra subexplorada y su potencial fue históricamente desestimado por la falta de evidencias de hidrocarburos en los pocos sondeos existentes. El riesgo crítico por el cual no se llevo adelante una exploración más intensa, fue la idea generalizada de la falta de madurez térmica de la roca madre (Fm. Cacheuta). La presencia de roca madre marginalmente madura en el sondeo LP x-1 y la cercanía de grandes acumulaciones como el yacimiento Vizcacheras (400 MMBO), determinan la necesidad de reconsiderar estos conceptos. Mejorando la imagen de la información sísmica se desarrollaron modelos exploratorios con los que se planea continuar con la búsqueda de hidrocarburos en la zona. El trabajo de evaluación del área Rivadavia forma parte de un esfuerzo exploratorio de ASTRA C.A.P.S.A. en el bloque dentro del marco legal del Plan Argentina.

## AREA RIVADAVIA

La zona de Rivadavia está ubicada en un ámbito zona sin plegamiento andino, en el margen oriental de la cuenca Cuyana, al este de los ejes productivos que contienen a las áreas y yacimientos de Las Juntas, Vizcacheras y Zampal Oeste y más al oeste a los yacimientos La Ventana, Lunlunta-Carrizal, y Barrancas. El área está ubicada en la zona de "foot-hills" de la cuenca de antepaís Terciaria (Fig. 1 y 2).

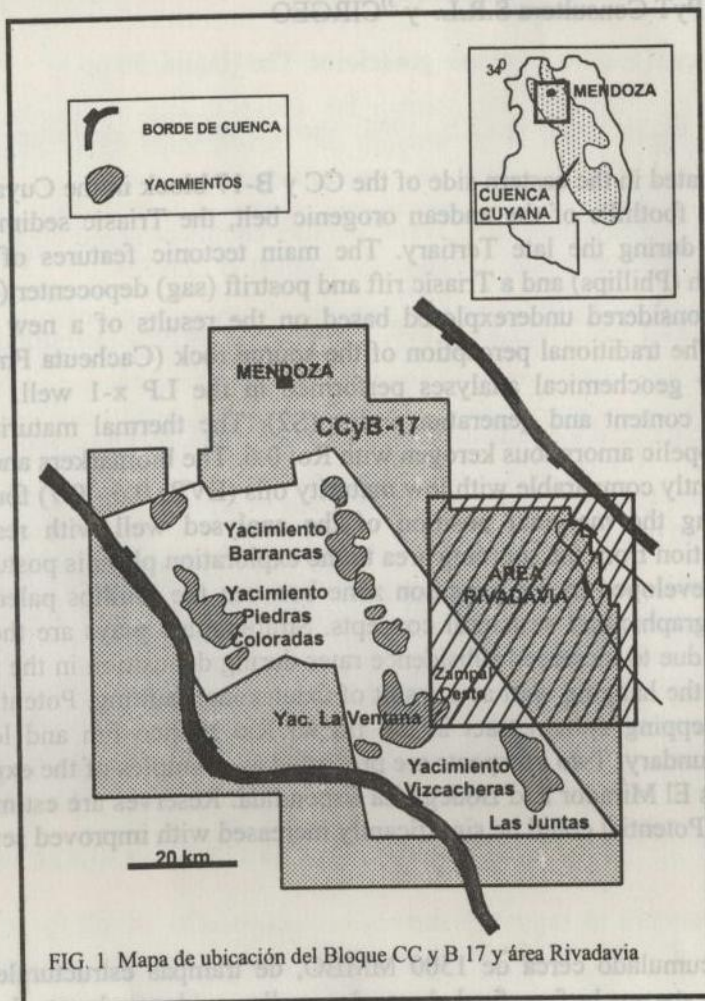


FIG. 1 Mapa de ubicación del Bloque CC y B 17 y área Rivadavia

El rasgo regional dominante es la coincidencia espacial de un depocentro para depósitos de synrift tardío y "sag" (Formaciones Potrerillos, Cacheuta y Río Blanco) con el depocentro actual de la cuenca de antepaís Terciaria -Cuaternaria. La configuración del área está dominada por este depocentro Triásico (hemigraben Rivadavia) y el paleoalto de Phillips hacia el noroeste, conformado por depósitos de prerift, ambos con orientación NO-SE. Sobre estos dos grandes elementos estructurales se desarrolla una columna sedimentaria en respuesta a la acomodación de rift y "sag" triásicos. La existencia de un punto de máxima subsidencia local con un elemento positivo de prerift, crean las condiciones apropiadas para la búsqueda de hidrocarburos en plays estratigráficos y estructurales al encontrarse un fuerte adelgazamiento de la columna combinado con fallamiento extensional.

Incluyendo las zonas de Río Seco Los Corrales y Del Durazno dentro del área Rivadavia, hay 14 pozos perforados por YPF. Estos sondeos encontraron rastros frescos en la Fm Potrerillos (Loma Puntuda x-1, Del Lindero x-3), rastros secos en la Fm Potrerillos (Phillips x-1 y x-4) e impregnaciones en la Fm Barrancas (Río Mendoza x-2, testigo corona). Fuera del área hay indicaciones de hidrocarburos en Zampal Oeste-1, Zampal x-1 y x-5 que presentaron rastros frescos en la formaciones Potrerillos y Río Blanco. El pozo ZO x-1 fue productor marginal (1800 lt/h, con agua) de la Fm Barrancas (Fig. 8).

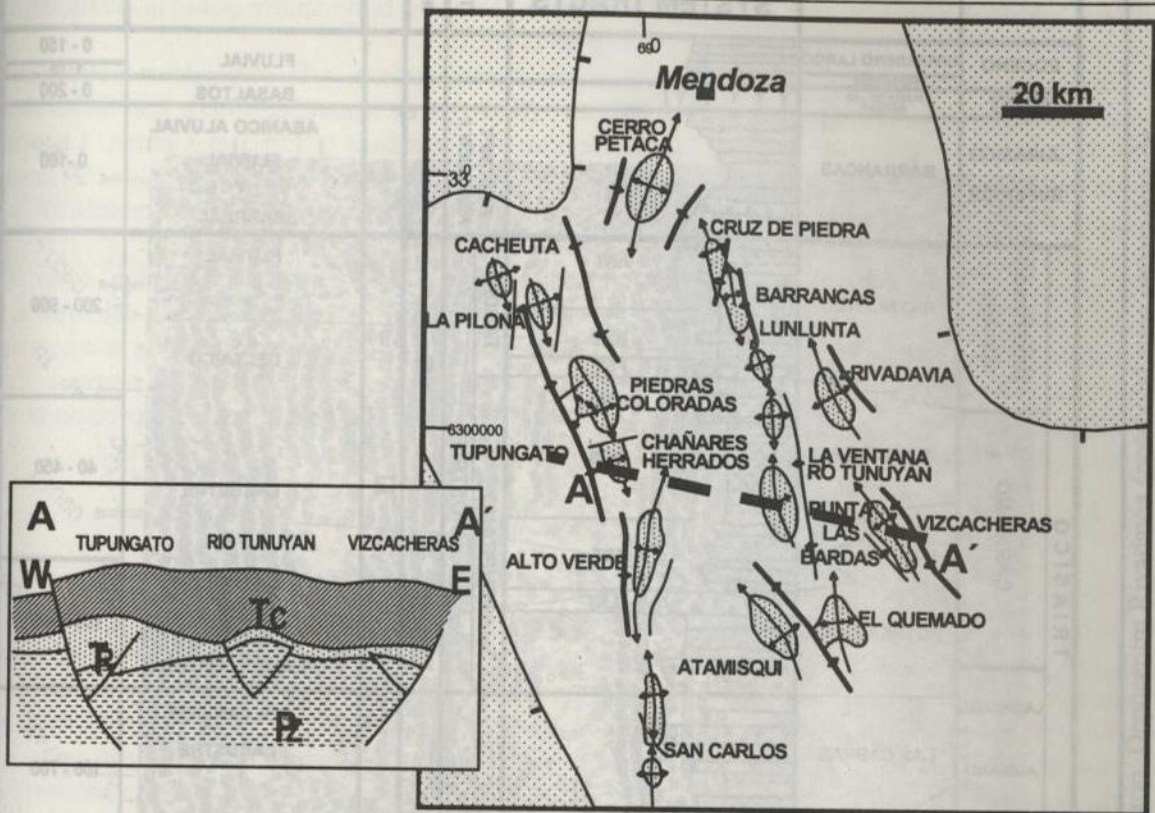


FIG.2 Mapa con lineamientos estructurales principales y yacimientos. La sección A - A' muestra el estilo tectónico dominante de inversión estructural producido por corrimientos profundos. Modificado de Dellape y Hegedus (1995).

