

SISTEMA PETROLERO DE LA CUENCA CRETACICA DEL NOROESTE ARGENTINO

Ricardo Gómez Omil* y Andrés Boll**

*Pluspetrol S.A. **Tecpetrol S.A.

Est. CONGRESOS

Abstract

The Salta Group, in Northwest Argentina, was deposited during the Cretaceous-Eocene in a trasarc basin. It has more than 6500 m. thickness in the Lomas de Olmedo depocenter and a wide hierarchy of stratigraphic units, integrated in three main subgroups: Pircua, Balbuena and Santa Bárbara.

The Balbuena subgroup and particularly the Yacoraite formation, is the most important, because the critical elements of the petroleum system belong to it, as following:

Reservoir: fractured limestone, volcanoclastic deposits and eolian sandstone are included in the Yacoraite formation.

Seal: shale and limestone from Yacoraite formation and evaporite and shale of Olmedo formation.

Trap: the discovered traps are structural types, developed in four different tectonic scenarios. They have a variable fill up but generally, less than the structural closure. The best oilfields as Caimancito and Palmar Largo are placed in the depocenter while other located in the margin are smaller.

Source Rock: only Yacoraite formation has effective source rocks with type II-III kerogens and low TOC, clearly explains the existence of small and scarce oil accumulations. The oils are saturated and two main families have been identified.

Generation and Migration: in the Lomas de Olmedo depocenter the oil generation began during the Oligocene while in the Tres Cruces and Metán-Alemania during the middle Miocene.

The total recoverable reserves are about 20 MMm³ of oil and the exploration potential are estimated on 2 TCF of gas and 5MMm³ of oil. That potential seems to be located mainly in the NW region of Lomas de Olmedo subandean belt.

Introducción

La cuenca cretácica-terciaria inferior del Noroeste argentino y su relleno sedimentario, el Grupo Salta (Turner, 1959), ocupa una vasta superficie superior a los 200.000 km², correspondiente a las provincias de Jujuy, Salta y gran parte de Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Tucumán y Catamarca (Fig. N° 1).

Es una cuenca de trasarco y está compuesta por numerosos depocentros o subcuencas, con amplia distribución en el centro oeste sudamericano. Alcanza, quizás, la mayor expansión areal y espesor sedimentario en Bolivia (Russo y Rodrigo, 1965; Reyes, 1970; Sempere y colab., 1987, etc.) y continúa hacia el norte a Perú (Palacios y Ellison, 1986) y hacia el Sur a Argentina, Chile y Paraguay.

En Argentina se destacan tres depocentros o subcuencas principales. Al NO la subcuenca de Tres Cruces, al ENE, Lomas de Olmedo y, al SSO, Metán-Alemania (Fig. N° 1). Estas subcuencas se conectan entre sí a través de umbrales menos profundos y angostos, labrados entre los bordes de cuenca y un alto fondo interno y central de la cuenca, denominado dorsal Salto-Jujeña. Los umbrales más conocidos son Calete, al norte, que vincula la subcuenca de Tres Cruces con Lomas de Olmedo y Cachipunco, al SE, que vincula Lomas de Olmedo con Metán-Alemania (Reyes, 1970; Reyes y Salfity, 1972).

El sector oeste de la cuenca, correspondiente a las subcuencas de Tres Cruces, Metán-Alemania y extremo oeste de Lomas de Olmedo, está afectado por un importante acortamiento tectónico terciario que ha distorsionado su paleogeografía original y que dio lugar a las grandes unidades morfoestructurales de la Puna, Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y Sistema de Santa Bárbara. Esta deformación no ha sido corregida palinspásticamente en las figuras aquí presentadas debido a su complejidad.

Marco Regional

La evolución tectónica de la cuenca estuvo íntimamente ligada al comportamiento de la placa continental sudamericana y, según la opinión de diferentes autores, se reconocen tres fases o ciclos tectónicos asociados a manifestaciones magmáticas que permiten su datación (Valencio y colab., 1976; Reyes y colab., 1976; Gallinski y Viramonte, 1987; Boll y colab., 1989).

El primer ciclo, correspondiente al Cretácico inferior (130?-100 Ma), estuvo caracterizado por el desarrollo de un *rift* intracontinental, producto de un adelgazamiento cortical, asociado a intrusiones graníticas y,

posteriormente, a eventos volcánicos básicos (Fig. N° 2). Hacia el final de este ciclo (110 - 85 Ma), habría crecido la tasa de expansión pacífica, lo cual modificó la configuración del margen convergente del oeste sudamericano. Esto habría provocando un alzamiento regional y retiro del mar (Uliana y Biddle, 1987). En términos estratigráficos, este ciclo coincide con el relleno inicial de la cuenca, correspondiente a la "UTS" I del Subgrupo Pírgua (Fig. N° 2).

Durante el segundo ciclo (85-75 Ma) se restablecieron las condiciones extensionales en la región de trasarco andino, lo que trajo aparejado importantes efusiones basálticas y andesíticas por reactivación del antiguo rift. Este segundo ciclo efusivo o fase Peruana se corresponde con la "UTS" II del Subgrupo Pírgua (Fig. N° 2).

Posteriormente y hasta la finalización del Cretácico predominó un período de estabilidad tectónica, solo afectada por subsidencia termal, coincidente con un ascenso eustático global durante el Maastrichtiano, cuyo registro corresponde al Subgrupo Balbuena. Características comunes se reconocen en todo el sur de Sudamérica (Uliana y Biddle op.cit.) con notable expansión del mar sobre el continente lo que trajo aparejado una reducción del influjo clástico hacia las cuencas y, consecuentemente, un incremento de las facies carbonáticas y pelíticas.

Al inicio del Paleoceno se reactivaron algunos de los antiguos lineamientos, a través de una fase tectónica distensiva (tercer ciclo) que controló espesores y facies sedimentarias y que a su vez permitió la irrupción de pequeñas efusiones volcánicas. Esta fase seguramente determinó el deslinde entre los subgrupos Balbuena y Santa Bárbara y enfatizó la discordancia erosiva interpuesta entre ambas. Este tercer ciclo volcánico coincide con una importante reorganización de la placa Sudamericana, que trae aparejado el desarrollo de un arco magmático próximo al margen Pacífico (Coira y colab., 1982).

A partir de los 48 Ma hasta los 25 Ma se habría reorientado el vector de convergencia de las placas de Nazca-Sudamericana (Pilger, 1983), determinando el desarrollo local de una deformación compresional Eocena en el dominio andino correspondiente a la orogenia Incaica (Coira y colab., 1982; Frutos, 1988; Starck y Vergani, 1996). Estos procesos compresionales controlaron, cada vez con mayor intensidad, la acumulación de los términos cuspidales del Grupo Salta dando lugar, finalmente, a una nueva configuración geodinámica del tipo cuenca de retroarco (Dickinson, 1974) o cuenca de antepaís (Miall, 1984).

Hacia los 25 Ma se habría modificado nuevamente la dirección de convergencia de las placas, provocando una reactivación de los arcos magmáticos, después de un período de estabilidad que caracterizó al Oligoceno (Handschumacher, 1976; Pilger, 1983; Malvicini y Llambías, 1982). Pero, anteriormente en el Oligoceno medio (30 Ma), se verificó una gran caída eustática (Haq y colab., 1987) responsable quizás de una discordancia regional de gran extensión temporal, que pondría en contacto terrenos de edad Eocena Superior (39 Ma) a Oligoceno inferior (30 Ma), del Grupo Salta, con depósitos del Mioceno medio (16,5 Ma), del Grupo Orán. Estos últimos correspondientes a una transgresión Atlántica, representada por las formaciones Río Seco, Anta, Garganta, entre otras.

Estratigrafía

El Grupo Salta (Brackebusch, 1891, nom.subst. Turner, 1959) conforma un prisma sedimentario irregular, con espesores superiores a los 6500 m. en la subcuenca de Loma de Olmedo, 4500 m. en Metán-Alemania y 4000 m. en Tres Cruces. Está limitado en base y techo por sendas discordancias estructurales regionales, en el primer caso, con rocas precámbricas y paleozoicas y, en el segundo, con sedimentitas terciarias, atribuidas al Mioceno medio o más modernas, correspondientes al Grupo Orán (Fig. N° 2).

El análisis detallado de estos depósitos cretácicos-eocenos realizados sobre afloramientos e información de subsuelo, sísmica y pozos, permite distinguir una amplia jerarquía de unidades sedimentarias, limitadas por discontinuidades de distinta magnitud, que constituyen la base de un amazón cronoestratigráfico de extensión cuencal.

Tomando en consideración estas discontinuidades y la composición litológica predominante se reconocen tres unidades principales dentro del Grupo Salta que de base a techo se denominan Subgrupo Pírgua, Balbuena y Santa Bárbara (Fig. N° 2), cuyos límites, al igual que sus respectivas subunidades, serán tratados aquí en sentido cronoestratigráfico; pero se continuará utilizando las denominaciones formales, de uso común, por razones prácticas (Fig. N° 3).

A cada una de estas unidades como a sus respectivas subunidades de menor jerarquía estratigráfica, se les ha asignado una edad tentativa sustentada en la curva global de ciclos eustáticos (Haq y colab., 1986), ajustados por medio de los escasos datos bioestratigráficos y dataciones radimétricas publicadas por numerosos autores, que no pueden ser tratados aquí; pero que se resumen en el trabajo de Boll y colab., (1989).

Subgrupo Pigua (Vilela, 1951; nom.transl., Reyes y Salfity, 1972).

Comprende el relleno inicial de la cuenca, compuesto por sedimentos clásticos gruesos a finos, generalmente de color rojizos y, en menor proporción por vulcanitas básicas y muy escasos carbonatos; depositados en ambientes netamente continentales y con fuerte control tectónico correspondiente al estadio de *synrift*, (Bianucci y Homovc, 1982).

Se reconocen dos ciclos o unidades tectosedimentarias principales: "UTS" I y II (Megías, 1982), compuestas, a su vez, por unidades menores de características similares, de geometría paulatinamente más tubular, granulometría más uniforme, y de mayor expansión areal hacia las unidades más jóvenes. Cada una de estas unidades comprende varias litofacies que de posiciones próximas a distales y de abajo hacia arriba se pueden agrupar en: 1) Aglomerados y brechas conglomerádicas de abanico aluvial. 2) Conglomerados y areniscas de sistemas fluviales efímeros. 3) Fangolitas y carbonatos evaporíticos de barreal o *playa lake*. 4) Areniscas megaentrecruzadas de dunas eólicas y subfacies asociadas.

Las tres primeras conforman el arreglo típico de las cuencas endorreicas, mientras que la cuarta tiende a traslapar a las anteriores, remarcando la aridez del clima imperante (Fig. N° 3).

Completan el cuadro una serie de vulcanitas alcalino-sódicas agrupadas en dos ciclos o fases efusivas, la primera comprende los complejos Alto de La Salina, Basalto de Isonsa y Basalto El Tunal; concentrados en el extremo sur de la cuenca (Fig. N° 2). Las que resultan ligeramente posteriores a los plutones de la Puna como es el caso de Rangel, Tusaquilla y Aguilar.

La segunda fase comprende el Basalto Las Conchas, en Metán-Alemania, y la Vulcanita La Tigra, en Formosa, y otros cuerpos menores aún sin datación (Fig. N° 2).

En síntesis, la depositación del Subgrupo Pigua, estuvo controlada por un sistema de fallas extensionales del tipo rotacional planar o listricos, que dieron lugar a grandes *hemigrabens* o *grabens* asimétricos (Fig. N° 3), reactivadas por dos fases tectónicas principales durante la apertura de la cuenca. Estas fases gatillaron las inundaciones regionales, por mayor tasa de subsidencia, y las efusiones volcánicas. Ambas constituyen los principales elementos de correlación regional.

Subgrupo Balbuena (Moreno 1970, *sensu* De Spirito, 1980)

Comprende desde un punto de vista litoestratigráfico a las formaciones Lecho y Yacoraite (Turner, 1959), la primera caracterizada por facies clásticas continentales, y la segunda por facies carbonáticas y clásticas de ambiente subáqueo somero, probablemente marino restringido a lacustre (Fig. N° 2 y 3). Ambas unidades engranan lateralmente, con gran desarrollo de la F. Lecho en los bordes con aporte clástico, como es el caso del borde sur de la cuenca (Fig. N° 4a y 5a).

Los límites del Subgrupo Balbuena están definidos por sendas discontinuidades sedimentarias. El inferior, es una superficie transgresiva muy evidente en los principales depocentros, por la superposición de facies subácneas sobre facies terrígenas, pero ambigua hacia posiciones de borde, donde dichas facies subácneas engranan con facies terrígenas similares a la del Subgrupo Pigua (Fig. N° 3).

El límite superior, mientras tanto, es de fácil reconocimiento regional producto de una fuerte caída del nivel de base que determinó una superficie de exposición subaérea prolongada, con marcado contraste de facies.

Las facies carbonáticas y clásticas-carbonáticas de la F. Yacoraite se ordenan en ciclos o secuencias somerizantes de escaso espesor, desde decenas de centímetros a 2 o 3 m., compuestos, en general, por un tramo inferior carbonático y un tramo superior pelítico, más delgado o ausente, separados, normalmente entre sí, por una superficie irregular con marcadas evidencias de exposición subaérea. Estas secuencias demuestran el carácter episódico de la depositación, controlada fundamentalmente por fluctuaciones periódicas del nivel de base, con muy frecuentes desecaciones parciales o totales de la cuenca.

El tramo carbonático comprende, a su vez, cuatro unidades, a saber:

"A" Areniscas calcáreas, en bancos delgados, de base neta y techo transicional, que se interpretan como producto de la inundación.

"B" Carbonatos y pelitas oscuras de variada composición (*mudstone* a *grainstone* oolítico y fosilífero), que constituye la parte más espesa de la secuencia. En ella, se destaca la participación de pelitas calcáreas gris oliva a gris oscuras, con variable contenido de materia orgánica, intercaladas en niveles muy finos a gruesos hacia la base del ciclo. Estas pelitas corresponden a las condiciones de depositación subácneas relativamente más profundas y su participación resulta dominante en posiciones distales de cuenca alejadas de las progradaciones clásticas y de las rampas carbonáticas someras. Allí la concentración de la materia orgánica de origen algal y bacterial resultó favorecida por la mínima dilución o dispersión en otros sedimentos, dada las condiciones de cuenca hambrienta, de esas posiciones y, a la vez, su preservación estuvo mínimamente afectada por las periódicas exposiciones subaéreas.

