

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

MODELOS ANALÓGICOS SUPERFICIE SUBSUELO PARA EL CHUBUTIANO INFERIOR DE LAS CUENCAS DE CAÑADÓN ASFALTO Y DEL GOLFO SAN JORGE, ARGENTINA

Eduardo G. Figari¹, Daniel G. García²

1: Gondwanaland S.L., efigari@gondwanaland-services.com

2: YPF S.A., daniel.gerardo.garcia@ypf.com

Keywords: fluvial, lacustre, analogía, superficie, subsuelo, reservorios, Chubut

ABSTRACT

fluvial, lacustrine, analogy, surface, subsurface, reservoirs, Chubut

The Chubut Group, also known as "Chubutian", is a stratigraphic unit that appears not only in the Golfo San Jorge Basin (CGSJ) but also in the Cañadón Asfalto Basin (CCA). The Chubutian presents two regionally differentiable sections: 1) an essentially epiclastic lower section, with significant variations in thickness, more restricted areal distribution, Barremian age to Aptian, and 2) an essentially pyroclastic upper section, with more constant thicknesses, greater areal distribution and Albion to Campanian age. From an economic point of view, the Upper Chubutian is the most prolific productive horizon of O&G in the CGSJ, while the Lower Chubutian, although historically contributing less in production, in recent years has significantly increased it, especially for gas. The objective of this work is, starting from surface information, to describe the architectural elements of the Lower Chubutian and propose a tectosedimentary model that can be extrapolated to subsurface. The reference point are the stratigraphic columns outcropping in the CCA (Fms. Cerro Fortín / Los Adobes), which are the most complete and representative of the tectosedimentary activity in the North flank of the CGSJ and that also allow to analyze the relationship with the pre-Chubutian substrate. In these columns, three coarsening upward sequences are recognized, although the general arrangement of the complete cycle presents a gradual decrease in energy. During the deposition of the whole cycle the sedimentation rate vs space generation was balanced, predominating coarse continental deposits, from alluvial fans to braid-plains evolving laterally and vertically to more sinuous fluvial systems. The proposed model responds to asymmetric depocenters, with strong taphrogenic control, showing opposite polarities and aligned following a defined trend. The paleocurrents in the two initial basal sequences are erratic and greatly influenced by local paleo-relief in confined depocenters while in the latter have a S/ SW general tendency, a consistent trend with the regional paleo-slope followed by an integrated fluvial system. This last sequence is broader distributed but still confined to a submeridian tectonic paleo-valley that discharged in the CGSJ at the time of the Matasiete / Pozo D-129 Fms. In this scenario only in the main axis of the CGSJ, the magnitude of the extension allowed the generation of a permanent huge lake, relatively deep, that permitted the development of euxinic organic facies in its center: Fm. Pozo D-129. Finally, we compare this model with some selected reference wells in the North flank in order to verify the proposed analogy.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca de Cañadón Asfalto (CCA) ubicada en el centro norte de la provincia del Chubut, entre el Macizo Nordpatagónico (MNP) y la Cuenca del Golfo San Jorge (CGSJ) está constituida por varios depocentros de edad Mesozoica separados por bloques basamentales de edad Paleozoica (Fig. 1).

La columna sedimentaria, puede ser dividida en Megasecuencias limitadas entre sí por discordancias regionales que responden a etapas evolutivas de la cuenca (Homocv *et al.* 1991, Figari y Courtade 1993, Figari 2005, Figari *et al.* 2015). Una de estas Megasecuencias corresponde al Grupo Chubut, denominado informalmente como “Chubutiano”. El Chubutiano tiene dos secciones claramente diferenciables a escala regional: a) una inferior esencialmente epiclástica, con importantes variaciones de espesor, distribución areal saltuaria, y edad Barremiano/ Aptiano y b) una superior principalmente piroclástica, con espesores más constantes, distribución areal mayor y edad Albiano/ Campaniano? (Figari *et al.* 2015).