## MARCO GEOLOGICO

La cuenca Cuyana es de tipo rift intracontinental rellena por material terrígeno (epiclástico y piroclástico). El relleno sedimentario esta relacionado con las etapas evolutivas del sistema de rift, la subsidencia jurásico-cretácica y la subsidencia pre-andina. La etapa de rift se puede separar en tres fases: Prerift, Synrift y Postrift (Fig. 3).

### Fase de Prerift

Esta representado por varios eventos tectónicos responsable de la configuración del basamento previos a la generación de la cuenca Cuyana. Esta constituido por niveles calcáreos de edad cambro - ordovícica (Fm. San Juan), unidades compuestas por clásticos finos de origen turbidítico de edad devónica (Fm. Villavicencio), y vulcanitas riolíticas de edad permotriásica (Fm. Choiyoi). Sobre estos depósitos se instaló el rift Triásico que se describe a continuación.

| EDAD                             | FORMACION            | LITOLOGIA /<br>SYSTEM TRACTS | FASE<br>TECTONICA     | RESERVORIOS | ROCA<br>MADRE | AMBIENTE<br>SEDIMENTARIO                   | ESPESOR   |
|----------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|-------------|---------------|--------------------------------------------|-----------|
| EOCENO                           | DIVISADERO LARGO     |                              |                       |             |               | FLUVIAL                                    | 0 - 150   |
|                                  | PAZARAYO             |                              |                       |             |               | BASALTOS                                   | 0 - 200   |
| JURASICO<br>SUPERIOR             | BARRANCAS            | Y Y Y Y Y                    | POSTRIFT<br>NEUQUEN ? |             |               | ABANICO ALUVIAL<br>FLUVIAL<br>Y<br>BARREAL | 0 - 160   |
| TRIASICO                         | RHAETIANO<br>NORIANO | AST                          | TARDIO                |             |               | FLUVIAL                                    | 200 - 900 |
|                                  |                      | BST                          |                       |             |               | DELTAICO                                   |           |
|                                  |                      | FST                          |                       |             |               |                                            |           |
|                                  |                      | HST                          |                       |             |               |                                            |           |
|                                  | CARNIANO             | MFS                          | TEMPRANO              |             |               | LACUSTRE                                   | 40 - 450  |
|                                  |                      | TST                          |                       |             |               | DELTAICO                                   | 100 - 800 |
|                                  |                      | LST                          |                       |             |               | PLANICIE ALUVIAL                           |           |
| LADINIANO<br>ANSIANO<br>SCYTIANO | POTRERILLOS          |                              |                       |             |               |                                            |           |
|                                  | LAS CABRAS           |                              |                       |             |               | VOLCANICOS<br>LACUSTRE                     | 100 - 700 |
|                                  | RIO MENDOZA          |                              |                       |             |               | FLUVIAL<br>ABANICO ALUVIAL                 | 50 - 200  |
| PALEOZOICO                       | BASAMENTO            |                              | PRERIFT               |             |               |                                            |           |

FIG. 3 Columna estratigráfica del area Rivadavia.

### Fase de Synrift

La actividad tectónica inicial de apertura de la cuenca, controló la geometría y ubicación espacial de los cortejos sedimentarios sincrónicos con el inicio y clímax del rift (Prosser, 1993). Las fallas normales durante esta etapa controlaron la ubicación de los depocentros. Normalmente en los sistemas de rift la subsidencia tectónica aumenta su velocidad a medida que avanza la etapa de clímax de rift, y todas las fallas que comenzaron generando en un principio pequeños depocentros, terminan amalgamándose para unirse en una falla normal principal que limita el hemigraben. En esta etapa los sedimentos fueron transportados y depositados principalmente por sistemas fluviales perennes y efímeros y abanicos aluviales que llegaban a depocentros ocupados por sistemas lacustres o playa lakes, en un clima predominantemente árido y en cercanías de sistemas volcánicos activos. En sismica, se caracteriza geométricamente por la fuerte divergencia, la pobre continuidad de los reflectores y las facies sísmicas caóticas. La figura 4 muestra una línea sísmica sobre el depocentro y palealto horizontalizada a la base del Terciario donde se observa la divergencia sísmica de las facies de synrift.



El relleno sedimentario es coetáneo con la generación del espacio disponible por fallas normales que conforman los hemigraben. Se trata de rellenos de abanicos aluviales en posiciones cercanas a las escarpas de falla con aporte dominante desde la cresta del yaciente. También hubo aporte desde la cresta del colgante y desde sistemas externos que corren paralelos al eje de la cuenca.

Desde una visión secuencial, esta unidad genética que correspondería a la etapa de máxima subsidencia tectónica, fue definida como "Supersecuencia Inferior" (Kokogian y Mancilla, 1989). Las facies del relleno de synrift se conocen litoestratigráficamente como Fm Río Mendoza y Fm Las Cabras. La primera se caracteriza por facies de abanicos aluviales y la segunda por sistemas fluviales efímeros que desembocaban en cuerpos lacustres y barreales. En forma coetánea se desarrolló una intensa actividad volcánica, según se infiere por las frecuentes coladas basálticas y contenido piroclástico de los sedimentos.

En esta etapa del conocimiento de la cuenca y con la información disponible, es difícil saber si la Fm Potrerillos, particularmente su sección fluvial basal, pertenece a la etapa final del clímax del rift o a la etapa del postrift inmediato. Esto es debido a la dificultad que ofrece la identificación sísmica de la discordancia de la base de esta formación. El hecho de que los rellenos de canales, generalmente de tipo arenoso, de la base de la Fm Potrerillos estén recostados sobre las escarpas de fallas de rift, puede ser interpretado tanto como consecuencia de un relieve heredado o como una etapa póstuma de la subsidencia tectónica.

### **Fase de Postrift**

La fase de postrift fue definida como "Supersecuencia Superior" (Kokogian y Mancilla, 1989), y es posible subdividir la etapa en dos estadios: postrift inmediato y postrift tardío.

**Postrift inmediato:** Esta etapa en el desarrollo de la cuenca está caracterizada por el cese del basculamiento del bloque colgante y la subsidencia diferencial a través del plano de falla. Comienza a ser importante la subsidencia por enfriamiento litosférico, que es de un orden de magnitud menor que la subsidencia tectónica. El aporte sedimentario alcanza a rellenar los depocentros previos hasta colmar totalmente la cuenca.

Se interpreta que la parte superior de la Fm Potrerillos y la Fm Cacheuta son las unidades litoestratigráficas que representan este estadio. Los cortejos sedimentarios acumulados en esta etapa, son controlados principalmente por el factor climático (Williams, 1993). La característica sísmica de estas unidades, particularmente la Fm Cacheuta, es la alta amplitud y la continuidad de los reflectores (Fig. 4).

En la etapa de hundimiento térmico (sag) las unidades sedimentarias comienzan rellenando el espacio remanente heredado de la etapa anterior. De este modo los sistemas fluviales desarrollan sus cuerpos canalizados arenosos, alineados según el rumbo de las fallas profundas y a medida que avanza la sedimentación comienzan a colmar dicho espacio para luego divagar en valles de mayor amplitud.

Los sistemas fluviales del tope de la Formación Potrerillos desembocan en el cuerpo lacustre de la Formación Cacheuta, creando un pasaje transicional de facies tanto vertical como lateralmente. En la Fm Cacheuta se instala en la cuenca un cuerpo lacustre importante, cuyo nivel de base pasa a controlar los perfiles de equilibrio de los sistemas fluviales. El ascenso continuado del nivel del lago genera la inundación progresiva de la cuenca, y genera un equivalente a un cortejo sedimentario transgresivo que alcanza a cubrir a depósitos de prerift. En la base, cada parasecuencia es progradante, pero la tendencia general es retrogradante, dando un típico arreglo de "back-stepping" en el sentido secuencial de Van Wagoner et al (1990). Este cortejo se caracteriza por la baja relación de aporte de material terrígeno con respecto al de materia orgánica generada in situ, lo cual crea excelentes condiciones para la depositación y preservación de la roca madre, particularmente en la sección basal y máxima inundación (MFS). El nivel de máxima inundación está caracterizado por niveles con depositación de minerales autigénicos ("hardground") y es fácilmente reconocible en algunas secciones afloradas. La inundación de la Fm Cacheuta termina con una zona progradante delgada de areniscas finas y limolitas, completando el ciclo con una regresión, equivalente a un cortejo de nivel alto ("highstand"). La Figura 5 es un corte estructural que involucra a los pozos LP x-1 y RSC x-3, que ejemplifica la respuesta eléctrica de las facies de postrift.

