



## ESTRATIGRAFÍA, TECTÓNICA Y POTENCIAL PETROLERO DEL RIFT CRETÁCICO EN LA PROVINCIA DE JUJUY

Roberto M. HERNÁNDEZ<sup>1</sup>, Ricardo GÓMEZ OMIL<sup>2</sup> y Andrés BOLL<sup>2</sup>

1. XR-GEOMAP, Av. Ricardo Durand 397, 4400, Salta, Argentina; hernandezr@xrgeomap.com

2. TECPETROL, Della Paolera 299, Piso 20, C1001ADA, Buenos Aires, Argentina; ricardo.gomezomil@tecpetrol.com; andres.boll@tecpetrol.com

### RESUMEN

El Grupo Salta (Cretácico Inferior a Eoceno) está compuesto por un conjunto de sedimentitas predominantemente clásticas con carbonatos y evaporitas subordinadas que se acumularon en diversos ambientes sedimentarios: desde abanicos aluviales, ríos y planicies entrelazadas, ríos arenosos efímeros, eólicos, barreales, barreales salinos, lacustres con influencia marina esporádica hasta marino somero. El espesor de estos depósitos supera los 5.000 m en los principales depocentros. El Grupo Salta se ha desarrollado en una cuenca de rift intracontinental, al este del límite entre la placa Sudamericana y la Pacífica, distante 300 km del arco volcánico del Cretácico. Esta cuenca de rift es sincrónica con la ruptura del Gondwana.

Se han definido cuatro Supersecuencias separadas por superficies de discontinuidad, las Supersecuencias Pirgua, Balbuena, Santa Bárbara y Lumbrera. A su vez, cada supersecuencia ha sido subdividida en varias secuencias, la Supersecuencia Pirgua consta de dos Secuencias, la Secuencia Pirgua 1 y 2. La Supersecuencia Balbuena consta de cuatro Secuencias, es decir Secuencia Balbuena 1, 2, 3 y 4. La Supersecuencia Santa Bárbara está subdividida en tres Secuencias, Santa Bárbara I, II y III. La Supersecuencia Lumbrera ha sido dividida en dos intervalos denominados Secuencia Lumbrera 1 y Secuencia Lumbrera 2, ambas separadas por la retracción de un cuerpo lacustre o «Faja Verde II». Cada una de estas secuencias se encuentra caracterizada por los cortejos sedimentarios interpretados, las asociaciones de facies y sus paleogeografías.

El marco tectónico de esta cuenca en Jujuy, está caracterizado por una intensa deformación terciaria polifásica, donde se reconocen tanto una tectónica de lámina delgada como también de lámina gruesa, posiblemente con inversión tectónica. La magnitud del acortamiento es importante en algunos casos produciéndose corrimientos de Paleozoico Inferior o Precámbrico sobre niveles terciarios y cretácicos.

El potencial hidrocarburífero del Cretácico de Jujuy se centra fundamentalmente en la definición de cierres de estructuras de «subthrust» en el tren de Tres Cruces y la zona de Caimancito, así como también algunas inversiones en el Sistema de Santa Bárbara. El sistema petrolero por excelencia es Yacoraite-Yacoraite y a veces Yacoraite-Maíz Gordo. Los reservorios son fundamentalmente fisurados de Yacoraite, pero pueden

participar algunas arenas tanto de Pirgua, Lecho y terciarias, con porosidad primaria.

### CUENCA CRETÁCICA EN EL NOROESTE ARGENTINO

La Cuenca cretácica que se desarrolló en el Noroeste argentino abarca casi toda la provincia de Jujuy. En este trabajo presentamos una síntesis estratigráfica del Grupo Salta, relleno de edad Cretácico Inferior a Eoceno, así como también una síntesis de la tectónica post rift y andina que provocó la inversión de este rift. Los estilos estructurales que reconocemos son tanto de lámina delgada como la interferencia de la lámina gruesa.

Una vez definido este contexto geológico, se presentan las principales características del potencial hidrocarburífero que detenta Jujuy, es decir el sistema petrolero cretácico y los trenes estructurales donde se desarrolla.

### SÍNTESIS ESTRATIGRÁFICA DEL CRETÁCICO EN LA PROVINCIA DE JUJUY

El Cretácico ha sido mapeado a lo largo de la subcuenca de Tres Cruces hasta el Yacimiento Caimancito y en la subcuenca o Sistema de Santa Bárbara.

El depósito del Grupo Salta (Cretácico Inferior a Eoceno) (Fig. 1) está compuesto por un conjunto de sedimentitas predominantemente clásticas con carbonatos y evaporitas subordinadas que se acumularon en diversos ambientes sedimentarios: desde abanicos aluviales, ríos y planicies entrelazadas, ríos arenosos efímeros, eólicos, barreales, barreales salinos, lacustres con influencia marina esporádica hasta marino somero. El espesor de estos depósitos supera los 5.000 m en los principales depocentros. El Grupo Salta se ha desarrollado en una cuenca de rift intracontinental, al este del límite entre la placa Sudamericana y la Pacífica, distante 300 km del arco volcánico del Cretácico (Hartley *et al.*, 1988). Esta cuenca de rift es sincrónica con la ruptura del Gondwana.

En la zona de tres Cruces, el Grupo Salta no alcanza más de 2.000 m de espesor (Gómez Omil *et al.*, 1989).

El límite inferior del Grupo Salta en la zona de Tres Cruces es una discordancia angular sobre el Ordovícico. Esta discordancia basal tiene en algunas posiciones una paleotopografía muy marcada rellena por acumulaciones de abanicos aluviales proximales. El límite

superior está marcado por una discordancia suavemente angular visible en líneas sísmicas y afloramientos continuos, generalmente manifiesta por la desaparición de facies de barreal (Formación Lumbreira) y su reemplazo por facies de ríos efímeros y eólicos de la Formación Río Seco o con facies lacustres de la Formación Anta (Subgrupo Metán-Grupo Orán) en posiciones más al este.

La arquitectura general de los depósitos del Grupo Salta es traslapante hacia los bordes de la cuenca, con una geometría externa cuneiforme en la parte basal (sedimentos syn-rift) y una geometría tabular, lenticular o suavemente cuneiforme en los sedimentos más jóvenes (sedimentos de post-rift). En su arreglo interno existen muchas discontinuidades que tienen magnitud regional o cuencal. Estas superficies son claramente visibles en el subsuelo por medio de líneas sísmicas, a veces por la erosión de las rocas que la infrayacen, y más comúnmente, por el arreglo en *onlap* con que se depositan las rocas por encima de ellas.

En afloramientos se las distinguen por:

a) superposición anómala de facies o paleogeografías contrastantes, b) reactivación de los siste-

mas fluviales, c) gran desarrollo de paleosuelos, o «hardgrounds», d) superficies de exposición en depósitos lacustres, e) erosión de la secuencia anterior.

Estas discontinuidades permiten dividir el Grupo Salta en cuatro intervalos con rango de Supersecuencias:

### Supersecuencia Pirgua (75 a 130 Ma)

La Supersecuencia Pirgua está integrada por sedimentos clásticos continentales que abarcan desde sistemas deposicionales de abanicos aluviales proximales hasta planicies de fango (Hernández y Disalvo, 1992) (Cuadro 1) En forma subordinada y localizada intercalan rocas volcánicas. El límite inferior de esta Supersecuencia es la discordancia basal del Grupo Salta. El límite superior es una discontinuidad que se evidencia en el registro sedimentario por ejemplo por el pasaje abrupto de depósitos de abanicos aluviales proximales y fluviales entrelazados a pelitas verdes depositadas en planicies de inundación fluviales, como se observa en el perfil del río Sunchales. La distribución areal de esta

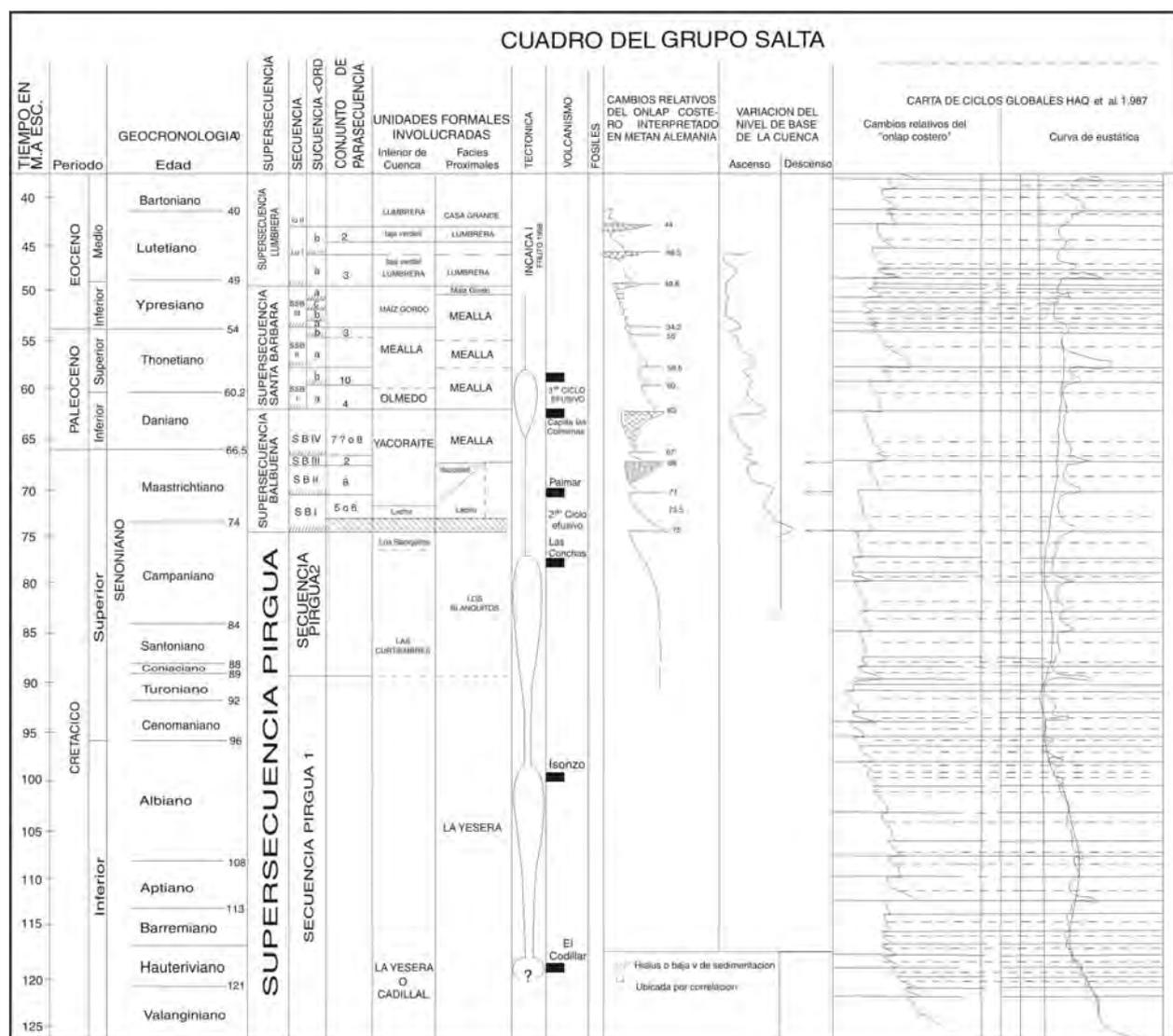


Figura 1. Cuadro cronoestratigráfico del Grupo Salta, correlacionado con las variaciones del nivel del mar.



supersecuencia es la más restringida del Grupo Salta como consecuencia de ser el relleno inicial y generalmente esta limitada por las fallas del rift original conformando subcuencas y pequeños hemigrabens (Fig. 2).

El prolongado intervalo de tiempo entre esta supersecuencia y las distintas unidades paleozoicas sobre las que se apoya haría pensar en condiciones sobreelevadas para esta región, lo cual habría provocado grandes erosiones. Sin embargo algunas estructuras antiguas habrían ejercido cierto control en el espesor de esta supersecuencia, como ser la sierra de Zapla.

La Supersecuencia Pirgua está integrada por dos secuencias, una inferior «Secuencia Pirgua 1» y otra superior «Secuencia Pirgua 2», cuyo límite está marcado por una reactivación de la actividad distensiva (Gómez Omil *et al.*, 1989). En Tres Cruces, la Supersecuencia Pirgua no sobrepasa los 1.000 m de espesor, frente a los 2.000 m en Alemania (Salta) y los 3.500 m en Lomas de Olmedo.

**Secuencia Pirgua 1:** Constituye el intervalo estratigráfico formado esencialmente por facies clásticas

continentales, que involucran un muy prolongado intervalo de tiempo (Cretácico Inferior a Santoniano inferior?). Esta Secuencia está caracterizada por abruptos cambios de espesor y de facies, controlados por la configuración de las fosas.

En la zona de Tres Cruces la Secuencia Pirgua 1 presenta un fuerte control estructural, expresado por una serie de bloques hundidos y rotados de forma escalonada, conformando fosas y pilares, limitados por fallas normales lítricas, coincidentes con importantes lineamientos regionales. En proximidad a estas antiguas escarpas de fallas se desarrollan espesos intervalos de brechas y conglomerados que en distancias relativamente cortas engranan con facies arenosas conglomerádicas, correspondiendo los primeros a depósitos de abanicos aluviales y los segundos a sistemas fluviales entrelazados que degeneran en flujos laminares efímeros, engranando a su vez con facies arenosas megaentrecruzadas o dunas eólicas. Esta última litofacies alcanza un dominio casi exclusivo en el sector meridional del depocentro de Tres Cruces, como se observó en el perfil de Arroyo Aguas Blancas.

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SUPERSECUENCIA PIRGUA			
C	S	a. Sistema Depositional de Abanico Aluvial Proximal	1. Asociación de facies de brechas poligmíficas fango-sostén a clasto-sostén 2. Asociación de conglomerados poligmíficos, areniscas y conglomerados 3. Asociación de vaques y vaques conglomerádicas
		b. Sistema Depositional de Planicie Entrelazada	1. Asociación de facies de conglomerados poligmíficos 2. Asociación de facies de areniscas y areniscas conglomerádicas
C	S	c. Sistema Depositional de Planicie de Arena	1. Asociación de facies de areniscas y areniscas calcáreas encauzadas 2. Asociación de facies de areniscas no encauzadas
		d. Sistema Depositional de Planicie de Fango	1. Asociación de facies de arcilitas y limolitas
A		e. Sistema deposicional Eólico	1. Asociación de facies de areniscas eólicas
		f. Sistema Volcánico	Basaltos con 45% plagioclasas (An 60-40) y 12% de feldespatos potásico

Cuadro 1. Cortejos Sedimentarios de la Supersecuencia Pirgua.

El límite superior de esta secuencia se define por una brusca distalización de facies evidenciada por un rápido retroceso de los sistemas deposicionales, como por ejemplo, el pasaje neto de rocas depositadas en abanicos aluviales proximales a facies de barreales. La distalización es producto de un aumento en la velocidad de subsidencia relacionada a una reactivación tectónica. La velocidad de erosión de los altos reactivados y, por lo tanto, la cantidad de sedimentos que llegaron a la cuenca es menor al espacio generado por subsidencia y por el ascenso del nivel de base relativo (Fig. 2).