"C" *Grainstone-packstone* oolítico-litoclástico gruesos en bancos tabulares con estructura entrecruzada, asociados a *boundstone* criptoalgáceos columnares y laminados. Constituye el tramo de mayor energía y alcanza el mayor desarrollo en las rampas carbonáticas próximo a los bordes sin aporte clástico, y consecuentemente alberga las mejores condiciones petrofísicas cuando acompañan procesos de disolución posterior.

"D" Brechas litoclásticas asociadas a grietas de desecación e intensa bioturbación, vinculadas a superficies de no deposición o erosión por exposición subaérea, correspondientes a ambientes supralitorales.

Finalmente, el tramo pelítico "E", se caracteriza por el predominio de facies arcillosas gris verdosas a rojizas, masivas, con frecuentes grietas de desecación correspondientes a condiciones de deposición con mayor influencia subaérea.

Estas secuencias somerizantes hacia los bordes de cuenca con aporte clástico exógeno, mantienen sus características geométricas pero pierden la participación de carbonatos y pelitas oscuras. Mientras que en posiciones más proximales y por encima o externamente a la línea de costa, están compuestas por facies similares a las del Subgrupo Pirgua, aunque con ligeras diferencias que permiten identificarlas como F. Lecho.

Estas secuencias elementales de facies de carácter episódico, Parasecuencias o PAC's (Goodwin y Anderson, 1985; Van Wagoner y colab., 1987) se ordenan a su vez en tres ciclos principales de inundación-somerización dentro del Subgrupo Balbuena, definidas como Miembro Inferior, Medio y Superior, en la Subcuenca de Tres Cruces, por Boll y Hernández (1985)

Al igual que las secuencias elementales, cada una de ellas, se compone de un tramo inferior carbonático-clástico espeso y expandido arealmente, y un tramo superior pelítico más delgado y restringido. Los separa una superficie de discontinuidad con evidencias de exposición subaérea e intensa bioturbación.

El tramo basal se corresponde con un cortejo transgresivo y de nivel alto mientras que el tramo pelítico cuspidal constituiría una asociación de sistemas deposicionales de nivel relativamente bajo.

En el subsuelo de la subcuenca de Lomas de Olmedo pierde carácter la sección pelítica inferior, por lo que se reconoce solo un Mb. Puesto Guardián aproximadamente equivalente a los miembros Inferior y Medio y, un Mb. Las Avispas, equivalente al Mb. Superior (Zilli y colab., 1982).

Miembro Inferior (75?-71? M.a.). Conformar un prisma sedimentario relativamente tabular y traslapante respecto al Subgrupo Pirgua infrayacente, con un espesor superior a los 200 m. en el depocentro de Lomas de Olmedo y de 150 m. en Tres Cruces y Metán-Alemania, respectivamente (Fig. N° 4).

La composición litológica muestra un marcado aporte clástico desde el sur, expresado por un neto predominio de facies areno-conglomerádicas en la subcuenca de Metán-Alemania, correspondientes a sistemas fluviales efímeros prográdantes que hacia el flanco sudeste de Lomas de Olmedo interdigitan con facies eólicas, característicos de la F. Lecho (Fig. N° 3 y 4a).

Las facies carbonáticas se restringen a las rampas someras del borde norte de la dorsal Salto-Jujeña, umbral de Calete y borde sudoeste del arco de Michicola.

Las facies pelíticas profundas, con capacidad generadora, se concentran en los depocentros de Tres Cruces y Lomas de Olmedo, donde fue mínimo el aporte clástico (Fig. N° 4b).

Miembro Medio (71?-67? M.a.). Esta unidad traslapa extensamente a las anteriores y con mayor tabularidad alcanza un espesor superior a los 125 m. en Lomas de Olmedo y espesores apenas superiores a los 100m. en Tres Cruces y Metán-Alemania (Fig. N° 5a).

La composición litológica muestra un incremento de las facies carbonática, respecto al Mb. Inferior. Pero al igual que este, la procedencia del material clástico sigue siendo desde el sur, con facies fluviales entrelazadas y efímeras en el borde sur oriental de la cuenca que, hacia el norte, interdigitan con extensas facies eólicas (F. Lecho) en el flanco sudoeste de Lomas de Olmedo. Mientras que, hacia interior de cuenca, engranan con areniscas calcáreas, luego con calizas arenosas, calizas pelíticas y, finalmente, con pelitas oscuras con moderado a buen contenido de materia orgánica, en delgados intervalos, en los depocentros de Tres Cruces y Lomas de Olmedo (Fig. N° 5b).

Las facies carbonáticas alcanzan el mayor desarrollo en el umbral de Calete, con una participación superior al 75%, controladas por una amplia "plataforma" de energía relativamente alta y reducido aporte clástico (Fig. N° 5a).

En forma simultánea se produjeron varias erupciones volcánicas en el extremo oriental de Lomas de Olmedo, Pcia. de Formosa, que dieron lugar al "complejo volcánico superior" definido como F. Palmar Largo por Disalvo y de Muro (1996), de distribución localizada y variable composición, de basaltos a leucoandelacitas asociadas a rocas piroclásticas cuya edad, según dataciones radimétricas, sería de unos 70 Ma., (Fig. N° 2 y 5a). Estas rocas volcánicas y volcanoclásticas, tienen excelentes propiedades petrofísicas, determinada por porosidad vesicular, fisuras, fracturas, porosidad interparticular, etc., verificadas en el Yacimiento Palmar

Largo.

Miembro Superior (67?-63? M.a.). Es la subunidad más delgada, extensa y carbonática del Subgrupo Balbuena. Su espesor máximo supera los 100 m. en Lomas de Olmedo; mientras que en Metán-Alemania y Tres Cruces apenas alcanza los 60 y 50 m., respectivamente (Fig. N° 6a).

Su límite basal corresponde a una discordancia erosiva, evidente en algunos bordes de cuenca, producto de una fuerte caída del nivel de base. Esta caída posibilitó la depositación de facies eólicas correspondientes a la "Arena 6", en posiciones medias e internas en el flanco sur de Lomas de Olmedo y que constituye el principal nivel productivo de dicho flanco. Son facies arenosas finas a medianas, distribuidas en cuerpos lenticulares biconvexos, generalmente aislados, con entrecruzamiento planar de gran escala y espesores de hasta 12 m. Su preservación fue facilitada por una muy rápida e importante transgresión, quizás la más importante de la cuenca que a su vez, determinó la acumulación de un delgado intervalo (1 a 3 m.) de pelitas gris oscuras con alto contenido de materia orgánica. Este intervalo concentra los mejores valores de COT de la cuenca y es la que alcanza la más amplia distribución regional, conformando por tal motivo un excelente nivel guía.

Hacia arriba continúan las facies carbonáticas más conspicuas de la cuenca, con facies de *packstone* y *grainstone* oolíticos y fosilíferos, de mediana a alta energía en bancos medianos a gruesos que en ocasiones presentan porosidad por disolución, de importancia petrolera. Estas facies predominan en el tercio basal del Mb. Superior en la mayor parte de la cuenca, en especial donde fue escaso el aporte clástico, como es el caso de la extensa plataforma que rodeó la ya muy pequeña y apenas emergente dorsal Salto-Jujeña (Fig. N° 6a).

En los dos tercios superiores del Mb. Superior se produce un incremento de las facies fangolíticas calcáreas y, en particular, de las facies pelíticas oscuras y organógenas, hacia los principales depocentros (Fig. N° 6b).

Hacia el tercio superior de la unidad se habrían reactivado algunos de los antiguos lineamientos de la cuenca, expresados por incrementos de espesor de las parasecuencias superiores de dicho miembro en el depocentro de Lomas de Olmedo, como así también por la presencia de algunos basaltos de distribución localizada (Fig. N° 2). En forma paralela se verifica una serie de progradaciones clásticas desde distintos bordes de cuenca; pero en particular desde el borde sur y norte (Fig. N° 3).

Subgrupo Santa Bárbara (Vilela, 1952; nom. trasl., Moreno 1970, *sensu* De Spirito, 1980).

Comprende un espeso intervalo estratigráfico acumulado durante el Paleoceno-Eoceno, de más de 2000 m. de potencia en el depocentro de Lomas de Olmedo y valores cercanos a los 600 m. en Tres Cruces y Metán-Alemania. Limitado en base y techo por sendas discordancias erosivas relacionadas a caídas del nivel de base y enfatizadas tectónicamente. La inferior, por una fase extensional, denominada fase Preolmédica por Bianucci y colab. (1980) y, la superior, por la orogenia Andica inicial, especialmente hacia el sector oeste de la cuenca.

El arreglo interno registra una serie de discontinuidades sedimentarias o discordancias que reflejan cambios importantes del nivel de base, de una cuenca interior hidrológicamente cerrada; donde los factores climáticos debieron ejercer un control muy importante. Estas discordancias habrían sido enfatizadas por cierta actividad tectónica extensional evidente en secciones sísmicas por lo menos hasta la "Franja Verde".

De acuerdo a estas discordancias y a la composición litológica se discriminan cuatro unidades cronoestratigráficas que coinciden aproximadamente con las unidades formales preestablecidas y cuyas denominaciones se mantendrán por razones prácticas. Ellas son la F. Olmedo, Mealla, Maíz Gordo y Lumbraera (Fig. N° 2 y 3), y que se analizarán brevemente a continuación.

F. Olmedo (Moreno, 1970, *sensu* De Spirito, 1980). Son depósitos del Paleoceno inferior (63?-58,5M.a.), compuestos por halita, yeso, pelitas gris oscuras a verdes y rojas y arenitas y vaques rojas. Acumulados en un sistema clástico-evaporítico integrado por un lago hipersalino, restringido al depocentro de Lomas de Olmedo, rodeado por extensas planicies de fango salino y planicies de arena hacia los bordes con aporte (Fig. N° 2 y 3).

Los bordes deposicionales y/o erosivos se restringen sensiblemente respecto a la unidad infrayacente. Además se produce un cambio en la paleogeografía de la cuenca, producto de un fuerte control tectónico que permitió la acumulación de mas de 300 m. de evaporitas en el depocentro de Lomas de Olmedo mientras que en Tres Cruces y Metán apenas se acumularon 100 m. de pelitas. Para ello las fallas de Dos Puntitas, Balbuena, Alto de la Sierra, etc., debieron ser reactivadas.

F. Mealla (Moreno, 1970). Esta unidad, del Paleoceno superior (58,5?-54,2? M.a.), se compone en su mayor parte por facies pelíticas rojas que engranan hacia determinados bordes de cuenca, como el sur y norte, con facies clásticas gruesas, y que, hacia el depocentro de Lomas de Olmedo, intercala pequeños cuerpos evaporíticos de halita y anhidrita. Mientras que hacia el tope, intercala facies pelíticas calcáreas gris oscuras, con escaso contenido orgánico, denominadas informalmente "Franja Gris", (Maedel y Moreno, 1973),

correspondiente a dos ciclos de inundación con marcado traslapamiento proximal (Fig. N° 2).

Es una unidad limitada por discordancias erosivas en algunos bordes activos de cuenca (Boll y colab., op cit) y sus concordancias correlativas hacia los depocentros (Fig. N° 3). Su espesor máximo supera los 500 m. en Lomas de Olmedo, 150 m. en Metán-Alemania y apenas 50 m. en Tres Cruces.

F. Maíz Gordo (Moreno, 1970). Comprende un espeso y tabular prisma sedimentario depositado durante el Eoceno inferior (54,2?-49,5? M.a.). Está compuesto por facies carbonáticas y clásticos finos, gris verdosos, depositados en ambientes lacustres someros, asociados a facies clásticas rojas hacia los bordes de cuenca y base de la unidad (Fig. N° 2 y 3).

Las facies carbonáticas conforman ciclos somerizantes similares a las descriptas para la F. Yacoraite; pero carecen de material orgánico y solo, desarrollan porosidad por fracturación tectónica.

Las facies clásticas rojizas dominan en el tramo basal de la unidad y en el flanco sur y norte de la cuenca, donde debieron progradar importantes sistemas fluviales areno-conglomerádicos. Así, en el Flanco Norte por su importancia, se los denomina F. El Madrejón (Cazau y colab. 1976), donde constituye una potencial roca reservorio (Fig. N° 3).

La distribución de la F. Maíz Gordo es marcadamente traslapante respecto a las unidades infrayacentes y constituye la principal inundación de la cuenca del Subgrupo Santa Bárbara, producto quizás de condiciones climáticas con alta precipitación, según se infiere de las notables progradaciones clásticas fluviales que desplazaron las facies carbonáticas lacustres a posiciones de cuenca distales, circundantes a la dorsal, con menor tasa de subsidencia.

Los máximos espesores superan los 500 m. en Lomas de Olmedo y alcanzan los 200 m. en Metán y Tres Cruces, y los límites de la unidad corresponden a sendas caídas del nivel de base que provocaron fenómenos de erosión en posiciones de borde de cuenca.

F. Lumbrera (Moreno, 1970). Es la unidad más espesa y extensa del Gr. Salta, que supera los 1000m. de espesor en el extremo oriental de la subcuenca de Lomas de Olmedo y cuyos bordes deposicionales son difíciles de definir. Su composición muestra un neto predominio de facies pelíticas rojas de barreales (*mud flats*), ríos efímeros, depósitos loésicos con restos de mamíferos, etc. Pero hacia el oeste y hacia los términos cuspidales estos depósitos engranan lateralmente con progradaciones clásticas mas gruesas de ambiente fluvial a aluvial, que evidencian el efecto de las primeras fases compresivas, asignadas a la orogenia Incaica (Frutos, op. cit; Starck y Vergani, 1989).

Esta inversión del comportamiento de la cuenca, de extensional a compresional, habría ocurrido con posterioridad al conspicuo nivel guía de pelitas verdes, denominado "Franja o Faja Verde" (Schlagintweit, 1937), intercalado próximo a la base de la formación, y que correspondería a una súbita y extensa inundación de la cuenca, que permite identificar un Mb. Inferior y otro Superior (Fig. N° 2 y 3).

