

# Sedimentación

## ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DEL GRUPO SALTA, CON ÉNFASIS EN LAS SUBCUENCAS DE METÁN-ALEMANIA, NOROESTE ARGENTINO

Hernández, R.M.<sup>1</sup>, A. Disalvo<sup>2</sup>, A. Boll<sup>3</sup>, R. Gómez Omil,<sup>4</sup> y C. Galli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>XR Exploracionistas Regionales y Servicios, s.r.l., Alsina, 4400 Salta. xreplor@arnet.com.ar<sup>2</sup>; Compañía General de Combustibles, Alicia Moreau de Justo, 3° Piso, 1006 Buenos Aires <sup>3</sup>Tecpetrol S.A., Maipú 1300, 3° Piso, 1006 Buenos Aires. <sup>4</sup>Pluspetrol S.A., Lima 339, 2° Piso, 1063 Buenos Aires.

### Introducción

El depósito del 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 entrelazados, ríos arenosos efímeros, eólicos, barreales, barreales salinos, lacustres con influencia marina esporádica hasta marino somero. El espesor de estos depósitos supera los 5000 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 kilómetro. del arco volcánico del Cretácico (Hartley et al, 1988). Esta cuenca de rift es sincrónica con la ruptura del Gondwana.

El límite inferior del Grupo Salta, en la zona de Metán-Alemania, es una discordancia angular que los separa de unidades de edad precámbrica y en algunos sectores de rocas ordovícicas (El Chamental y La Merced). 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 Lumbrera) 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).

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

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SUPERSECUENCIA PIRGUA		
C S	a. Sistema Depositional de Abanico Aluvial Proximal	1. Asociación de facies de brechas poligimíticas fango-sostén 2. Asociación de conglomerados poligimíticos, areniscas y conglomerados 3. Asociación de vaques y vaques conglomerádicas
	b. Sistema Depositional de Planicie Entrelazada	1. Asociación de facies de conglomerados poligimíticos 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
N	e. Sistema deposicional Eólico	1. Asociación de facies de areniscas eólicas
A	f. Sistema Volcánico	Basaltos con 45% plagioclasas (An 60-40) y 12% de feldespato potásico

Cuadro N°1

contrastantes, b) reactivación de los sistemas 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 (130 Ma a 75 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). 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

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA BALBUENA 1, 3 y 4		
C S	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
N B	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 N°2

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 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). 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).

Secuencia Pirgua 1. 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 (Blair y Bilodeau, 1988; Shanley y Mc Cabe, 1998). Este límite coincide con la base de la Formación Las Curtiembres (Reyes y Salfity, 1972) en la zona de Alemania, Las Conchas, río Tonco, Isonza, arroyo Palo Pintado y arroyo Las Pirguas. Hay posiciones de la cuenca, como Piedra Blanca, donde este límite es difuso por la superposición de rocas depositadas en ambientes semejantes dando la apariencia de un registro continuo (Figura 2).

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA BALBUENA 2		
C S	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
N B	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
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 3

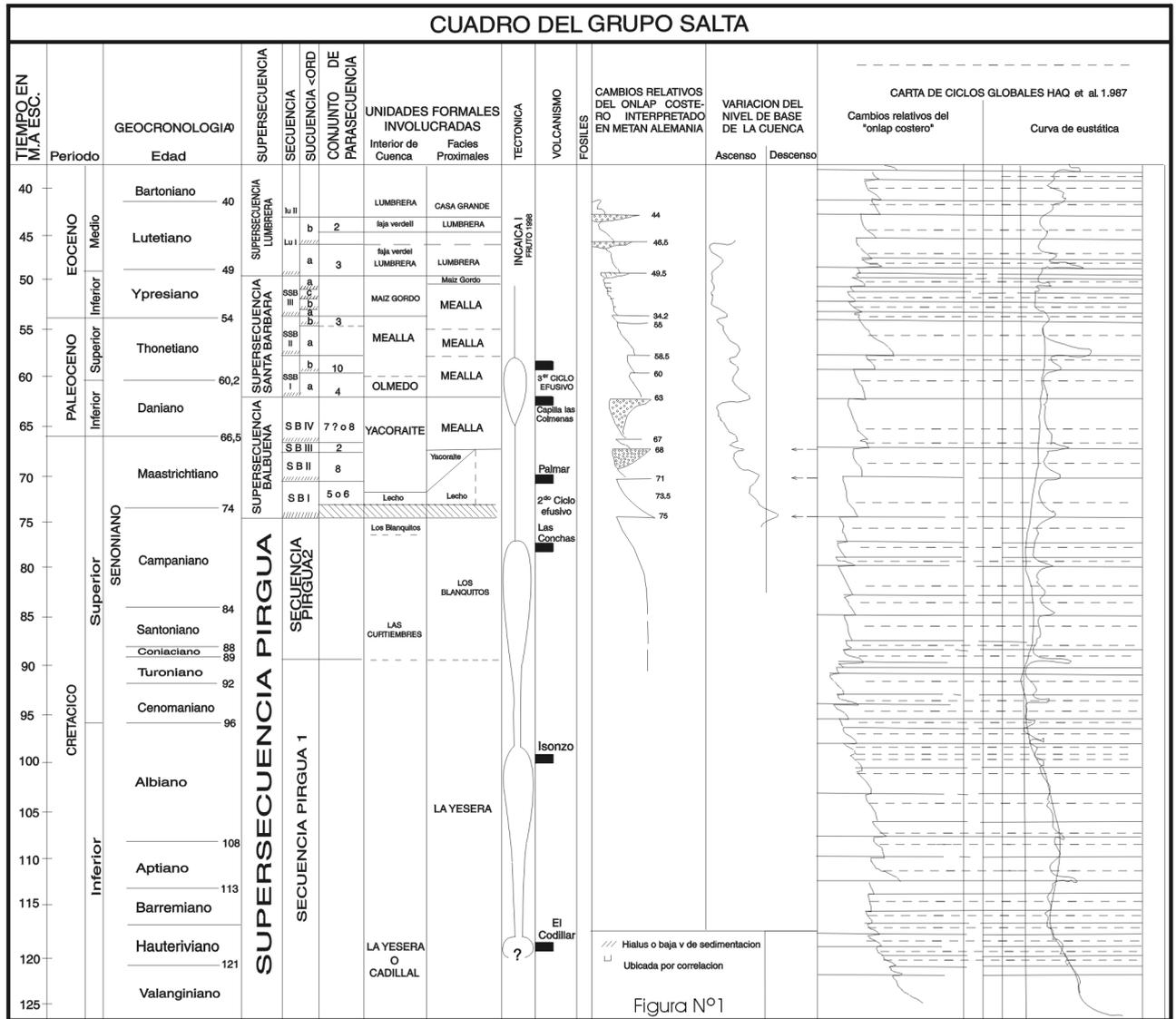


Figura 1.

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.

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

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 Formación Yacoraite que presentan rasgos de exposición subaérea en el techo y las facies lacustres someras suprayacentes de la For-

mación Tunal (Piedra Blanca, Chuñapampa, Las Charcas, 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 Pirgua 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

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 1 - SANTA BARBARA		
	a. Sistema Depositional de Abanico Aluvial	1. Asociación de conglomerados finos macizos 2. Asociación de areniscas gruesas y vaques
C	b. Sistema Depositional 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 Depositional Efímero Próximo	1. Asociación de arenisca con clastos blandos, mal seleccionada 2. Asociación de arcilitas y limolitas laminadas, con grietas de desecación y bioturbación
N	d. Sistema Depositional Efímero Distal	1. Asociación de arcilitas, limolitas y vaques calcáreas con grietas de desecación 2. Asociación de areniscas finas con arcilitas rojas laminadas 3. Asociación de arenisca calcárea con clastos blandos
B	e. Sistema Depositional de Barreal	1. Asociación de vaques bioturbadas, arcilitas y limolitas con rizoconcreciones 2. Asociación de arcilitas dominantes con alternancia de limolitas laminadas y con grietas de desecación
C	f. Sistema Depositional Lagunar Poco Profundo	1. Asociación de limoarcilitas gris-oliva laminadas y con ondulitas de olas 2. Asociación de calizas cristalinas macizas y boundstone criptoalgáceo
S		
N		
A	e. Sistema Depositional de Playa Lake	1. Asociación de arcilitas gris-verdosas y areniscas muy finas en facies heterolítica 2. Asociación de arcilitas verdosas con nódulos de yeso y dolomías

Cuadro Nº 4

Hernández, 1985), cuyo origen se vincula a cambios del nivel de base ya sea por mecanismos eustáticos o climáticos (Legarretta y Uliana, 1998, ver Fig. 3).

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 metros de espesor y es a partir de aquí que se realiza la interpretación ambiental. Estas parasecuencias se agru-

pan 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.

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 clástica y/o carbonática agradante- progradante (CSNA).

El cortejo de nivel de base bajo (CSNB) está 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 y 5; Cuadro 3).

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 2 - SANTA BARBARA		
C	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 conglomerádicas.
S		
N	b. Sistema Depositional Efímero Próximo a Distal	1. Asociación de arenisca con clastos blandos, mal seleccionada 2. Asociación de arcilitas y limolitas laminadas, con grietas de desecación y bioturbación
B		
	c. Sistema Depositional Lacustre	1. Asociación de arcilitas 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, arcilitas y limolitas con rizoconcreciones 2. Asociación de arcilitas dominantes con alternancia de limolitas laminadas y con grietas de desecación
N		
A	e. Sistema Depositional de Planicie de Fango Salino	1. Asociación de limoarcilitas y vaques finos, bioturbados y con grietas de desecación 2. Asociación de arcilitas, mudstone verdosos y paleosuelos, con nódulos de yeso.