**Secuencia Pirgua 2:** Está integrada por dos ciclos grano y estratocrecientes que se inician con depósitos de barreal (río Sunchales, arroyo Las Pirguas, cerro Tin Tin, Isonza) y termina con depósitos de abanicos aluviales distales, ríos entrelazados, abanicos terminales o eólicos. El primer ciclo mide hasta 600 m de espesor y el segundo de 100 a 150 m (Fig. 2). Generalmente limita por la base con la secuencia anterior, pero hay posiciones, como Chuñapampa, por ejemplo, en donde apoya directamente sobre el Precámbrico, evidenciando una mayor distribución areal con respecto a la Secuencia Pirgua 1.

En la subcuenca de tres Cruces estos dos ciclos son muy visibles, con características muy similares, que apoyan sobre importantes discontinuidades, en ocasiones con evidencias de erosión, comenzando con facies

fluviales hasta aluviales en posiciones proximales, que hacia arriba intercalan facies eólicas, afectados ambos por desarrollo de nódulos carbonáticos e intensa bioturbación. En la zona de Cangrejillos, al norte de Tres Cruces, estas facies están asociadas con facies clásticas finas, suspensivas y de manera excepcional con bancos de caliza oolítica y fosilífera (perfil de Siete Hermanos). Esta asociación de litofacies muestra un ascenso de nivel de base, con cuerpos de agua efímeros y/o un nivel freático muy próximo a la superficie de deposición. Esta tendencia se revierte hacia arriba en ambas secuencias, predominando de tal forma las facies eólicas, con esporádicos niveles bioturbados que permiten subdivisiones de menor envergadura dentro de cada una.

Ambas secuencias pueden identificarse claramente en el eje de la subcuenca, pero se complica hacia los bordes debido al acuñamiento y amalgamación de facies similares.

### Supersecuencia Balbuena (63 Ma a 75 Ma)

Comprende fundamentalmente litofacies clásticas y carbonáticas, resultando muy subordinada la participación de rocas volcánicas y volcanoclásticas.

Su límite superior corresponde a una discordancia cuyas características varían según la posición dentro de la cuenca:

a) En el interior, esta discordancia se manifiesta como un contacto neto entre las calizas de la Forma-

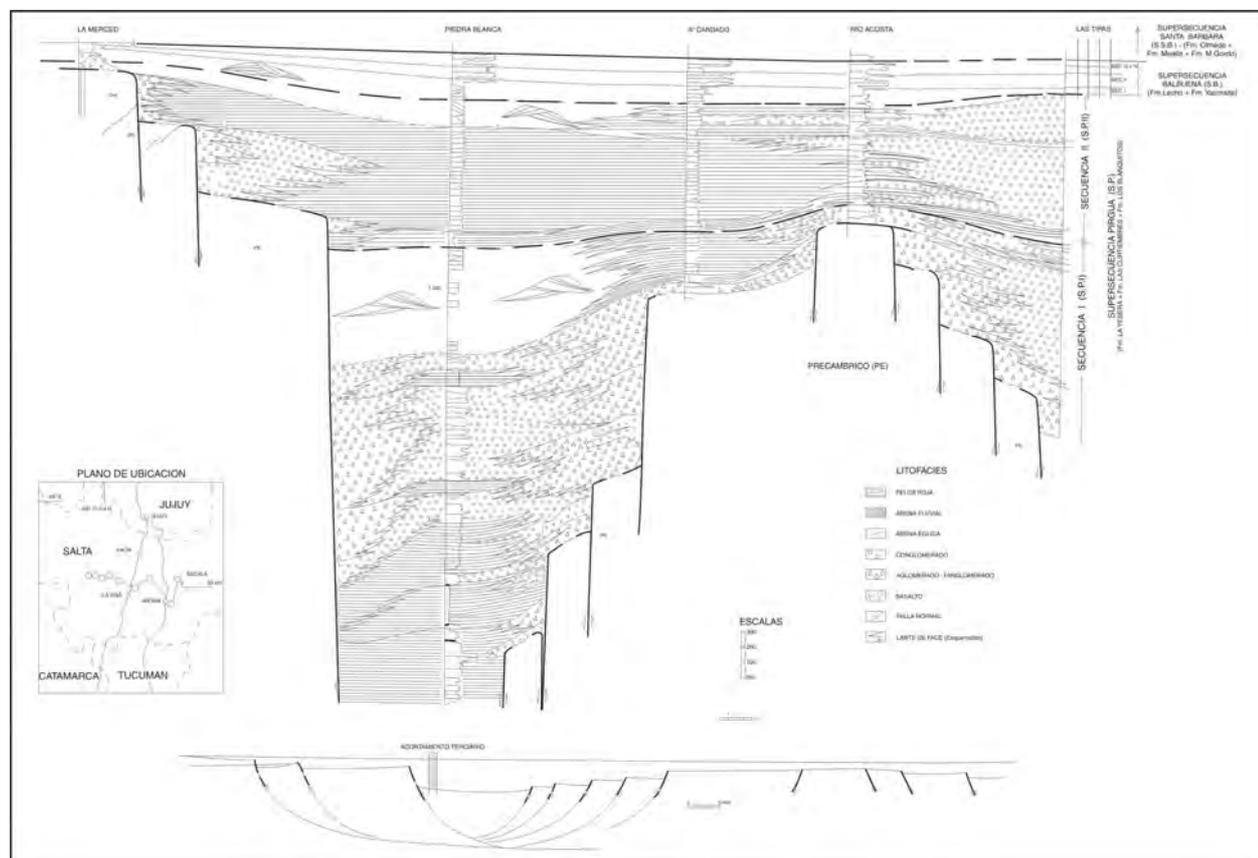


Figura 2. Corte estratigráfico de la Supersecuencia Pirgua nivelado al tope de la Supersecuencia Balbuena.



ción Yacoraite que presentan rasgos de exposición subaérea en el techo y las facies lacustres someras suprayacentes de la Formación Tunal (Piedra Blanca, Chuñapampa, Las Chacras, río Metán).

b) En zonas de borde de cuenca sin aporte clástico, como es el caso de la dorsal Salto-Jujeña, los rasgos de exposición asociados a esta discordancia están acentuados formando paisajes kársticos (Cantera El Sauce).

c) En la zona de borde, con alto influjo de sedimentos clásticos y alta tasa de subsidencia, esta discordancia es difícil de identificar, debido al tectonismo «preolmédico» (Bianucci *et al.*, 1981). Esto se observa en distintos perfiles en la zona de los Valles Calchaquíes, por ejemplo el río Tin-Tin y El Tonco. La geometría externa de la Supersecuencia es tabular y suavemente cuneiforme hacia los bordes y está constituida por cuatro secuencias deposicionales equivalentes a las de tercer orden de Vail, cuyo arreglo es en *onlap* sobre la supersecuencia Pírgua o más hacia los bordes sobre el Ordovícico o Precámbrico (Fig. 2, 3, 4 y 5). Es característica la ciclicidad en los depósitos de la Supersecuencia Balbuena (Boll y Hernández, 1985), cuyo origen se vincula a cambios del nivel de base ya sea por mecanismos eustáticos o climáticos (Legarretta y Uliana, 1998, Fig. 2). El estadio de *sag* fue interrumpido en el inicio de la Secuencia 4 de Balbuena por la «tectónica Preolmédica», que llega a su clímax en el techo de la Supersecuencia Balbuena (Bianucci *et al.*, 1981 o Ranquel II, Salfity *et al.*, 1984). Esta tectónica tiene expresiones magmáticas como el basalto en la base de la Supersecuencia Santa Bárbara en el río Capillas (Sierra de Zapla, Jujuy).

**Secuencia Balbuena 1:** La Secuencia Balbuena 1 comprende dos secciones: la inferior compuesta por facies clásticas dominantes (Formación Los Blanquitos-parcial y/o Formación Lecho) y la sección superior constituida por facies carbonáticas y pelíticas de la Formación Yacoraite; entre ambas secciones media una superficie de inundación. Estas secciones constituyen lo que denominamos Cortejos Sedimentarios de Nivel Bajo y Alto respectivamente (CSNB y CSNA) (Cuadro 2). Como se mencionara anteriormente aquí y en otros trabajos sobre estratigrafía secuencial aplicada al Grupo Salta. Estas secuencias son altamente cíclicas en distintas escalas y frecuencias. La más elemental de todas ellas es el pulso de inundación-somerización o Pac (Goodwin y Anderson, 1985) o parasecuencias, que generalmente no excede de 1.5 m. de espesor y es a partir de aquí que se realiza la interpretación ambiental. Estas parasecuencias se agrupan a su vez en conjuntos de parasecuencias que son la base para la correlación estratigráfica de detalle (Boll, 1991; Boll y Hernández, 1985) aquí empleada (Figs. 3, 4, 5 y 6). Uno o más conjuntos de estas parasecuencias forman los cortejos sedimentarios que, a su vez constituye la herramienta básica utilizada para el análisis de la dinámica de la cuenca, creando el marco de referencia para el análisis de los sistemas deposicionales y su correspondiente asociación de facies.

Esta secuencia está conformada por cinco conjuntos de parasecuencias, separadas por superficies de inundación (Figs. 4 y 5). En la secuencia 1 se han identificado 4 sistemas deposicionales (Cuadro 2) en el cortejo sedimentario de nivel bajo, mientras que en el nivel alto está representado por un solo sistema deposicional. Esto se define para una posición de centro de cuenca.

En la subcuenca de Tres Cruces, la Secuencia Balbuena 1 está caracterizada por una sección inferior carbonática y una sección superior pelítica, la primera de mayor expansión areal que la segunda.

Su límite inferior con la Supersecuencia Pírgua se ubica en una superficie transgresiva paraconcordante en posiciones distales, mientras que hacia los bordes externos y altos fondos internos de la cuenca, la Secuencia Balbuena 1 traslapa mediante *onlap*.

Su límite superior es otra superficie transgresiva muy evidente en el depocentro de Tres Cruces por una brusca superposición de facies carbonáticas sobre facies pelíticas.

En Tres Cruces, el pozo Tabladitas x-1 atraviesa esta Secuencia de manera completa.

Las facies que constituyen la Secuencia Balbuena 1, determinan condiciones de depositación subáreas someras restringidas de tipo lagunar efímero, para los intervalos pelíticos rojos de interior de cuenca; mientras que los eventos carbonáticos corresponderían a inundaciones de escasa duración temporal relativa (parasecuencias?), pero de notable expansión areal (niveles guías), evidenciando un paleorelieve muy pando. Comparativamente con la sección carbonática infrayacente, debe responder a un descenso relativo del nivel de base.

En dirección a los depocentros, estas facies continentales, van perdiendo sus características primarias, debido al retrabajo provocado por las sucesivas inundaciones, además por procesos pedogenéticos y diagenéticos, alternando en consecuencia facies continentales, mixtas y «marinas» proximales? de difícil interpretación ambiental.

La Secuencia Balbuena 1 representa en su sección inferior (o carbonática-clástica) a la suma de un cortejo transgresivo más el prisma o cortejo de nivel alto y la sección pelítica, correspondería a un cortejo de borde de plataforma o corte de nivel bajo, en una rampa sin quiebre definido.

**Secuencia Balbuena 2:** El límite superior de la Secuencia Balbuena 2 es una discordancia erosiva en las posiciones de borde (Ej: El Tonco, Callejón, Palermo, Acay) mientras que en la zona de interior de cuenca queda representada por brechas de exposición con desarrollo de paleosuelos. Esta discordancia ha sido interpretada como producto de una brusca desecación del lago debido a un descenso del nivel de base (Figs. 4 y 5).

La Secuencia Balbuena 2 posee mayor extensión areal que la anterior y está integrada por dos secciones: una basal de depósitos carbonáticos, clásticos tractivos y pelitas intercaladas (CSNB), y una superior

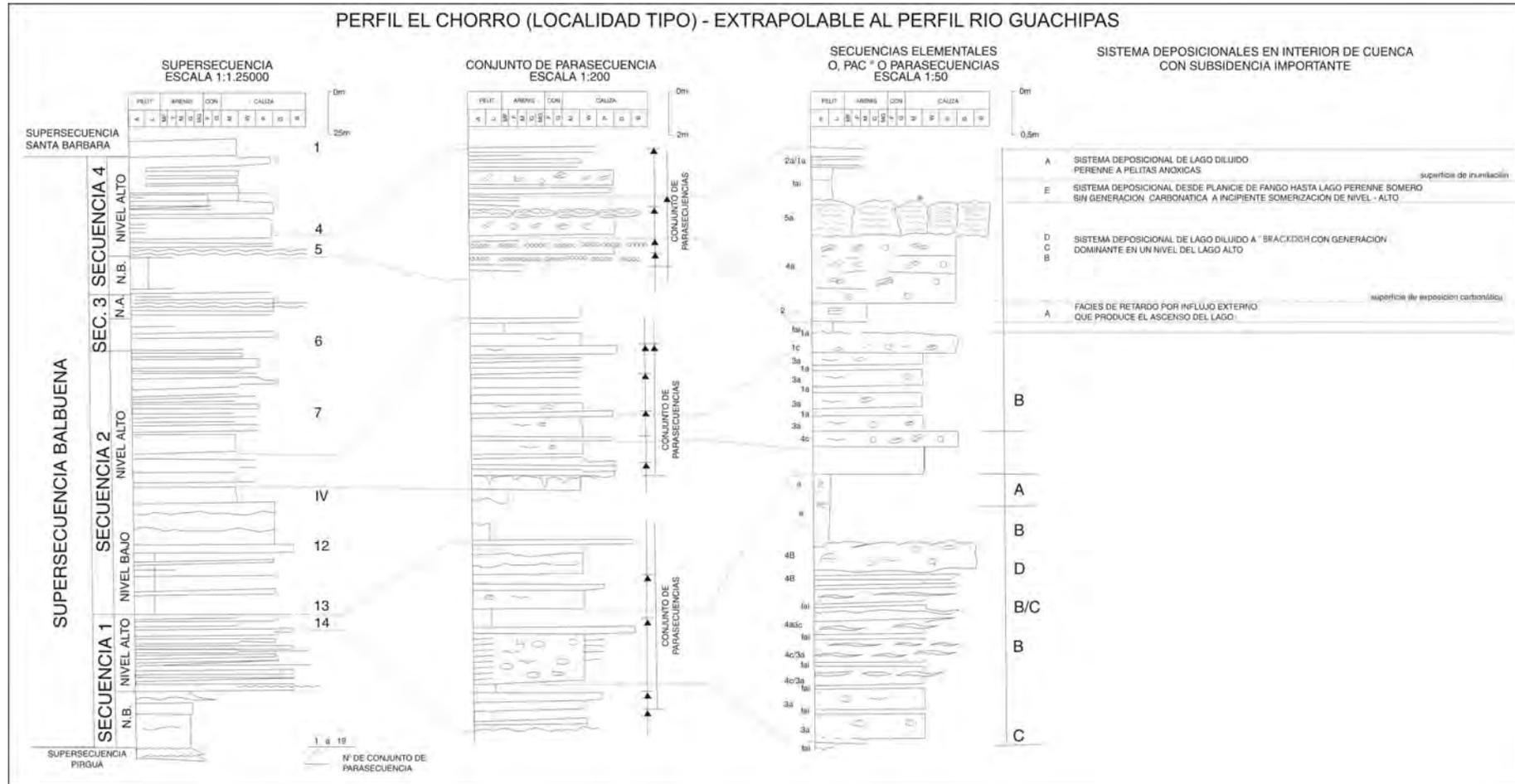


Figura 3. Arreglo vertical de facies de la Supersecuencia Balbuena (Formación Yacoraite de Cuenca).