**Postrift tardío:** La última etapa en el desarrollo de una cuenca de rift la constituye el relleno total de la misma con la consecuente peneplanización del relieve previo. Por lo observado en la sísmica la principal fuente de generación de espacio disponible para sedimentar lo constituyen la subsidencia térmica magnificada en parte por la generada por sobrecarga de sedimentos.

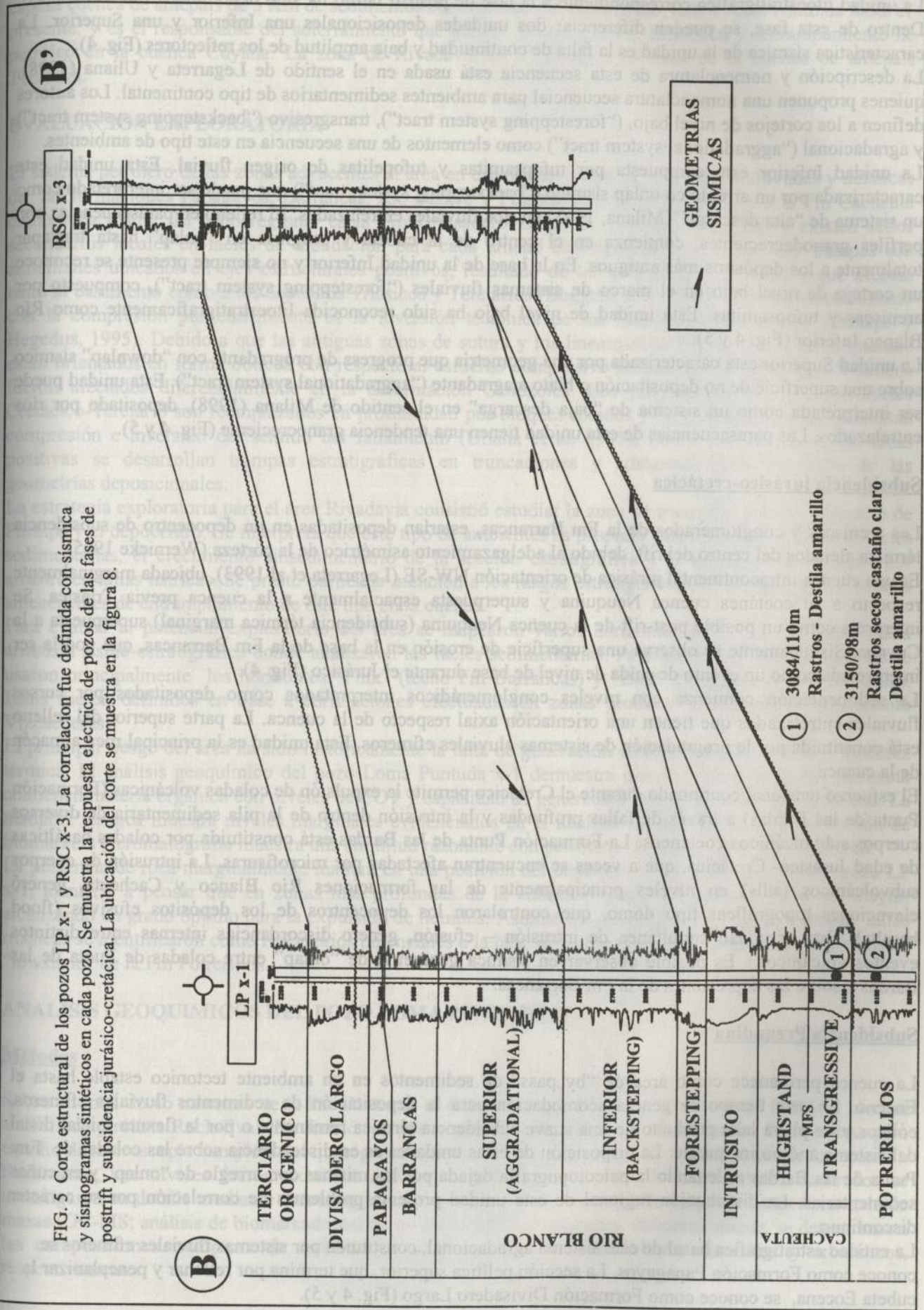


FIG. 5 Corte estructural de los pozos LP x-1 y RSC x-3. La correlación fue definida con sísmica y sísmogramas sintéticos en cada pozo. Se muestra la respuesta eléctrica de pozos de las fases de postrift y subsidencia jurásico-cretácica. La ubicación del corte se muestra en la figura 8.

La unidad litoestratigráfica correspondiente a la fase de postrift tardío ha sido denominada Fm Río Blanco. Dentro de esta fase, se pueden diferenciar dos unidades deposicionales una Inferior y una Superior. La característica sísmica de la unidad es la falta de continuidad y baja amplitud de los reflectores (Fig. 4).

La descripción y nomenclatura de esta secuencia está usada en el sentido de Legarreta y Uliana (1998), quienes proponen una nomenclatura secuencial para ambientes sedimentarios de tipo continental. Los autores definen a los cortejos de nivel bajo, ("forestepping system tract"), transgresivo ("backstepping system tract") y agradacional ("aggradational system tract") como elementos de una secuencia en este tipo de ambientes.

La unidad Inferior esta compuesta por tufopsamitas y tufopelitas de origen fluvial. Esta unidad esta caracterizada por un arreglo en onlap sísmico ("backstepping system tract") que puede ser interpretado como un sistema de "alta descarga" (Milana, 1998) en ríos fluviales entrelazados. El relleno en parasecuencias con perfiles granodecrecientes, comienza en el centro de la cubeta y progresa en "onlap" hasta traslapar totalmente a los depósitos más antiguos. En la base de la unidad Inferior y no siempre presente se reconoce un cortejo de nivel bajo en el marco de sistemas fluviales ("forestepping system tract"), compuesto por areniscas y tufopsamitas. Esta unidad de nivel bajo ha sido reconocida litoestratigráficamente como Río Blanco Inferior (Fig. 4 y 5).

La unidad Superior esta caracterizada por una geometría que progresa de progradante con "downlap" sísmico sobre una superficie de no deposición o hiato a agradante ("aggradational system tract"). Esta unidad puede ser interpretada como un sistema de "baja descarga" en el sentido de Milana (1998), depositado por ríos entrelazados. Las parasecuencias de esta unidad tienen una tendencia granocreciente (Fig. 4 y 5).

### **Subsidencia jurásico-cretácica**

Las areniscas y conglomerados de la Fm Barrancas, estarían depositadas en un depocentro de subsidencia térmica alejados del centro del rift, debido al adelgazamiento asimétrico de la corteza (Wernicke 1985).

Es una cuenca intracontinental jurásica de orientación NW-SE (Legarreta et al 1993), ubicada marginalmente respecto a su coetánea cuenca Neuquina y superpuesta espacialmente a la cuenca previa Triásica. Se interpreta como un posible post-rift de la cuenca Neuquina (subsidencia térmica marginal) superpuesta a la Cuyana. Sísmicamente se observa una superficie de erosión en la base de la Fm Barrancas, que podría ser interpretada como un evento de caída de nivel de base durante el Jurásico (Fig. 4).

La sedimentación comienza con niveles conglomerádicos interpretados como depositados por cursos fluviales entrelazados que tienen una orientación axial respecto de la cuenca. La parte superior del relleno está constituida por la progradación de sistemas aluviales efímeros. Esta unidad es la principal roca almacén de la cuenca.