Cuadro Nº 5

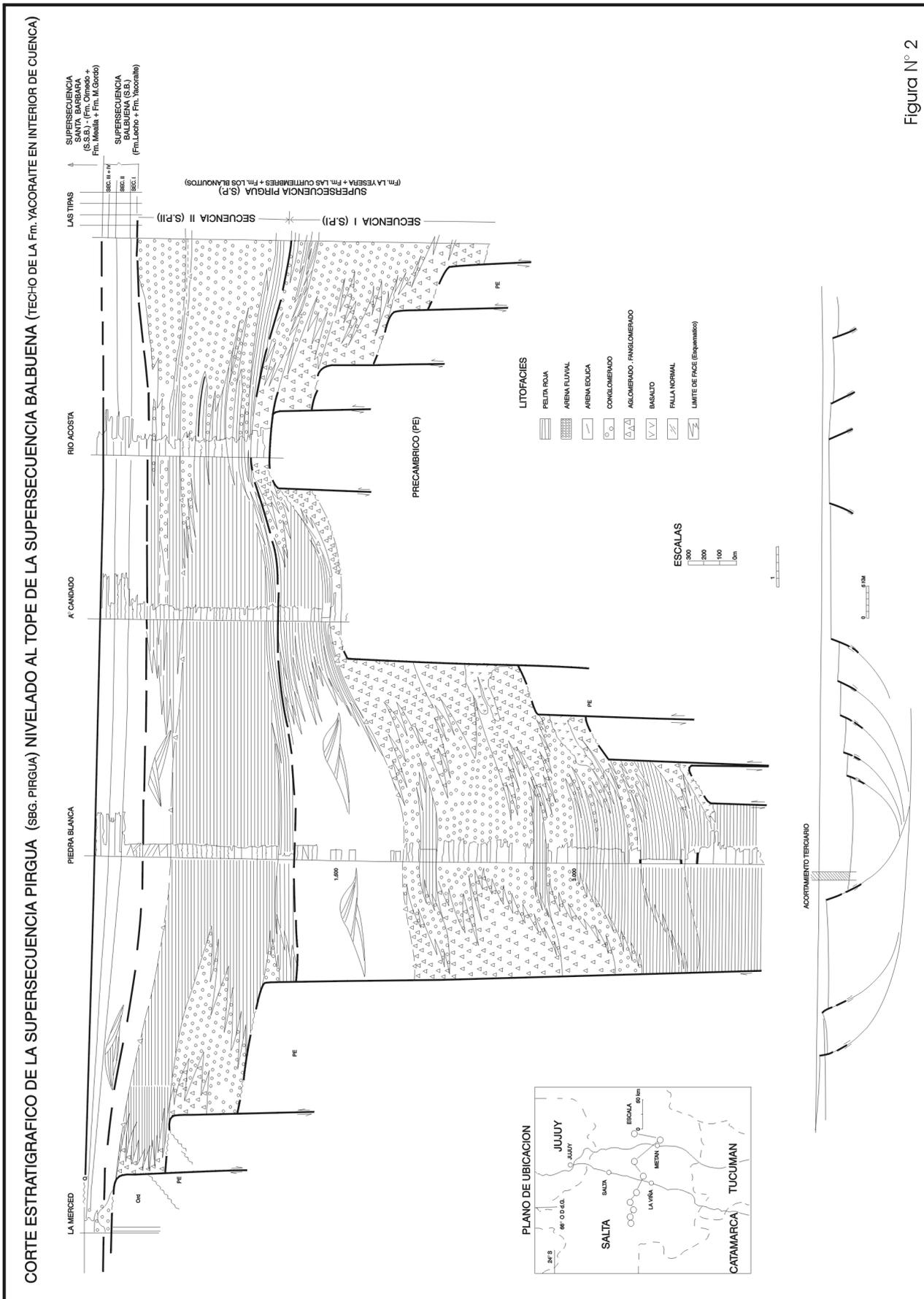


Figura N° 2

Figura 2.

# SUBDIVISIONES Y ARREGLO VERTICAL DE FACIES DE LA SUPERSECUENCIA BALBUENA (Fm. Yacoraite de interior de cuenca) PERFIL EL CHORRO (LOCALIDAD TIPO) - EXTRAPOLABLE AL PERFIL RIO GUACHIPAS

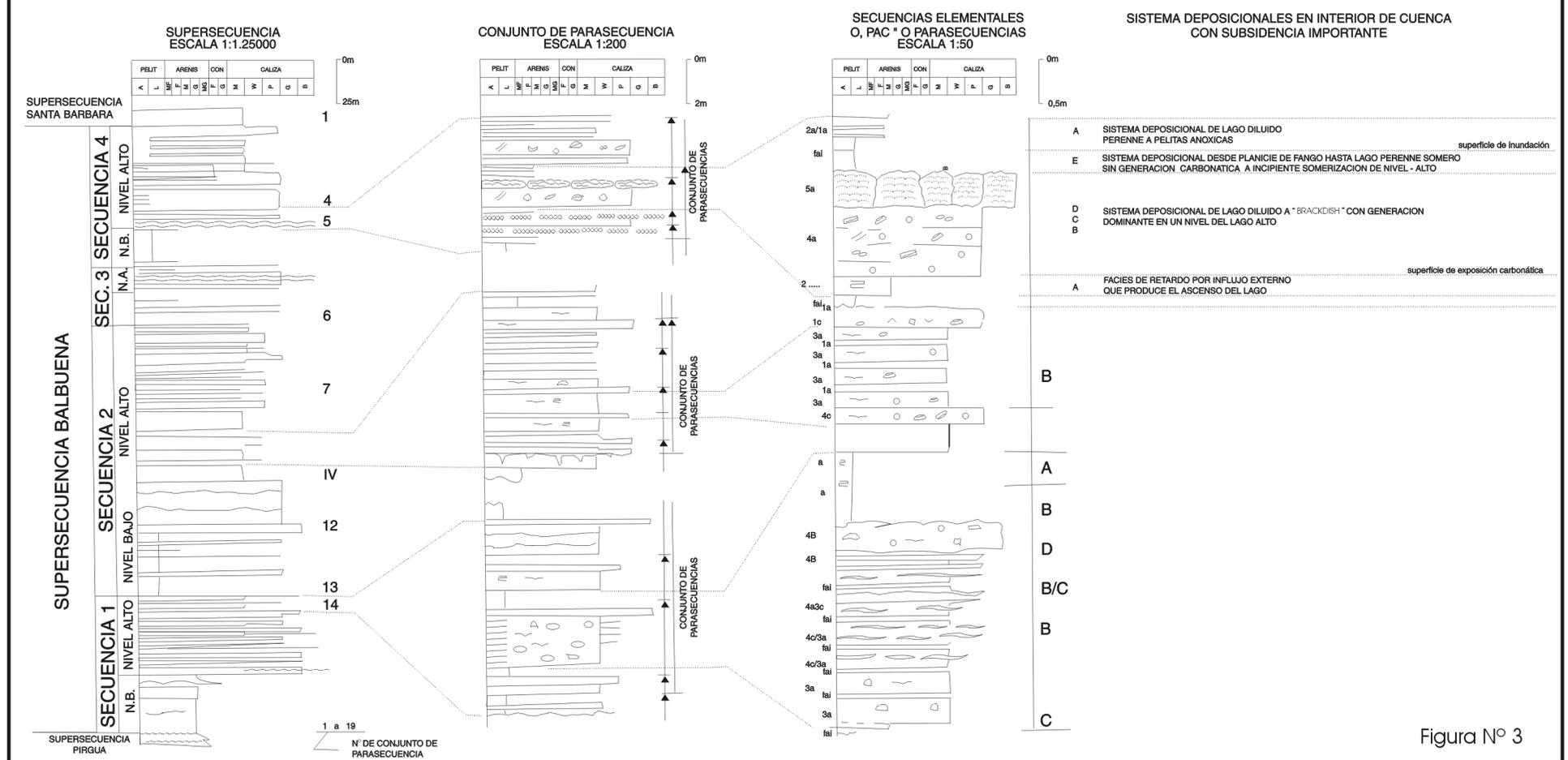
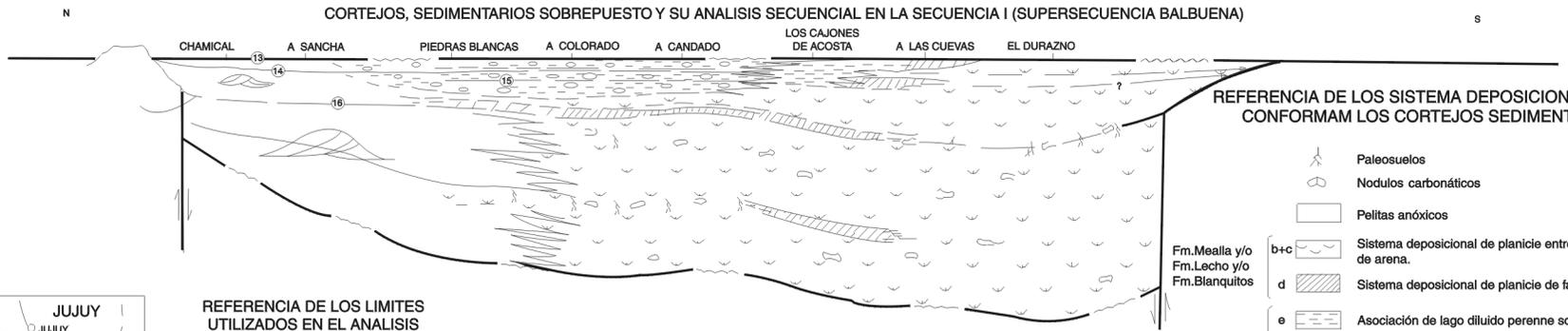
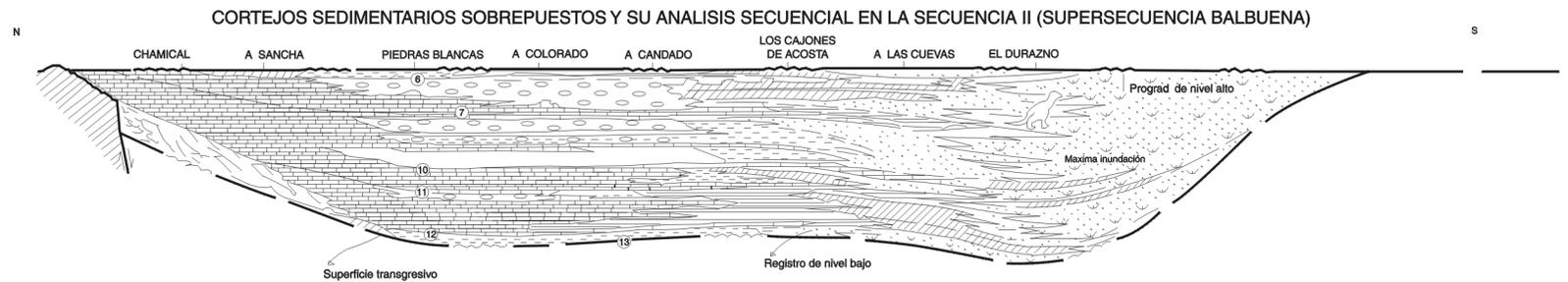
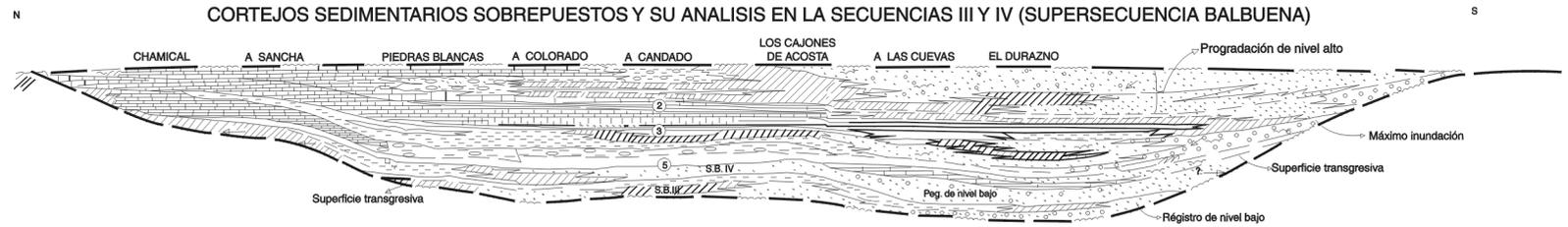