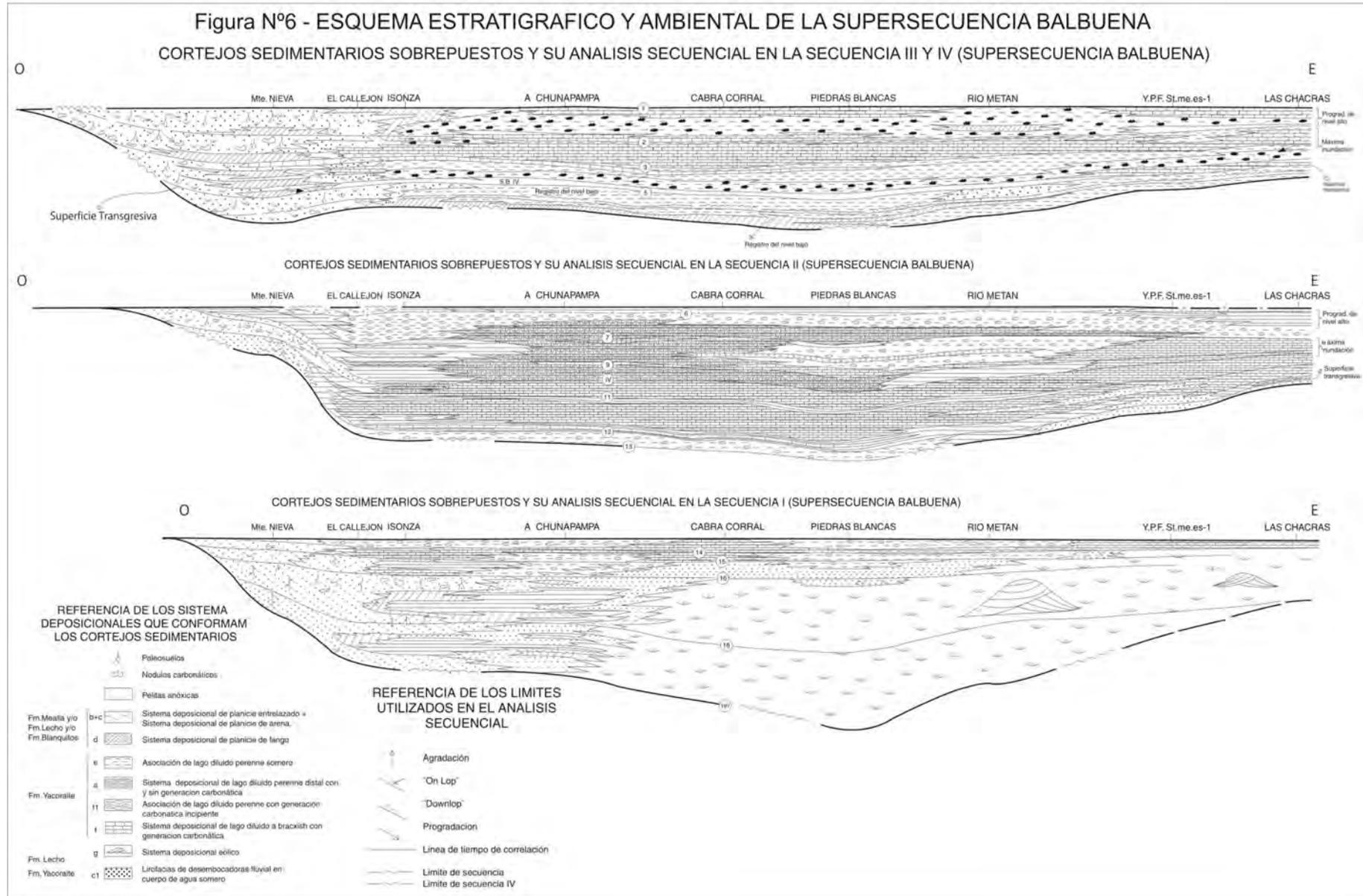


Figura 5. Esquema Estratigráfico y Ambiental de la Supersecuencia Balbuena.



CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA BALBUENA 1, 3 y 4		
C S N B	a. Sistema Depositional de Planicie Entrelazada	1. Asociación de conglomerados y areniscas conglomerádicas 2. Asociación de areniscas calcáreas 3. Facies de vaques rojo oscura
	b. Sistema deposicional de Planicie de Arena	1. Asociación de areniscas calcáreas 2. Alternancia de pelitas, limos y areniscas
	c. Sistema Depositional de Planicie de Fango	1. Asociación de arcilitas, limolitas y vaques calcáreas 2. Asociación de areniscas finas con arcilitas rojas 3. Asociación de arenisca calcárea con clastos blandos
	d. Sistema Depositional de Lago Diluido Perenne	1. Asociación de arcilitas grises y negras con lentes de areniscas
C S N A	e. Sistema Depositional de Lago Diluido con Generación Carbonática	1. Asociación de litofacies clásticas con boundstone alternantes 2. Asociación de litofacies de dominio carbonático

Cuadro 2. Cortejos sedimentarios de las Secuencias Balbuena 1, 3 y 4.

clástica y/o carbonática agradante-progradante (CSNA). El cortejo de nivel de base bajo (CSNB) esta constituido por un conjunto de parasecuencias que han sido depositadas en un ambiente de lago somero, que hacia los bordes de cuenca se asocia a una planicie entrelazada. El clima fue árido evidenciado por la abundancia de paleosuelos de caliche (Figs. 4, 5 y 6; Cuadro 3). Por su parte el cortejo de nivel alto (CSNA) muestra una evolución de lago salobre a lago meromictico permanente, asociado a un cambio climático hacia condiciones más húmedas, que producen un mayor aporte de aguas dulces y clásticos hacia la cuenca inhibiendo la generación carbonática. Posteriormente a este depósito el clima se tornó más árido nuevamente y se restablecieron las condiciones de generación carbonática (grainstone y packstone oolíticos, de gastrópodos, etc.). La Secuencia Balbuena 2 finaliza con una progradación de depósitos fluviales sobre depósitos lacustres (Figs. 4 y 5).

En la Subcuenca Tres Cruces, la Secuencia Balbuena 2 presenta dos secciones, una inferior, carbonática transgresiva y otra superior pelítica, más delgada y restringida arealmente, regresiva. La sección pelítica presenta un fuerte espesamiento hacia el depocentro por engrosamiento exclusivo de las facies pelíticas del tramo cuspidal. La sección pelítica sería producto de

un descenso relativo del mar respecto a la sección carbonática, determinando una disminución del espacio disponible para la acumulación de sedimentos.

La Secuencia Balbuena 2 presenta sus máximos espesores en el depocentro de Lomas de Olmedo, mientras que en Tres Cruces y Metán Oriental se constataron valores apenas mayores a los 100 m. Su registro estratigráfico es episódico, compuesto por numerosos ciclos de inundación -somerización de varios órdenes, limitados por superficies de discontinuidad, de los cuales los principales presentan notables rasgos de exposición subaérea de gran regionalidad, especialmente en Tres Cruces.

**Secuencia Balbuena 3:** La Secuencia Balbuena 3 tiene escaso espesor (15.5 a 30 m máximo) y reducida extensión areal. Está formada por dos conjuntos de parasecuencias (Fig. 3), la primera correspondiente al registro de nivel bajo del lago con pelitas verdes y/o rojas en interior de cuenca hasta conglomerados de relleno de canales entrelazados en las zonas de borde. El superior es producto del estado de nivel alto y esta constituido por facies de pelitas negras y grises en interior de cuenca que gradan a areniscas laminadas muy finas hasta medianas producto de la desembocadura de los sistemas fluviales efimeros en el cuerpo de agua. En

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA BALBUENA 2		
C S N B C S N A	a. Sistema Depositional de Planicie Entrelazada	1. Asociación de conglomerados y areniscas conglomerádicas 2. Asociación de areniscas calcáreas 3. Facies de vaques rojo oscura
	b. Sistema deposicional de Planicie de Arena	1. Asociación de areniscas calcáreas 2. Alternancia de pelitas, limos y areniscas
	c. Sistema Depositional de Planicie de Fango	1. Asociación de arcilitas, limolitas y vaques calcáreas 2. Asociación de areniscas finas con arcilitas rojas 3. Asociación de arenisca calcárea con clastos blandos
	d. Sistema Depositional de Lago Diluido Perenne	1. Asociación de arcilitas grises y negras 2. Asociación de arcilitas dominantes con alternancia de areniscas y limolitas 3. Asociación de mudstone dominante con arcilitas grises 4. Asociación de packstone, packstone oolítico y grainstone 5. Asociación de boundstone LLh-s, con vaques, limolitas y areniscas calcáreas
	e. Sistema Depositional de Lago Diluido con Generación Carbonática	1. Asociación de litofacies clásticas con boundstone alternantes 2. Asociación de litofacies de dominio carbonático

Cuadro 3. Cortejos sedimentarios de la Secuencia Balbuena 2.

las zonas de baja subsidencia, alejadas del cuerpo de agua, se depositaron facies carbonáticas de poca profundidad. El límite superior es una superficie de erosión producto de un nuevo descenso del nivel del lago.

En la Subcuenca de Tres Cruces, la Secuencia Balbuena 3 comienza con un banco relativamente espeso de 2 m de fangolita (mudstone) o caliza cristalina, en posiciones internas de la cuenca, en tanto que hacia los bordes las calizas son de mayor energía. En esta subcuenca se ha identificado un intervalo en la Secuencia que corresponde a un nivel de base relativamente bajo, respecto a la sección carbonática infrayacente, de la cual está separado por una discontinuidad, con fuertes rasgos de exposición subaérea (brechas intraclásticas, grietas de desecación, karstificación, erosión o truncación) en posiciones intermedias a proximales y por una ruptura de facies en posiciones internas.

**Secuencia Balbuena 4:** Esta secuencia es la de mayor distribución areal de la Supersecuencia Balbuena. En la subcuenca de Lomas de Olmedo se caracteriza por siete conjuntos de parasecuencias, pero sólo se pudieron reconocer cuatro en Metán-Alemania. El primer conjunto de parasecuencias corresponde al regis-

tro de nivel de base bajo y los tres restantes al nivel de base alto. Tienen una geometría tabular a suavemente cuneiforme y cada una de ellas es traslapada por la superior, quedando la parasecuencia basal restringida al interior de la cuenca (Figs. 4 y 5). Desde el punto de vista tectónico, la Secuencia 4 sigue dominada por la subsidencia termal pero un cambio importante comienza hacia el techo de la secuencia donde se manifiesta un nuevo episodio distensivo

(Fase Preolmédica). Esta secuencia marca la mayor extensión de los depósitos hacia el borde de la cuenca pero se nota también que la velocidad de generación de espacio empieza a disminuir preanunciando la gran caída del nivel de base que limita la supersecuencia.

En una correlación noroeste-sureste y este-oeste, construida desde El Espinazo del Diablo en el depocentro de Tres Cruces, hasta el pozo Caimancito YPF.Jj.Ca.38, pasando por Maimará y Purmamarca, se observa como varía el depocentro muy potente de las Supersecuencias Pirgua y Balbuena hacia el sur, disminuyendo paulatinamente el espacio en el rift que corresponde a la depositación de la Supersecuencia Pirgua, y el traslape de Balbuena, hacia Purmamarca, donde el relicto de esta Supersecuencia apoya sobre un

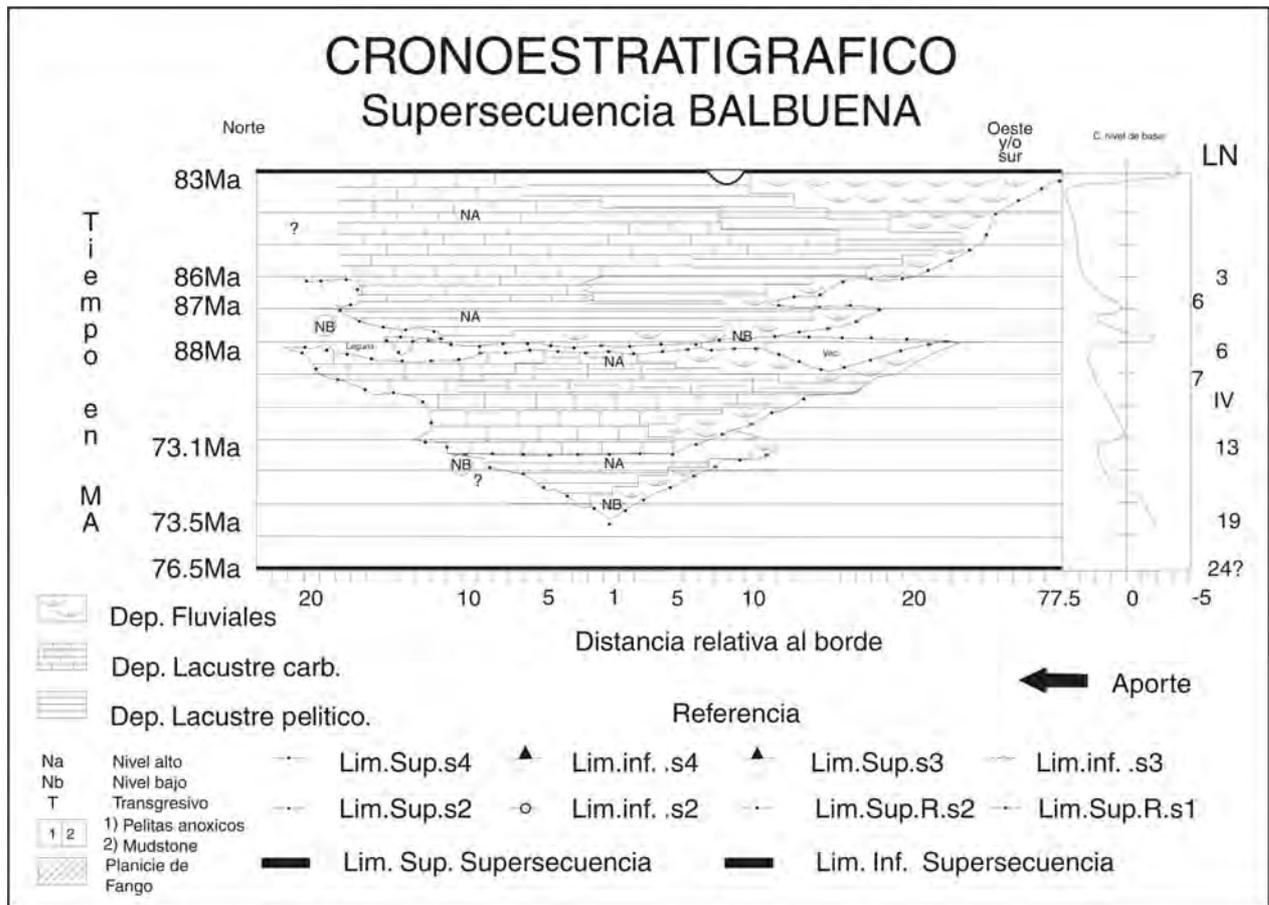


Figura 6. Cronostratigráfico de la Supersecuencia Balbuena.

relicto de Pirgua casi completamente reducido (Fig. 7). Desde Maimará hasta el pozo Caimancito YPF.Jj.Ca.38, la Supersecuencia Balbuena presenta un hundimiento en el depocentro hacia el este, como ser en el Cerro Amarillo y en el Río Zora, donde los espesores totales de la Supersecuencia se duplican o triplican con respecto al oeste (Maimará). En el pozo Caimancito 38, si bién el registro se concentra en el Miembro Las Avispas o la parte final de la Supersecuencia (Secuencia 4 al menos), esta se encuentra engrosada hacia el este (Fig. 8).