El esfuerzo tensional continuado durante el Cretácico permite la expulsión de coladas volcánicas (Formación Punta de las Bardas) a través de fallas profundas y la intrusión dentro de la pila sedimentaria de diversos cuerpos subvolcánicos coetáneos. La Formación Punta de las Bardas está constituida por coladas basálticas de edad Jurásico- Cretácica, que a veces se encuentran afectadas por microfisuras. La intrusión de cuerpos subvolcánicos (sills) en niveles principalmente de las formaciones Río Blanco y Cacheuta, generó elevaciones topográficas tipo domo, que controlaron los depocentros de los depósitos efusivos (flood basalts). Esta actividad simultánea de intrusión – efusión, genero discordancias internas entre distintos eventos volcánicos. Es posible observar en sísmica geometría de "onlap" entre coladas de Punta de las Bardas y sobre las depresiones de la Fm Barrancas.

### **Subsidencia Preandina**

La cuenca permanece como área de "by pass" de sedimentos en un ambiente tectónico estable hasta el Eoceno. En este tiempo se genera acomodación para la deposición de sedimentos fluviales efímeros, eólicos y de playa lake producto de una suave subsidencia térmica remanente o por la flexura inicial distal del sistema andino incipiente. La disposición de estas unidades es en discordancia sobre las coladas de Fm. Punta de las Bardas rellenando la paleotopografía dejada por las mismas con arreglo de "onlap" y en cuñas sedimentarias. La distribución regional de esta unidad presenta problemas de correlación por su carácter discontinuo.

La entidad estratigráfica basal de este sistema agradacional, constituida por sistemas fluviales efímeros se conoce como Formación Papagayos. La sección pelítica superior, que termina por rellenar y peneplanizar la cubeta Eocena, se conoce como Formación Divisadero Largo (Fig. 4 y 5).

En el Mioceno comienza una etapa compresiva que hunde la cuenca Cuyana, sepultándola por debajo de una espesa cuenca de antepaís de 5 Km de sedimentos continentales de clima árido. Este evento continúa hasta el presente, y es el responsable del soterramiento que generó la maduración, expulsión y entrapamiento de petróleo en la cuenca Cuyana. La zona de Rivadavia es un depocentro local de la cuenca de antepaís Terciaria.

## **EVALUACION EXPLORATORIA**

El sistema petrolero de las zonas adyacentes al área en estudio involucra a las areniscas fluviales y deltaicas de las formaciones Papagayos, Barrancas, Río Blanco y Potrerillos como reservorios y a la Fm Cacheuta como roca madre. El sello regional es la Fm Divisadero Largo en sus facies pelíticas y existen sellos secundarios locales en facies de inundación para cada unidad estratigráfica productiva. Las trampas son anticlinales ubicados en ejes estructurales positivos, resultado de los corrimientos profundos que afectan tanto al basamento como a los depósitos Triásicos y Terciarios (Boggetti et al, 1999). Un efecto relacionado con la compresión por corrimiento es la inversión tectónica de los hemigraben triásicos (Dellape y Hegedus, 1995). Debido a que las antiguas zonas de sutura y los lineamientos Mesozoicos sobreimpuestos están orientados en forma oblicua con respecto al esfuerzo compresivo andino, los hemigraben Triásicos fueron afectados diferencialmente en la deformación Cenozoica. Los pliegues someros en los niveles Cretácico-Terciario son reemplazados en profundidad por bloques rotados y fallas profundas que presentan compresión e inversión del sentido del fallamiento (Uliana et al, 1995). Sobre los flancos de las áreas positivas se desarrollan trampas estratigráficas en truncaciones y adelgazamientos resultado de las geometrías deposicionales.

La estrategia exploratoria para el área Rivadavia consistió estudiar la zona de transición entre el paleoalto de Phillips y el depocentro. Se interpreta que este tipo de ambientes es propicio para el rápido cambio de facies sedimentarias, el crecimiento sinsedimentario de la sección estratigráfica y la aparición de pliegues por arrastre en fallas listricas. Se prestó particular atención a los rasgos estratigráficos de la zona por los buenos antecedentes de entrapamiento de este tipo en la cuenca.

Para evaluar el potencial exploratorio del área se mapearon varios horizontes sísmicos y se definió una armazón sismo-estratigráfica donde analizaron las facies sedimentarias. Para identificar a los prospectos se usaron principalmente los horizontes "Pink" (techo Fm Barrancas) y "Blue" (techo de la Fm Cacheuta). Estos fueron definidos en base a correlaciones efectuadas en zonas productivas adyacentes (yacimientos Vizcacheras).

El principal riesgo del área ha sido históricamente la falta de generación de hidrocarburos por baja madurez térmica. El análisis geoquímico del pozo Loma Puntuda x-1 demuestra que las facies de la Fm Cacheuta contienen materia orgánica con niveles de COT y capacidad de generación (S2) por encima de lo normal. La madurez térmica muestra niveles marginales evidenciados en el análisis del querógeno. La correlación de biomarkers y cromatografía muestra una similitud razonable con petróleos no migrados de baja madurez.

La presencia de roca marginalmente madura en una posición del depocentro Terciario como la del pozo LP x-1, alentaría a pensar que en zonas más profundas de la cubeta el grado de madurez debe ser mayor, alcanzando un grado óptimo para la expulsión de líquidos. Asumiendo una migración corta a través de fallas triásicas se identificaron como reservorios potenciales a la base de la Fm Río Blanco y posibles depósitos de "lowstand" de la Fm Potrerillos.

## **ANALISIS GEOQUIMICOS DEL POZO LOMA PUNTUDA X-1**

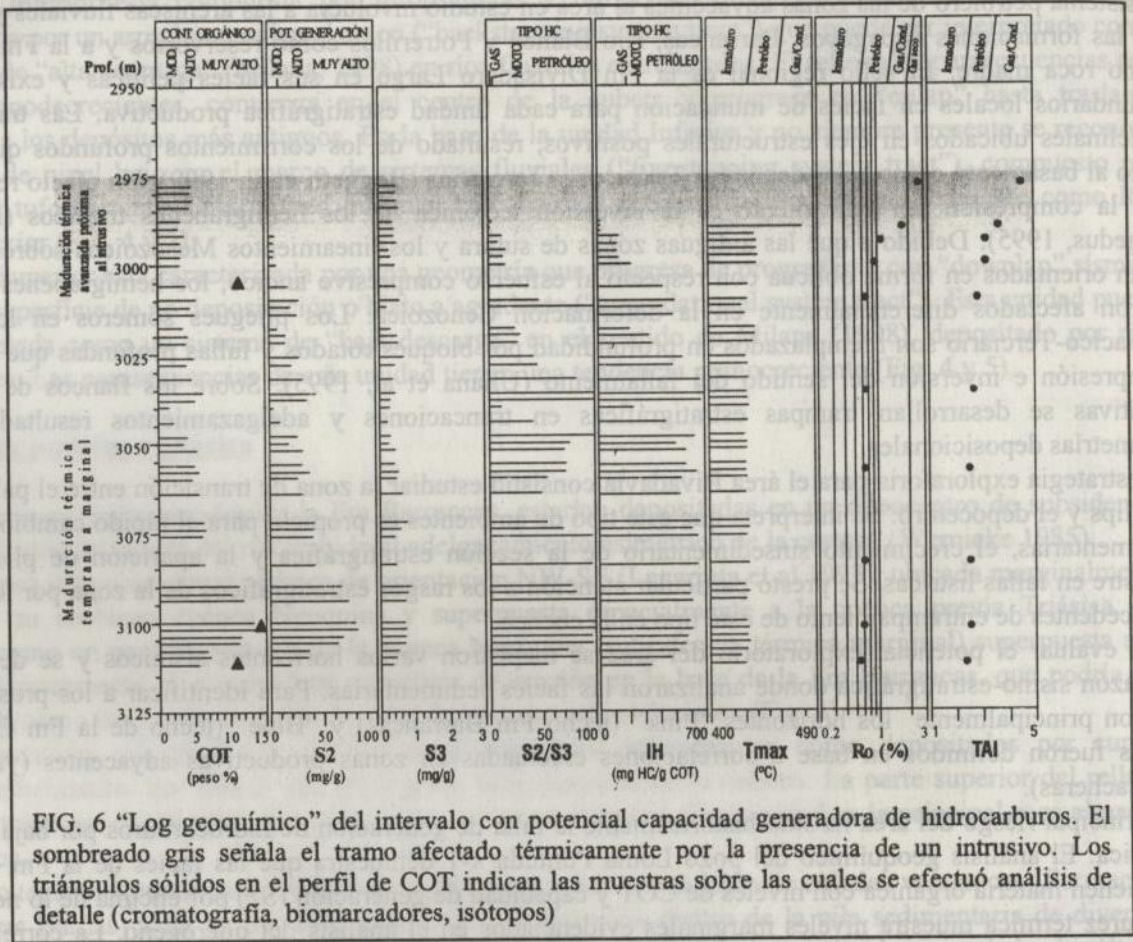
### **Métodos**

Sobre un total de 46 muestras de la Fm Cacheuta se determinó el contenido orgánico total (COT) y efectuó análisis de pirólisis Rock-Eval. En función de los resultados obtenidos, se seleccionaron 10 muestras para estudio de microscopía completa del querógeno (tipo de materia orgánica, TAI y reflectancia de la vitrinita). Finalmente, tres niveles fueron extraídos con solvente y sus fracciones de hidrocarburos saturados se investigaron en detalle mediante cromatografía de gases (GC) y cromatografía de gases - espectrometría de masas (GC-MS; análisis de biomarcadores) de los hidrocarburos saturados. Adicionalmente, se determinaron las composiciones isotópicas de carbono en las fracciones de hidrocarburos saturados y aromáticos, respectivamente.