Figura Nº 3

Figura 3.

Figura 4.

### ESQUEMA ESTRATIGRAFICO Y AMBIENTAL



#### REFERENCIA DE LOS SISTEMA DEPOSICIONALES QUE CONFORMAM LOS CORTEJOS SEDIMENTARIOS

- Paleosuelos
- Nodulos carbonaticos
- Pelitas anoxicos
- b+c Sistema deposicional de planicie entrelazado - Planicie de arena.
- d Sistema deposicional de planicie de fango
- e Asociacion de lago diluido perenne somero
- d Sistema deposicional de lago diluido perenne distal con y sin generacion carbonatica
- f1 Asociacion de lago diluido perenne con generacion carbonatica incipiente
- f Sistema deposicional de lago diluido con generacion carbonatica
- g Sistema deposicional edico
- g1 Lirofacies de desembocadura fluvial en cuerpo de agua somero

#### REFERENCIA DE LOS LIMITES UTILIZADOS EN EL ANALISIS SECUENCIAL

- Agradacion
- "On Lap"
- "Downlap"
- Progradacion
- Linea de tiempo de correlacion
- Limite de secuencia
- Limite de secuencia IV

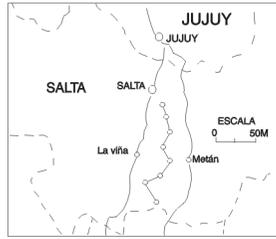


Figura N°4

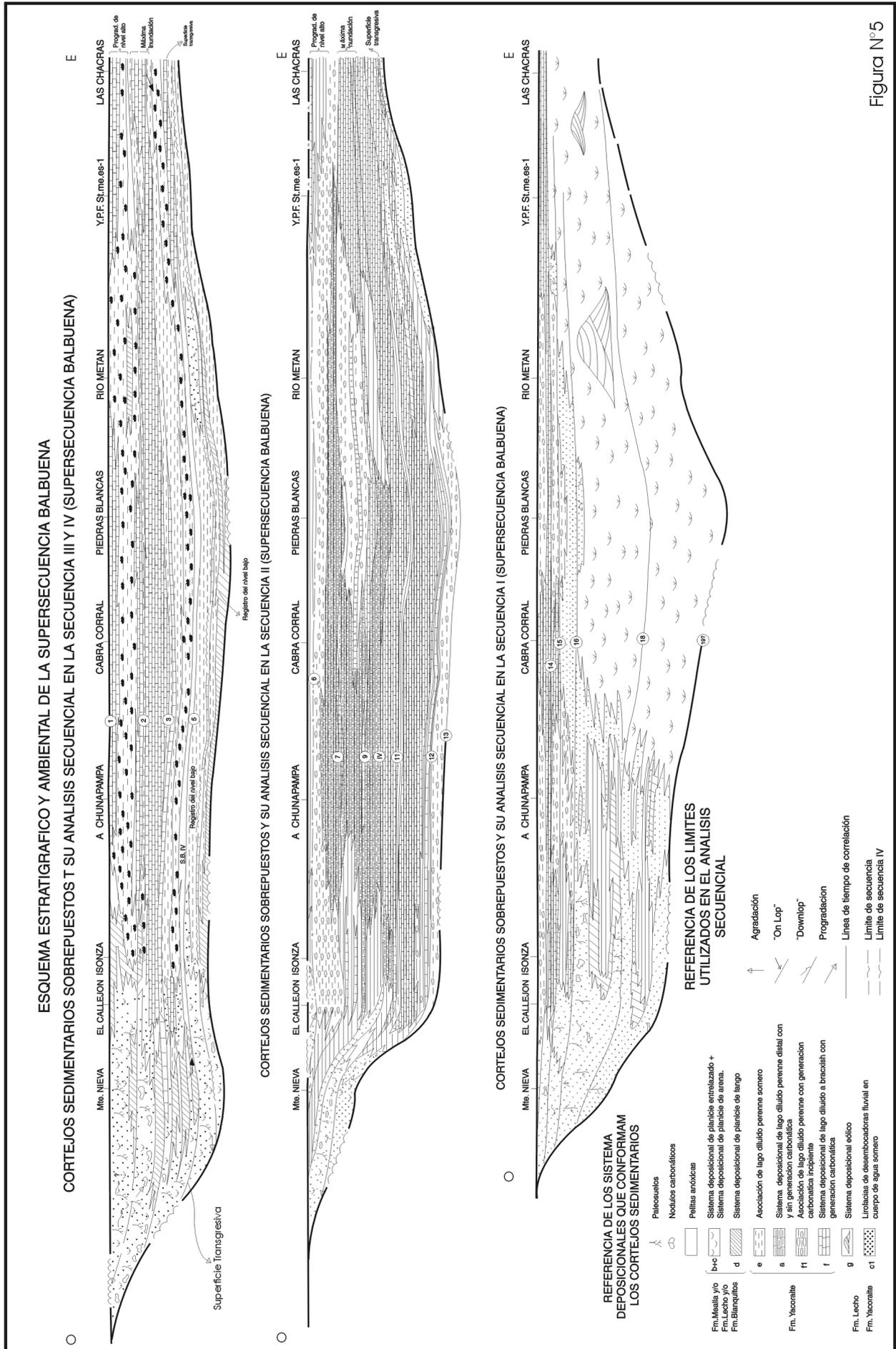


Figura 5.

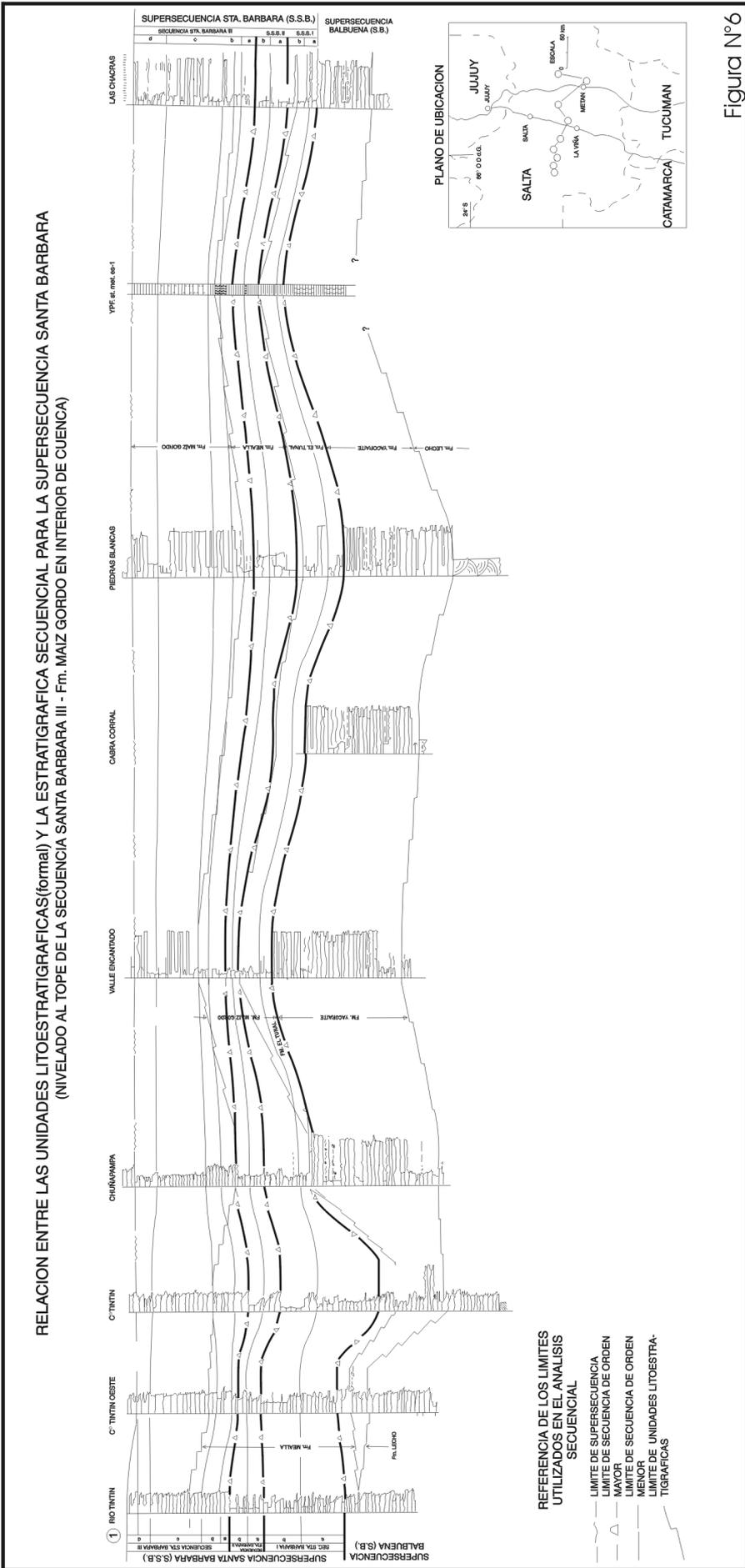


Figura N°6

Figura 6.