En otra correlación este-oeste pero más al norte, es decir entre A° Agua Colorada e Iruya, podemos ver el borde del rift de la Supersecuencia Pirgua y el traslape al este de la Supersecuencia Balbuena. En Iruya, todo el Cretácico está reducido a las Secuencias 2, 3 y 4 de Balbuena (Fig. 9).

#### Supersecuencia Santa Bárbara (49.5 a 63 Ma)

Se define a la Supersecuencia Santa Bárbara como un espeso conjunto de sedimentitas continentales clásicas, que se encuentran limitadas en su base y techo por discordancias de carácter regional (Hernández y Disalvo, 1992). Se apoya en forma neta sobre la Supersecuencia Balbuena, o bien, en ausencia de ésta lo hace sobre el Precámbrico o Paleozoico, por ejemplo en el río La Viña. En gran parte del área yace sobre rocas

carbonáticas con signos de exposición o bien sobre facies de areniscas que reemplazan lateralmente a las calizas. La arquitectura general es traslapante hacia los bordes de la cuenca y su geometría externa es cuneiforme en la base y tabular en el techo. El límite superior es una discordancia de primer orden.

Esta disposición expansiva es interrumpida por bruscos desplazamientos de los depósitos hacia posiciones de mayor subsidencia, lo que posibilita dividirla en ocho secuencias deposicionales equivalentes a las de tercer orden de Vail, pero en este trabajo describiremos intervalos más grandes, por las siguientes razones:

- a) Las secuencias de tercer orden de la Supersecuencia Santa Bárbara son de reducido espesor y escasa resolución sísmica.
- b) En afloramientos aislados no se puede diferenciar a qué secuencia pertenecen.
- c) Son difíciles de correlacionar con otras subcuencas del Grupo Salta.

Por lo tanto las agruparemos en tres, Santa Bárbara I (compuesta por las Secuencias 1 y 2), Santa Bárbara II (Secuencias 3 y 4), Santa Bárbara III (Secuencias 5, 6, 7 y 8), que cumplen los siguientes requisitos:

- d) Constituyen muy buenas unidades de mapeo.
- e) Poseen suficiente contraste litológico para diferenciarlas aún en afloramientos aislados.
- f) Tienen muy buena resolución sísmica, aún en borde de cuenca.

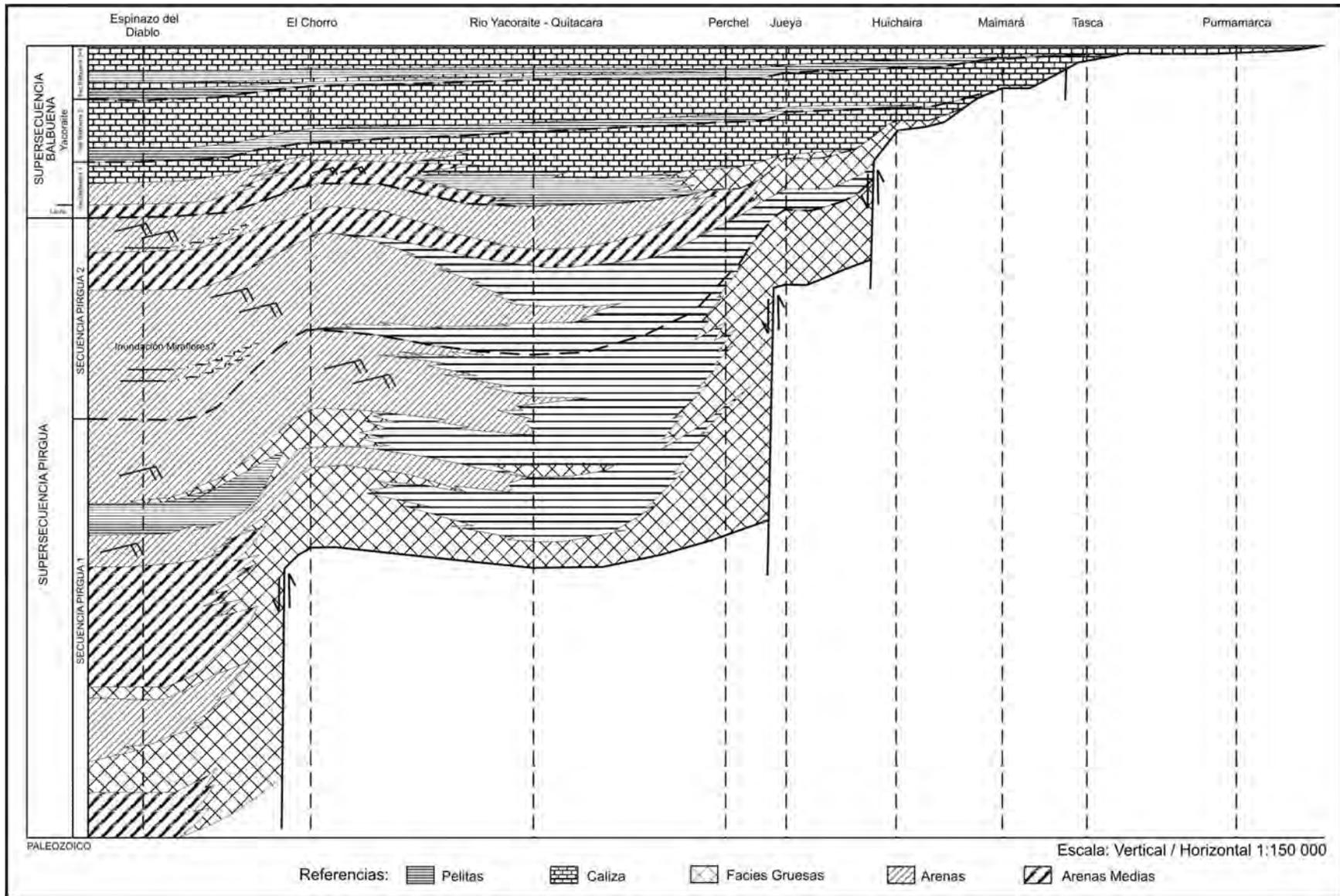


Figura 7. Correlación Estratigráfica entre los perfiles de Espinazo del Diablo y Pumamarca.



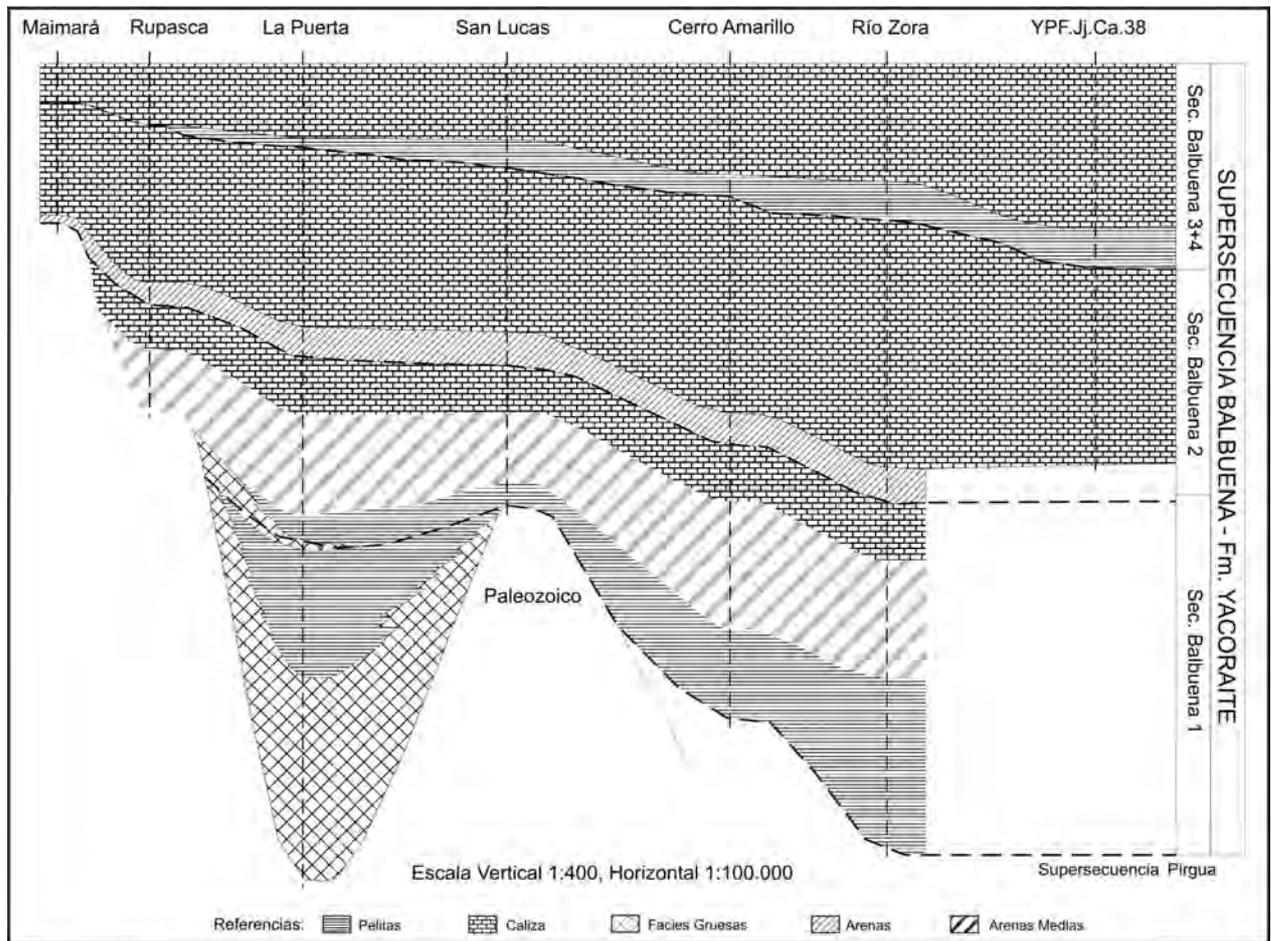


Figura 8. Correlación Estratigráfica entre los perfiles Maimará y el Pozo Caimancito YPF.Jj.Ca.38.

g) Se las puede correlacionar con otras subcuencas del Grupo Salta.

Esta agrupación permite una mejor comparación con las unidades litoestratigráficas. Aclaramos que los límites no son los mismos, sobre todo en posiciones de borde de cuenca, que las unidades litoestratigráficas debido a que éstas cortan líneas tiempo y se suprimen e interdigitan unas con otras. Estos problemas no existen con las secuencias definidas en el presente trabajo.

La Supersecuencia Santa Bárbara comprende un intervalo estratigráfico de más de 2.000 m de potencia en el depocentro de Lomas de Olmedo y valores cercanos a 600 m en los depocentros de Tres Cruces y Metán.

**Santa Bárbara I:** En el área analizada está constituida casi exclusivamente por sedimentos clásticos, con espesor máximo de 200 m en su conjunto, pero comúnmente no superan los 100 m. Su geometría externa es compleja, debido a una reactivación del episodio distensivo, pero en regiones estables la geometría es cuneiforme con terminaciones de *onlap* sobre la secuencia anterior (Figs. 9, 10 y 11). El límite inferior es consecuencia de un brusco descenso del nivel de base regional, que habría provocado el desplazamiento de los sistemas deposicionales a posiciones más subsidentes. Este hecho provoca un cambio paleogeográfico marcado res-

pecto a la Supersecuencia Balbuena (Secuencia 4). En el campo este límite inferior, queda evidenciado por la desaparición de facies carbonáticas y fluviales asociadas, que son reemplazadas por facies lacustres de escasa profundidad, fluviales entrelazados y abanicos distales.

En posiciones proximales de la cuenca y de alta subsidencia (Fig. 12), como por ejemplo al sur del Valle del Tonco y río Tin-Tin, el límite inferior se identifica por: a) aumento granulométrico al iniciarse el depósito de la Secuencia Santa Bárbara 1, b) disminución del contenido calcáreo en las sedimentitas y menor desarrollo de paleosuelos tipo caliche, siendo reemplazados por vertisoles, c) la geometría de los bancos es irregular, con ausencia de la tabularidad que caracteriza a la Supersecuencia Balbuena. En posiciones de menor subsidencia este límite se manifiesta por erosión parcial de la Supersecuencia Balbuena (Ej.: cerro Quitilipi, El Callejón) o por desarrollo de paleosuelos múltiples (Ej.: El Cardenal). El límite superior de estas secuencias queda evidenciado por la brusca aparición de sedimentitas fluviales en todas las posiciones de la cuenca, pero se destaca en El Ayuso, Tin-Tin, Chuñapampa, etc.

En Santa Bárbara I podemos separar dentro de las secuencias cortejos sedimentarios (Cuadro 4). El cortejo sedimentario de nivel de base bajo se registra en las posiciones más subsidentes de la cuenca, asocia-

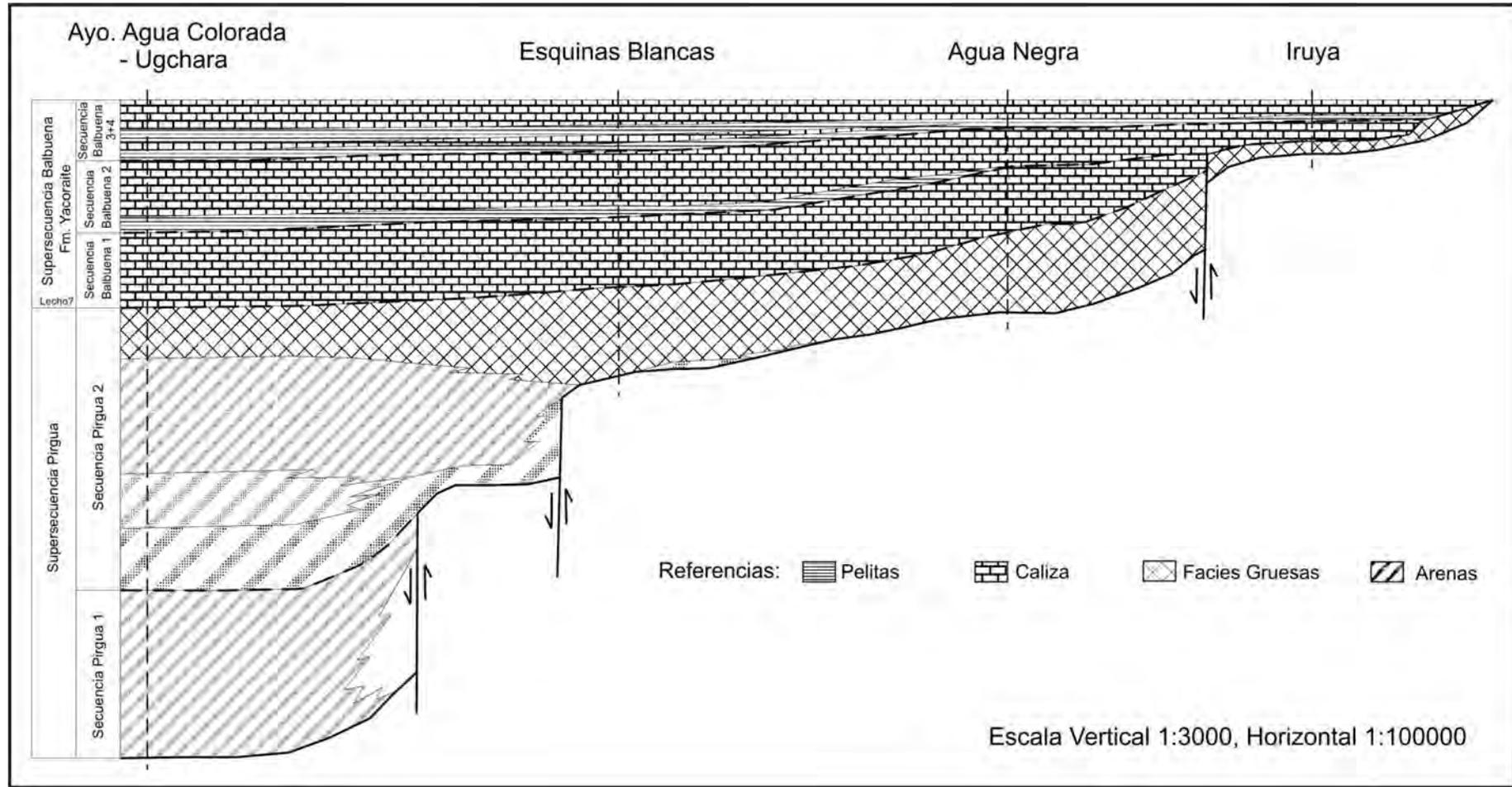


Figura 9. Correlación Estratigráfica entre los perfiles A° Agua Colorada-Ugchara-Iruya.