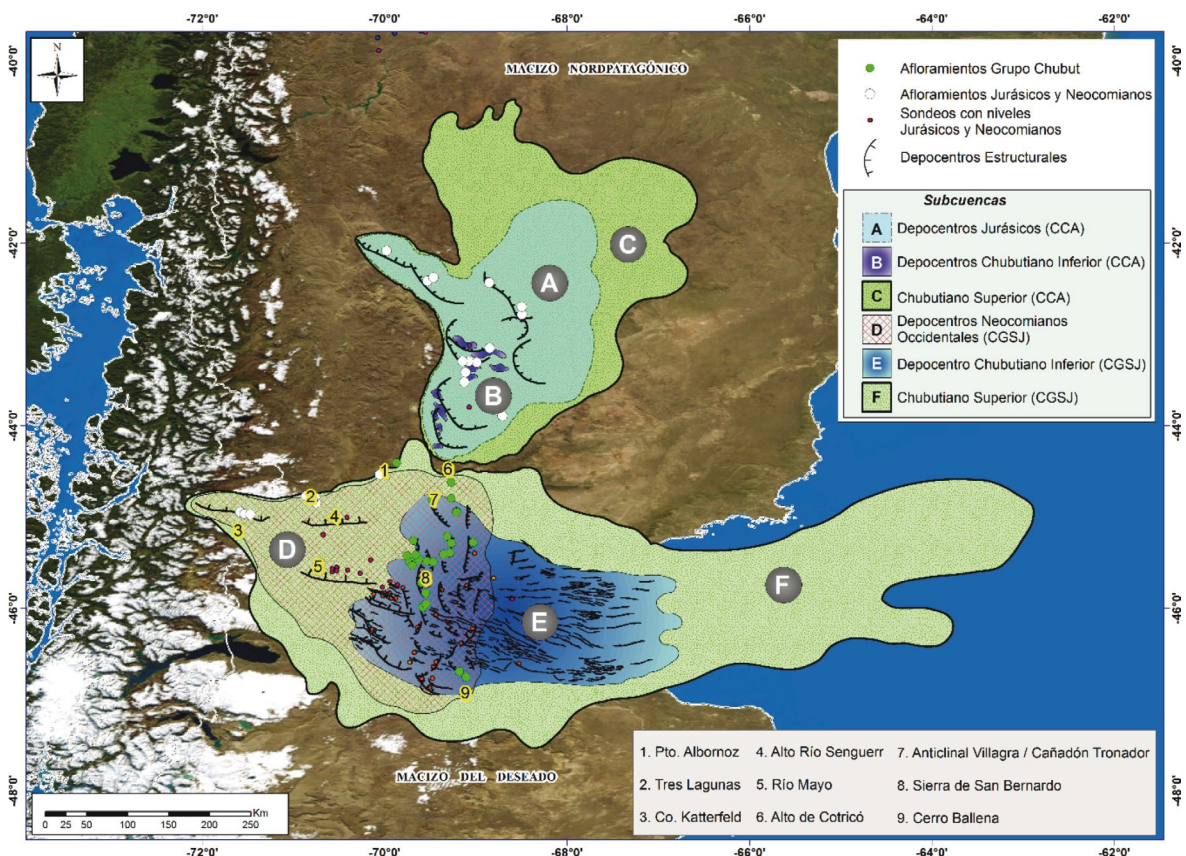


Figura 1. Mapa esquemático mostrando la ubicación de las distintas subcuencas y depocentros (según Figari *et al.* 2015) en el ámbito de las Cuenca de Cañadón Asfalto (CCA) y del Golfo San Jorge (CGSJ).

Desde el punto de vista económico, en la CGSJ, el Chubutiano Superior ha sido y sigue siendo el nivel productivo más prolífico de hidrocarburos (Figari *et al.* 1999, 2002), mientras que el Chubutiano Inferior, si bien aportaba históricamente producciones menores, recién en los últimos años ha incrementado de manera significativa las mismas, especialmente para gas, debido al éxito acaecido durante la exploración de los plays profundos (Iovine *et al.* 2013, López Angriman *et al.* 2014, Allard *et al.* 2011, 2015, Georgieff *et al.* 2016).

El objetivo de este trabajo es, a partir de información de superficie del Chubutiano Inferior en la CCA (ya que sólo allí se encuentran secuencias completas y es posible ver en afloramientos la relación con el sustrato pre-Chubutiano) discutir los posibles controles tectosedimentarios, el paleodrenaje local vs regional y sus vinculaciones con el Chubutiano Inferior de la CGSJ, principal roca madre y play emergente de esta cuenca, con el ánimo de generar un modelo que sea extrapolable a subsuelo.

METODOLOGÍA

Partiendo de la información de trabajos anteriores (Figari y García 1992, Figari *et al.* 2015, Figari y García 2016), se mapearon los numerosos afloramientos del Chubutiano Inferior, en imágenes satelitales para controlar su distribución regional, se revieron perfiles estratigráficos columnares, revisando espesores, describiendo asociaciones de facies, geometrías y elementos arquitecturales (sensu Miall 1996), se integraron las paleocorrientes en una escala regional y plantearon distintos modelos alternativos hasta definir el aquí propuesto.

Por otro lado, esta información proveniente de la CCA se integró con información de afloramientos, sondeos, secciones sísmicas y mapas de la CGSJ para poder obtener la analogía buscada.