Resultados y Discusión

Contenido orgánico y pirólisis Rock-Eval

Las muestras denotan en general altos a extraordinariamente altos contenidos orgánicos, mayoritariamente oscilando entre 3 y 13% COT (Fig. 6). El tramo más rico está entre 3090 y 3106 m con valores de COT todos por encima del 10%.



Salvo algún dato puntual, el pico S2 de pirólisis es alto a muy alto, desde 3006 m hasta la muestra más profunda a 3112 m. El tramo 3090-3106 m es el de mayor rendimiento S2. El potencial generador de hidrocarburos líquidos debe considerarse muy bueno a excelente. Los valores de índice de hidrógeno y oxígeno indican querógenos I/II, típico generador de petróleo, poco maduros. Los valores de T<sub>max</sub> de pirólisis, mayoritariamente oscilando alrededor de 430 °C, son consistentes con una baja madurez térmica. El índice de producción IP no fue evaluado porque el pico S1 resultó artificialmente disminuido por prelavado de las muestras para eliminar aditivos. El tramo 2978-2990 m es muy distinto. Aunque el contenido orgánico es moderado a alto, los rendimientos S2 son muy bajos como así también los valores de IH (Índice de hidrógeno). La inspección microscópica ulterior indicó que el tramo presentaba una alteración térmica severa por estar próximo a un intrusivo. Por lo tanto, todas sus propiedades geoquímicas están severamente afectadas por la fuente de calor localizada por encima. El tramo 2992-3000 m es de transición, con características Rock-Eval intermedias a las de los tramos 2978-2990 m y 3006-3112 m. Consistentemente, los registros de T<sub>max</sub> alrededor de 440°C sugieren madurez de ventana de petróleo para esos niveles (Fig. 6).

Microscopía del querógeno

El estudio microscópico de las diez muestras seleccionadas reveló que la sección presenta un gradiente de madurez térmica “invertido” debido a la presencia de un cuerpo intrusivo en los niveles superiores. El rango de madurez térmica determinado mediante la reflectancia de la vitrinita va desde fuertemente sobremaduro

en los niveles superiores (2.56% Ro en 2978 m) a marginalmente maduro en los inferiores (0.55% Ro en 3112 m). Los datos de TAI varían paralelamente a los de Ro apoyando la tendencia de madurez anómala. En el "log" geoquímico de la Figura 6 se muestra sombreado en gris el tramo que se cree afectado por el intrusivo. La parte superior entre 2978 y 2990 m contiene los niveles severamente alterados térmicamente. El efecto decrece con la profundidad hasta posiblemente desaparecer alrededor de los 3015 m. Desde allí hasta el fondo del pozo, la madurez térmica oscila entre temprana a marginal para la generación de hidrocarburos, en el límite inferior de lo comúnmente aceptado para el sistema triásico de Mendoza. En el cual hay frecuentes petróleos ceroso-asfálticos de baja madurez ("low-maturity oils") con reflectancia equivalente de la vitrinita (VRE) en el orden de 0.6-0.7% Ro.

Composicionalmente, el querógeno es en su mayoría amorfo fluorescente, con excelentes características para la generación de hidrocarburos líquidos. La asociación orgánica reconocida, con una fuerte impronta algal-sapropélica e influencia subordinada de plantas superiores, es típica de las buenas facies generadoras lacustres de la Fm Cacheuta en la cuenca.

### Análisis GC y GC-MS de extractos

Tres niveles fueron analizados para su tipificación cromatográfica y de biomarcadores. Una de ellas con "stress térmico" de ventana del petróleo por proximidad al intrusivo (3000 m; Ro medida: 0.83%) y dos con madurez apenas marginal (Ro medidas: 0.62% y 0.55%, a 3102 m y 3112 m, respectivamente). Los cromatogramas y fragmentogramas de triterpanos y esteranos de los extractos a 3000 m y 3102 m se ilustran en la figura 7.

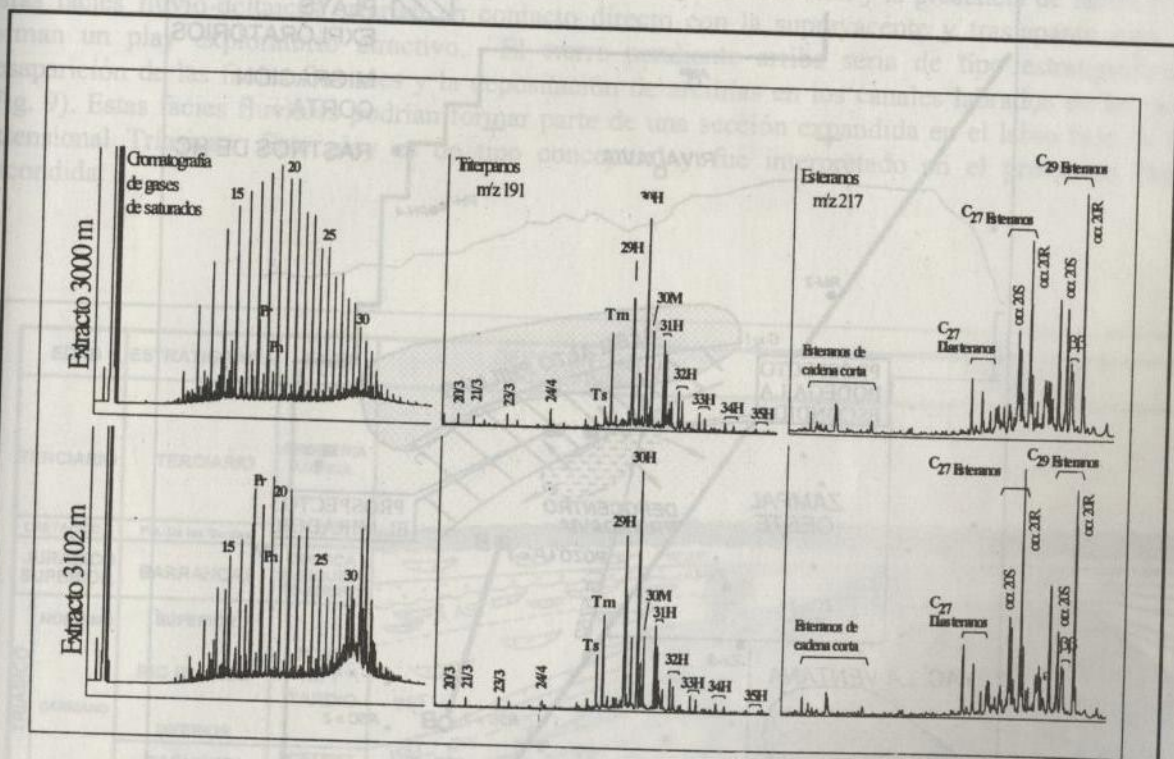


FIG. 7 Cromatografía de gases y "fingerprints" de triterpanos y esteranos en dos extractos de la sección estudiada. La muestra a 3000 m, afectada por el intrusivo, presenta madurez de ventana temprana de petróleo. La de 3102 m, sin influencia del intrusivo, presenta madurez térmica marginal.