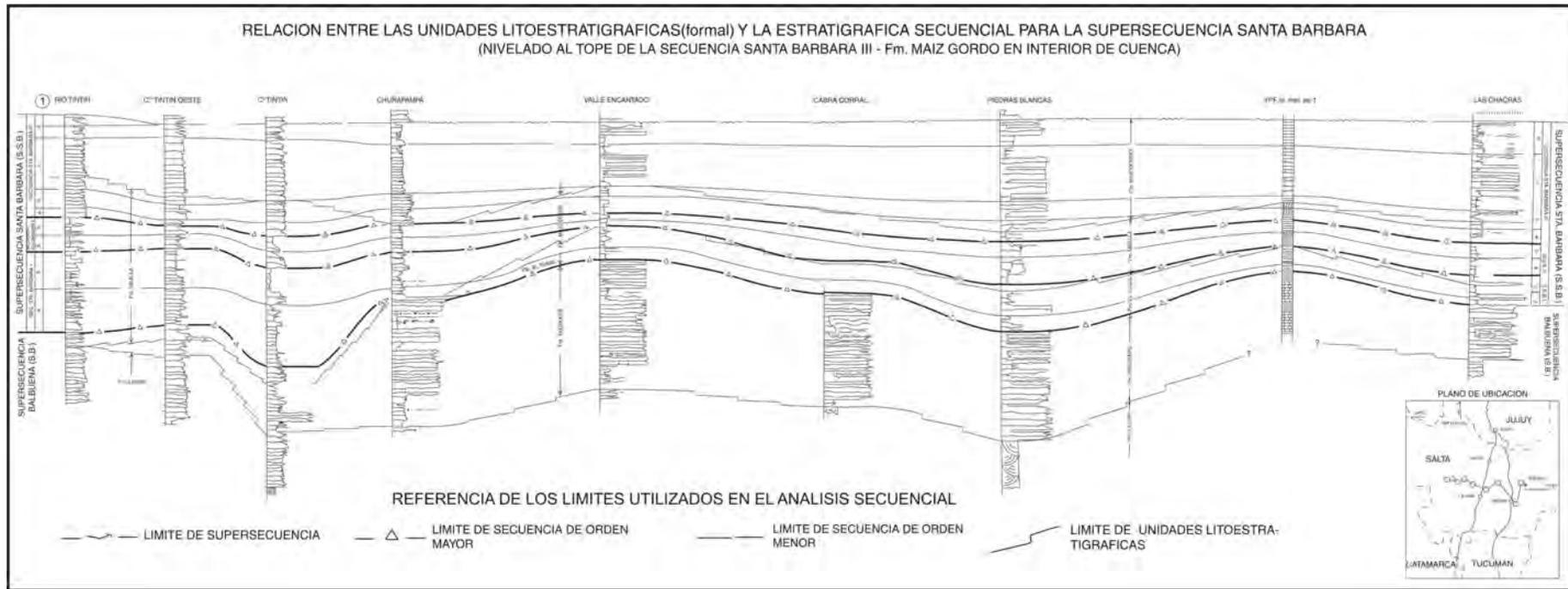


Figura 10. Unidades litoestratigráficas y estratigrafía secuencial para la Supersecuencia Santa Bárbara.



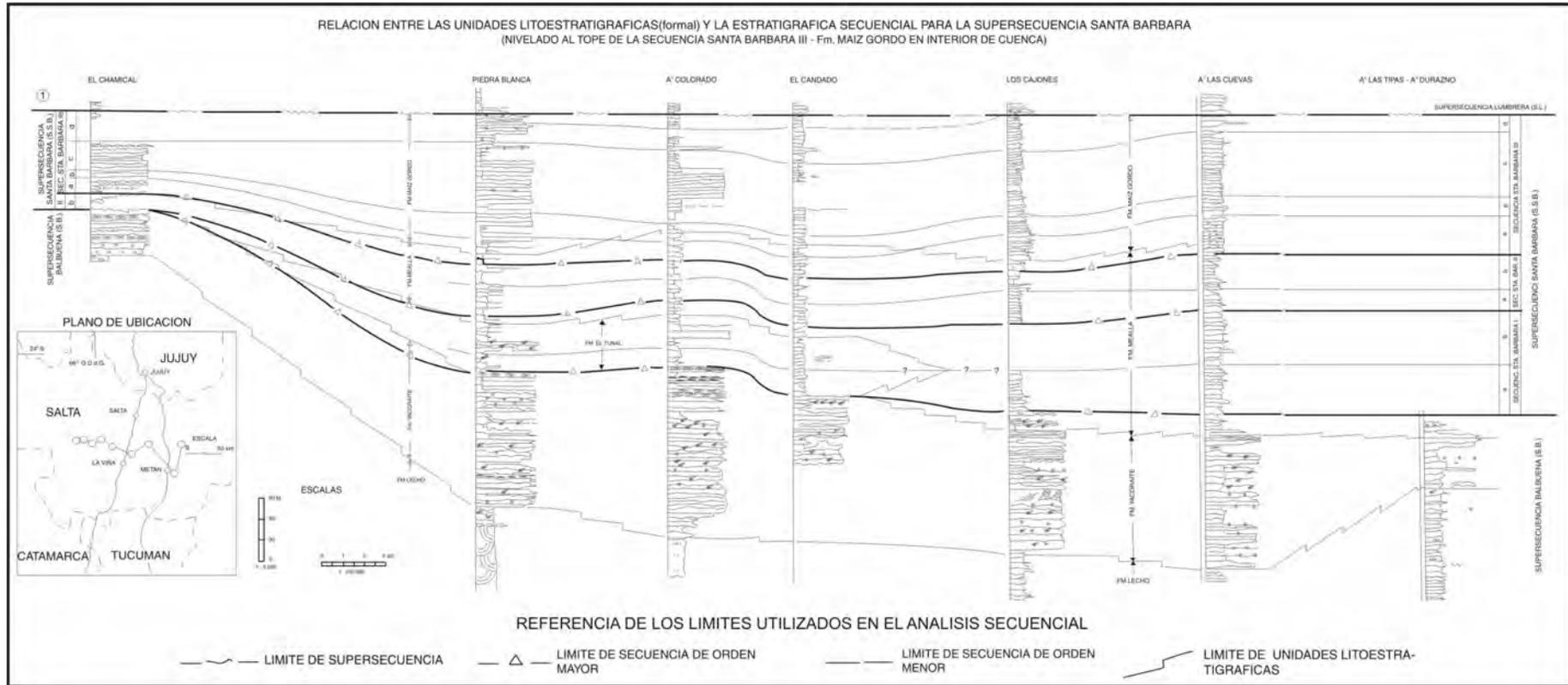


Figura 11. Unidades litoestratigráficas y estratigrafía secuencial para la Supersecuencia Santa Bárbara.

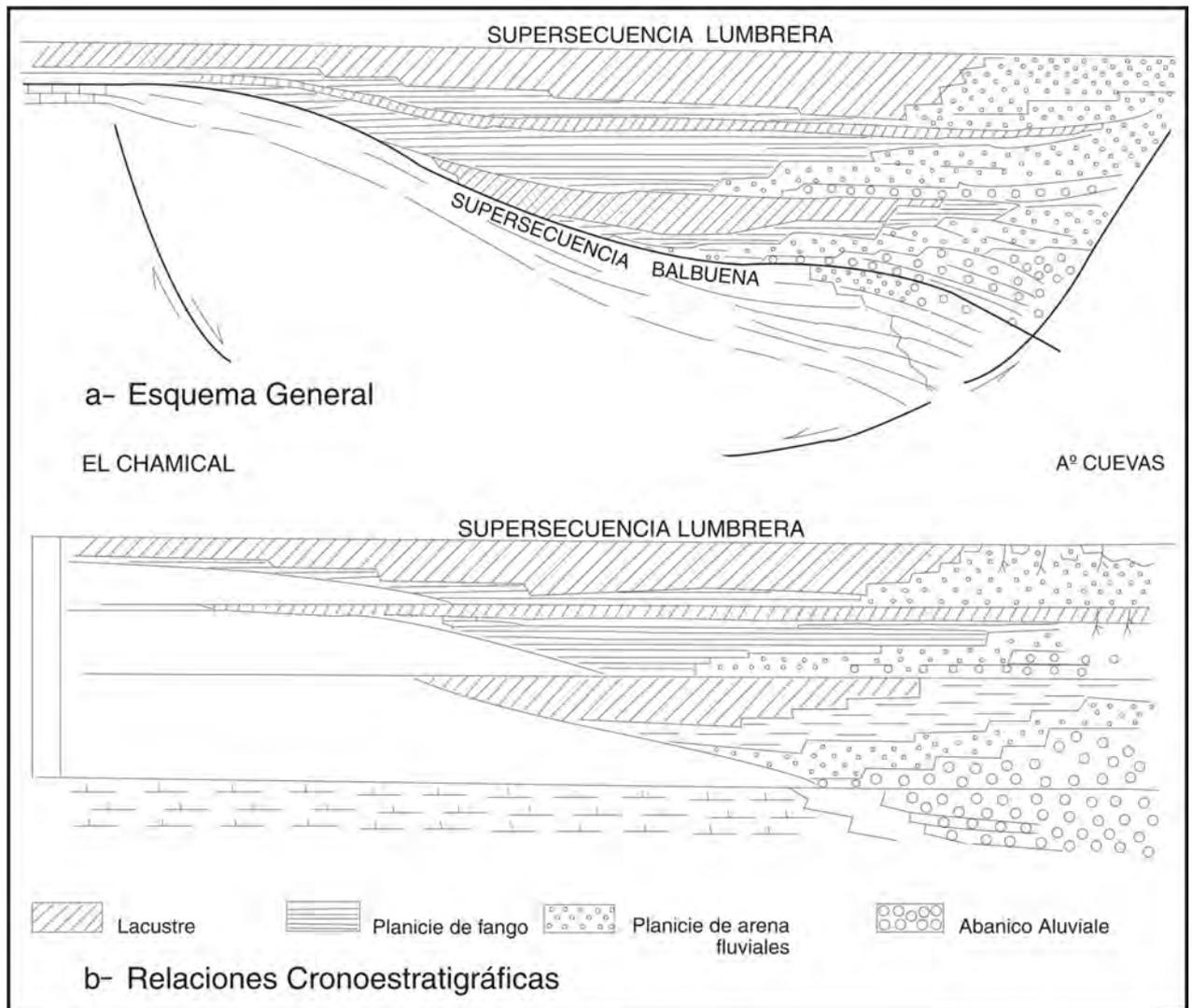


Figura 12. Esquema general de la Supersecuencia Santa Bárbara.

do a zonas de fallas y tiene geometría cuneiforme. Fue depositado por ríos de alto gradiente, planicies entrelazadas y abanicos aluviales que interdigitan con abanicos terminales arenosos y barreales hacia el centro de la cuenca. En zonas de menor subsidencia sólo se desarrollan paleosuelos múltiples o exposición y se produce erosión de la secuencia anterior.

El cortejo sedimentario de nivel alto es de geometría tabular y produce extensas planicies de fango y barreales salinos que evolucionan a sistemas lacustres permanentes. Dentro de esta etapa se puede diferenciar un primer intervalo caracterizado por una fuerte generación de espacio para la acumulación de sedimentos con desarrollo de importantes espesores pelíticos. En el segundo intervalo, progradan clásticos más gruesos en las zonas de aporte o se desarrollan facies más profundas en el cuerpo de agua.

**Santa Bárbara II:** Se caracteriza por un amplio desarrollo de facies de arcilitas, margas y vaques rojas, depositadas en ambientes similares a las unidades anteriores, pero sin desarrollo de sistemas lacustres has-

ta el tope del intervalo, donde se registra un sistema lacustre de gran extensión areal, cuyo registro constituye un excelente nivel guía, tanto en afloramientos como en subsuelo, que recibe el nombre de «Faja Gris». En distintas posiciones de la cuenca yace sobre el intervalo Santa Bárbara I, y el límite queda evidenciado por la superposición de areniscas y areniscas conglomerádicas sobre depósitos fluviales o de planicie de fango (Ej.: El Ayuso, Valle Encantado e Isonza). En la zona del Valle de Lerma aparecen facies de barreales y ríos efímeros superpuestos a facies de lago somero y lago permanente (Ej.: Chuñapampa, Tilián, Osma y La Viña). En posiciones de menor subsidencia y los bordes de la cuenca, yace sobre la Supersecuencia Balbuena por tener mayor extensión areal que la unidad anterior. Las dos secuencias que contiene esta unidad evolucionan en forma similar, desde planicie de fango a lago somero en posición de centro de cuenca y desde ríos entrelazados a planicie de inundación y barreales en las zonas de borde de cuenca. El cortejo sedimentario de nivel bajo esta integrado por sedimentos clásticos arenosos con buena selección y madurez

textural formados por ríos entrelazados arenosos y abanicos terminales. A medida que aumenta el nivel de base se evidencia una pérdida en la madurez textural y un aumento en el contenido pelítico (Figs. 10 y 11, Cuadro 5). En la región central de la cuenca se desarrolla una planicie pelítica salina, con cuerpos de agua aislados. A través de un límite neto aparece el tercer cortejo sedimentario representado por una expansión del sistema lacustre y asociado a condiciones climáticas más benignas.

En base a los espesores, tipo y distribución de facies registrados, se infiere que la subsidencia tectónica tuvo una tasa muy superior en el depocentro de Lomas de Olmedo (500 m), que en Metán-Alemania (150m) y que en Tres Cruces (50 m).