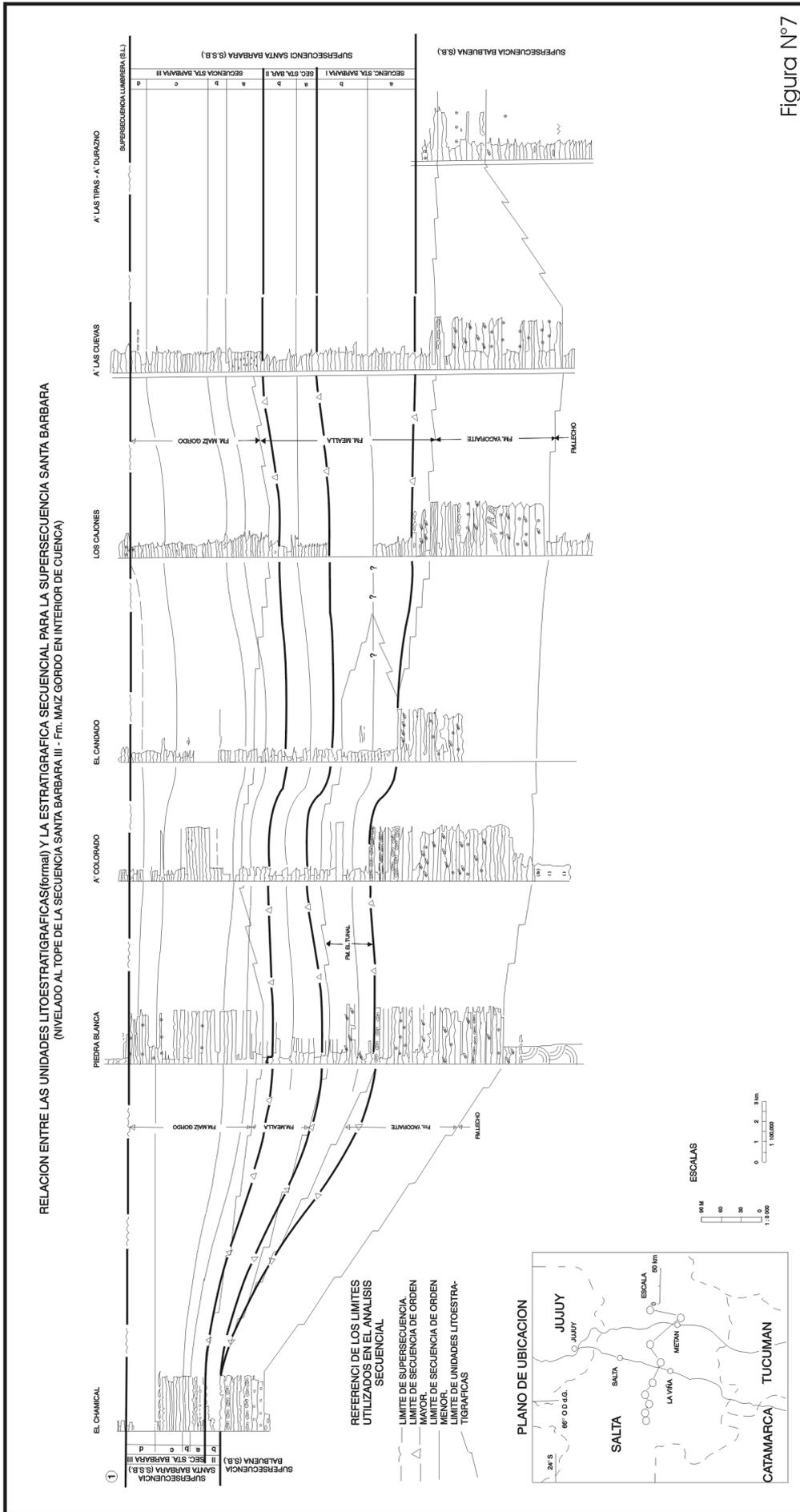


Figura 7.

Por su parte el cortejo de nivel alto (CSNA) muestra una evolución de lago salobre a lago meromítico permanente, asociado a un cambio climático hacia condiciones más húmedas que produce 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).

**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 está 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 efímeros en el cuerpo de agua. En 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.

**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 registro 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.

### Supersecuencia Santa Bárbara (63 a 49,5 Ma)

Se define a la Supersecuencia Santa Bárbara como un espeso conjunto de sedimentitas continentales clásticas, 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 pueden 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.

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.

**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. 6 y 7). 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 respecto 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. 7), como por ejemplo al sur del Valle del Tonco y río Tin-Tin, el límite inferior se identifica por:

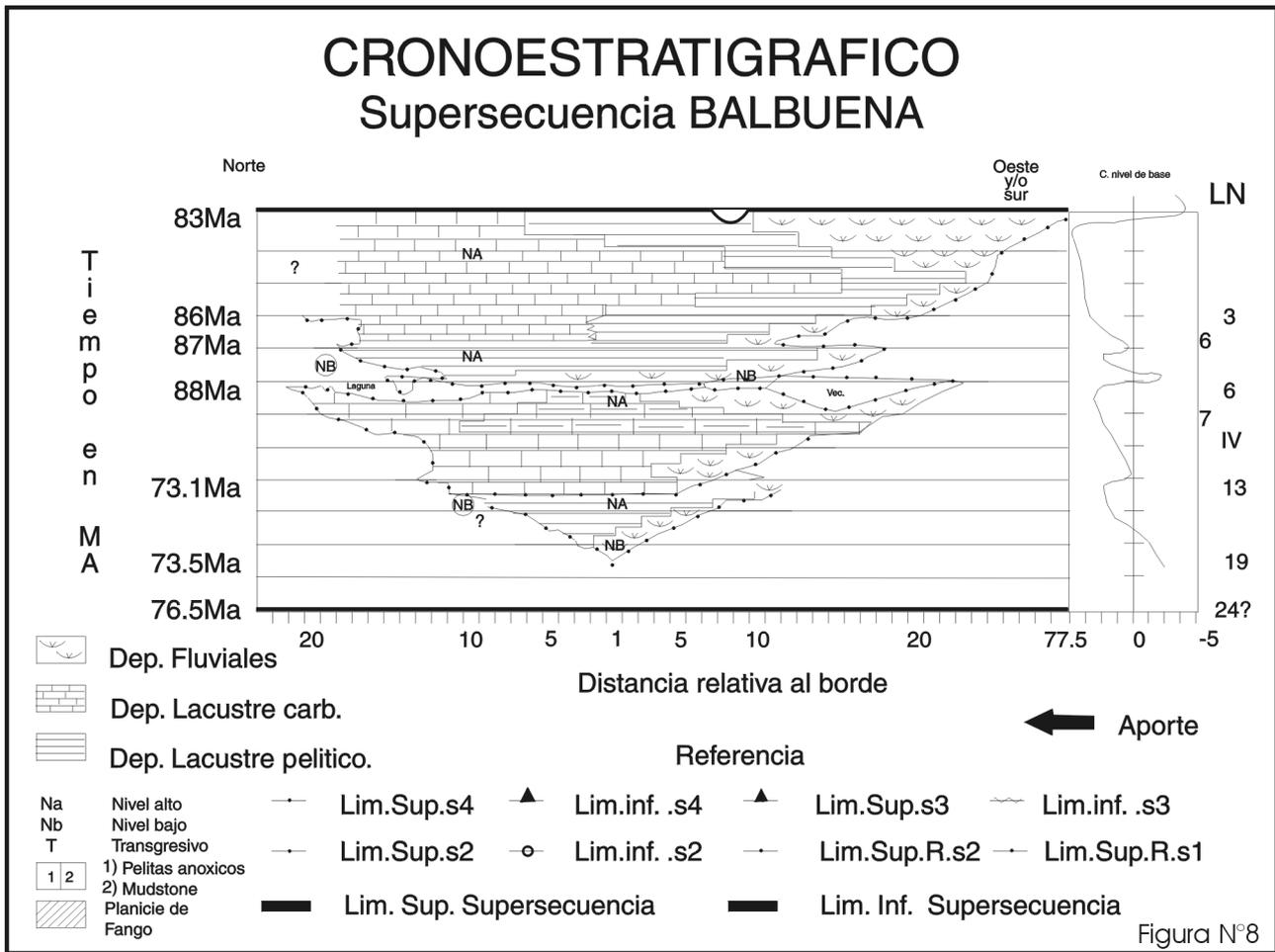


Figura N°8

Figura 8.