EL “CHUBUTIANO INFERIOR” EN LA CCA

Distribución Regional y Espesores

Desde el punto de vista formal, de las muchas nomenclaturas que ha recibido el Chubutiano se adopta la de Codignotto *et al.* (1978), que incluye en el Grupo Chubut a las Formaciones Los Adobes (Chubutiano Inferior) y Cerro Barcino (Chubutiano Superior) por ser la más difundida y descriptiva La Formación Los Adobes, a su vez es dividida por estos autores en los Miembros Arroyo del Pajarito (Facies conglomerádicas) y Bardas Coloradas (Facies limoarenosa borraquina). Mientras que el Chubutiano Superior se extiende desde el Macizo Nordpatagónico al Norte hasta la Sierra Cuadrada al Sur, los afloramientos del Chubutiano Inferior encuentran más restringidos (Fig. 1) extendiéndose desde el flanco oriental de la Sa. de Jalalabat al Norte, en el bajo de Gan-Gan, hasta el flanco sudoriental de la Sa. de Agnia al Sur, en las cercanías de la Sa. Cuadrada.

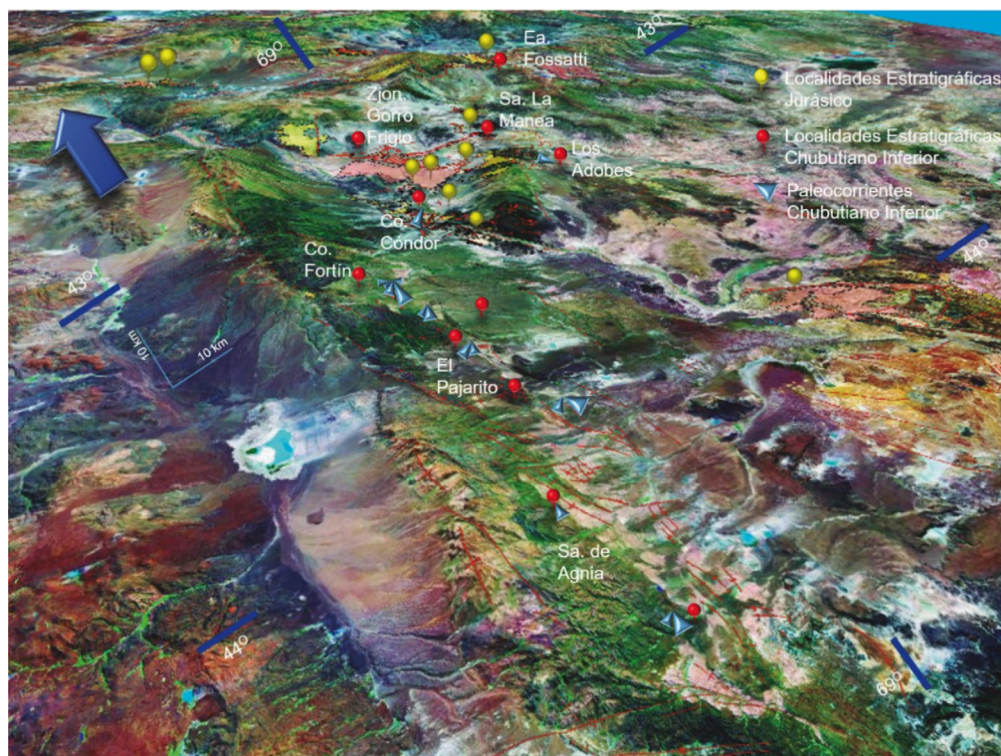


Figura 2. Visión oblicua de imagen satelital, mostrando las principales localidades estratigráficas del Jurásico y del Chubutiano Inferior en la CCA. Nótese la dirección de las paleocorrientes medidas.

Los espesores son muy variables ya que van en algunos casos de decenas de metros hasta centenas. Esta variabilidad, así como los cambios de facies asociados despertó desde un primer momento nuestro interés. Los depocentros principales reconocibles en superficie fueron denominados de Norte a Sur: a) Ea. Fossatti b) Zanjón del Gorro Frigio c) Sierra de la Maná/ Bajo de Tierras Coloradas d) Los Adobes e) Co. Cándor f) Co. Fortín g) El Pajarito h) Sa. de Agnia (Fig. 2).

De todos estos afloramientos se destacan los del Co. Fortín, por su mayor espesor y excelente exposición en un suave monoclinal de más de 9 km sobre flanco oriental de la Sa. de Lonco Trapial, que permite recorrer lateralmente los mismos, estudiando no sólo las facies sino también las geometrías y los elementos arquitecturales. Aquí Robbiano (1971) definió la Formación Cerro Fortín (equivalente de la Formación Los Adobes), la CNEA (Landi *et al.* 1988) trabajó durante varios años relevando la zona por su mineralización uranífera y Figari y García (1992) realizaron el primer estudio de elementos arquitecturales y medidas de paleocorrientes en la zona. Es por ello por lo que utilizaremos este perfil como sección y localidad tipo para describir al Chubutiano Inferior en la CCA (Fig. 3).