**Santa Bárbara III:** Está compuesta por facies pelíticas verdes y grises que lateralmente gradan a areniscas y areniscas conglomerádicas de color gris claro a blanquecino. Son equivalentes a la Formación Maíz Gordo en interior de cuenca. Sus espesores en conjunto llegan a más de 200 m (Fig. 10). Muestran una ciclicidad de orden menor inducida por cambios climáticos. Esta unidad marca una etapa de gran expansión en el relleno de la cuenca, lo que provoca que se deposite también sobre depósitos precámbricos y paleozoicos, además de apoyar generalmente sobre la unidad Santa Bárbara II. Son depósitos acumulados bajo condiciones de clima húmedo, en ambientes de abanico aluvial, fluvial entrelazado, lacustre efímero y lacustre permanente. El registro del cortejo sedimentario de nivel bajo de la unidad Santa Bárbara III se inicia con el desarrollo de un barreal, donde pequeños ríos intracuencales depositan aislados cordones de arena (Cuadro 6). A medida que aumenta el nivel de base, las facies lacustres someras reemplazan a los barreales que son desplazados hacia los bordes de cuenca. Las secuencias que componen la unidad S.B. III finalizan en el cortejo sedimentario de nivel de base alto, constituido por facies lacustres y de planicies algáceas, que hacia los bordes gradan a pequeños cuerpos deltaicos y planicies entrelazadas. Los paleosuelos del tipo Gley caracterizan a este cortejo sedimentario. Este ascenso relativo del nivel del mar se materializó con el depósito de más de 500 m en Lomas de Olmedo y mucho menor en Tres Cruces con 200 m.

### Supersecuencia Lumbreira (36 a 49 Ma?)

Esta supersecuencia ha sido dividida en dos intervalos denominados Secuencia Lumbreira 1 y Secuencia Lumbreira 2, ambas separadas por la retracción de un cuerpo lacustre o «Faja Verde II». En el presente trabajo se analizará solamente la Secuencia Lumbreira I debido a que es la última respuesta de la evolución de la etapa distensiva de la cuenca de post-rift y la Secuencia Lumbreira II correspondería al inicio de la etapa compresiva de la cuenca de antepaís del Terciario.

**Secuencia Lumbreira 1:** La Secuencia Lumbreira 1 ha sido dividida en dos intervalos de menor jerarquía, que son equivalentes con las secuencias deposicionales

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 1 - SANTA BÁRBARA		
C	a. Sistema Deposicional de Abanico Aluvial	1. Asociación de conglomerados finos macizos 2. Asociación de areniscas gruesas y vaques
	b. Sistema Deposicional Fluvial Entrelazado Asociado a Mantos de Crecida	1. Asociación de areniscas conglomerádicas y vaques granodecrecientes, con paleosuelos 2. Asociación de conglomerados finos en bancos gruesos 3. Asociación de aglomerado fango-sostén
S	c. Sistema Deposicional Efímero Próximo	1. Asociación de arenisca con clastos blandos, mal seleccionada 2. Asociación de arcillitas y limolitas laminadas, con grietas de desecación y bioturbación
B	d. Sistema Deposicional Efímero Distal	1. Asociación de arcillitas, limolitas y vaques calcáreas con grietas de desecación 2. Asociación de areniscas finas con arcillitas rojas laminadas 3. Asociación de arenisca calcárea con clastos blandos
	e. Sistema Deposicional de Barreal	1. Asociación de vaques bioturbadas, arcillitas y limolitas con rizoconcreciones 2. Asociación de arcillitas dominantes con alternancia de limolitas laminadas y con grietas de desecación
C	f. Sistema Deposicional Lagunar Poco Profundo	1. Asociación de limoarcillitas gris-oliva laminadas y con ondulitas de oías 2. Asociación de calizas cristalinas macizas y boundstone criptoalgáceo
N	g. Sistema Deposicional de Playa Lake	1. Asociación de arcillitas gris-verdosas y areniscas muy finas en facies heterolítica 2. Asociación de arcillitas verdosas con nódulos de yeso y dolomías

Cuadro 4. Cortejos sedimentarios de la Secuencia 1 Santa Bárbara.

de tercer orden de Vail, cuyo límite está marcado por la retracción de un cuerpo lacustre somero denominado «Faja Verde I». El límite superior de la Secuencia Lumbreira 1 (Faja verde II) constituye un excelente nivel guía en toda la cuenca y está evidenciado por el reemplazo de facies de pelitas negras y verdes (centro de cuenca), asociado lateralmente con facies fluviales efímeras (borde de cuenca), por facies de margas y arcillitas rojas.

La primera etapa de acumulación de la Secuencia Lumbreira 1 está representada por sistemas fluviales de carga de lecho, con dominio de erosión y superficies de reactivación interdigitadas con una extensa planicie de fango. Esta asociación ha sido clasificada como cortejo sedimentario de nivel bajo (Cuadro 7). La segunda etapa de agradación se caracteriza por la pérdida de competencia de los sistemas fluviales, lo que provoca el depósito de corrientes efímeras, con escasos depósitos encauzados pobres en arena asociado lateralmente a planicies de fango áridas y salinas. Este depósito constituye el cortejo sedimentario agradable. La tercera etapa (cortejo sedimentario de nivel de base alto) es la expansión lacustre asociada a condiciones climáticas más benignas, evidenciada por facies de pla-



CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 2 - SANTA BARBARA		
C S N B	a. Sistema Depositional Fluvial Entrelazado	1. Asociación de conglomerados y sabulitas laminados, con clastos de hasta 10 cm. 2. Asociación de areniscas conglomerádicas, con lentes conglomerádicos.
	b. Sistema Depositional Efímero Próximo a Distal	1. Asociación de arenisca con clastos blandos, mal seleccionada 2. Asociación de arcillitas y limolitas laminadas, con grietas de desecación y bioturbación
N A	c. Sistema Depositional Lacustre	1. Asociación de arcillitas y limolitas, grises, con grieta de desecación y bioturbada 2. Asociación de areniscas finas con ondulitas de corriente y de ola
	d. Sistema Depositional de Barreal y Depósito Interfluvial	1. Asociación de vaques bioturbadas, arcillitas y limolitas con rizoconcreciones 2. Asociación de arcillitas dominantes con alternancia de limolitas laminadas y con grietas de desecación
	e. Sistema Depositional de Planicie de Fango Salino	1. Asociación de limoarcillitas y vaques finos, bioturbados y con grietas de desecación 2. Asociación de arcillitas, mudstone verdosos y paleosuelos, con nódulos de yeso.

Cuadro 5. Cortejos sedimentarios de la Secuencia 2 Santa Bárbara.

nicie interfluvial (pelitas verdes), asociado lateralmente (borde de cuenca) a depósitos de ríos entrelazados areno-conglomerádicos de tipo húmedo. Esta etapa finaliza con un depósito de vaque arenosa fina muy calcárea con rizoconcreciones de gran extensión areal, que refleja una discordancia estratigráfica o superficie de no depositación.

En la Subcuenca de Tres Cruces y hasta la zona de Valle Grande el límite superior es de difícil solución, dado que las formaciones Casa Grande y Río Grande, integrantes basales del Grupo Orán, podrían ser lateralmente equivalentes a los términos cuspidales de la Secuencia Lumbrera II.

### EDAD DEL GRUPO SALTA

Los depósitos de la Supersecuencia Pirgua poseen intercalaciones de volcanitas en la base de la Secuencia 1, conocidas como Basalto de Isonza, con una edad radimétrica entre 114±5 Ma y 96±5 Ma (Barremiano-Albiano; Valencio *et al.*, 1976). También han sido descritas volcanitas en el área del Cadillal (provincia de Tucumán) conocidas como Complejo Alto de las Salinas, con edades entre 128 Ma y 103 Ma (Valanginiano-Aptiano; Bossi, 1969; Bossi y Wampler, 1969). La porción superior de la Secuencia Pirgua 2, en la subcuenca de Alemania (río Las Conchas), presenta el volcanismo volumétricamente más importante denominado Basalto de Las Conchas (Reyes y Salfity, 1973), con edades isotópicas de 76 Ma a 78 Ma (Valencio *et al.*, 1976 y Reyes *et al.*, 1976). En base a estos datos se ha realizado una posible correlación con la carta de los ciclos globales (Haq *et al.*, 1987) en donde se estima que la Secuencia

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 3 - SANTA BARBARA		
C S N B	a. Sistema Depositional de Abanicos Aluviales	1. Asociación de conglomerado mediano y arenisca conglomerádica, castaño y gris, con clastos imbricados 2. Asociación de vaque gris y roja, con clastos de areniscas
	b. Sistema Depositional Fluvial Entrelazado	1. Asociación de arenisca cuarzosa, bien seleccionada, con entrecruzamientos. Estratificación lenticular, con base erosiva 2. Asociación de vaques arenosas y limolitas, con bioturbaciones, laminación, grietas de
C S N A	c. Sistema Depositional de Planicie de Fango	1. Asociación de arcillitas rojas, bioturbadas y con grietas de desecación. 2. Asociación de areniscas muy finas, con ondulitas y lámina paralela.
	d. Sistema Depositional Lacustre	1. Asociación de limolitas y arcillitas, gris verdoso y verde, laminadas y macizas. Estratificación fina. Intercalan finos bancos de areniscas, con laminación ondulosa y paralela. 2. Asociación de arcillitas rojas y boundstone cryptoalgáico laminados. 3. Asociación de packstone litoclástico y oolítico, bancos muy finos, con clastos de cuarzo, ondulitas y laminación truncada por olas.
	e. Sistema Depositional de Planicie Algáica	1. Asociación de margas y limoarcillitas verdes finamente laminada. 2. Asociación de boundstone gris oliva claro a gris amarillento, con formas bulbosas de hasta de más de 1 metro de espesor y 3 metros de diámetro.
A	f. Sistema Depositional Lacustre Anóxico	1. Asociación de arcillitas y limolitas gris oscura y negra, con pinta diseminada. Laminación fina, ondulosa, con resto de peces. 2. Asociación de arenisca fina, bioturbada y boundstone laminado.
	g. Sistema Depositional Lacustre Salino	1. Asociación de pelitas verdes, con cristales de calcita y yeso; y packstone litoclástico y oolítico. 2. Asociación de areniscas finas, laminadas

Cuadro 6. Cortejos sedimentarios de la Secuencia 3 Santa Bárbara.

Pirgua 1 ha sido depositada en el intervalo Valanginiano-Turoniano y, la Secuencia Pirgua 2, en el Santoniano-Campaniano (Fig. 1).

En la Supersecuencia Balbuena se cuenta con numerosos datos paleontológicos, pero no se ha podido precisar la edad de la misma; en la Secuencia 1 y 2 se ha determinado la presencia de palinomorfos y foraminíferos asignados al Campaniano-Maastrichtiano (Moroni, 1989). La Secuencia Balbuena 4 cuenta con *Coelodus toncoensis* (Benedetto y Sánchez, 1972) de indudable origen marino, palinomorfos de edad cretácica superior-paleocena (Moroni, 1986) y microesporas de edad paleocena inferior (Quattrocchio *et al.*, 1988). El hallazgo de *Coelodus toncoensis* en la Secuencia Balbuena 4 y foraminíferos en las Secuencias Balbuena 1 y 2 nos indican una conexión marina, por lo menos esporádica, que habría controlado el nivel de base del lago, lo que per-

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 1 - LUMBRERA		
C S	a. Sistema Depositional de Planicie Entrelazada	1. Asociación de arenisca conglomerádica rojiza, maciza. En estrato tabular y lenticular. 2. Asociación de vaque y pelita, gris y roja, bioturbadas y con nódulos ferrosos.
	b. Sistema Depositional de Planicie de Arena	1. Asociación de arenisca gruesa cuarzosa, selección moderada, en bancos gruesos mantiformes. Intercalan limoarcillitas castañas. 2. Asociación de vaques arenosas y limolitas, con bioturbaciones, laminación, grietas de desecación y ondulitas.
C S	c. Sistema Depositional de Planicie de Fango	1. Asociación de limoarcillitas rojas, calcáneas, castañas. Laminadas y macizas, en bancos lenticulares. Con cristales de calcita y yeso. 2. Asociación de limolitas, bioturbadas, con grietas de desecación y ondulitas de corriente. Estratos tabulares.
N A	d. Sistema Depositional	1. Asociación de pelitas y areniscas muy fina, verdes, en facies heterolíticas, laminadas, con ondulitas, grietas de desecación y bioturbadas. 2. Asociación de arcillitas negras, con restos fósiles y materia orgánica. Boundstone criptoalgáico y packstone oolítico-litolítico.

Cuadro 7. Cortejos sedimentarios de la Secuencia 1 Lumbreira.

mite conjuntamente con los demás datos, realizar una correlación más certera con la carta de ciclos globales.

Analizando la relación temporal del conjunto de secuencia, en base a los datos expuestos anteriormente, se infiere que la Secuencia Balbuena 1 se habría depositado entre los 75 Ma y los 71 Ma; la Secuencia Balbuena 2 entre los 71 Ma y los 68 Ma y la Secuencia Balbuena 3 y 4 entre los 67 Ma y los 63 Ma. En la Supersecuencia Santa Bárbara son escasos los datos de fósiles diagnósticos, por lo tanto se ha realizado la correlación con la carta de ciclos globales teniendo en cuenta los pulsos de máxima inundación de cada secuencia. Con este análisis se determina que la Secuencia Santa Bárbara I se habría depositado entre los 63 Ma y los 58.5 Ma; la Secuencia Santa Bárbara II entre los 58.5 y los 54.2 Ma y la Secuencia Santa Bárbara III entre los 54.2 Ma y los 49.5 Ma. La Secuencia Lumbreira 1 se habría depositado entre los 49.5 y los 41 Ma.

### SÍNTESIS ESTRUCTURAL DE LAS SUBCUENCAS DE TRES CRUCES-CAIMANCITO Y DEL SISTEMA DE SANTA BÁRBARA

De acuerdo a la subdivisión de Gómez Omil y Boll (2005), la subcuenca de Tres Cruces- Caimancito forma parte de la Faja Plegada Interna (Fig. 13). Se localiza en el ambiente morfoestructural de Cordillera Oriental y Puna, en las regiones geográficas conocidas informalmente como Puna y Valles Calchaquíes, donde se desarrollaron la Subcuenca de Tres Cruces-Caimancito y la de Alemania. Está caracterizada por la intensa deformación terciaria polifásica y en donde se reconocen tanto una tectónica de lámina delgada como también de lámina gruesa, posiblemente con inversión tectónica.

La magnitud del acortamiento es importante, en algunos casos produciéndose corrimientos de Paleozoico Inferior o Precámbrico sobre niveles terciarios y cretácicos (Fig. 14).

Como resultante final de la compresión la mayoría de las estructuras anticlinales aflorantes están desventradas en los niveles de interés Cretácico, existiendo la posibilidad de preservación de trampas prospectables tanto por debajo de los corrimientos (*Play Subthrust*) como dentro de los *Bolsones*. Estas depresiones intermontanas se extienden por decenas a cientos de kilómetros en dirección norte-sur, en forma paralela a los frentes de corrimiento principales. Los más importantes son los de Abra Pampa, Tres Cruces y Coronel Moldes-Cabra Corral. En ellos se concentró la escasa exploración de hidrocarburos realizada hasta la fecha.

Todavía no se encontró ningún yacimiento de hidrocarburo, en esta extensa región pobremente explorada con sísmica y pozos, debido a una sumatoria de factores entre los que se destacan: pobre esfuerzo exploratorio especialmente en cuanto a pozos perforados, complejidad estructural importante del *Play Subthrust*, zonas extensas con roca madre de buena calidad y espesor para Yacoraite pero inmadura en algunas regiones, áreas de recarga de agua dulce en los reservorios aflorados, posible falta de sellos debido al escaso espesor pelítico de Santa Bárbara y a la intensa deformación.