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 (e.g. cerro Quitilipi, El Callejón) o por desarrollo de paleosuelos múltiples (e.g. 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. El cortejo sedimentario de nivel de base bajo se registra en las posiciones más subsidentes de la cuenca, asociado 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 hasta el tope del intervalo, donde se desarrolla 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 (e.g. 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 (e.g. 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. 6 y 7). 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.

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 in-

terior de cuenca. Sus espesores en conjunto llegan a más de 200 m (Fig. 6). 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. 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.

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 3 - SANTA BARBARA		
C S N	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. 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.
C S N	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 criptoalgáceo 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 Algácea	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 piritita 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 Nº 6

### Supersecuencia Lumbreira (49 Ma a 36 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.

CORTEJOS SEDIMENTARIOS DE LA SECUENCIA 1 - LUMBRERA		
C S N	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 <b>desecación y ondulitas</b> .
C S N	c. Sistema Depositional de Planicie de Fango	1. Asociación de limoarcillitas rojas, calcáreas, 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.
	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 criptoalgáceo y packstone oolítico-litoclástico.

CUADRO 7

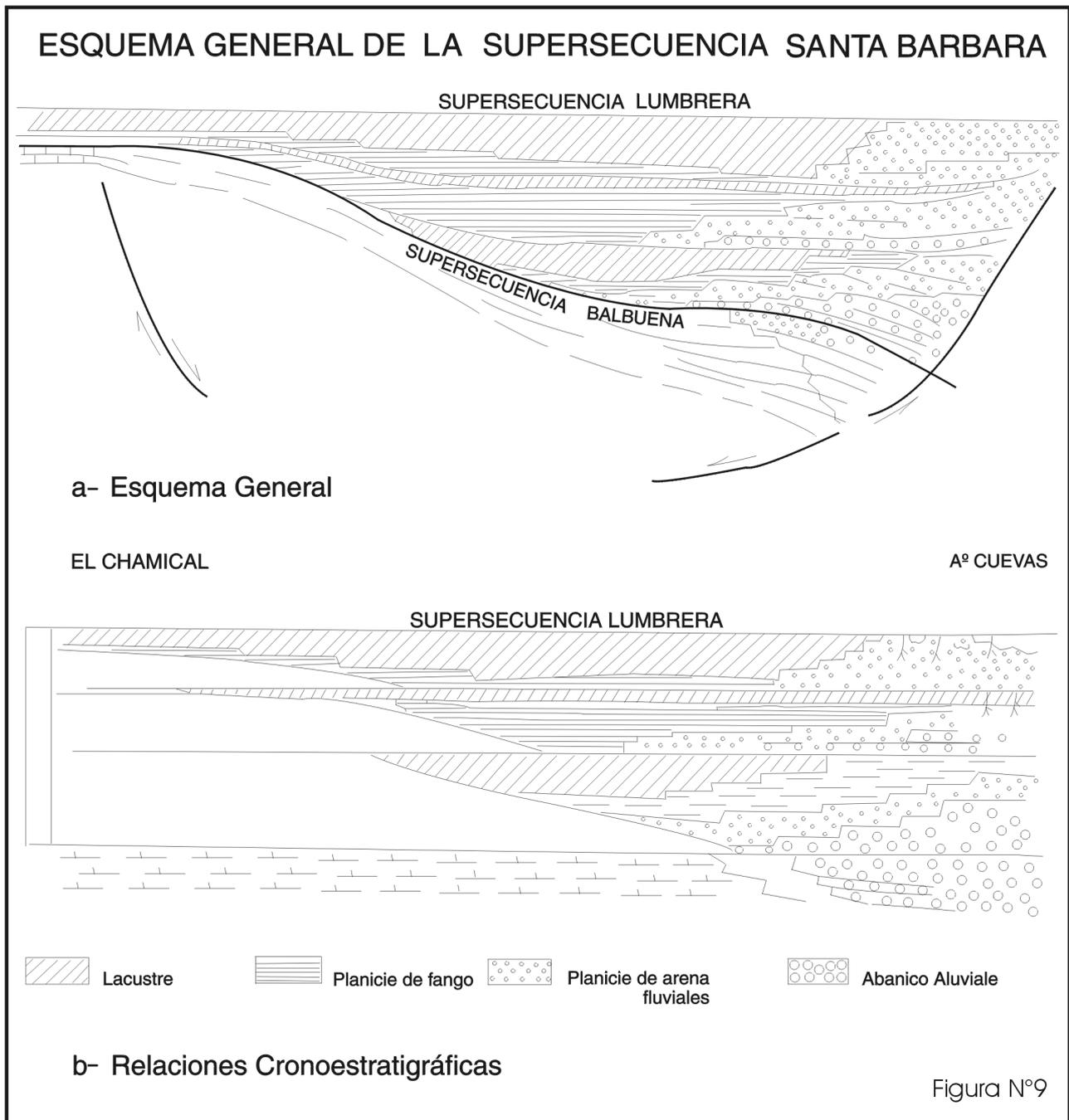


Figura 9.

Secuencia Lumbreira 1. La Secuencia Lumbreira 1 ha sido dividida en dos intervalos de menor jerarquía, que son equivalentes con las secuencias deposicionales 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 interdigitados con una extensa planicie de fango. Esta asociación ha sido clasificada como cortejo sedimentario de nivel bajo. 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 agradante. La tercera etapa (cortejo sedimentario de nivel de base alto) es la expansión lacustre asociada a condiciones climáticas más benignas, evidenciada por facies de planicie interfluvial (pelitas verdes) asociado lateralmente (borde de cuenca) a depósitos de ríos entrelazados areno-conglomerádicos de tipo hú-

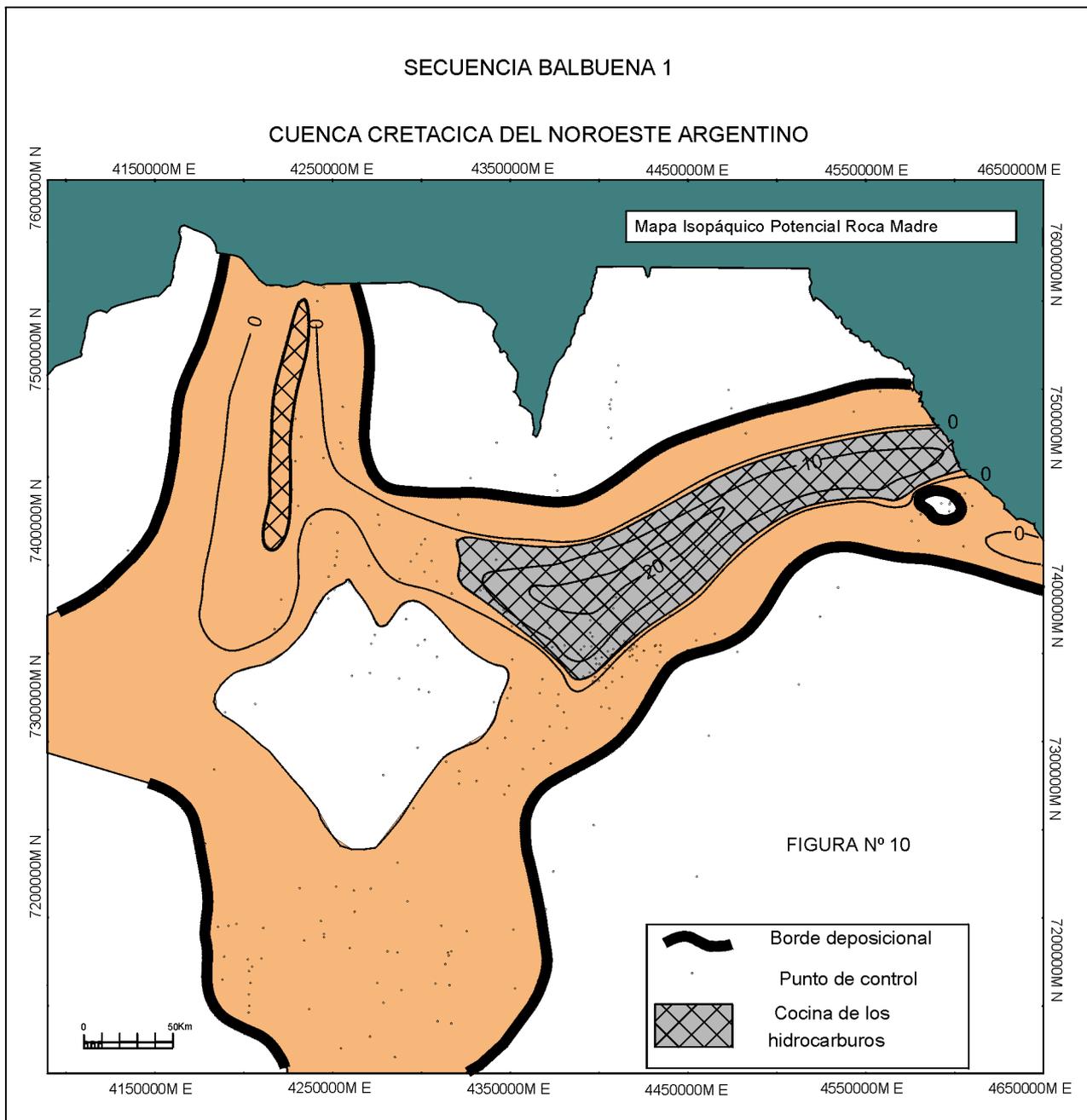


Figura 10.

medo. 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.