La edad de la F. Lumbrera se asigna al Eoceno medio a superior hasta Oligoceno inferior (49,5?-30? M.a.), sin embargo sus límites temporales son muy imprecisos, dado las escasas dataciones disponibles, las dificultades para correlacionar los términos cuspidales de la unidad y al efecto erosivo de la discordancia cuspidal. Mayor certeza tienen las dataciones de las formaciones suprayacentes, Río Seco y Anta, del Gr. Orán, asignadas al Mioceno medio (16,5 M.a.).

Sistema Petrolero

El sistema petrolero de la cuenca cretácica del Noroeste argentino es conocido y se define como Yacoraite-Yacoraite(!), según Magoon y Dow (1994). Los elementos y procesos de este sistema petrolero son similares en los tres depocentros considerados, especialmente en Metán y Tres Cruces; mientras que en Lomas de Olmedo hay mayor soterramiento y consecuentemente una generación más temprana (Fig. N° 7).

Reservorio

Los principales reservorios productivos en orden de importancia son: calizas fracturadas, rocas volcánicas y piroclásticas y areniscas de origen eólico ("Arena 6"). En todos los casos los reservorios mencionados están ubicados en la subcuenca de Lomas de Olmedo (Fig. N° 1).

Calizas fracturadas: Los reservorios fracturados encontrados con hidrocarburos son característicos de los Yacimientos Caimancito, Cuchuma, Lumbrera y posiblemente Valle Morado, todos ellos ubicados en las regiones III y IV (Fig. N° 8), en la faja fallada y plegada donde existe un claro dominio compresivo. En algunas regiones con deformación distensiva dominante, con leves componentes de rumbo (Vinalar Norte, Cañada Grande, Balbuena Este, etc.) se constató la ausencia de reservorios fracturados abiertos.

Las porosidades obtenidas de perfiles y testigos corona no superan 5-7% de porosidad de matriz, definiéndose un sistema con porosidad de microfisuras dominante conectado a un sistema de fracturas mayores. De estos resevorios pudieron obtenerse caudales de petróleo de hasta 3000 m3/d., (Yac.

Caimancito).

Rocas Volcánicas y Piroclásticas: Son exclusivas del sector más oriental de Lomas de Olmedo, donde varios Yacimientos producen de estos reservorios: Palmar Largo, El Chivil, Cañada Rica, Puesto La Entrada, etc. Los principales tipos de rocas son coladas de basalto y andesitas vesiculares, fracturadas en ocasiones, y brechas sedimentarias (regolitos). Este complejo volcánico-sedimentario presenta variaciones laterales notables y en muy corta distancia lo que determina la existencia de un reservorio heterogéneo. Las porosidades de los mejores niveles superan el 20 % y las permeabilidades hasta 200 md. Mientras que las producciones iniciales alcanzaron caudales de 450 m³/d, por orificio libre.

Areniscas: Los mejores reservorios con hidrocarburos se corresponden con depósitos de nivel bajo de naturaleza eólica ("Arena 6") y se encuentran localizados en el flanco sur de Lomas de Olmedo (Yac.: Puesto Guardián, Cañada Grande, Vinalar Oeste, Pozo Escondido, etc.). Son reservorios de marcada lenticularidad, de espesores no mayores a los 12 m. y con porosidades de hasta 23 %, presentando alteraciones diagenéticas (anhidritización) que destruyeron, en algunos casos, casi en forma total el reservorio (Yac. Pozo Escondido). Las producciones obtenidas en los mejores casos (Yac. Puesto Guardián) llegaron inicialmente hasta los 400 m³/d de petróleo.

Existen otros reservorios arenosos localizados en el Mb. Medio de la F. Yacoraite y que resultaran con alguna producción menor en los Yac. Cañada Grande, La Bolsa y Martínez del Tineo. En todos los casos mencionados los cuerpos no superan los 10 m. de espesor, son tabulares y sus porosidades no superan el 15%.

Los mejores reservorios potenciales en características petrofísicas y espesor sin duda tienen que ver con las facies eólicas que representan a la F. Lecho. Sin embargo, hasta la fecha siempre resultaron acuíferas por la sumatoria de distintas causas: a) Alejamiento de la cocina. b) Falta de sellos efectivos. c) Dilución de hidrocarburos por exceso de reservorios. d) Barrido de hidrocarburos por aguas meteóricas.

Sello

Principalmente se pueden definir la existencia de dos tipos de sellos que probaron su efectividad en los yacimientos descubiertos. El primero está dado por los intervalos carbonáticos y pelíticos internos de la F. Yacoraite, de espesores individuales de hasta 5 m., de hábito tabular y extensión regional (Yac.: Palmar Largo, El Chivil, Cañada Rica, Puesto Guardián, etc.). El segundo por los niveles pelíticos y evaporíticos de la F. Olmedo, con espesores de hasta 150 m., tal es el caso de los yacimientos de Caimancito, Cuchuma, Lumbrera y posiblemente Valle Morado, todos ellos productivos de calizas fracturadas.

Trampa

Hasta la fecha todas las trampas de hidrocarburos descubiertas están relacionadas con estructuras anticlinales desarrolladas en distintos escenarios tectónicos, conformadas en diferentes tiempos y también asociadas con génesis distintas. Desde este punto de vista se ha confeccionado un mapa tectónico generalizado donde pueden distinguirse los principales ambientes estructurales o regiones, a los que se encuentran asociados los yacimientos de hidrocarburos (Fig. N° 8).

Región I: Localizada al oriente de la subcuenca de Lomas de Olmedo, se caracteriza por estructuras anticlinales con pequeño cierre estructural (10-40m.), genéticamente relacionadas con eventos tensionales propios del estadio *postrift* (*Sag*), ocurridos durante el Paleoceno y Eoceno y también con fenómenos incipientes de transpresión ocurridos durante el Mioceno, (Yac. El Vinalar Norte, Balbuena Este, etc.). Por su parte la estructura de Palmar Largo, como otras más pequeñas (El Chivil, Surubí y Cañada Rica, etc.) podrían deberse al efecto combinado de compactación diferencial con transpresión (Fig. N° 9b).

Región II: Caracterizada por anticlinales de mayor relieve estructural que las anteriores. Estas estructuras se encuentran genéticamente asociadas con una inversión tectónica moderada y transpresión, que conforma pliegues por propagación de falla en los niveles productivos. Los yacimientos encontrados en el flanco sur de Lomas de Olmedo están comprendidos dentro de esta región (Yac. Puesto Guardián, Pozo Escondido, Cañada Grande, Dos Puntitas, etc.).

Región III: Esta región se dispone hacia el oeste de las anteriormente descritas y en ella la deformación fue mas intensa. Los anticlinales presentes son de gran relieve estructural y tamaño kilométrico, encontrándose frecuentemente desventrados en los niveles de interés lo que produce un intenso lavado de las trampas con agua meteórica. Esta región es el producto de una intensa inversión tectónica con importante componente transpresiva. Hasta la fecha solamente dos yacimientos pequeños fueron descubiertos, Cuchuma y Lumbrera, ambos en la Subcuenca de Metán.

Región IV: Involucra los ambientes tectónicos conocidos como Subandino y Cordillera Oriental. La deformación es intensa y en ella se conformaron tanto estructuras relacionadas con inversión tectónica como

también de lámina delgada. Los yacimientos Caimancito y Valle Morado, están comprendidos dentro de este sector, como también las estructuras perforadas en la Subcuenca de Tres Cruces, (Tabladitas, Mula Aguada, etc.)

Llenado de las Trampas

Los yacimientos muestran un llenado en general menor que su cierre estructural. Caimancito presenta un llenado cercano al 30 % con respecto al cierre (Fig. N° 13a), Palmar Largo de un 80% (Fig. N° 9a), en coincidencia con posiciones internas de cuenca cercanas a las mejores zonas generadoras o "cocina" (Fig. N° 4b, 5b y 6b). Los yacimientos del flanco sur de Lomas de Olmedo, presentan un llenado aún menor al 30%, existiendo en estas posiciones numerosas estructuras acuíferas, lo cual indica claramente un déficit de hidrocarburos en las posiciones de borde de cuenca debido a una sumatoria de causas, entre las que se destacan: a) Escaso tenor de COT original en la F. Yacoraite, debido a la progradación clástica del flanco sur (Fig. N° 5 y 6). b) Ausencia de *carriers* (principalmente para el Mb. Las Avispas) entre la cocina y las trampas, ubicadas a más de 50 km, en algunas zonas. c) Muy poco espesor de roca madre para los miembros Inferior y Medio, que si bien presentan buenos *carriers* en Lomas de Olmedo, prácticamente no contienen hidrocarburos. c) Existencia de barreras estructurales que desconectaron, previamente a la generación y migración, la cocina de muchas de las trampas actuales, y que resultaron secas (Fig. N° 11a). Los yacimientos localizados en la subcuenca de Metán (Cuchuma y Lumbrera) presentan un llenado cercano al 10% de su cierre estructural (Fig. N° 12a), debido quizás a escasa generación de hidrocarburos en este depocentro, alta complejidad estructural (compartimentalización) y biodegradación por influjo de aguas meteóricas.

Roca Madre

Los análisis geoquímicos efectuados sobre las potenciales rocas generadoras del Grupo Salta, concluyen que solamente la F. Yacoraite posee roca madre de hidrocarburos.

El Miembro Superior o Las Avispas es el que presenta mejores condiciones generadoras y particularmente en la Subcuenca de Lomas de Olmedo. Las pelitas oscuras y mudstones de interior de cuenca concentran las mejores tenores de COT y madurez.

Los kerógenos determinados son del tipo II y III, y de acuerdo a estudios sistemáticos regionales efectuados sobre muestras de pozos (Core Laboratories & Exploration Logging, 1992), el contenido de materia orgánica en un 80% del total analizado no supera el 0.5% en peso (Fig. N° 17), lo que explicaría la carencia de yacimientos importantes en la cuenca, el llenado deficiente de los yacimientos y las numerosas estructuras secas perforadas. Sin embargo, y de acuerdo a otros estudios geoquímicos existentes (Tozzi, 1984; Tozzi y Arias, 1986; Villar, 1997), realizados en afloramientos de Lomas de Olmedo y Tres Cruces, el contenido de materia orgánica alcanzaría valores de COT promedio entre 2 y 3 % para los mejores niveles pelíticos del Mb. Superior y de 1 % para algunas calizas de los miembros Superior y Medio.

Se han confeccionado tres mapas isopáquicos de potencial roca madre de los principales intervalos generadores de la F. Yacoraite, para valores de COT superiores al 0,5% (Fig. N° 4b, 5b y 6b), concluyéndose que la Subcuenca de Lomas de Olmedo es la zona con mayor generación y preservación de hidrocarburos de toda la cuenca del Grupo Salta.

Estudios efectuados sobre muestras de petróleo por Core Lab. op.cit., permiten diferenciar dos familias principales de hidrocarburos:

- I) Relacionada con rocas generadoras pelíticas oscuras, identificada en los yacimientos cercanos al depocentro de Lomas de Olmedo, como es el caso de Palmar Largo, que presenta una madurez importante. Este sistema petrolero, correspondiente una posición de centro de cuenca, está definido por una roca madre pelítica, principalmente localizada en el Mb. Medio y sus principales reservorios en las vulcanitas y rocas vulcanoclásticas de la F. Palmar Largo, con las que existe una clara relación lateral.
- II) Una familia de petróleos menos maduros, con alto contenido de azufre, generados principalmente por calizas de ambientes restringidos hasta hipersalinos, y que se corresponden con los petróleos localizados en el flanco sur de Lomas de Olmedo (Yac.Dos Puntitas, Pozo Escondido, etc.). Estos hidrocarburos habrían sido generados localmente, en correspondencia con muy poco espesor de roca madre por tratarse de posiciones marginales de cuenca.

Existen en algunos ejemplos de mezcla de petróleos de las dos familias mencionadas, tales son los casos del Yac. Caimancito y Puesto Guardián. En el primero, se plantea una generación tanto en las calizas como en las pelitas de los tres miembros de la F. Yacoraite, mientras que en el segundo habría generación local del Mb. Superior (Las Avispas) y alguna participación de las pelitas del Mb. Medio (Puesto Guardián) generados en posiciones más internas.

En general los petróleos son predominantemente del tipo saturado, con menores participaciones de aromáticos. El grado API es muy variable alcanzando 43° en Palmar Largo, 40.6° en Caimancito, 39° Puesto Guardián, mientras que en el yacimiento Martínez del Tineo es de 14 a 15°, debido a alta biodegradación.

Generación y Migración

Para establecer los episodios de generación y expulsión de hidrocarburos se utilizó el programa de modelado de *Basin-Mod*, controlando los valores de madurez con estudios de pirólisis, vitrinita y análisis de petróleos. Los modelos se efectuaron en los distintos depocentros definidos, Lomas de Olmedo, Metán-Alemania y Tres Cruces, los que presentan características tectosedimentarias diferenciables entre sí (Fig. N° 15a, 15b y 15c).

Para Lomas de Olmedo en posición de depocentro, la generación de petróleo habría comenzado en el Oligoceno superior aproximadamente a los 30 M.a., con una subsidencia de alrededor de 3200m., encontrándose actualmente en la zona principal de gas. Ejemplos de generación de gas son el yacimiento de Valle Morado y, en menor medida La Bolsa y Chirete, con soterramientos comprendidos entre 5000 y 6000m (Fig. N° 15a).

Los yacimientos localizados en el flanco sur (Puesto Guardián, Cañada Grande, El Vinalar Norte, etc.) se encuentran en posiciones marginalmente maduras a inmaduras en coincidencia con muy poco espesor de roca madre (no mayor de 10m). Sin embargo, esta subcuenca es, sin duda, la que generó la mayor cantidad de petróleo de toda la cuenca cretácica del Noroeste, destacándose en tal sentido la gran extensión relativa del área de "cocina" (Fig. N° 4b, 5b y 6b).