Los datos cromatográficos y de biomarcadores confirman, por un lado, que la facies orgánica de la Fm Cacheuta es similar a la típicamente generadora en posiciones petrolíferas de la cuenca. Por otro, apoyan la baja madurez del intervalo determinada por R-Eval y microscopía. La distribución de biomarcadores en los extractos más profundos resulta apenas comparable a algunos petróleos de muy baja madurez del área (muy parafínicos a cerosos, asfálticos, semisólidos, de movilidad muy escasa, que deben ser considerados

prácticamente no migrados). El extracto de la muestra más alta (3000 m), debido a su cercanía con el intrusivo, tiene un grado de madurez sensiblemente mayor, consistentemente con los datos de pirólisis y ópticos del querógeno. Especialmente su perfil cromatográfico es comparable al de petróleos algo más maduros de la cuenca.

### PLAYS EXPLORATORIOS

Con los resultados de la geoquímica mostrando un ambiente favorable para la generación de hidrocarburos y con el mapeo sísmico – estratigráfico de los potenciales horizontes almacén, se identificaron varios plays exploratorios en el área. Estos se pueden dividir en estratigráficos y estructurales, aunque los plays estratigráficos presentan una componente estructural cuando son llevados al nivel de prospecto. Los reservorios potenciales están ubicados en niveles estratigraficamente próximos a la roca madre y se asume, por los resultados de la geoquímica (roca madre marginalmente madura) una migración corta. Por lo expuesto y por los resultados del sondeo LP x-1, no se le asigna potencial a los reservorios alejados de la Fm Cacheuta, como por ejemplo las formaciones Papagayos, Barrancas y Río Blanco Superior. Los plays exploratorios fueron desarrollados con esta premisa y están ubicados en las adyacencias de la “cocina”, el depocentro Rivadavia.

El play “Lowstand” de Potrerillos Superior, es solo conceptual y no fue probado aun en ninguna parte de la cuenca. Se considera que el potencial estratigráfico puede ser aun mayor al identificado teniendo en cuenta la deficiente cobertura sísmica de la zona estudiada. La figura 8 es un mapa esquemático de la zona de plays exploratorios donde se indica la presencia de rastros de hidrocarburos de los pozos vecinos y los prospectos identificados.

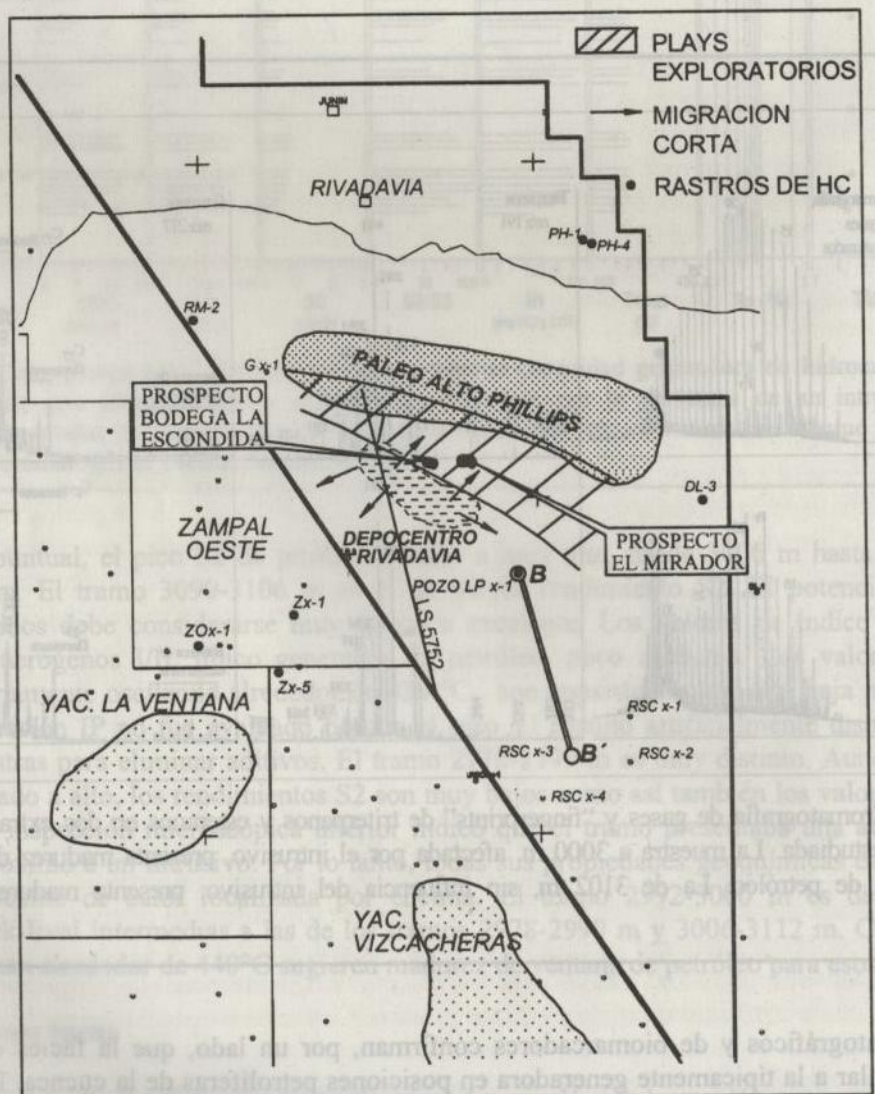


FIG. 8 Mapa de play exploratorios y ubicación de prospectos. Pozos con rastros de hidrocarburos en el area Rivadavia y posición del pozo LP x-1 con respecto al depocentro. Las flechas indican la posible migración corta de hidrocarburos.

Cortejo “Forestepping” Fm Río Blanco

El play de cortejo “Forestepping” (Progradante) en la Fm Río Blanco es lo que se conoce en otras partes de la cuenca como Lower Río Blanco o Río Blanco Inferior. Se usa la nomenclatura secuencial en el sentido de Legarreta y Uliana (1998) por tener connotaciones genéticas y cronoestratigráficas. Este play está conformado por areniscas y tufopsamitas de la base de la Fm Río Blanco, que fueron depositadas durante un evento de nivel de base bajo como canales fluviales amalgamados cercanos al centro de la cubeta Triásica, que se adelgazan pendiente arriba (hacia la zona de aporte) hasta desaparecer. La geometría en cuña de este cortejo y la posterior depositación de facies finas en la suprayacente y traslapante unitaria Inferior de Río Blanco (Cortejo “Backstepping” o Retrogradante), conforman una trampa estratigráfica. La figura 9 es un corte esquemático donde se muestra el concepto exploratorio estratigráfico. Este play fue identificado en sísmica en la zona de Rivadavia y es el objetivo en el prospecto Bodega La Escondida.

Cortejo “Lowstand” Potrerillos Superior

En las líneas sísmicas cercanas al depocentro Triásico de Rivadavia se pueden detectar geometrías canalizadas y cuñas sedimentarias, que fueron interpretadas como unidades fluvio-deltaicas (Fm Potrerillos) depositadas durante un evento de nivel de base bajo (cortejo de nivel bajo o “lowstand”, Van Wagoner et al, 1990) durante la depositación del lago de la Fm Cacheuta. La cercanía de la zona de aporte (paleoalto Phillips) con el depocentro favorecería la presencia de cargas de tracción y la presencia de facies reservorio. Estas facies fluvio-deltaicas estarían en contacto directo con la suprayacente y traslapante roca madre y forman un play exploratorio atractivo. El cierre pendiente arriba sería de tipo estratigráfico con la desaparición de las facies fluviales y la depositación de arcilitas en los canales labrados en las pendientes (Fig. 9). Estas facies fluviales podrían formar parte de una sección expandida en el labio bajo de una falla extensional Triásica. Este play es de tipo conceptual y fue interpretado en el prospecto Bodega La Escondida.