**Edad del Grupo Salta**

Los depósitos de la Supersecuencia Pirgua poseen intercalaciones de vulcanitas en la base de la Secuencia 1, conocidos como Basalto de Isonza, con una edad isotópica entre  $114 \pm 5$  Ma y  $96 \pm 5$  Ma (Barremiano-Albiano; Valencio et al., 1976). También han sido descritas vulcanitas 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 y Bossi y Wampler, 1969). La por-

ción superior de la Secuencia Pírgua 2, en la subcuenca de Alemania (río Las Conchas), presenta el vulcanismo 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 Pírgua 1 ha sido depositada en el intervalo Valanginiano-Turoniano y, la Secuencia Pírgua 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

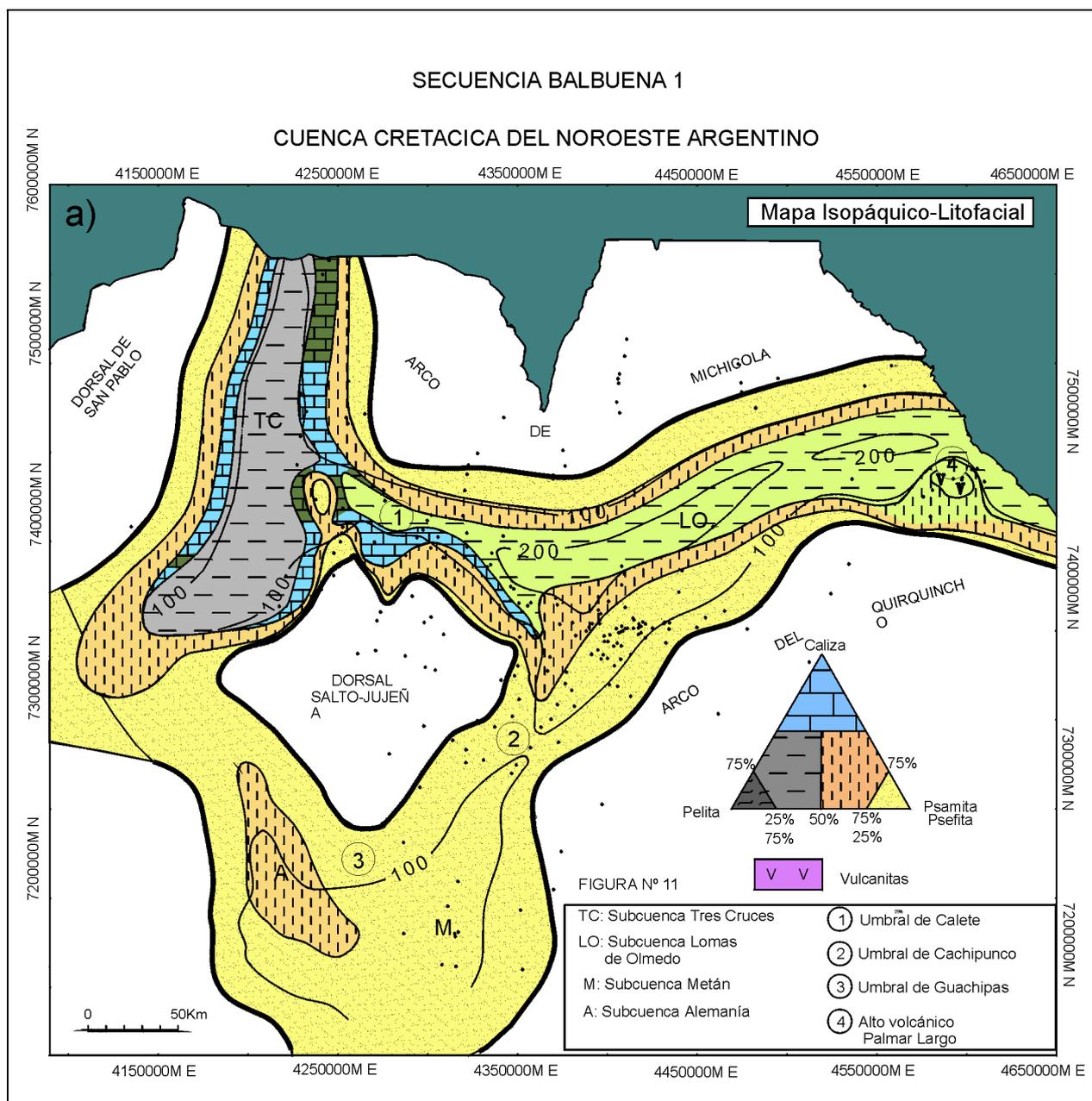


Figura 11.

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

Analizando la relación temporal del conjunto de secuencia, a base de 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.

#### Sistema Petrolero (Figuras 10 a 15)

El sistema petrolero de la cuenca del Grupo Salta ha sido definido como Yacoraite-Yacoraite (Gómez Omil y Boll, op. cit.) y los elementos y procesos que lo componen son similares en las subcuencas de Tres Cruces, Lo-

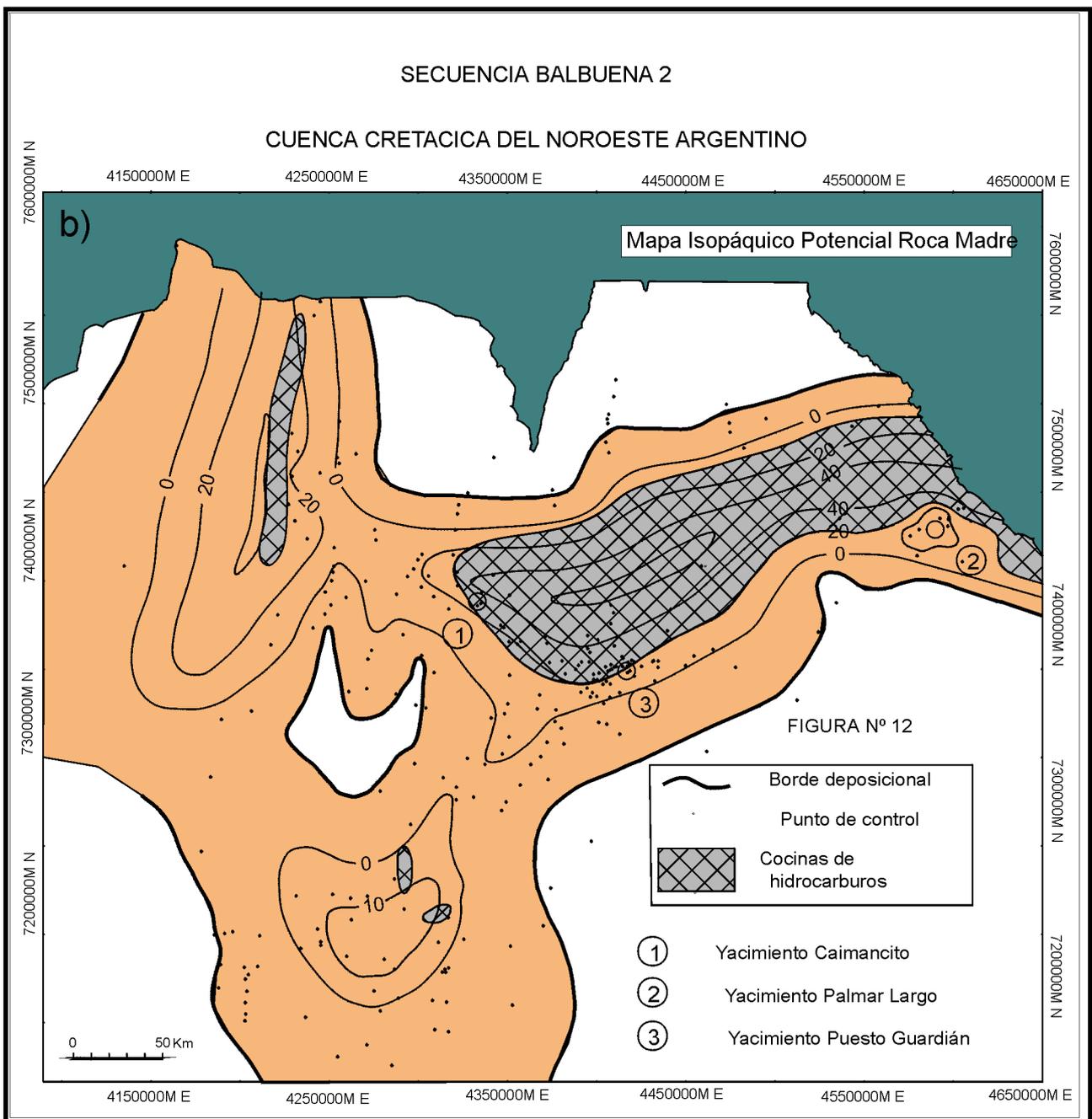


Figura 12.

mas de Olmedo y Metán-Alemania.

Roca Madre. Se concentra casi exclusivamente en la supersecuencia Balbuena, en particular en las secuencias 2 y 4. Las facies con capacidad generadora corresponden a las pelitas negras de interior de cuenca, distantes de las zonas de aporte y en general asociados a los principales pulsos de inundación, como es el caso de la base de la secuencia 4 (Figs. 4 y 5 ). En menor medida participan las calizas arcillosas del tipo mudstone, especialmente en posiciones distales de la rampa carbonática desarrollada alrededor de la Dorsal Salto-Jujeña. Los valores de COT fluctúan entre 1 y 6% en las pelitas y en el orden del 1% para las calizas. La materia orgánica es de origen algal y según análisis de pirólisis el tipo de kerógeno dominante es II-III (Gómez Omil y Albariño, 1996).

Los mayores espesores generadores fueron medidos en los perfiles de Arroyo Piedra Blanca, Río Metán, Arroyo Cabra Corral, Arroyo Tilián, Arroyo Colorado, Las Tienditas, Chamental, Isonza, Escoipe, etc., y en los pozos de los yacimientos Cuchuma y Lumbresas y el pozo YPF.St.Met. es.-1. Si bien estos espesores alcanzan valores de hasta 40 metros, siempre responden a la sumatoria de delgados intervalos correspondientes a los tramos de inundación de las secuencias elementales. También se ha verificado concentración importante de materia orgánica en la Franja Verde II pero está nunca habría alcanzado niveles de madurez necesaria para la generación de hidrocarburos en la subcuenca de Metán-Alemania.