En las subcuencas de Metán-Alemania y Tres Cruces, la historia geológica presenta similitudes entre ellas en lo que se refiere a la subsidencia y tectónica ocurridas durante el Paleoceno, Eoceno y Terciario superior sinorogénico, lo que permitió una evolución en la generación y expulsión similar entre ellas. En Metán pudo establecerse un inicio de generación en el Mioceno superior en coincidencia con la sedimentación del Araucanense (F. Río Guanaco). Ambas regiones sufrieron intensa deformación durante el Mioceno depositándose importantes molasas sinorogénicas con notables variaciones de espesor entre las posiciones sinclinales y anticlinales, es por ello que la mayor parte de estos depocentros se encuentran con la roca madre inmadura no habiendo superado los 3200m. de soterramiento total necesarios para el inicio de generación. De acuerdo a los modelos preparados con *Basin-Mod* solamente habría ocurrido generación de hidrocarburos en algunos sinclinales de magnitud regional que coincidieron con roca madre de buena calidad y cantidad, tal cuál ocurre en el sinclinal de Cuchuma (Fig. N° 15b). El hecho que los dos yacimientos descubiertos Cuchuma y Lumbreras se encuentren cercanos a la cocina, permite sugerir que la migración fue muy corta, para estas estructuras (Gómez Omil y Albariño, 1996).

Los principales factores que determinaron la ausencia de yacimientos de importancia, en estos dos depocentros, fueron: 1) Muy poco espesor y limitadas cocinas de roca madre (Fig. N° 5b y 6b). 2) Intensa estructuración, polifásica, ocurrida desde antes de la generación, lo que determinó una alta complejidad estructural, con una posible intensa compartimentalización. 3) Existencia de barreras tectónicas (fallas) tempranas que seccionaron la cuenca en numerosos bloques, los que evolucionaron en forma separada. 4) Entrada de agua dulce meteórica en las zonas desventradas principalmente a través de las numerosas facies clásticas eólicas.

Reservas de Hidrocarburos

Hasta la fecha fueron descubiertos dos yacimientos significativos de petróleo, uno de gas y condensado y más de veinte muy pequeños a insignificantes (Fig. N° 14), habiéndose perforado alrededor de 200 pozos exploratorios, principalmente, con objetivos en trampas estructurales. Las reservas originales recuperables de petróleo, son cercanas a los 20 MMm³ y las de gas aún se desconocen en forma precisa (Yac. Valle Morado). El Yac. Caimancito es el que posee mayores reservas recuperables, cercano a los 10.5 MMm³, seguido por el Yac. Palmar Largo con 5.7 MMm³. Las reservas encontradas en el flanco sur de Lomas de Olmedo suman en total 3.5 MMm³, para un total de 8 yacimientos y los ubicados en la Subcuenca de Metán, 200MMm³. Claramente se observa que las dos mayores acumulaciones se concentran en posiciones internas de cuenca, donde la generación fue mayor, mientras que hacia posiciones de borde los yacimientos son insignificantes (Fig. N° 5b y 6b).

Las reservas probadas remanentes son insignificantes, del orden de los 1.5 MMm³, y están concentradas en el Yac. Palmar Largo. No se ha considerado el Yac. Valle Morado, por encontrarse aún en una etapa de evaluación.

Potencial Exploratorio Remanente

Se puede resumir que la cuenca cretácica está bastante explorada, quedando solamente por investigar regiones remotas, en algunos casos como Tres Cruces, *plays* profundos y estructuralmente complejos localizados en las regiones III y IV, y trampas estratigráficas y/o combinadas.

La región más promisoría parece corresponderse con la que se localiza al noroeste del yacimiento Caimancito, donde es posible encontrar acumulaciones de gas y condensado tipo "Valle Morado" a profundidades cercanas a los 6000 m. Existen otros prospectos exploratorios, habiéndose estimado en total alrededor de 2TCF de gas y 5MMm³ de petróleo y condensado siempre y cuando todos los prospectos sean exitosos.

En la Subcuenca de Tres Cruces, donde todavía no se encontraron yacimientos, el riesgo exploratorio es muy alto debido a la complejidad estructural a lo que se agrega la limitada generación de hidrocarburos y la posibilidad de recarga con agua meteórica, por lo que sería posible solamente hallar acumulaciones de pequeño tamaño, con hidrocarburos posiblemente biodegradados.

Con respecto a la subcuenca de Lomas de Olmedo, solamente en el sector suroriental, se encuentra en un estadio maduro de exploración, mientras que el flanco norte, el centro de cuenca y el flanco sureste, tienen muy escasos pozos perforados. Pero, habiéndose perforado las principales estructuras, las posibilidades de descubrir yacimientos de magnitud solo sería posible en trampas con fuerte componente estratigráfico.

En la subcuencas de Metán-Alemania han sido perforados los principales anticlinales con resultados exiguos, quizá la principal causa esté relacionada con la escasa generación documentada en estos depocentros, ya que las mejores facies se encuentran inmaduras.

Trampas Estratigráficas: Los modelos sedimentarios reconocidos para la F. Yacoraite permiten inferir la existencia de posibles trampas estratigráficas y diagenéticas, tanto relacionadas con areniscas (lenticularidad) como con calizas oolíticas (disolución), habiéndose constatado su existencia y su control en las acumulaciones de los yacimientos del flanco sur de Lomas de Olmedo. Pero el pequeño espesor de los reservorios, no mayor a 12 m. en la "Arena 6", la gran profundidad de los objetivos, generalmente mayor a los 3000m y la escasa superposición de niveles reservorios, torna muy baja la relación beneficio/costo de estos proyectos.

Los dos grandes yacimientos de la cuenca, Caimancito y Palmar Largo, responden a condiciones geológicas excepcionales, únicos hasta la fecha. El primero, combina un gran desarrollo de facies carbonáticas, con una excelente fracturación tectónica, a lo que se suma las mejores condiciones de carga; mientras que, el segundo, responde a un excepcional campo volcánico, en parte coetáneo con la depositación de la F. Yacoraite, con buenas facies generadoras y facies reservorio asociadas a dicho alto volcánico (Fig. N° 5 y 6). En cambio el resto de los yacimientos, que resultaron mucho mas pequeños, responden mas a las condiciones generales de la cuenca, es decir, con reservorios delgados, escasos niveles y algo alejados de la cocina de petróleo.

En consecuencia, la búsqueda de posibles entrapamientos estratigráficos basados principalmente en el análisis sísmico, puede ser de alto riesgo y costo por lo que se recomienda un buen ajuste con los modelos sedimentarios existentes.

Conclusiones

En la porción argentina de la cuenca, se reconocen tres subcuencas principales de las cuales la subcuenca de Lomas de Olmedo, es la más importante petroleramente. Estimándose reservas del orden de los 20MMm³ de petróleo.

El relleno inicial (*synrift*) de la cuenca, reunido formalmente en el Subgrupo Pirgúa, comprende espesos intervalos clásticos terrígenos sin interés petrolero.

El Subgrupo Balbuena, correspondiente a la etapa de *postrift* y de máxima inundación, concentra en forma casi exclusiva la roca madre y reservorio de la cuenca y, por lo tanto, fue la única unidad capaz de generar y almacenar hidrocarburos en cantidades comerciales.

El Subgrupo Santa Bárbara fue importante como roca sello, carga litostática y, en forma secundaria, como roca reservorio.

La subcuenca de Lomas de Olmedo es el depocentro con mayor potencial petrolero y el más explorado, a pesar de ello refleja un marcado déficit en el volumen total de petróleo acumulado. En él se han perforado las principales estructuras, salvo unas pocas situadas en su sector noroeste, para las cuales se estima un potencial exploratorio remanente de 2 TCF de gas y 5MMm³ de petróleo y condensado.

El potencial exploratorio de las subcuencas de Metán-Alemania y Tres Cruces se considera exiguo y de alto riesgo.

Agradecimiento

Los autores agradecen a Pluspetrol E&P y Tecpetrol S.A. por haber autorizado y apoyado la publicación de este trabajo. Además hacen extensión del agradecimiento a Carlos Castro por su colaboración en la parte gráfica, a los doctores Luis Albariño, Eduardo Carrara, Alfredo Disalvo y Héctor Villar por la lectura crítica del trabajo y, en particular, al Dr. Leonardo Legarreta por propiciar y coordinar este Simposio de Sistemas Petroleros de Argentina.

Lista Bibliográfica

- Bianucci, H. y J. F. Homoc, 1982. Tectogénesis de un sector de la cuenca del Subgrupo Pirgua. Noroeste Argentino. Quinto Cong. Lat. de Geol. Acta I: 539-546.
- Boll, A. y R. M. Hernández, 1985. Área Tres Cruces. Prov. De Jujuy. Análisis estratigráfico-estructural. Evaluación como objetivo exploratorio. Inf. Ined. YPF.
- Boll, A., R. J. Gómez Omil, R. M. Hernández, C. Aguirre, M. Baliña, P. Ferraresi, M. L. Rodríguez Schelotto, N. Samosiuk y W. Arias, 1989. Síntesis estratigráfica del Grupo Salta. Comisión Geológica N° 6-Dep. Geológico Norte - Lab. Geológico de Expl. Inf. Ined. YPF.
- Brackebush, L., 1891. Mapa geológico del interior de la Rep. Argentina. Acad. Nac. De Ciencias Córdoba. Impreso en el Inst. Geográfico de Hellfarth Gatha.
- Coira, B.; J. Davidson; C. Mpodozis y V. Ramos, 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. Earth Science Reviews, 18, 303-332.
- Core Laboratories & Exploration Logging, 1992. N. Argentina Geochemical Study. Inf. Ined. Pluspetrol.
- Carle, R.; O. Di Persia y G. Olivieri, 1988. Análisis Geológico y Petrolero del Sector Noroeste de la Pcia. De Formosa. Inf. Ined. YPF.
- Cazau, L.; J. Oliver Gascón y N. Cellini, 1976. El Subgrupo Santa Bárbara (Grupo Salta) en la porción oriental de las provincias de Salta y Jujuy. Sexto Cong. Geol. Arg. Actas I: 341-356. Buenos Aires.
- De Spirito, R. E. 1980. Estudio en detalle y análisis de cuenca de los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara, en el sector centro oriental de la Subcuenca de Lomas de Olmedo y Umbral de Cachipunco. Inf. Ined. YPF.
- Dikinson, W. R., 1974. Plate tectonics and sedimentation, in Dickinson, W. R. (ed.), Tectonics and Sedimentation: Soc. Econ. Paleontologist and Mineralogist. Special Pub. N° 22, p. 1-27.
- Disalvo, A. y D. de Muro, 1996. Estratigrafía de los Subgrupos Pirgua y Balbuena en la Provincia de Formosa. Su importancia en la exploración petrolera. Oct. Cong. Geol. Arg. y Terc. Cong. de Expl. de Hidroc., Acta I: 85-95. Bs As.
- Frutos, J., 1988. Evolución de la trayectoria de esfuerzos en la tectónica de los Andes Meridionales. Quinto Cong. Geol. Chileno. Actas I: 261-281. Santiago, Chile.
- Gallinski, M., and J. Viramonte, 1987. The Cretaceous paleorift in northwestern Argentina: A petrologic approach. Journal of South America Earth Sciences.
- Gómez Omil, R. y L. M. Albariño, 1996. Análisis Geológico Petrolero del Bloque Olleros. Sistema de Santa Bárbara. Pcia de Salta. XIII Cong. Geol. Arg. y III Cong. de Expl. de Hidroc., Actas I: 27-44.
- Handschumacher, D. W., 1976. Post Eocene plate tectonics of the Eastern Pacific. Amm Geophys. Union. Mem. 19: 177-202.
- Haq, B., J. Hardenbol and P. Vail, 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. Science, V. 235: 1156-1167.
- Maedel, F. y J. Moreno, 1973. Nota breve sobre la presencia de un nivel guía gris y bancos de sal en la F. Mealla. Inf. Ined. YPF.
- Magoon, L. B. and W. G. Dow, eds., 1994. The petroleum system-from source to trap: AAPG Memoir 60.
- Malvicini, L. y E. Lambías, 1982. El magmatismo Mioceno y las manifestaciones metalíferas asociadas en Argentina. Quinto Cong. Latinoam. de Geología Económica. Actas III: 547-566. Bs. As. Argentina.
- Megías, A., 1982. Introducción al análisis tectosedimentario; aplicación al estudio dinámico de cuencas. Quinto Cong. Latinoamer. de Geol. Acta I: 385-402. Argentina.
- Miall, A., 1984. Principles of sedimentary basin analysis. Springer-Verlag. New York.
- Moreno, A. J., 1970. Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico Superior en la cuenca del Noroeste Argentino, con especial mención de los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara. Asoc. Geol. Arg. Rev. XXV, 1: 9-44. Bs. As.
- Palacios, O. y R. Ellison, 1986. El sistema Cretácico en la región del Lago Titicaca (Perú). Primer Simposio PICG. N° 242. La Paz, 32-51.
- Pilger, R., 1983. Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: South American Andes. Geol. Soc. London. Journ., V 141: 793-802.
- Reyes, F., 1970. Correlaciones en el Cretácico de la Cuenca Andina de Bolivia, Argentina, Perú y Chile.

Primer Cong. Latinoamer. de Geol. Lima. Perú.

Reyes, F. y J. Salfity, 1972. Consideraciones sobre la estratigrafía del; Cretácico (Subgrupo Pirgua) del noroeste argentino. Quinto Cong. Geol. Arg. Acta III: 355-385. Bs. As.

Reyes, F., J. Viramonte y W. Gutierrez, 1976. Consideraciones sobre el vulcanismo del Subgrupo Pirgua (Cretácico) en el norte argentino. Sexto Cong. Geol. Arg. Acta I: 205-223. Bs. As.

Russo, A. y L. Rodrigo, 1965. Estratigrafía y paleogeografía del Gr. Puca en Bolivia. Bol. Inst. Bol. Petróleo, La Paz. 5 (3-4):5-51.

Schlagintweit, O., 1937. Observaciones estratigráficas del norte argentino. Bol. Inf. Petr., BsAs. 14 (156):1-49.

Sempere, T. y J. Oller, 1987. Cuadro estratigráfico del Mesozoico boliviano. Doc. Int. YPFB-ORSTOM, Santa Cruz.

Starck, D y G. Vergani, 1996. Desarrollo tecto-sedimentario del cenozoico en el sur de la provincia de Salta. Argentina. XIII Cong. Geol. Arg. y III Cong de Expl. de Hidrocarb., Actas I:433-452.

Tozzi, A., 1984. Informe geoquímico sobre muestras de afloramientos correspondientes a la F. Yacoraite. Perfiles El Chorro, Espinazo del Diablo, Quebrada de Huichaira y Maimará. Pcia de Jujuy. Inf. Inéd. YPF.

Tozzi, A. y W. Arias, 1986. Geoquímica de la F. Yacoraite. Espesor de roca madre, volumen de hidrocarburos originados y tiempo de generación-expulsión. Area Tres Cruces. Cuenca Cretácica del Noroeste. Inf. Inéd. YPF.