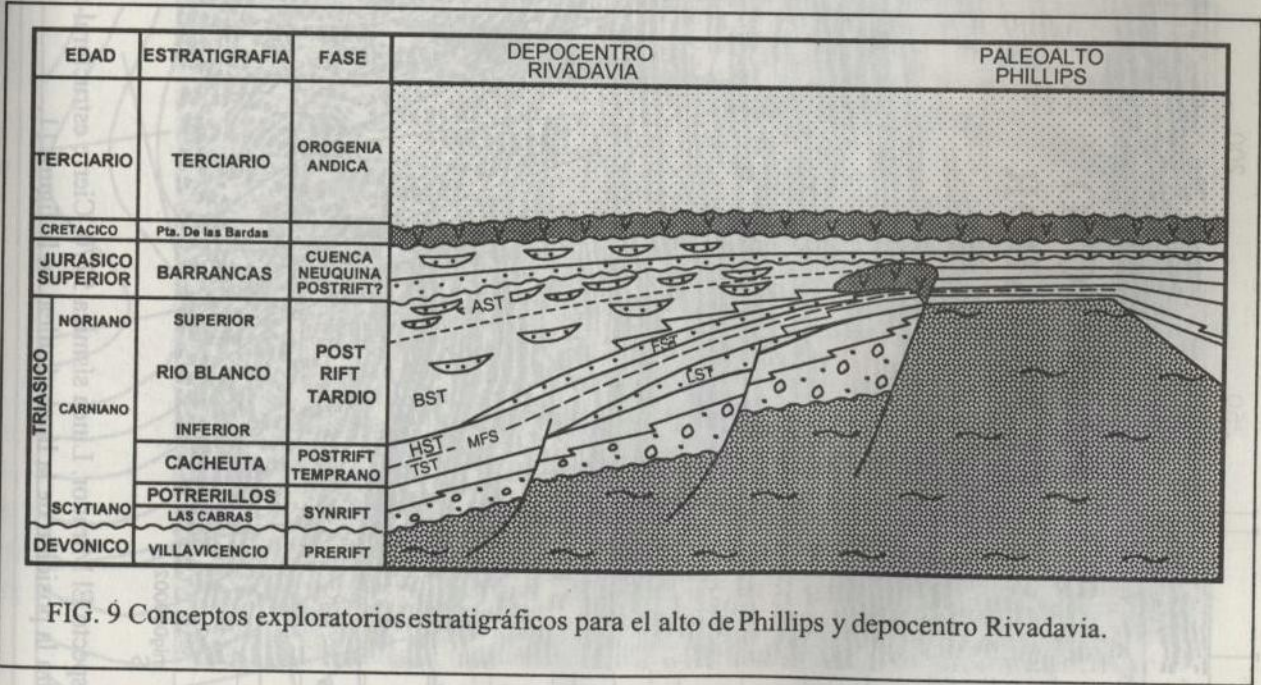


FIG. 9 Conceptos exploratorios estratigráficos para el alto de Phillips y depocentro Rivadavia.



## Plays Estructurales

El depocentro de Rivadavia corresponde a una zona de subsidencia activa durante la etapa de rift y postrift, controlada por fallas que se desarrollan contra el paleoalto dando origen a una zona de arrastre y crecimiento sinsedimentario.

Las trampas identificadas obedecen a este tipo de fallamiento que produce pliegues por arrastre tipo "roll-over", con cierre en cuatro direcciones y cierres contra la falla. Los cierres mapeados corresponden a los niveles cercanos al techo de Fm Barrancas ("Pink") y al techo de la Fm Cacheuta ("Blue"). Se presenta como un ejemplo de los cierres identificados al prospecto El Mirador.

## **PROSPECTOS**

Se presentan como ejemplo del potencial exploratorio del área a dos prospectos, uno estructural y otro estratigráfico.

### Prospecto estructural: El Mirador

El prospecto El Mirador está ubicado en el sector central del área al sur de la localidad de Rivadavia y al sureste del pozo G x-1. El prospecto fue identificado por 6 líneas de buena calidad con una cobertura que se considera regular.

El anticlinal es un cierre en cuatro direcciones tipo "roll-over", producido por arrastre (drag folds) en el labio bajo de una falla listrica Triásica. Los niveles involucrados en el cierre son el techo de Fm Cacheuta ("Blue") y techo de Fm Barrancas ("Pink"). Aparentemente el cierre para niveles de Barrancas y superiores ha sido incrementado por intrusivos Cretácicos. Por la orientación de las fallas principales (NO-SE) no habría que descartar la participación de esfuerzos transcurrentes durante la orogenia ándica, resultando en un incremento de la curvatura del cierre.

La figura 10 es una línea sísmica N-S (5770) que pasa sobre el prospecto, mostrando el cierre y el tipo de trampa. La figura 11 es un mapa estructural en tiempo para el horizonte "Blue" (cercano al techo de Fm Cacheuta) del prospecto.

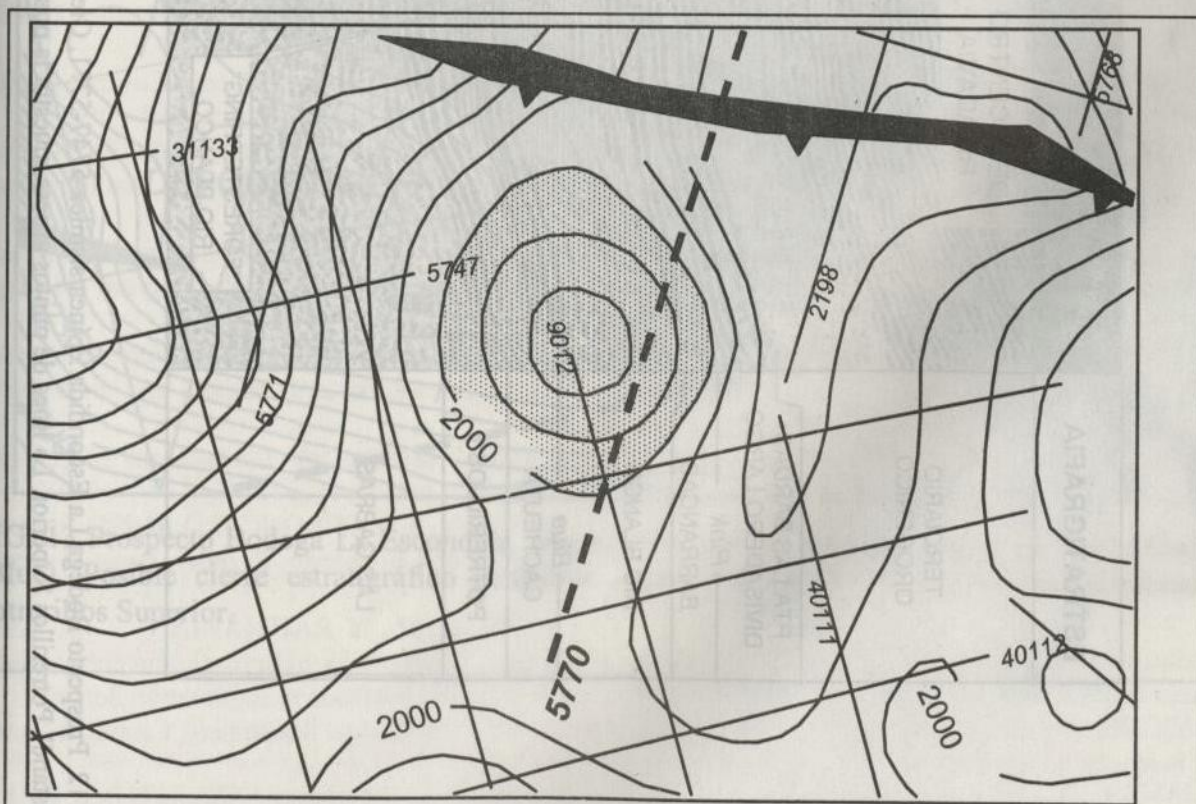


FIG. 11 Prospecto El Mirador. Mapa estructural en tiempo al techo de la Fm Cacheuta (Blue).