Roca Reservorio. Corresponden a calizas fracturadas y

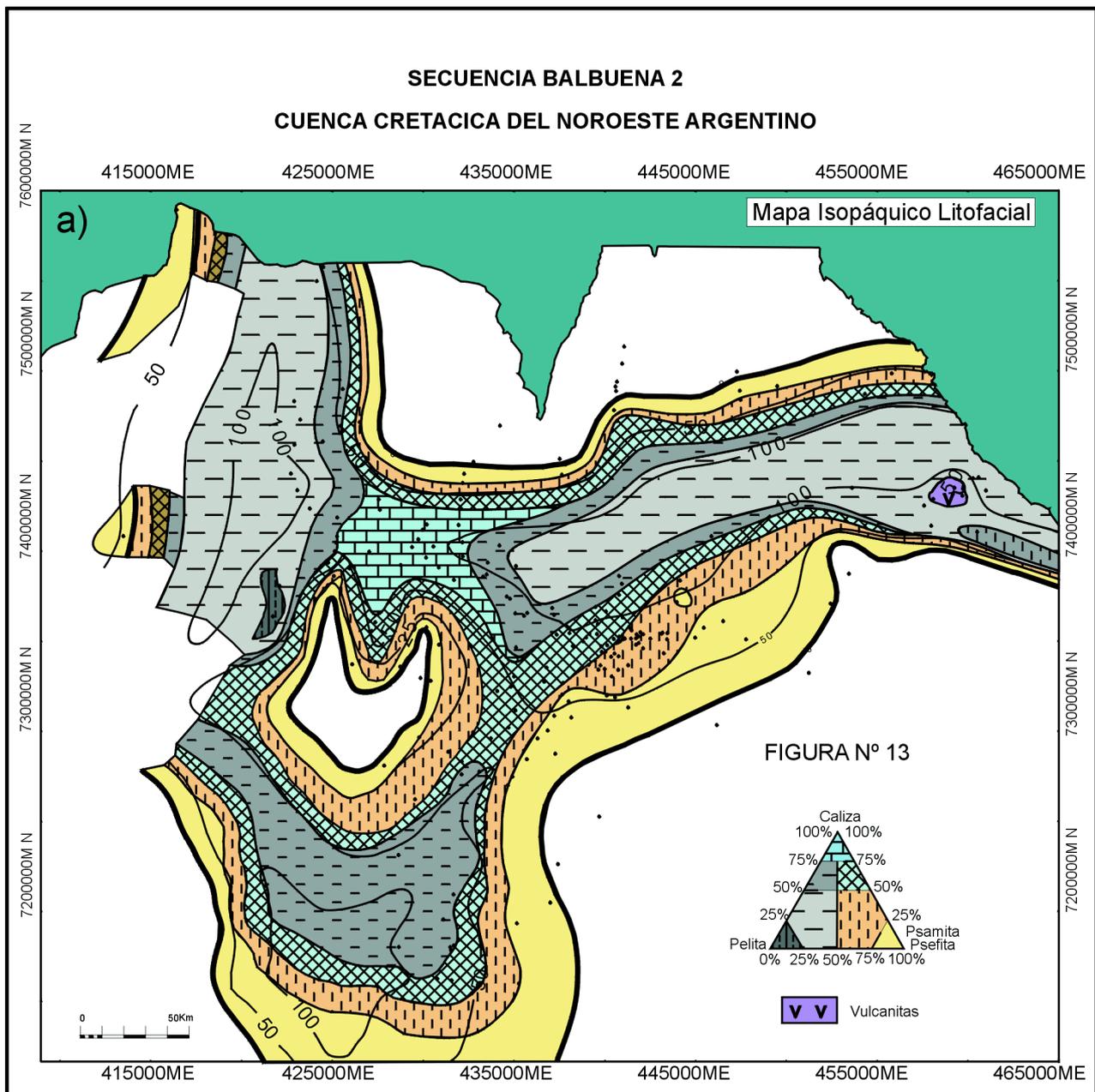


Figura 13.

facies clásticas psamíticas. Las primeras tienen buen desarrollo en la rampa carbonática que rodea la Dorsal Salto-Jujeña y han resultado productivas en los yacimientos de Anticlinal Cuchuma y Lumberas, específicamente los niveles de grainstone oolítico y en menor medida las facies pelíticas (Gómez Omil y Albariño, op. cit.). Las facies clásticas se asocian a sendas caídas del nivel de base, correspondientes a los límites de secuencia 3 y 4, que permitieron la acumulación de espesos intervalos de areniscas eólicas y fluviales en posiciones internas de cuenca, de hasta 20 m de potencia, con buenas propiedades petrofísicas, rodeadas por facies pelíticas negras (Figs. 4 y 5).

Roca Sello. Se reconocen dos tipos de roca sello que han demostrado efectividad en yacimientos de esta subcuenca como en la de Lomas de Olmedo (Gómez Omil y Boll,

op. cit.). Por un lado se destacan los intervalos carbonáticos y pelíticos de la F. Yacoraite que deberían ser particularmente efectivos para los reservorios arenosos y, por otro lado, las potentes secuencias pelíticas de la supersecuencia Santa Bárbara que son sello en los yacimientos Cuchuma y Lumberas.

Generación y Migración. Los datos de vitrinita obtenidos de perfiles de superficie demuestran valores de  $R_o$  inmaduros, inferiores a 0,6%. Sin embargo, en ciertos ejes sinclinales del sector oriental de la subcuenca de Metán, Gómez Omil y Albariño (op.cit.) definieron que el inicio de generación tuvo lugar en el Mioceno Superior en coincidencia con la sedimentación del Araucanense (F. Río Guanaco), producto de una intensa deformación tectónica durante el Mioceno que permitió la deposición de importantes molas sinorogénicas, con notables va-

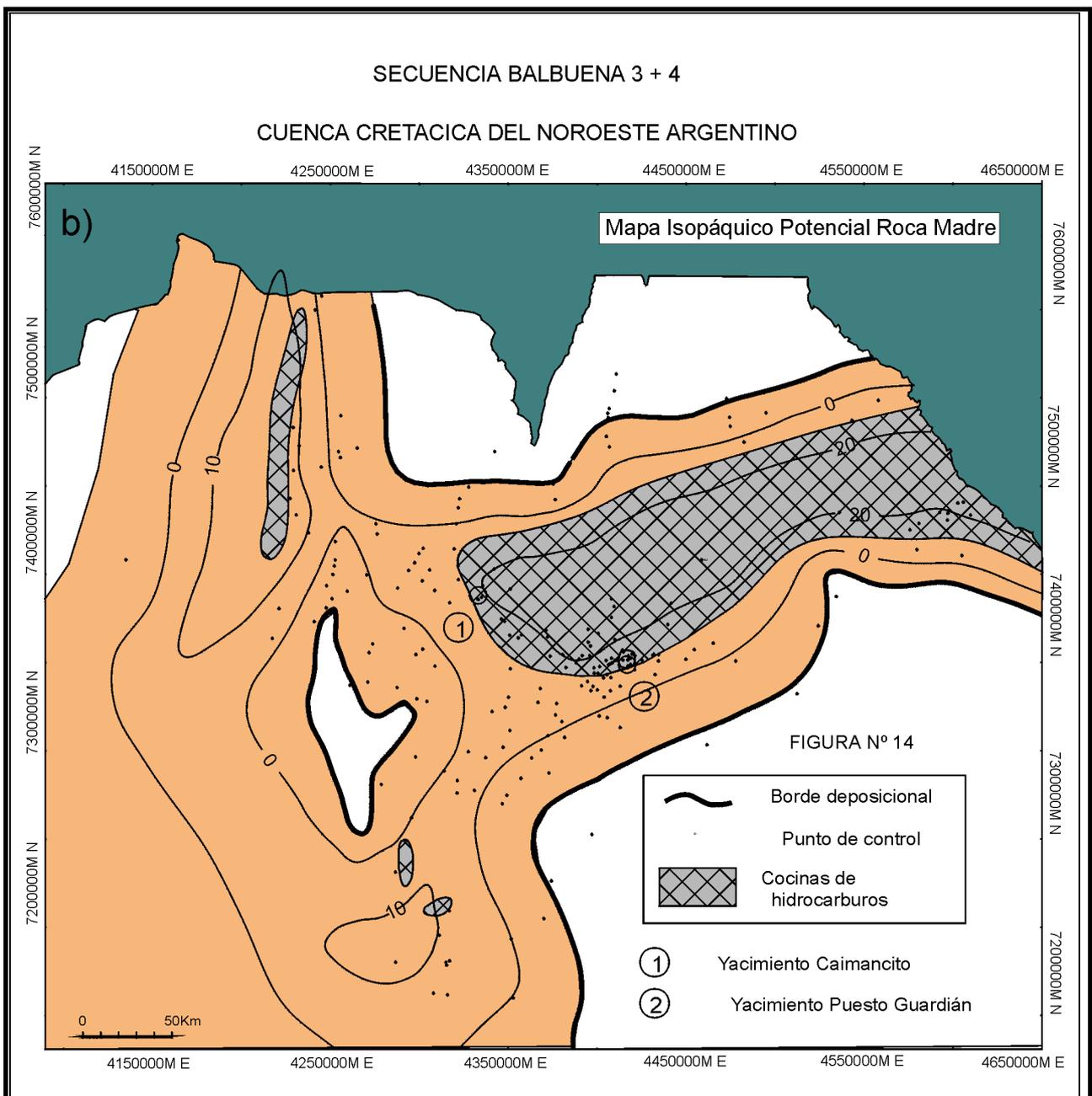


Figura 14.

riaciones de espesor entre las posiciones anticlinales y sinclinales. Como consecuencia de ello, sólo aquellos sinclinales de magnitud regional que alcanzaron soterramientos superiores a los 3200 m para sus niveles generadores y que tuvieron cantidad y calidad suficiente de roca madre, fueron capaces de generar y expulsar hidrocarburos, como es el caso de los yacimientos Cuchuma y Lumberas. Sin embargo los volúmenes acumulados en ambos han resultado exiguos, a pesar de hallarse en plena zona de cocina (migración corta). Por esta razón las migraciones largas tendrían escasa posibilidad de ser efectivas, a lo que se debe sumar la ausencia o escasa continuidad de los carriers ya sean estos arenosos o carbonáticos. Más eficientes debieron ser las fracturas en las facies carbonáticas.