Turner, J., 1959. Estratigrafía del Cordón de Escaya y la Sierra de Rinconada (Pcia de Jujuy) Asoc. Geol. Arg. Rev. 15, 15-39. Bs. As.

Uliana, M. and K. Biddle, 1987. Mesozoic-Cenozoic Paleogeographic and Geodynamic Evolution of Southern South America. Revista Brasileira de Geociencias. V18:172-190. Rio de Janeiro.

Valencio, D., A. Giudice, J. Mendía y J. Oliver Gascón, 1976. Paleomagnetismo y edad K-Ar del Subgrupo Pirgua. Pcia de Salta. Rep. Arg. Actas VI Cong. Geol. Arg. Bahia Blanca I: 527-542.

Van Wagoner, J. C., R. Mitchum, H. Posamentier and P. Vail, 1987. Seismic stratigraphic interpretation using sequence stratigraphy, part 2: key definitions of sequence stratigraphy, in Bally, A. W. (ed): AAPG Studies in Geology Series 27, v.1, p 11-14.

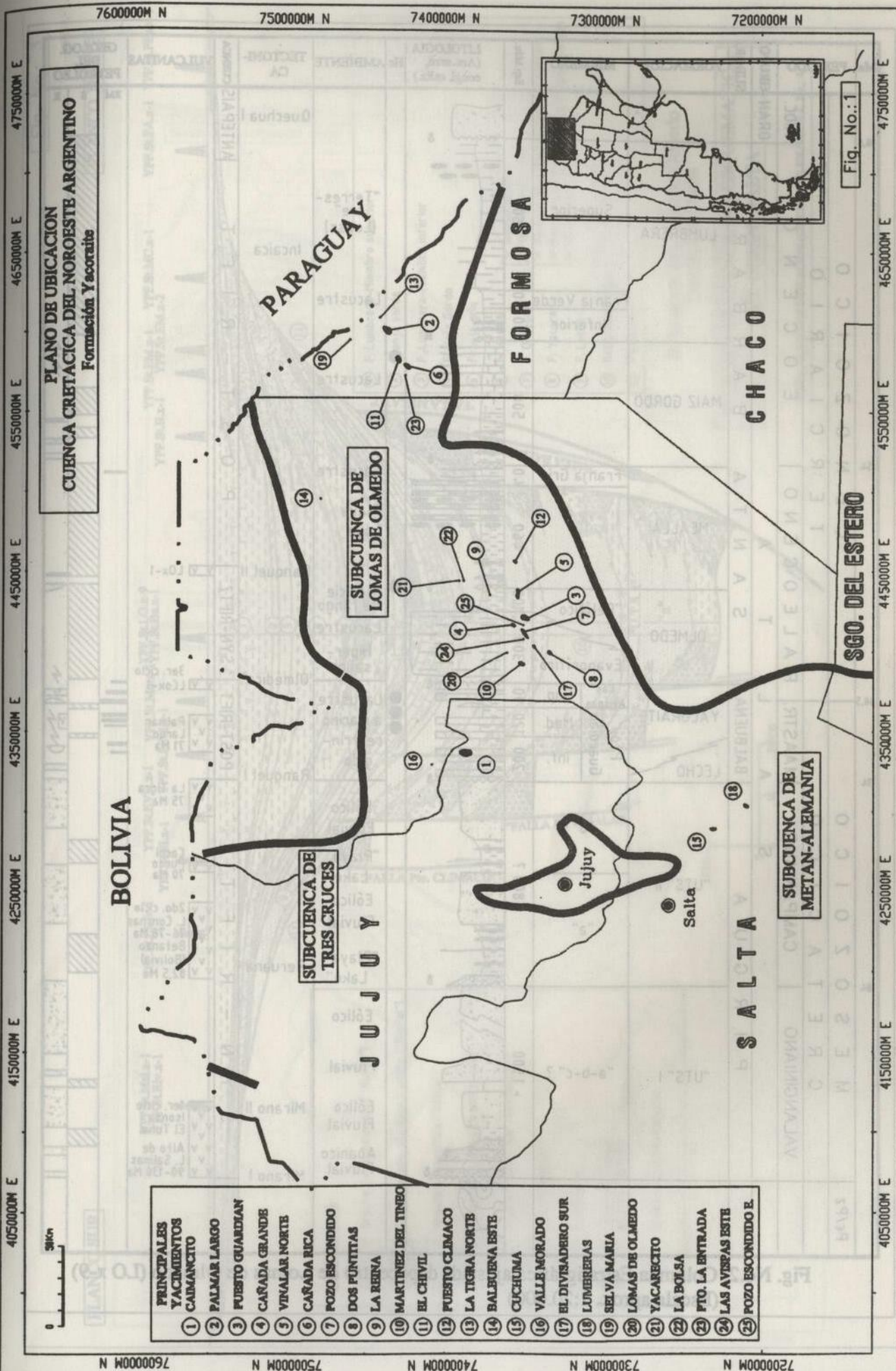
Vergani, G. y D. Starck, 1989 Aspectos estructurales del Valle de Lerma al sur de la ciudad de Salta.

BIP.20:2-9. Bs. As.

Vilela, C., 1951. Acerca del hallazgo del Horizonte-Calcaréo-Dolomítico en la Puna Salto-Jujeña y su significado geológico. Asoc. Geol. Arg. Rev. VI (2):101-107. Bs. As.

Villar, H., 1997. Area Embarcación. Evaluación Geoquímica Formación Yacoraite. Inf. Interno Tecpetrol.

Zilli, N., R. Gómez Omil y E. Lema, 1982. Consideraciones sobre la prospección de hidrocarburos en la F. Yacoraite en el sector sur oriental de Lomas de Olmedo. Inf. Inéd.



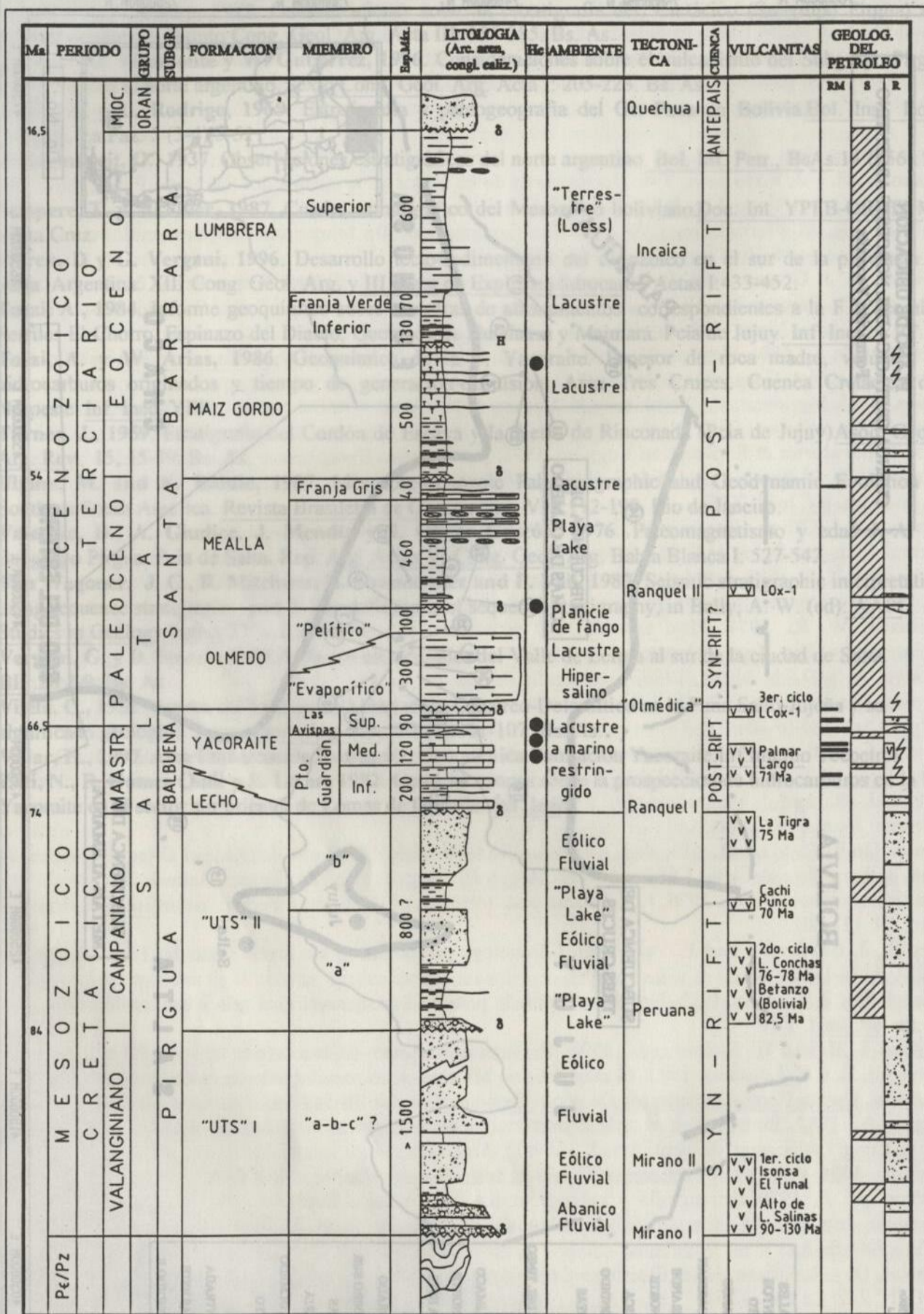
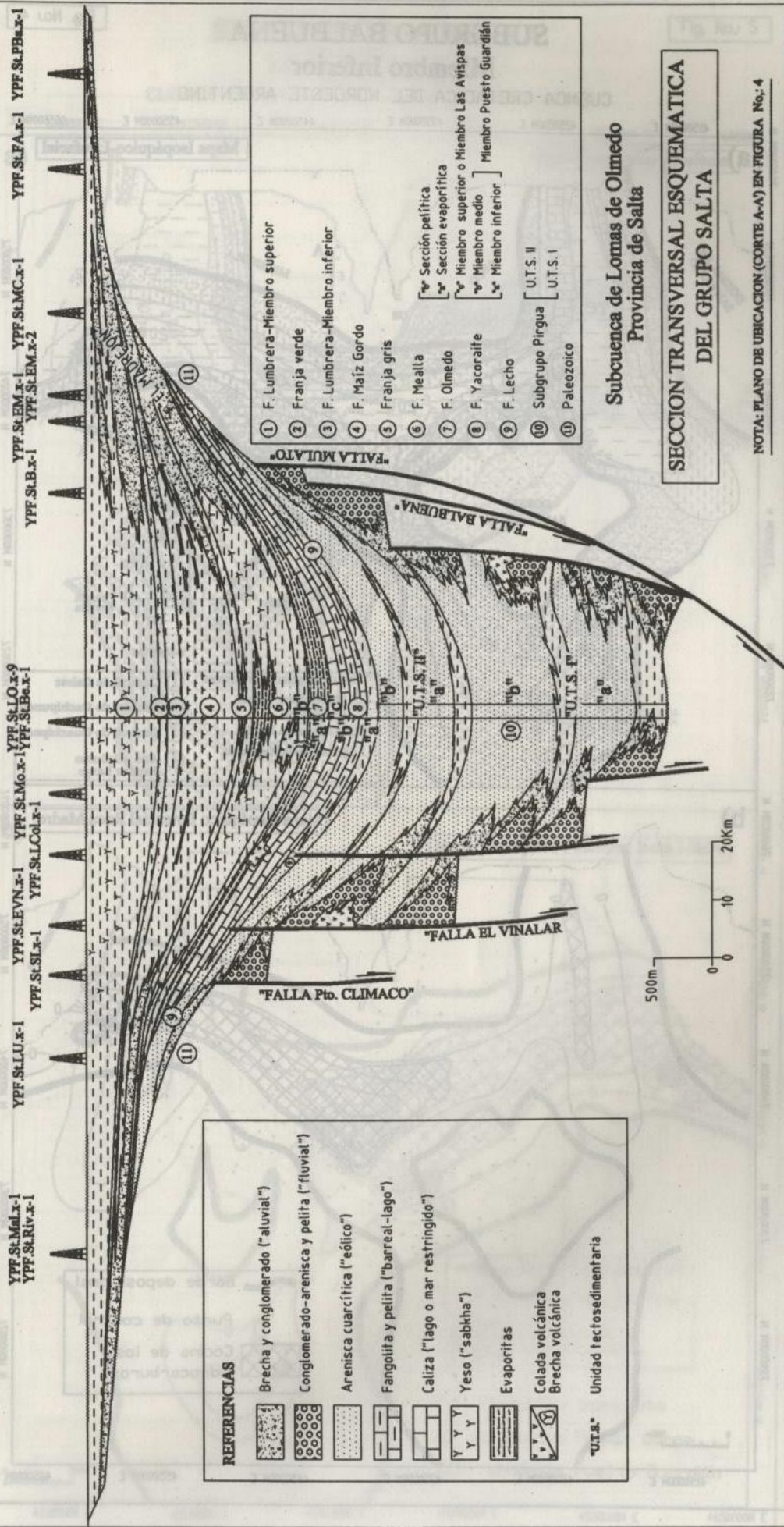


Fig. No.2: Columna Estratigráfica ajustada depocentro de Lomas de Olmedo (LO x-9)
(Escala aprox. 1:20.000)

FLANCO SUR

FLANCO NORTE



REFERENCIAS

- Brecha y conglomerado ("aluvial")
- Conglomerado-arenisca y pelita ("fluvial")
- Arenisca cuarcítica ("eólico")
- Fangolita y pelita ("barreal-lago")
- Caliza ("lago o mar restringido")
- Yeso ("sabkha")
- Evaporitas
- Colada volcánica
- Brecha volcánica
- Unidad tectosedimentaria

- 1 F. Lumberera-Miembro superior
- 2 Franja verde
- 3 F. Lumberera-Miembro inferior
- 4 F. Maíz Gordo
- 5 Franja gris
- 6 F. Mealla
- 7 F. Olmedo
- 8 F. Yacoraike
- 9 F. Lecho
- 10 Subgrupo Pirgua
- 11 Paleozoico

- Sección pelítica
- Sección evaporítica
- Miembro superior o Miembro Las Avispas
- Miembro medio
- Miembro inferior