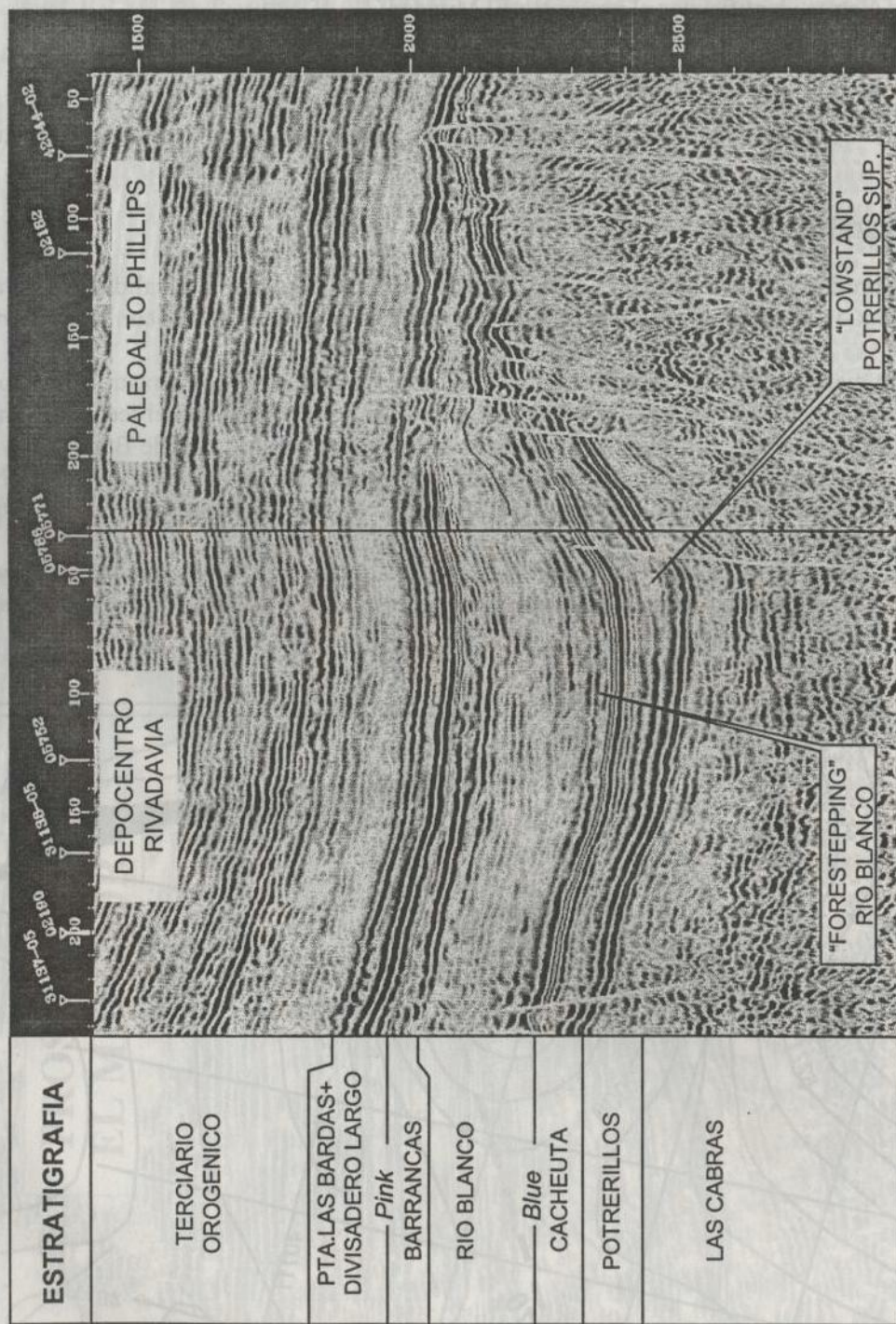


FIG. 12 Prospecto Bodega La Escondida. Línea sísmica 5747-5771. Cierre de tipo estratigráfico en play cortejo "forestepping" Río Blanco y "lowstand" Potrerillos Superior. La línea de puntos gruesa muestra la posición de la línea sísmica en la Fig. N° 13.

**Prospecto estratigráfico: Bodega La Escondida**

Es un cierre de tipo estratigráfico para los reservorios potenciales de cortejo "forestepping" de Río Blanco y en una sección expandida con forma de cuña en Potrerillos Superior (cortejo "lowstand"), como resultado de caídas del nivel de base. La sección expandida corresponde a un crecimiento sinsedimentario durante la etapa de postrift temprano. Este cierre fue definido en un horizonte cercano al techo de la Fm Cacheuta ("Blue"). Consiste en un cambio de facies pendiente arriba y posiblemente exista cierre adicional por fallas extensionales (Fig. 12 y 13).

FIG. 13 Prospecto Bodega La Escondida. Mapa estructural en tiempo al techo de la Fm Cacheuta (Blue). Posible cierre estratigráfico pendiente arriba por cambio de facies en "lowstand" de Potrerillos Superior.

## CONCLUSIONES

- ✓ Revalorizar el potencial exploratorio del área Rivadavia.
- ✓ La Fm Cacheuta en el pozo LP x-1 presenta valores excepcionales de COT y potencial de generación.
- ✓ La Fm Cacheuta en el pozo LP x-1 presenta madurez marginal (Ro: 0.65 y Tmax: >400 °C).
- ✓ Los biomarcadores y cromatografía pueden ser correlacionados con petróleos de baja madurez.
- ✓ Se infiere mayor grado de madurez en posiciones más cercanas al depocentro Terciario ("cocina").
- ✓ Se postula una migración corta por la madurez marginal de la Fm Cacheuta.
- ✓ Se descartan como posibles reservorios las Fms Papagayos, Barrancas y Río Blanco Superior.
- ✓ Fueron identificados plays exploratorios en reservorios probados y conceptuales.
- ✓ Los reservorios probados en la cuenca incluyen a un cortejo "Forestepping" en Río Blanco Inferior.
- ✓ Los reservorios conceptuales involucran a un cortejo de nivel bajo ("Lowstand") en Potrerillos Superior.
- ✓ Las trampas identificadas son de tipo estratigráficas y estructurales.
- ✓ Se presenta como ejemplo un prospecto en un cierre tipo "roll-over" en fallas listricas Triásicas.
- ✓ Se presenta como ejemplo un prospecto con cierre estratigráfico en una sección expandida en Potrerillos Superior.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a ASTRA C.A.P.S.A. la autorización para publicar este trabajo. El texto fue mejorado con la revisión del Sr Andres Boll a quien estoy agradecido. Se agradece también a los Srs Raúl Genovesi y Oscar Draghi por la elaboración de las ilustraciones y a la Sra Susana Navarro por su asistencia con el procesador de textos.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BOGGETTI, D.A, MARTINEZ CAL, V. B., REGAZZONI, C.H., ANDRADA, L., MARNETTI, M. (1999) Aporte de la sísmica 3D al modelo prospectivo en la cuenca Cuyana. IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata.
- DELLAPE, D. Y HEGEDUS, A. (1995) Structural inversion and oil occurrence in the Cuyo basin of Argentina, in Tankard, A. J. and others eds., Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62, p. 359 - 376.
- KOKOGIAN, D. A. Y MANCILLA (1989) Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Cuyana. Chebli y Spalletti (eds) 1989 Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica 6, p. 169 - 201.
- PROSSER, S. (1993) Rift - related linked depositional systems and their seismic expression. En Williams, G.D. & Dobb, A. (eds). 1993 Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy. Geological Society Special Publication No. 71, 1 - 13
- LEGARRETA, L., GULISANO, C., Y ULIANA, M. (1993) Las secuencias sedimentarias jurasico - cretácicas, en Ramos, V. A., ed. Geología y Recursos Naturales de Mendoza, XII<sup>o</sup> Congreso Geológico Argentino Relatorio, p. 87 - 114.
- LEGARRETA, L Y ULIANA, M. (1998) Anatomy of hinterland depositional sequences: Upper Cretaceous fluvial strata, Neuquen basin, west-central Argentina. Relative role of eustacy, climate and tectonism in continental rocks, SEPM Special Publication No 59, p.83 - 92.
- MILANA, J. P. (1998) Sequence stratigraphy in alluvial settings: A flume-based model with applications to outcrop and seismic data. AAPG Bulletin, V. 82, N 9, p 1736 - 1753.
- ULIANA, M. A., ARTEAGA, M.E., LEGARRETA, L, CERDAN, J. Y PERONI, G.O. (1995) Inversion structures and hydrocarbon occurrence in Argentina. Buchanan, J. and Buchanan, P. (eds). Basin Inversion. Geological Society Special Publication Num. 88, 211-233.
- VAN WAGONER, J. C., MITCHUM, R. M. JR., CAMPION, K. M., Y RAHMANIAN, V. D. (1990) Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core and outcrops: concepts for high resolution correlation of time and facies. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Methods in Exploration Series.
- WERNICKE, B. (1985) Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere. Canadian Journal Earth Sciences, v.22, p108-125.
- WILLIAMS, G. D., (1993) Tectonics and seismic sequence stratigraphy: an introduction, en Williams, G.D. & Dobb, A. (eds). 1993 Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy. Geological Society Special Publication No. 71, 1 - 13.