Trampa. Los hidrocarburos descubiertos hasta el presente

están relacionados a estructuras anticlinales correspondientes a la IV Región, definida por Gómez Omil y Boll (op.cit.). Estos anticlinales, generalmente fallados, se vinculan a fenómenos de inversión tectónica y tectónica de lámina delgada en el ámbito de la Cordillera Oriental y habrían comenzado a conformarse antes de la generación de los hidrocarburos (Gómez Omil y Albariño, op. cit).

Llenado de las trampas. Estas trampas han mostrado hasta ahora, en el mejor de los casos, un llenado muy inferior al cierre estructural, como es el caso de los yacimientos de Cuchuma y Lumberas, del orden del 10%. Mientras que otras grandes estructuras perforadas como las de Yatasto, con producción no comercial o, la de Coronel Moldes, sin rastros de hidrocarburos, demuestran

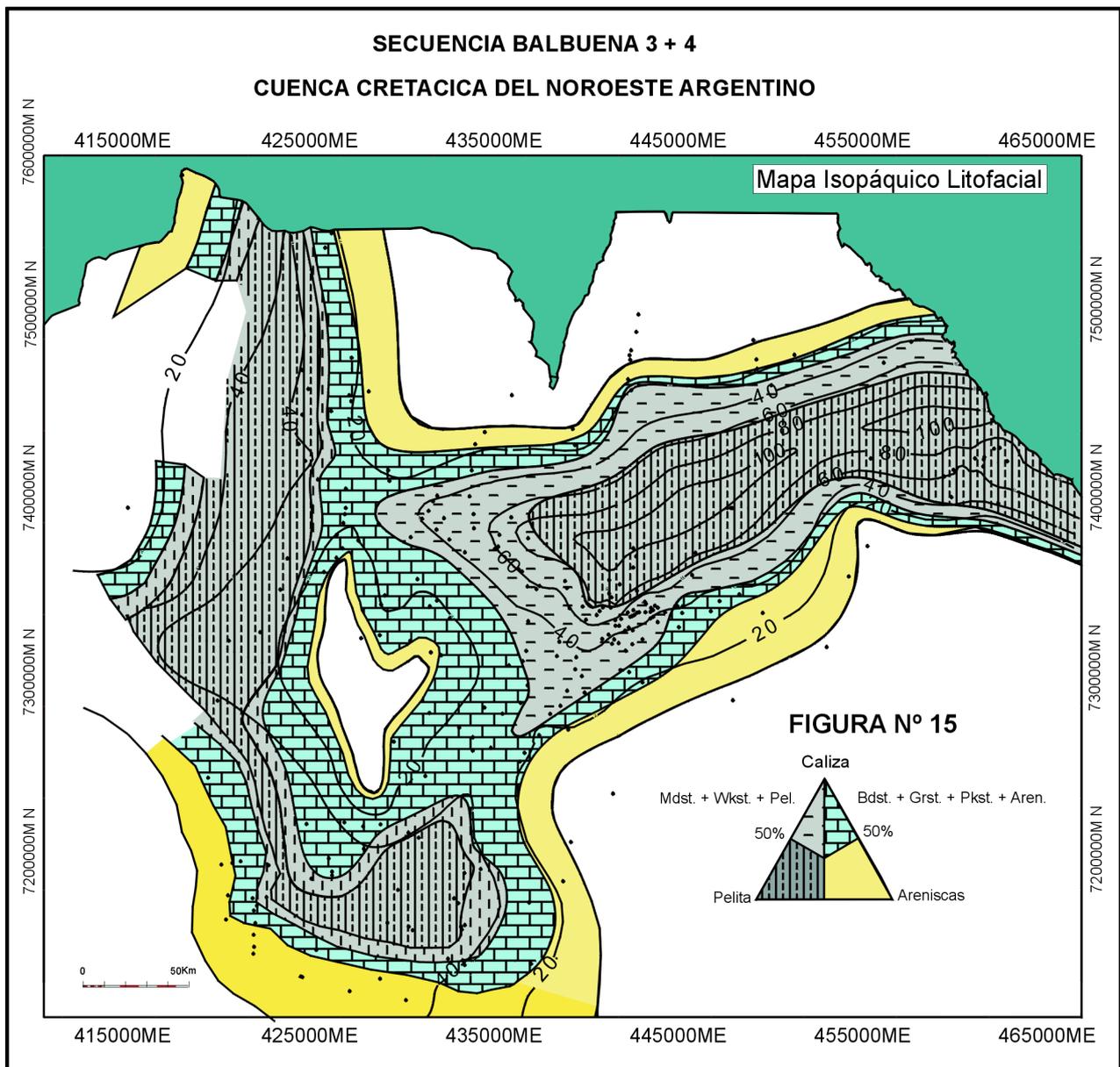


Figura 15.

claramente la falta de llenado. Las principales causas de este déficit en el llenado han sido puntualizadas por los autores arriba mencionados, como los siguientes: a) escaso espesor de la roca madre, b) falta de madurez debido al insuficiente soterramiento de la mayor parte de la subcuenca, c) escasa migración, d) intensa compartimentación estructural y consecuente desconexión "cocina-trampa" y e) biodegradación por influjo de aguas meteóricas.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar un homenaje al Dr. Miguel Uliana por todas las enseñanzas brindadas. Agradecer a YPF S.A. por promover el estudio del Grupo Salta en el Noroeste Argentino y en particular a todo el personal de la Comisión Geológica N° 6. El presente trabajo se ha realizado dentro de la Cuenca Cretácica del noroeste de Argentina, en las subcuencas de Metán y Alemania (Reyes, 1972; Reyes y Salfity, 1972; Schwab, 1984) y es

un complemento y actualización del trabajo «Cuenca Cretácica-Terciaria del Noroeste Argentino» (Gómez Omil et al., 1989).

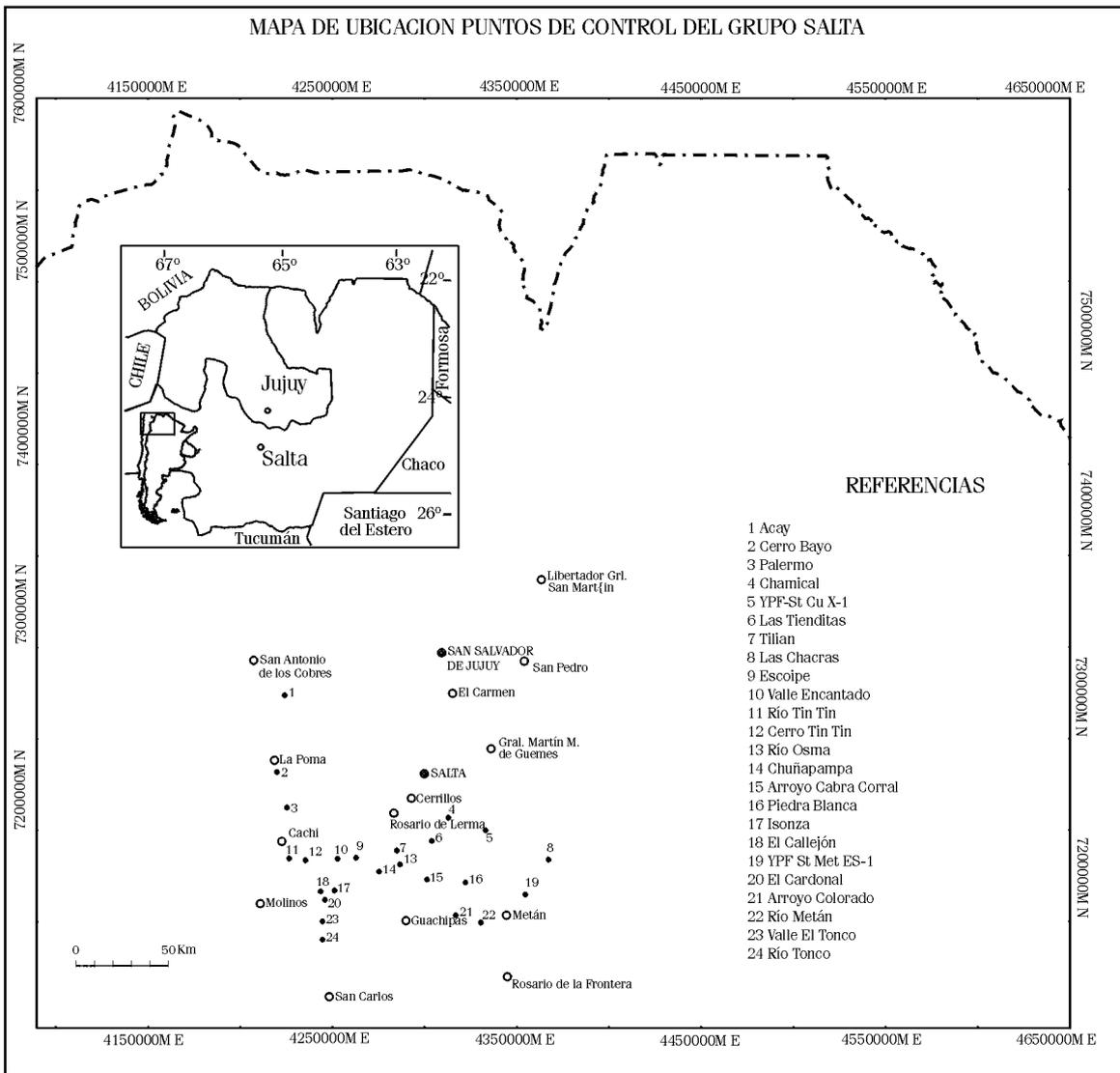


Figura 16.