- U.T.S. II
- U.T.S. I

Subcuenca de Lomas de Olmedo
Provincia de Salta

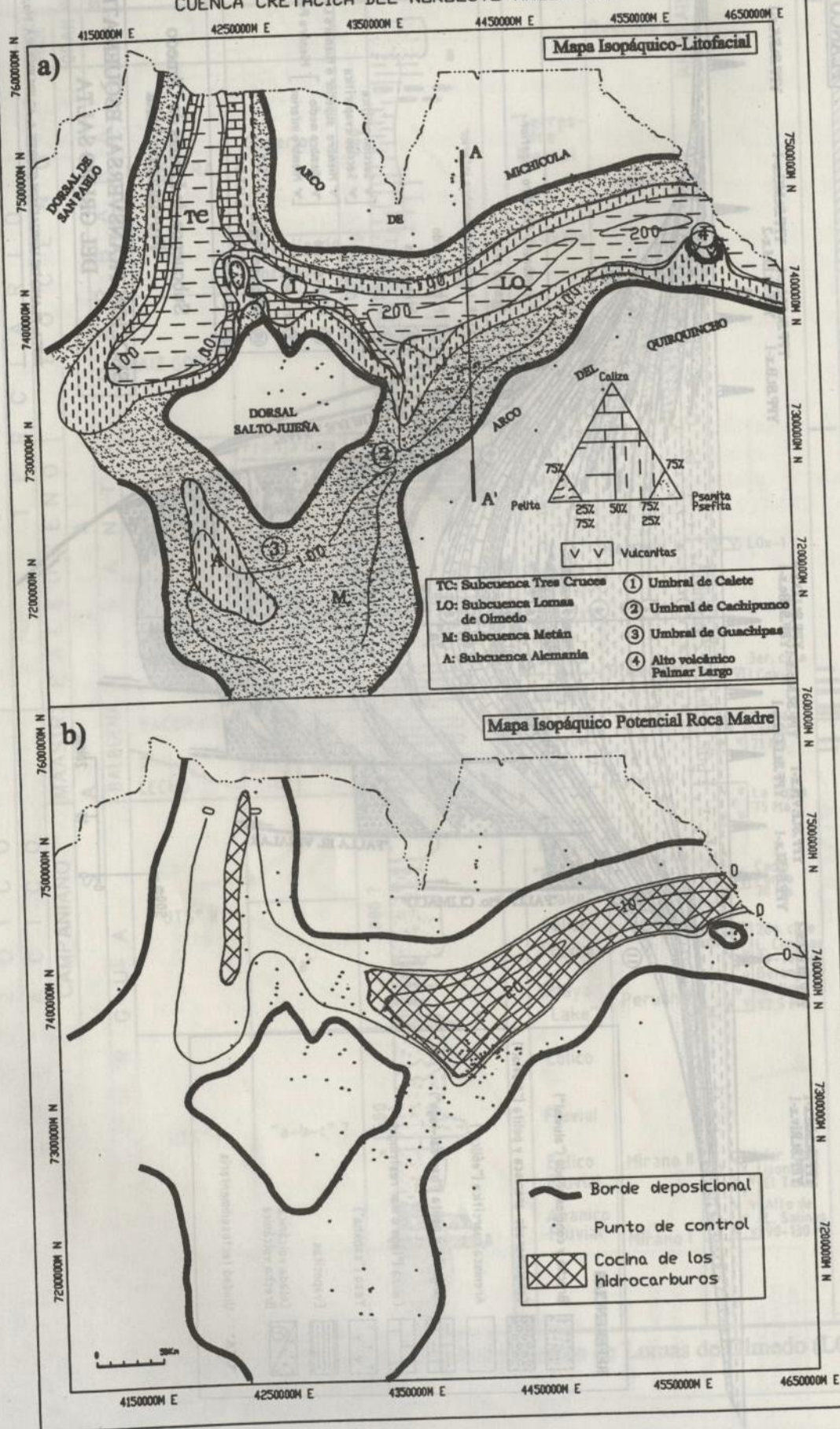
SECCION TRANSVERSAL ESQUEMATICA
DEL GRUPO SALTA