El Sistema de Santa Bárbara es una extensa región que se extiende en dirección norte-sur desde el límite norte de Tucumán hasta Salta y Jujuy, por más de 200 km de largo y unos 80 km de ancho. Finaliza al norte, al entrar en la Subcuenca de Lomas de Olmedo, en coincidencia con un aumento notorio de los espesores del Grupo Salta, lo que habría producido una anisotropía en la corteza y, consecuentemente un cambio en el estilo de la deformación.

De acuerdo con la información sísmica y geológica de superficie la inversión tectónica sería la principal responsable de la generación de esta faja plegada que presenta acortamientos de relevancia, participación del basamento, relieves de magnitud, componente de rumbo importante, vergencia de fallas diversas y, curiosamente, una falta de hidrocarburos casi total, habiendo sido explorada con un enfoque puramente estructural. Solamente dos yacimientos, de pequeña magnitud fueron encontrados: Cuchuma y Lumbreiras ubicados en el sector occidental de esta región.

### SISTEMAS PETROLEROS PRUBADOS Y POSIBLES EN LAS SUBCUENCAS DE TRES CRUCES-CAIMANCITO Y SISTEMA DE SANTA BÁRBARA

Parte del potencial exploratorio de la Provincia de Jujuy se encuentra en el marco evolutivo de la cuenca de rift cretácico. Esta cuenca se encuentra subdividida en tres subcuencas que abarcan las provincias de Salta y Jujuy, la Subcuenca de Tres Cruces, la Subcuenca de Lomas de Olmedo y la Subcuenca de Metán-Alemania.

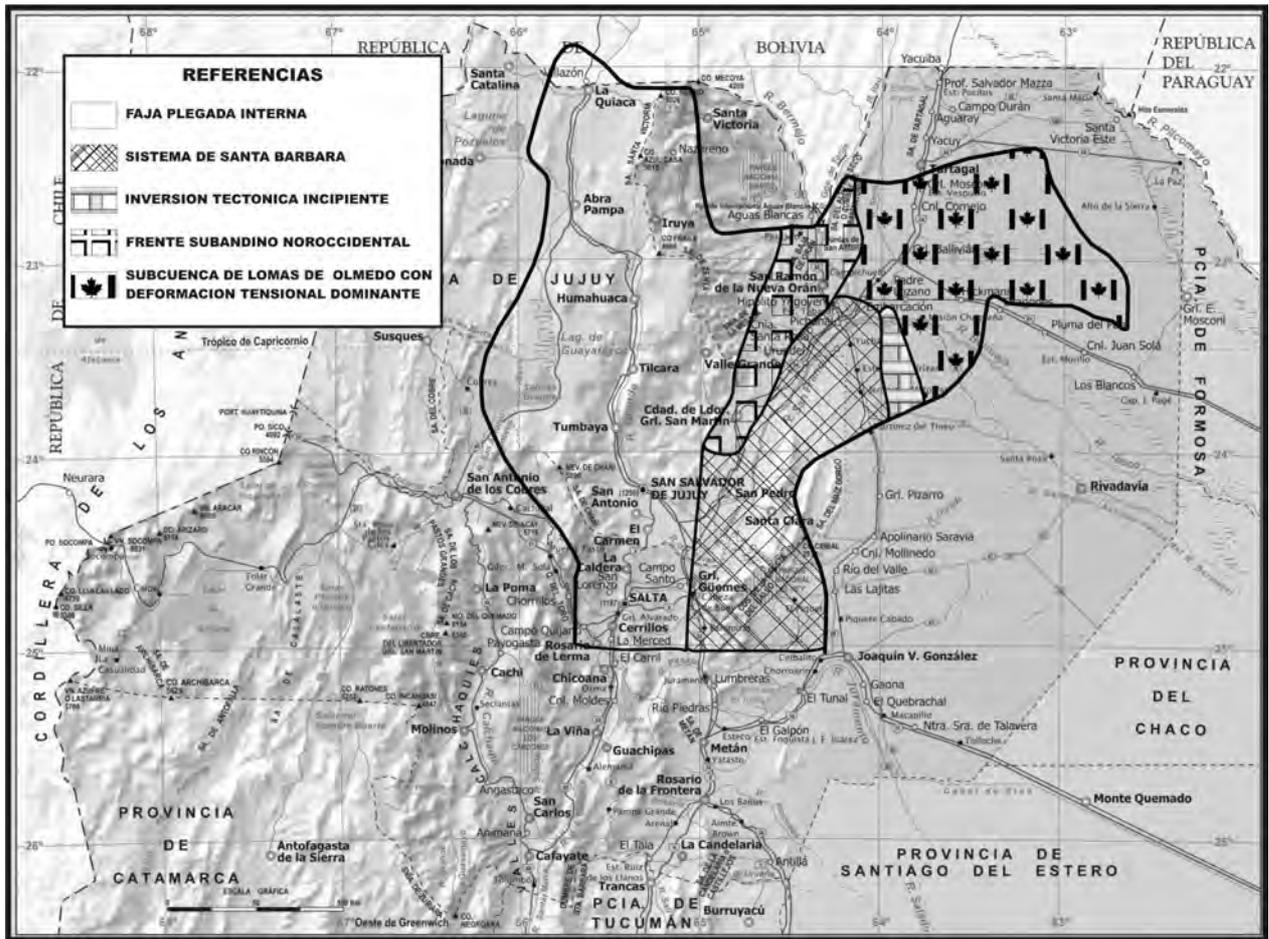


Figura 13. Mapa de las regiones estructurales de Gómez Omil & Boll (2005) sobre una imagen de Jujuy.

Siguiendo la división estructural de Gómez Omil y Boll (2005), esta cuenca se encuentra en ámbitos muy diversos, como ser la Faja Plegada Interna, el Frente Subandino Noroccidental, el Sistema de Santa Bárbara, la Subcuenca de Lomas de Olmedo con deformación tensional dominante y una zona al sureste de la cuenca, con una inversión tectónica incipiente (Fig. 13). En la provincia de Jujuy, identificamos la Subcuenca de Tres Cruces-Caimancito que se encuentra en el ámbito de Faja Plegada Interna y la Subcuenca de Santa Bárbara, que se encuentra en el sistema del mismo nombre. En este trabajo describimos y analizamos el potencial hidrocarburífero, tras una síntesis estratigráfica y estructural del Cretácico de rift de esta área.

Esta cuenca ha sido explorada intensamente por YPF desde 1930 y alcanzó su mayor expresión en los años 80. Se perforaron cerca de 200 pozos exploratorios y se descubrieron casi 20 yacimientos de petróleo y gas con 20MM de m<sup>3</sup> de petróleo y 200BCF de gas. La mayoría de los yacimientos fueron descubiertos en distintas trampas y escenarios de la Subcuenca Lomas de Olmedo y solamente dos en la Subcuenca de Metán. A partir de los años 90 la exploración disminuyó notablemente y en la actualidad la inversión exploratoria es mínima. Todos los yacimientos se descubrieron utilizando sísmica 2D, con mallados variables y solamente se registró sísmica

3D en los yacimientos Puesto Climaco, El Vinalar Norte, Palmar Largo y Valle Morado.

La cuenca fue explorada con un enfoque de tipo estructural y numerosos pozos fueron perforados en distintos ambientes tectónicos con distintos grados de deformación y con resultados económicos favorables solamente en los yacimientos de Caimancito, Puesto Guardián y Palmar Largo.

Estructuras anticlinales conspicuas fueron investigadas en Tres Cruces y en la subcuenca de Alemania con resultados negativos o con reservas insignificantes como, por ejemplo en los yacimientos de Cuchuma y Lumbreras, por razones vinculadas con la madurez y el volumen de roca madre.

De un análisis regional efectuado sobre el esfuerzo exploratorio implementado surgen claramente que las zonas menos exploradas coinciden con las siguientes regiones: Subcuenca de Alemania, Subcuenca de Tres Cruces, centro de la Subcuenca de Lomas de Olmedo, flanco norte de la Subcuenca de Lomas de Olmedo, frente subandino noroccidental y flanco sur de Lomas de Olmedo entre Puesto Climaco y Palmar Largo. En cada una de estas regiones se realizó exploración con sísmica 2D y algunos pozos, habiéndose obtenido resultados variables con la comprobación de yacimientos de petróleo y gas (Caimancito, Valle Morado, Balbuena Este, La

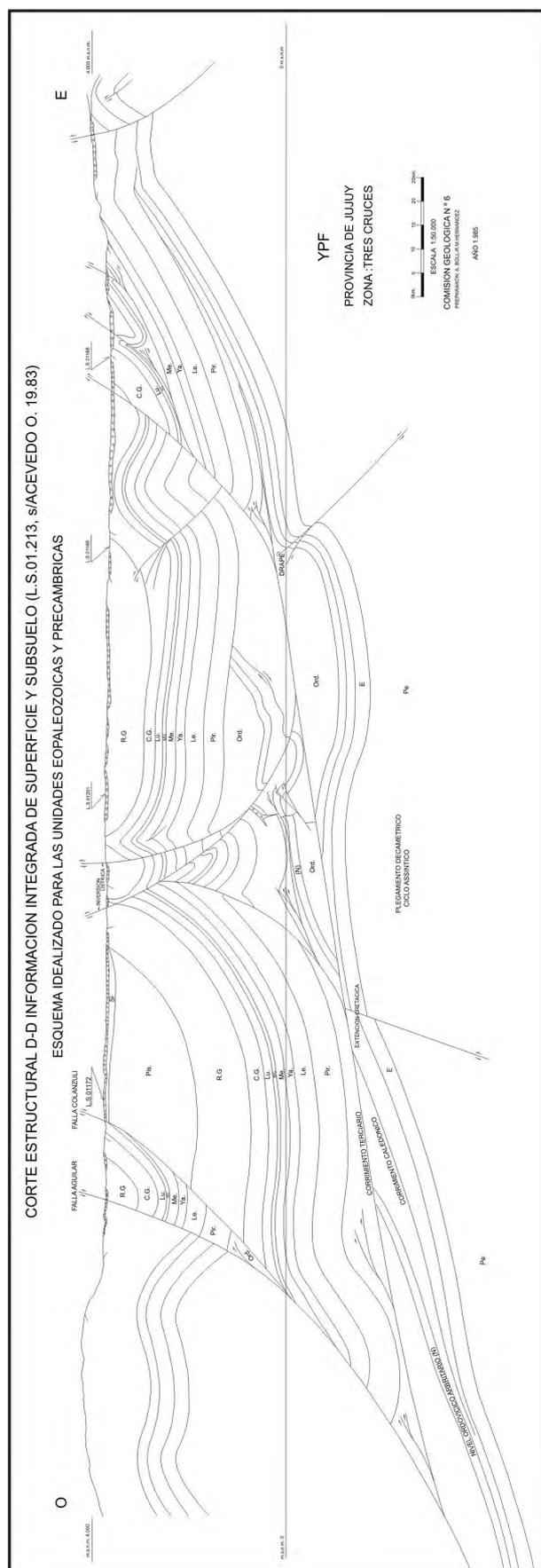


Figura 14. Corte este-oeste de Tres Cruces. Corte a la altura del pozo Mula Aguada. Boll y Hernández (1985).

Bolsa, La Reina), en otros casos solamente se verificaron rastros de hidrocarburos (Tres Cruces) y en otros, ninguna manifestación (Subcuenca de Alemania).

Muchos de los datos que se exponen en este acápite provienen de la Subcuenca Lomas de Olmedo y los yacimientos Caimancito y Palmar Largo. Por lo tanto, solo datos aislados corresponden estrictamente a Tres Cruces y al Sistema de Santa Bárbara. En todos los casos se especifica la fuente de los datos.

El sistema petrolero más importante de la Cuenca Cretácica de rift es Yacoraite- Yacoraite. A este sistema se encuentran relacionadas casi todas las reservas de petróleo y gas de la cuenca. El otro sistema es Yacoraite-Maíz Gordo que solamente fue probado en el Yacimiento Caimancito.

Dentro de Yacoraite se encuentran las únicas rocas madres de edad cretácica y están dispuestas en las tres secuencias mayores o miembros. Las tres secuencias mayores poseen roca madre en el interior de la Subcuenca Lomas de Olmedo, totalizando un máximo de 80 m en total. De estas la superior o Miembro Las Avispas presenta las mejores condiciones como roca generadora. Su kerógeno es de tipo II-III de origen continental lacustre, con bajo contenido orgánico que raramente supera el 0.5%, alcanzando hasta 3% como máximo (Fig. 15).

Los análisis de petróleos de la cuenca, efectuados por CoreLab (1992) determinaron dos familias de petróleos. Una relacionada con pelitas lacustres que generó petróleos maduros y se relaciona con los yacimientos cercanos al depocentro de la Subcuenca Lomas de Olmedo (Palmar Largo). La otra familia de petróleos menos maduros, generados por facies carbonáticas de baja energía con alto contenido de azufre, caracteriza a los yacimientos del flanco sur de Lomas de Olmedo (Dos Puntitas, Pozo Escondido, etc.). Existen también yacimientos con mezclas de petróleos como Caimancito y Puesto Guardián. En todos los casos la migración habría ocurrido durante el Terciario y se habría producido en forma local o en corta distancia.

Yacoraite provee los hidrocarburos, los reservorios y los sellos en la mayoría de los casos. En la Faja Plegada una pequeña parte de los hidrocarburos migran hacia arriba por efecto de fallamiento y son atrapados en Maíz Gordo y en Mealla.

Como resultado de una historia de subsidencia diferencial para el Grupo Salta en cada uno de sus depocentros durante los estadios de *sag* que ocurrieron entre el Paleoceno y Eoceno la evolución y el timing de la madurez de Yacoraite fue variable en el tiempo de manera tal que la Subcuenca de Lomas de Olmedo, con gran subsidencia durante el Subgrupo Santa Bárbara, estaba más madura que Tres Cruces, Metán y Alemania al finalizar la sedimentación de la cuenca del Grupo Salta.