NOTA: PLANO DE UBICACION (CORTE A-A) EN FIGURA No.: 4

SUBGRUPO BALBUENA

Miembro Inferior

CUENCA CRETACICA DEL NOROESTE ARGENTINO

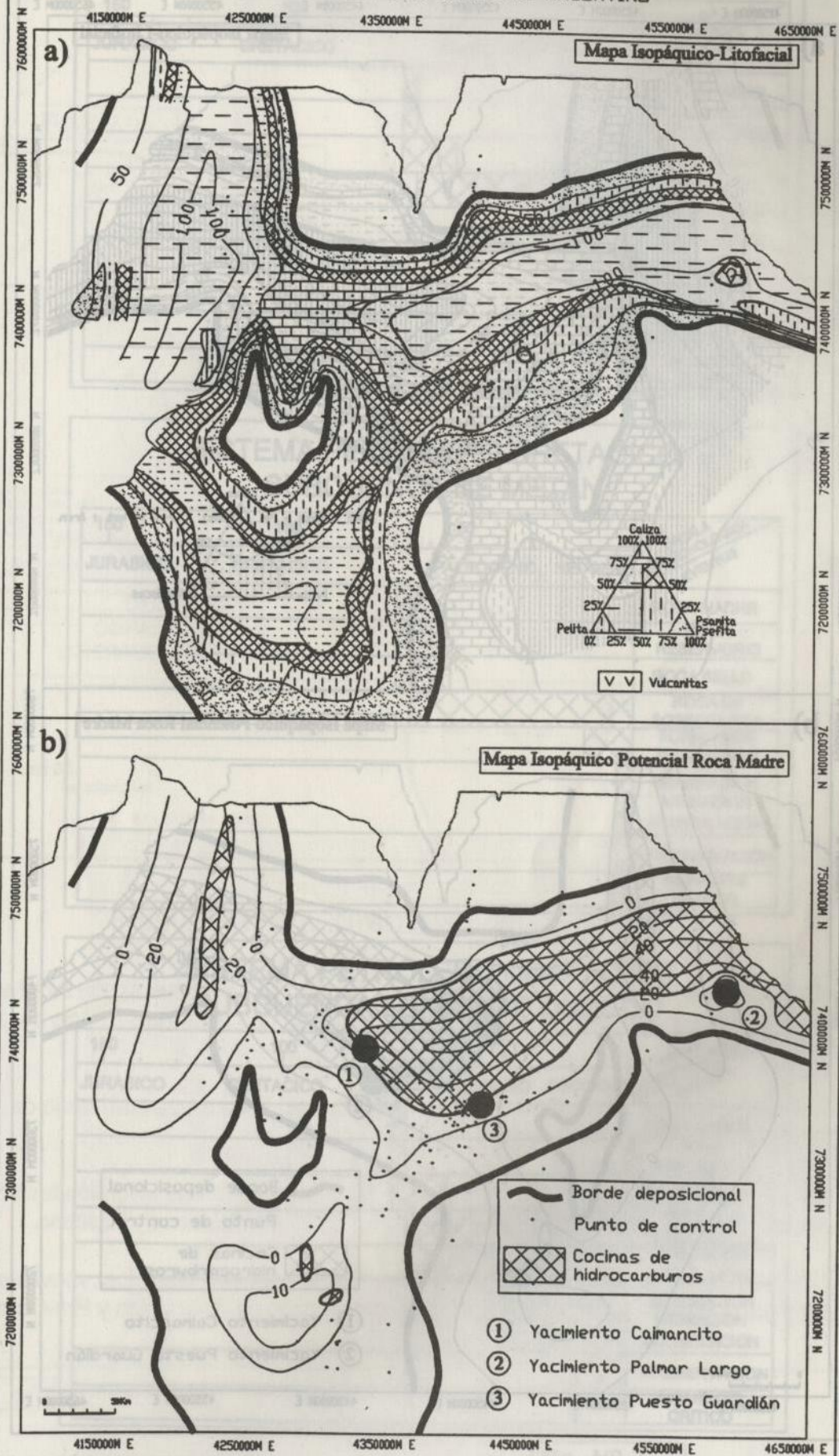


SUBGRUPO BALBUENA

Miembro Medio

CUENCA CRETACICA DEL NORDESTE ARGENTINO

Fig. No. 5

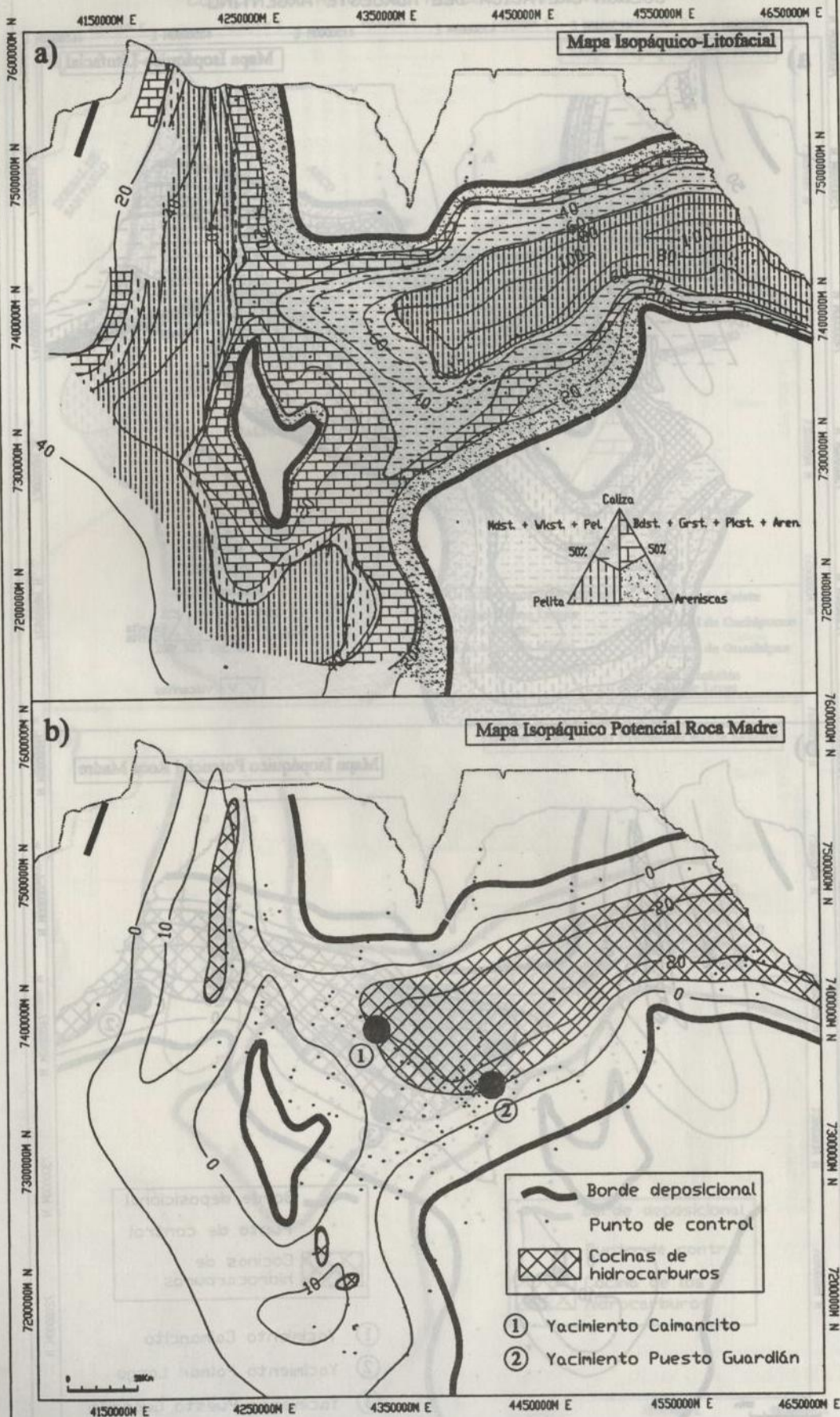


SUBGRUPO BALBUENA

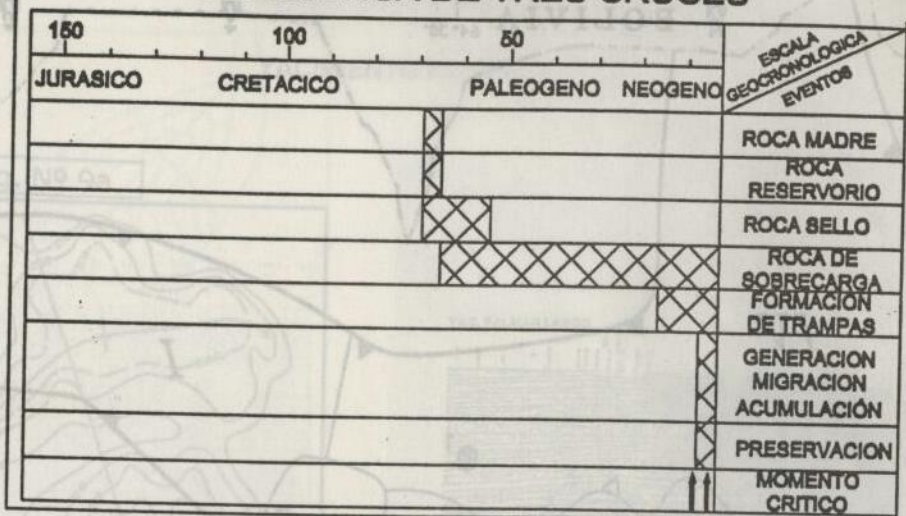
Miembro Superior

CUENCA CRETACICA DEL NOROESTE ARGENTINO

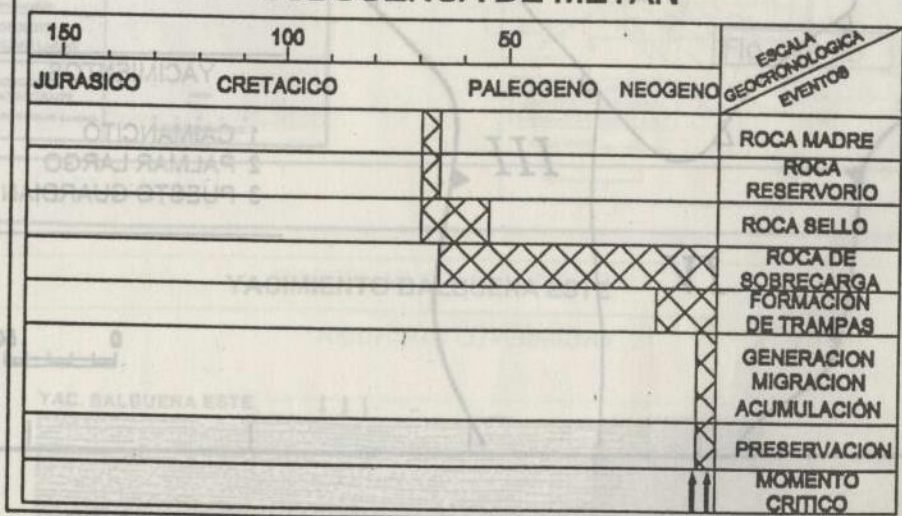
Fig. No. 6



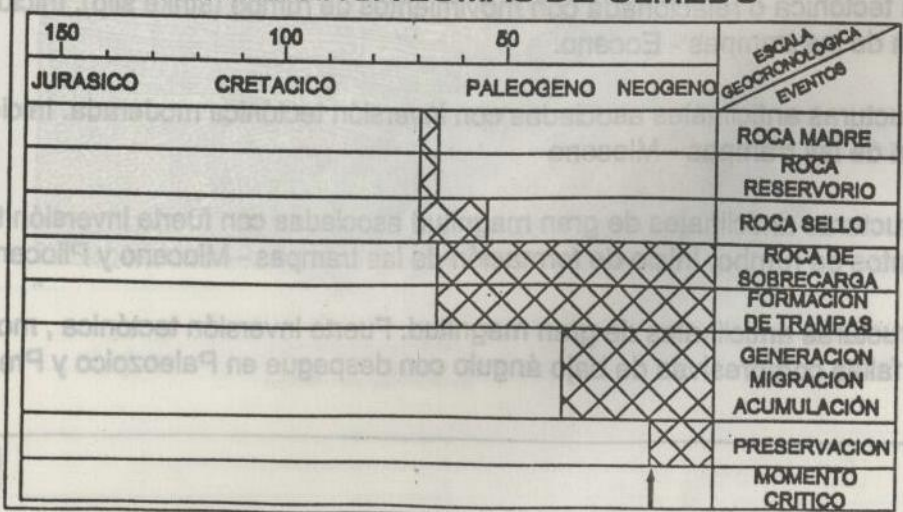
SISTEMA PETROLERO CRETACICO SUBCUENCA DE TRES CRUCES

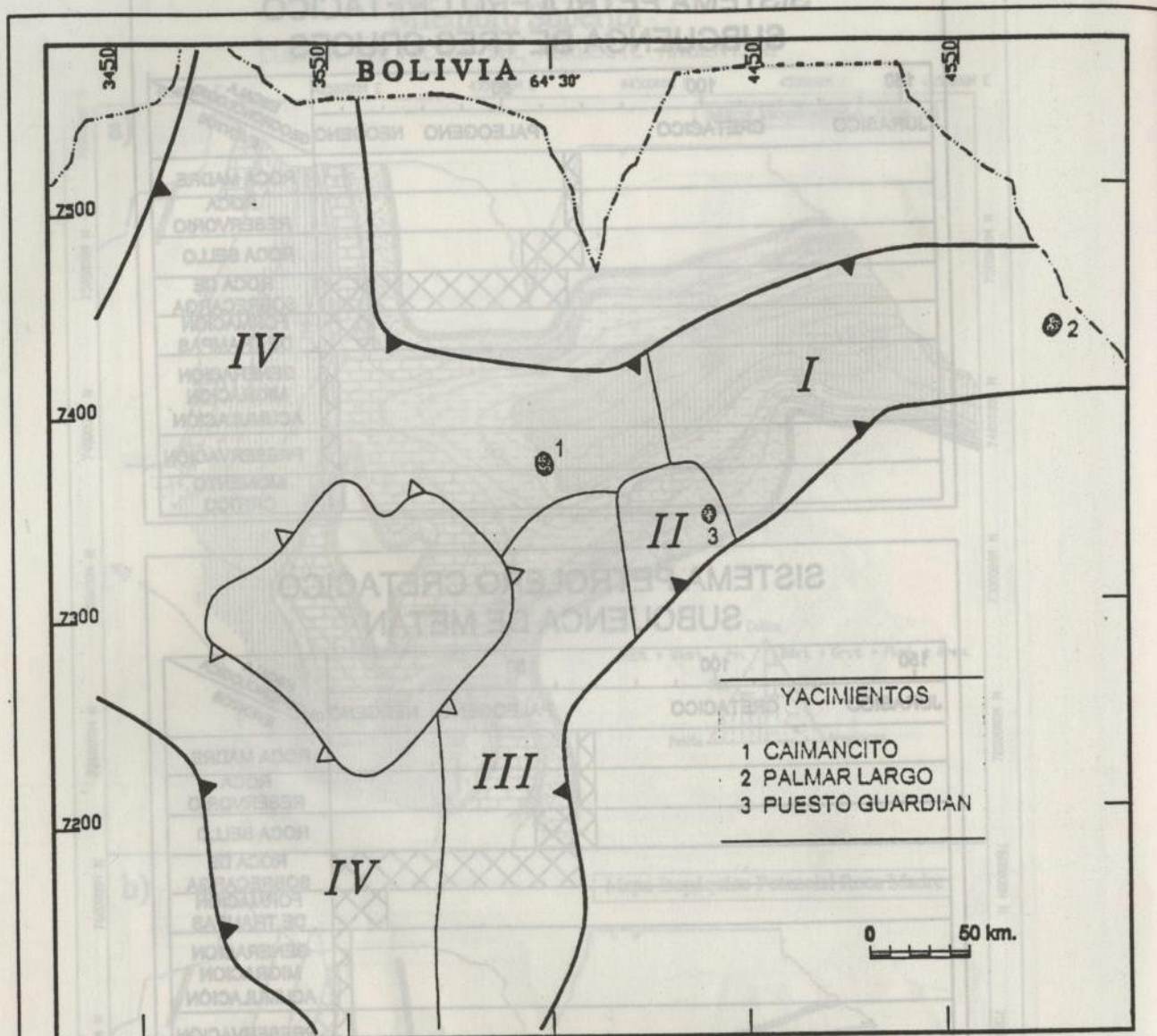


SISTEMA PETROLERO CRETACICO SUBCUENCA DE METAN



SISTEMA PETROLERO CRETACICO SUBCUENCA LOMAS DE OLMEDO





AMBIENTES TECTONICOS PRINCIPALES

- I - Estructuras anticlinales asociadas a fallas normales (drug rollovers) con incipiente inversión tectónica o relacionada con movimientos de rumbo (strike slip). Inicio de formación de las trampas - Eoceno.**
- II - Estructuras anticlinales asociadas con inversión tectónica moderada. Inicio de formación de las trampas - Mioceno**
- III - Estructuras anticlinales de gran magnitud asociadas con fuerte inversión tectónica y movimientos de rumbo. Inicio de formación de las trampas - Mioceno y Plioceno.**
- IV - Estructuras anticlinales de gran magnitud. Fuerte inversión tectónica, movimientos de rumbo y fallas compresivas de bajo ángulo con despegue en Paleozoico y Pre-Cámbrico.**

Fig. N° 8

YACIMIENTO PALMAR LARGO

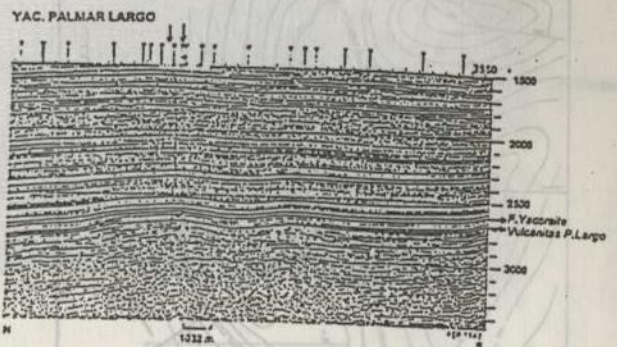


Fig. No 9b

YACIMIENTO BALBUENA ESTE

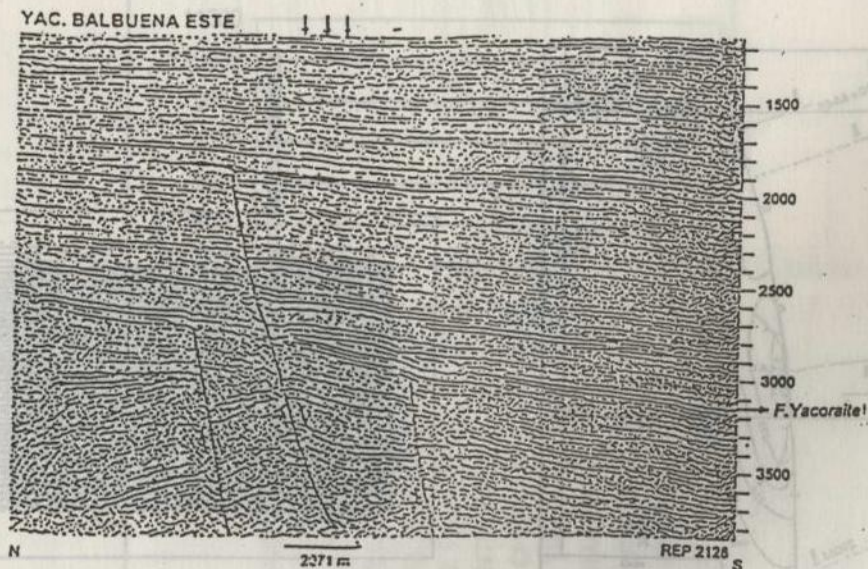


Fig. No 10



YACIMIENTO PUESTO GUARDIAN

Fig. N° 11a

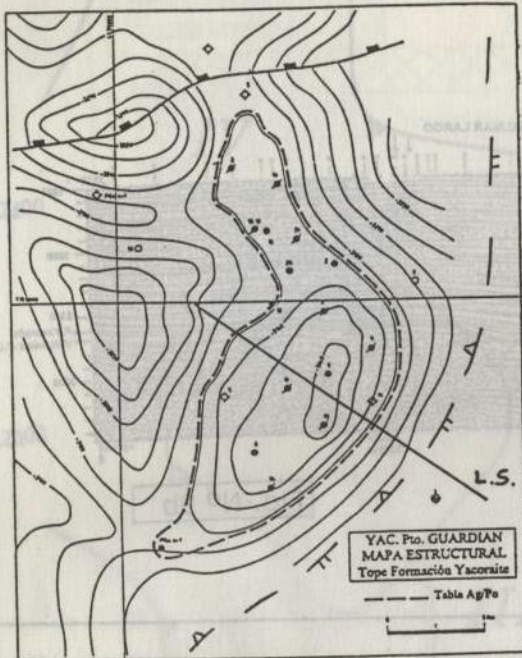


Fig. N° 11b

YACIMIENTO CUCHUMA

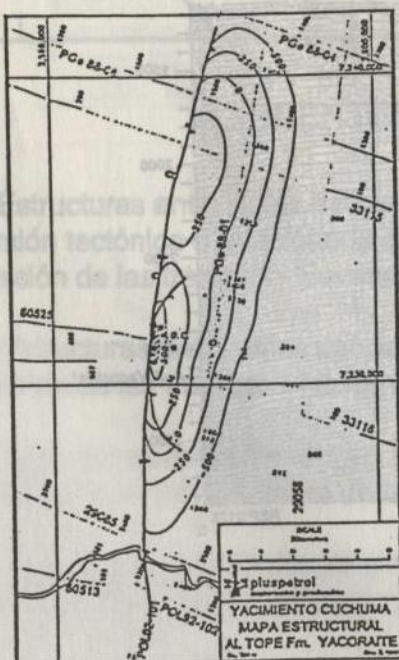


Fig. N° 12a

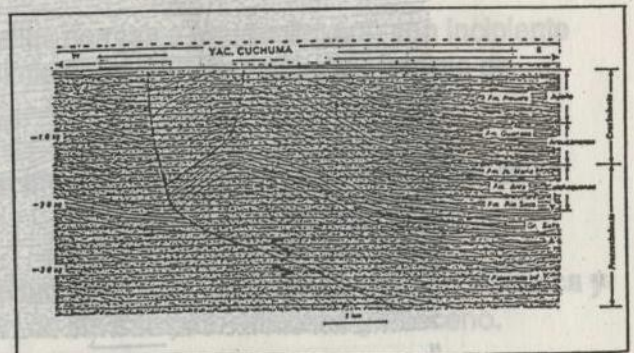


Fig. N° 12b

Fig. N° 8

YACIMIENTO CAIMANCITO

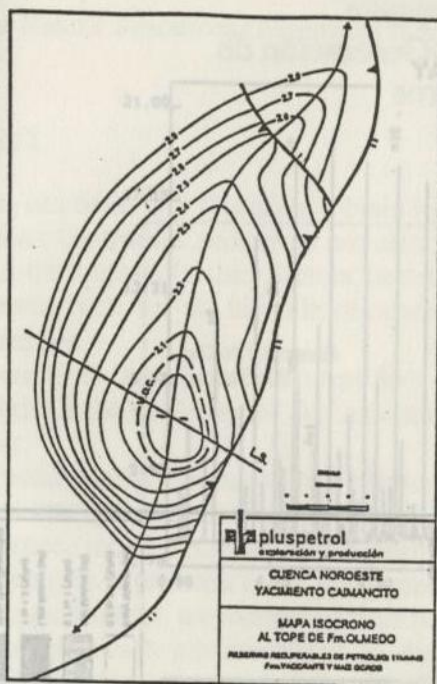


Fig. N° 13a

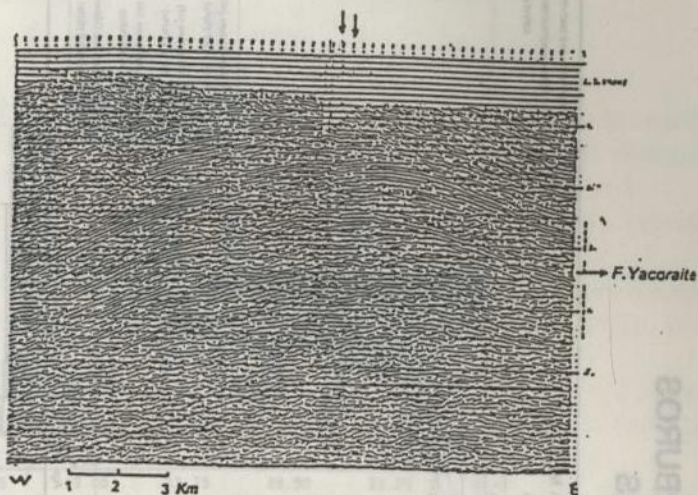


Fig. N° 13b

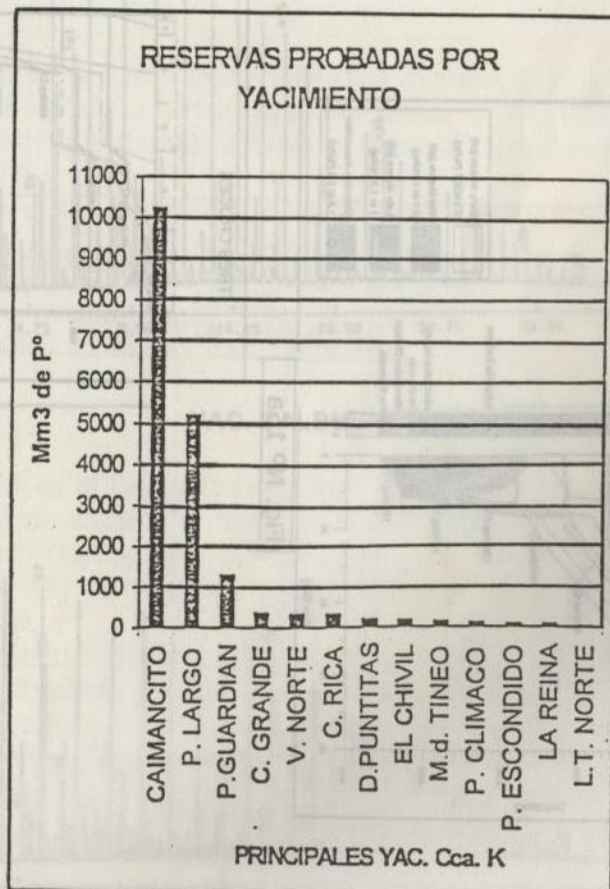


Fig. N° 14

MODELOS DE GENERACION DE HIDROCARBUROS EN LOS PRINCIPALES DEPOCENTROS

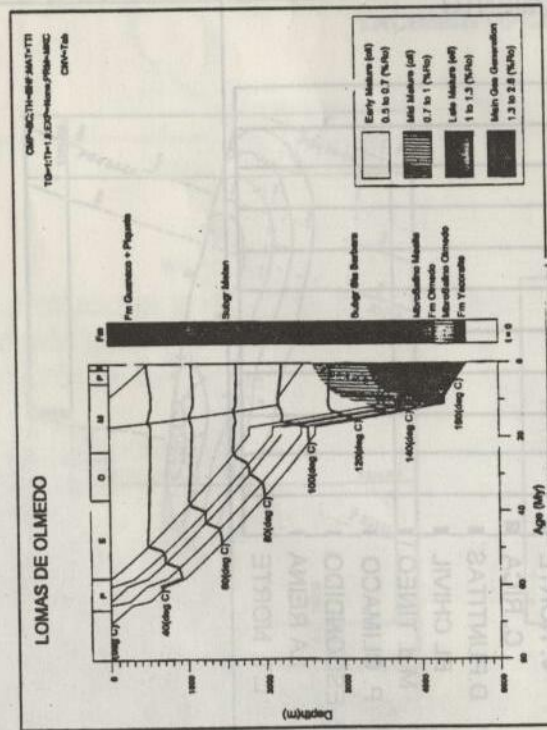


Fig. No 15a

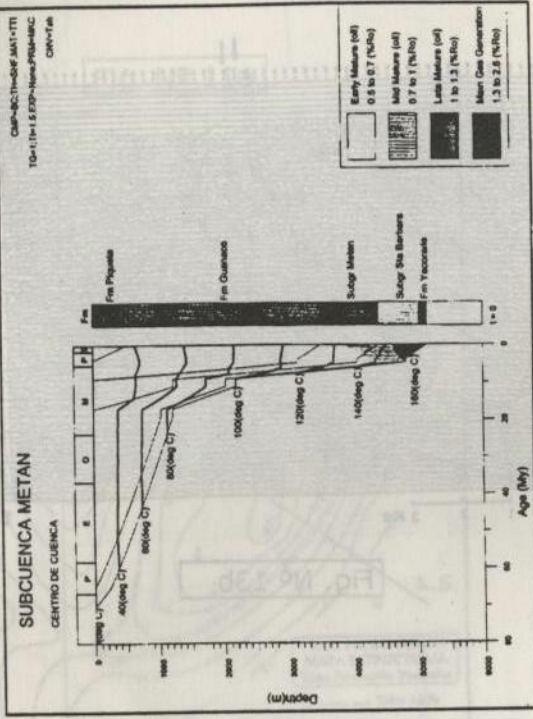


Fig. No 15b

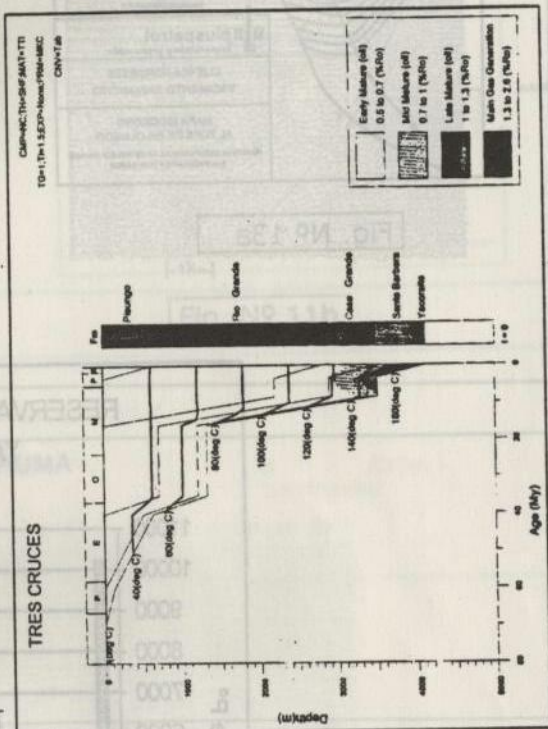


Fig. No 15c

CROMATOGRAMAS SOBRE PETRÓLEOS DE LA FM YACORAITE EN LA SUBCUENCA DE LOMAS DE OLMEDO

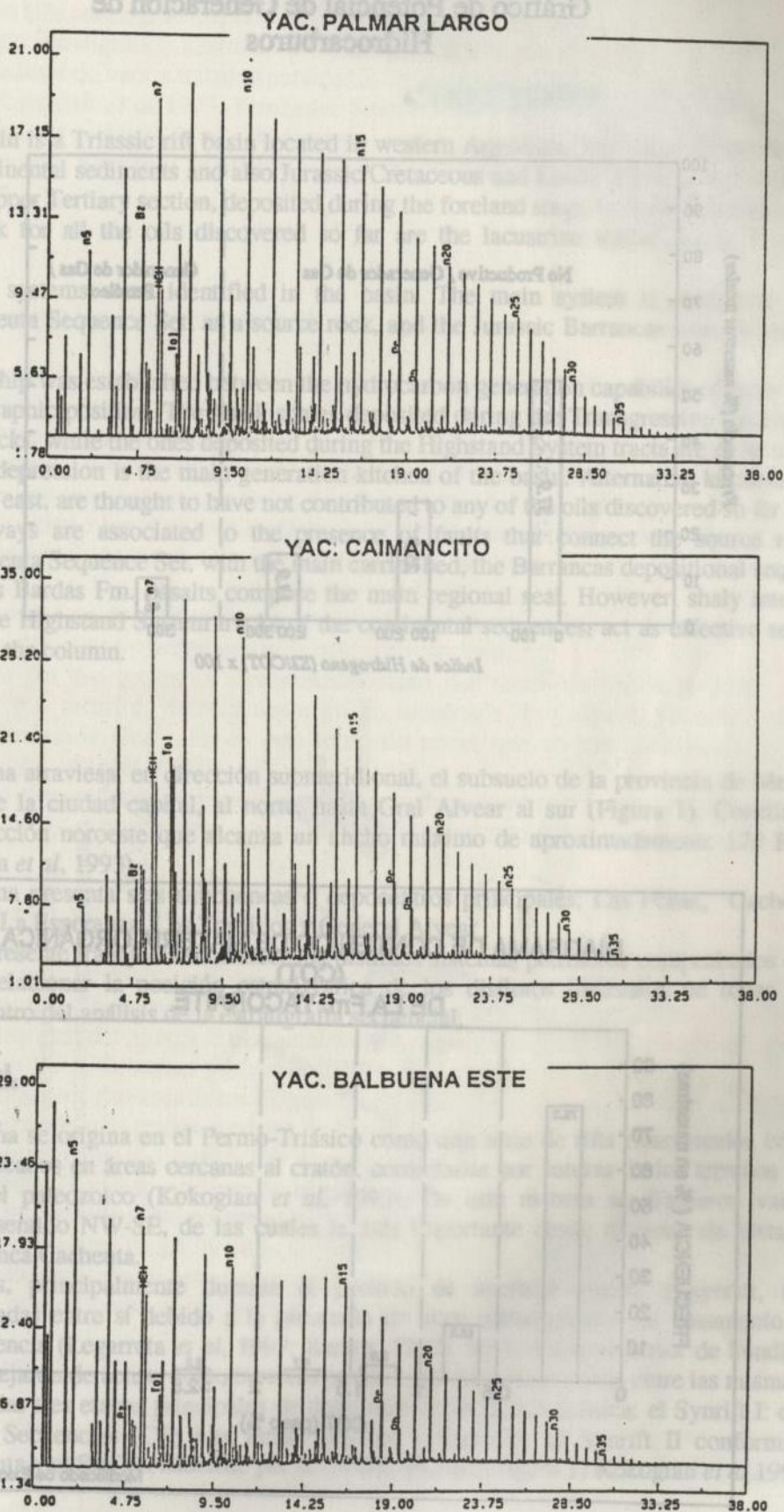


Fig. Nº 16

Modificado de Exlog 1992

CONTENIDO ORGÁNICO E ÍNDICE DE HIDRÓGENO Formación Yacoraite Gráfico de Potencial de Generación de Hidrocarburos

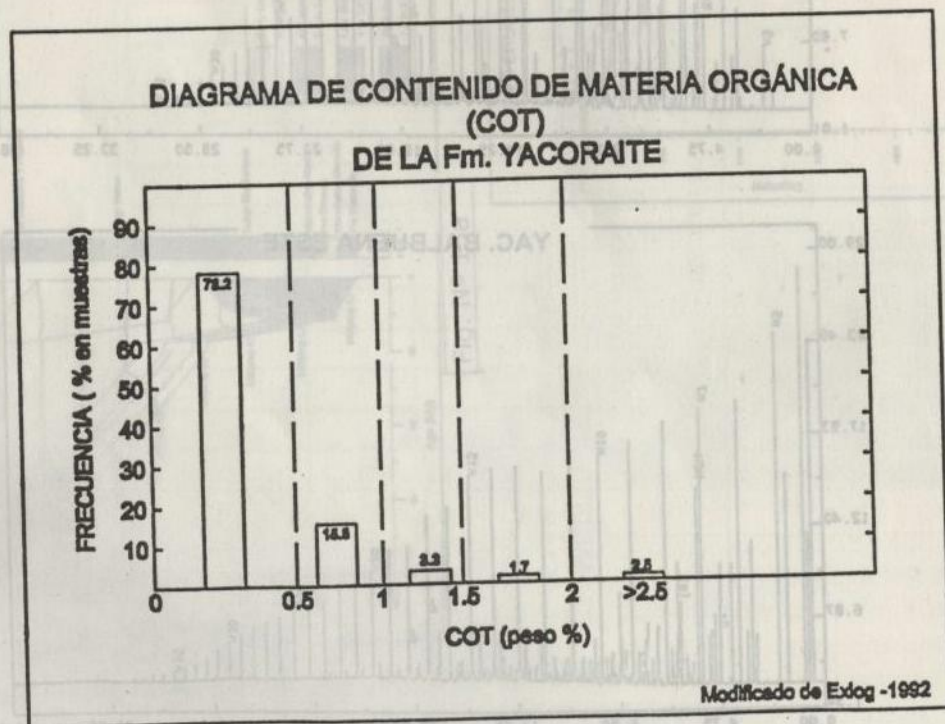
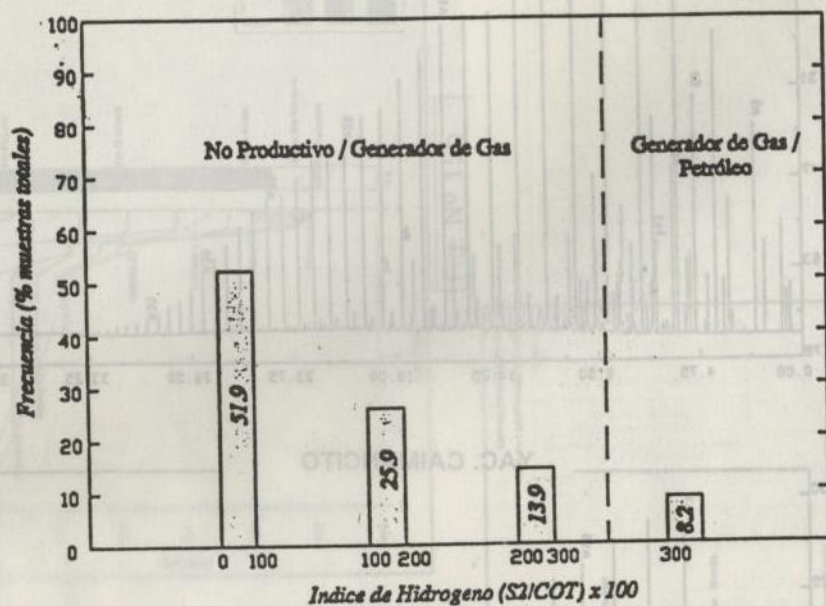


Fig. N° 17