A partir del Eoceno Superior, pero en forma más intensa desde el Mioceno medio, en coincidencia con la compresión andina, las regiones ubicadas al oeste empezaron a levantarse por efecto de la compresión y a formarse estructuras con sedimentación sinorogénicas asociada, lo que determinó la formación de importantes

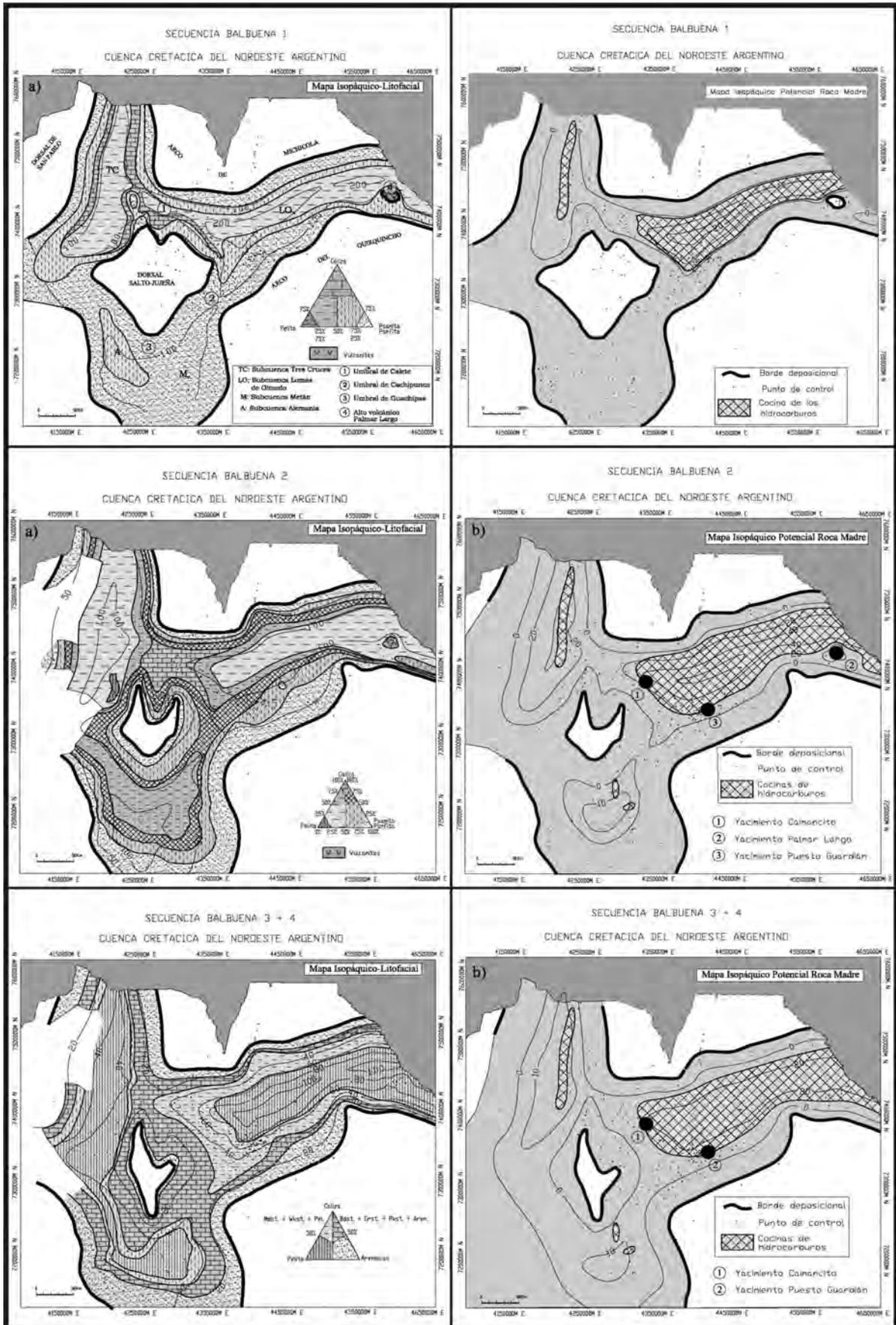


Figura 15. Mapas isopáquicos litofaciales e isopáquicos de potencial de roca generadora de los tres miembros del Subgrupo Balbuena. (Gómez Omil y Boll 1999).

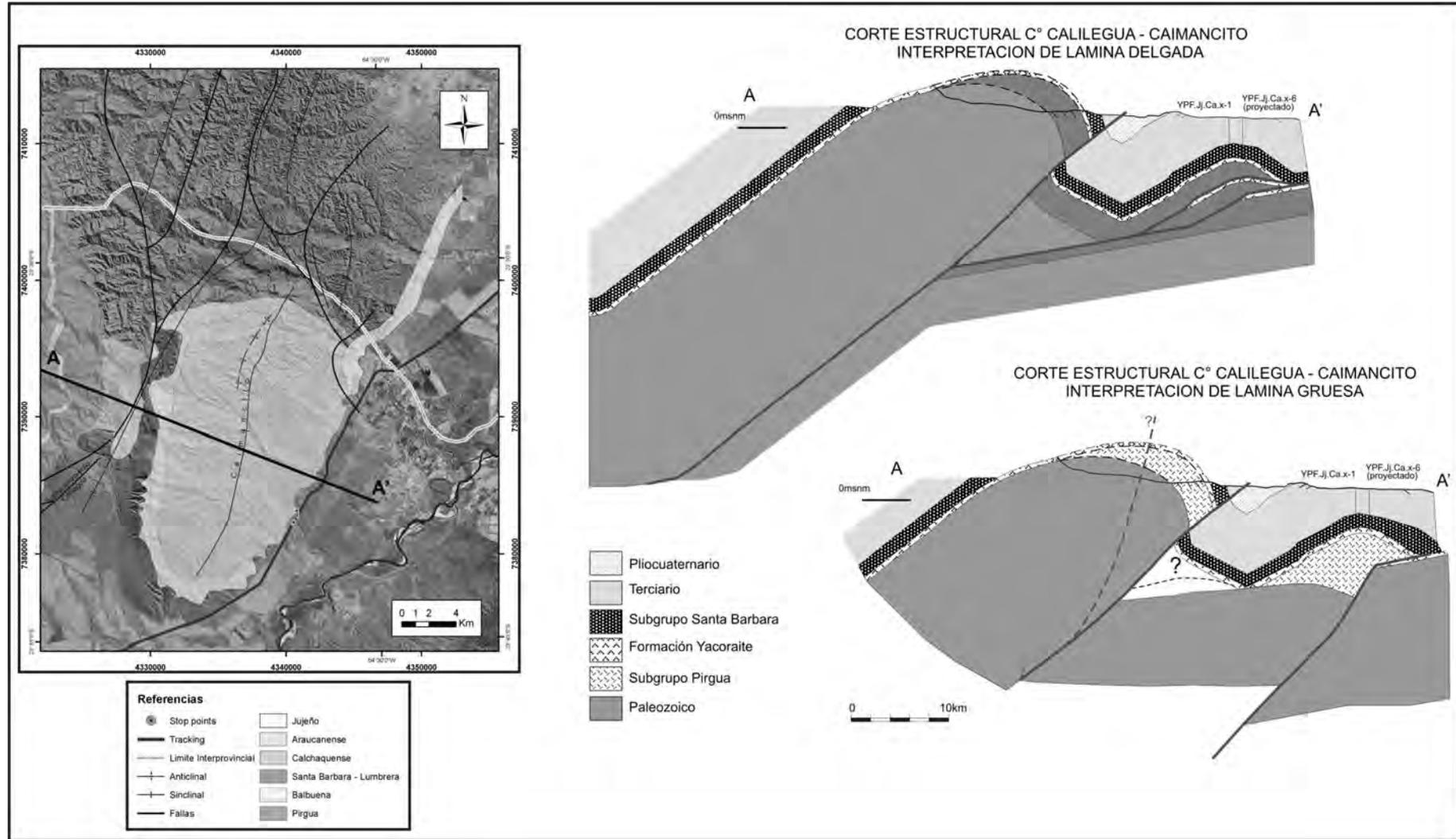


Figura 16. Corte de Caimancito y las dos posibles interpretaciones, con lámina gruesa y lámina delgada (Hernández, 2008).



depocentros coincidentes con los sinclinales, configurando finalmente zonas alargadas y angostas en sentido norte-sur, paralelas a los frentes de corrimiento, que en algunos casos lograron producir la carga necesaria para poder alcanzar la madurez suficiente en Yacoraite. Los espesores de los depósitos sinorogénicos terciarios alcanzan hasta 5.000 m en algunos sectores de la antefosa, siendo que Lomas de Olmedo presentaba un comportamiento de cuenca de antepaís con menor subsidencia.

Las causas principales de la falta de hidrocarburos en volúmenes importantes, se deben a diversos factores relacionados con la roca madre (falta de espesor suficiente, falta de madurez) y también, a la importante recarga de agua dulce en los principales reservorios de Yacoraite y Lecho que se encuentran aflorados en varios sectores.

#### POSIBLES PLAYS CRETÁCICOS EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE JUJUY

Los posibles *plays* interesantes en el Cretácico dentro de la Provincia de Jujuy se reducen a un modelo, que sería de *subthrust*. Este *play* de *subthrust* se presentaría en Tres Cruces (Fig. 14), donde la trampa es estructural, y se busca el desarrollo de anticlinales por debajo del corrimiento principal, además de estructuras desarrolladas dentro de los «*Bolsones*» (Gómez Omil y Boll, 2005). En este tipo de *play* la roca madre sería Yacoraite, y los reservorios serían fisurados en Yacoraite, y reservorios con porosidad primaria en Areniscas de Lecho, Pirgua y Terciario, margas fisuradas del Subgrupo Santa Bárbara. Los sellos están dentro de Yacoraite en facies de lutitas y calizas, así como en Santa Bárbara y Terciario.

El riesgo de este *play* son tanto la trampa poco definida como la posible ausencia de sellos. Apenas se conocen 4 pozos exploratorios en el área, y el recubrimiento de sísmica 2D data de los años 90.

Otro modelo de *subthrust* se encuentra en Caimancito, con interferencia de lámina gruesa (Fig. 16). En este *subthrust* la trampa sería estructural, ya que los *plays* se encontrarían por debajo del corrimiento principal. En este *play* la roca madre es Yacoraite, y los reservorios serían fisurados del propio Yacoraite y margas fisuradas del Subgrupo Santa Bárbara y areniscas terciarias con porosidad primaria. El 80% del petróleo producido por este yacimiento provino de fisurados (Disalvo *et al.*, 2002). La porosidad de este fisurado ha sido calculada en Caimancito y Valle Morado con el «método Aguilera», dando un resultado de 5.5% de los cuales 2.5% son fracturas y 3% sería la porosidad de la matriz (Disalvo *et al.*, 2002). El valor de permeabilidad en Caimancito ha sido calculado de 50.6 mD (Disalvo *et al.*, 2002). Al igual que en el *play* anterior, el sello se encuentra en la propia Yacoraite, pero también en Santa Bárbara y Terciario.

El riesgo de este *play* es el mismo que el de Tres Cruces, es decir la pobre definición de la trampa y los riesgos posibles de la ausencia de sellos. El recubrimiento con sísmica 2D data de los años 90.

Finalmente, otro modelo de *subthrust* constituye el sistema de Santa Bárbara que se encuentra en menor proporción en la provincia de Jujuy. Al igual que los casos anteriores, la trampa es estructural, y la roca madre es Yacoraite. Los reservorios serían calizas fisuradas de Yacoraite, margas fisuradas del Subgrupo Santa Bárbara, Areniscas con porosidad primaria de Lecho, Pirgua y del Terciario. El riesgo de este *play* es la existencia de roca madre madura, y la posibilidad de que todos los sellos están en facies gruesas. Apenas se perforó un pozo exploratorio.

#### CONCLUSIONES

Si bien la estratigrafía del Cretácico de Jujuy ha sido estudiada profundamente, así como los mecanismos que han provocado su plegamiento andino durante el Terciario, hay mucho que hacer en el estudio y la definición de *plays* exploratorios de esta cuenca.

El potencial exploratorio del Cretácico de la provincia de Jujuy se centra en un tipo de *play* de *subthrust* que debe ser probado, por lo tanto explorado. Este *play* está fuertemente condicionado a comprender el cierre de cada estructura, lo cual podrá hacerse en el futuro con sísmica e integrando los datos de superficie, subsuelo y sísmológicos.

#### REFERENCIAS

- Benedetto, J.L. y Sanchez, T.M., 1972. *Coelodus toncoensis* nov. sp. (Pisces, Holostei, Pycnodontiformes) de la Formación Yacoraite (Cretácico Superior) de la Provincia de Salta. *Ameghiniana*, 9 (1): 57-71.
- Bianucci, H. y Homocv, J.F., 1982. Tectogénesis de un sector de la cuenca del Subgrupo Pirgua. Noroeste Argentino. *Actas 5° Congreso Latinoamericano de Geología*, 1: 539-546.
- Boll, A., 1991: Identificación y correlación de secuencias somerizantes del Miembro Las Avispas (Formación Yacoraite), Noroeste Argentino. *Actas 10° Congreso Geológico Argentino*, 2: 153-156.
- Boll, A. y Hernández, R., 1985. Área Tres Cruces. Prov. de Jujuy. Análisis estratigráfico-estructural. Evaluación como objetivo exploratorio. Informe YPF. Inédito.
- Bossi, G.E., 1969. Geología y estratigrafía del sector sur del valle de Choromoro. *Acta Geológica Lilloana*, 10 (2): 17-64.
- Bossi, G.E. y Wampler, M., 1969. Edad del Complejo Alto de Las Salinas y Formación El Cadillal según el método K-Ar. *Acta Geológica Lilloana*, 10 (7): 141-160.
- Core Lab, 1992. Norte Argentino. Geochemical Study. Pluspetrol. Inédito. Buenos Aires.
- Disalvo, A., Rodríguez Schelotto, M.L., Gómez Omil, R., Hoffmann, C., Benítez, J. y Hurtado, S., 2002, Los Reservorios de la Formación Yacoraite. En: Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas de la Argentina. *Actas 5° Congreso de Exploración y Des. Hidrocar.*: 717-738. Mar del Plata.
- Gómez Omil, R., Boll, A., Hernández, R., 1989. Síntesis Estratigráfica Del Grupo Salta. Informe YPF. Inédito.



- Gómez Omil, R. y Boll, A., 2005. Cuenca Cretácica del Noroeste Argentino. En: Frontera Exploratoria de la Argentina: 63-76.
- Goodwin, P. y Anderson, E., 1985. Punctuated Aggradational Cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. *Journal of Geology*, 93: 513-533.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. and Vail, P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1167.
- Hernández, R. y Disalvo, A., 1992. Estratigrafía del Grupo Salta y sus posibilidades exploratorias en Metán y Alemania. Informe YPF. 106 pág. Inédito.
- Legarretta, L y Uliana, M.A., 1998. Anatomy of hinterland and depositional sequences: upper cretaceous fluvial strata, Neuquén Basin, west central Argentina. In: Shanley, K.W. y Mc Cabe, P.J. (Eds.): Relative role of eustasy, climate and tectonism in continental rocks. *Society for Sedimentary Petrology, Special Publication*, 59: 83-92.
- Moroni, A., 1985. Informe palinológico preliminar de la Formación Yacoraite. Perfil Santa Rita, provincia de Salta. Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Informe Interno.
- Reyes, F.C. y Salfity, J.A., 1973. Consideraciones sobre la estratigrafía del Cretácico (Subgrupo Pirgua) del noroeste argentino. *Actas 5° Congreso Geológico Argentino*, 3: 354-385.
- Reyes, F.C., Viramonte, J.G., Salfity, J.A. y Gutiérrez, W., 1976. Consideraciones sobre el vulcanismo del Subgrupo Pirgua (Cretácico) en el norte Argentino. *Actas 6° Congreso Geológico Argentino*, 1: 205-223. Buenos Aires.
- Salfity, J.A., Gorustovich, S.A. y Moya, H.C., 1984. Las fases diastóricas en los Andes del Norte Argentino. *Simposio Intern. Tecton. Centro. And. y Rel. Recur. Nat. La Paz, Bolivia*.
- Shanley, K.W. y Mc Cabe, P.J., 1998. Relative role of eustasy, climate and tectonism in continental rocks. *Society for Sedimentary Petrology, Special Publication*, 59: 233 pp.
- Valencio, D.A., Giudice, A., Mendía, J.A. y Oliver, G., 1976. Pelomagnetismo y edades K-Ar del Subgrupo Pirgua, provincia de Salta, República Argentina. *Actas 6° Congreso Geológico Argentino*, 1: 527-542. Bahía Blanca.