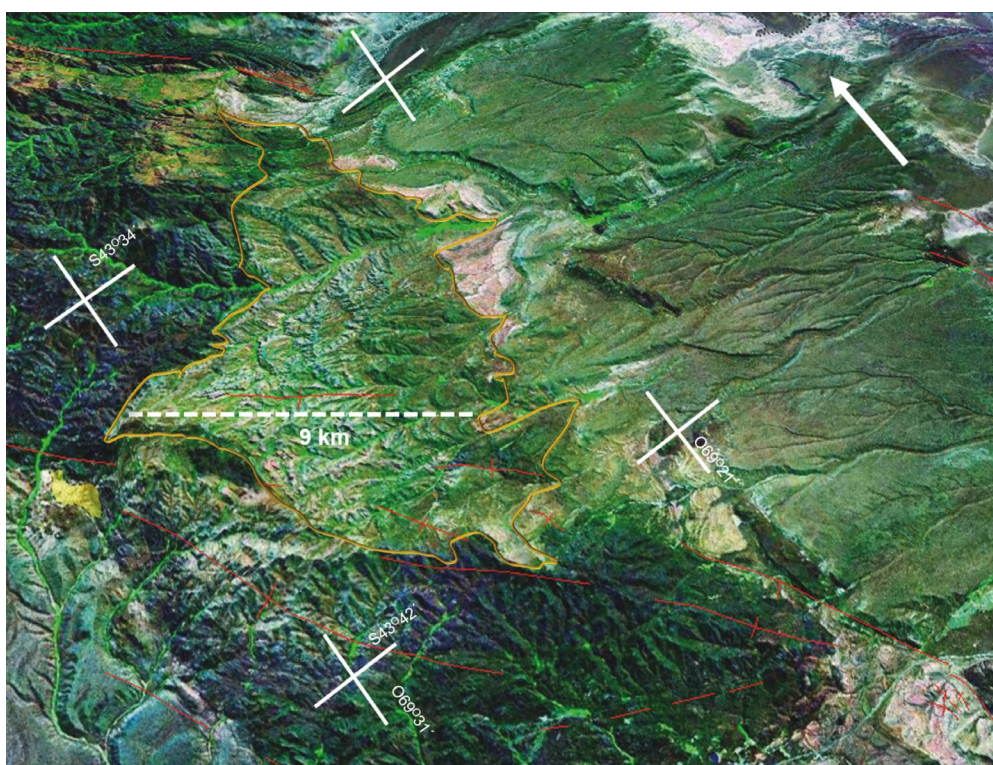


Figura 3. Visión oblicua de imagen satelital, de los afloramientos del Cerro Fortín, considerada como sección y localidad tipo para el Chubutiano Inferior en la CCA. Nótase la variabilidad de espesor lateral asociada con la geometría deposicional de esta unidad.

Asociaciones de Facies y Elementos Arquitecturales

La columna estratigráfica del Co. Fortín (Fig. 4) ha sido dividida en tres secciones informales (gris, amarilla y roja), correspondiendo cada una de ellas con una secuencia deposicional de 3° orden. El arreglo de cada una de ellas tiende a ser grano-estratocreciente pero el de todo el ciclo es grano-estratodecreciente mostrando un paulatino decrecimiento de la energía y del espacio disponible. Las discontinuidades que las limitan han recibido una jerarquía relativa. La de mayor rango (1° orden) es la discordancia basal. De 2° orden es el límite superior de la unidad (contacto Fms. Los Adobes/Co. Barcino). De 3° orden el límite entre secuencias y aún se podría diferenciar un orden menor (parasequence sets).

Comenzando la descripción de base a techo, la SI está constituido por un apilamiento de conglomerados gris verdosos, polimícticos, clasto sostén. Contactos netos, suavemente erosivos, estructuras de corte y relleno y superficies de reactivación. Masivos a estratificación horizontal cruda (Gm1) o con imbricación y estratificación oblicua de bajo ángulo (Gm2). Escasos restos de troncos. Se intercalan areniscas castañas con entrecruzamiento planar, dispuestas en cuñas “sand wedges” (Sp1) o subparalelas a la estratificación mayor (Sm1). En menor proporción conglomerados con estratificación entrecruzada planar gruesa (Gp1) y aisladamente flujos de detritos (Gms). El

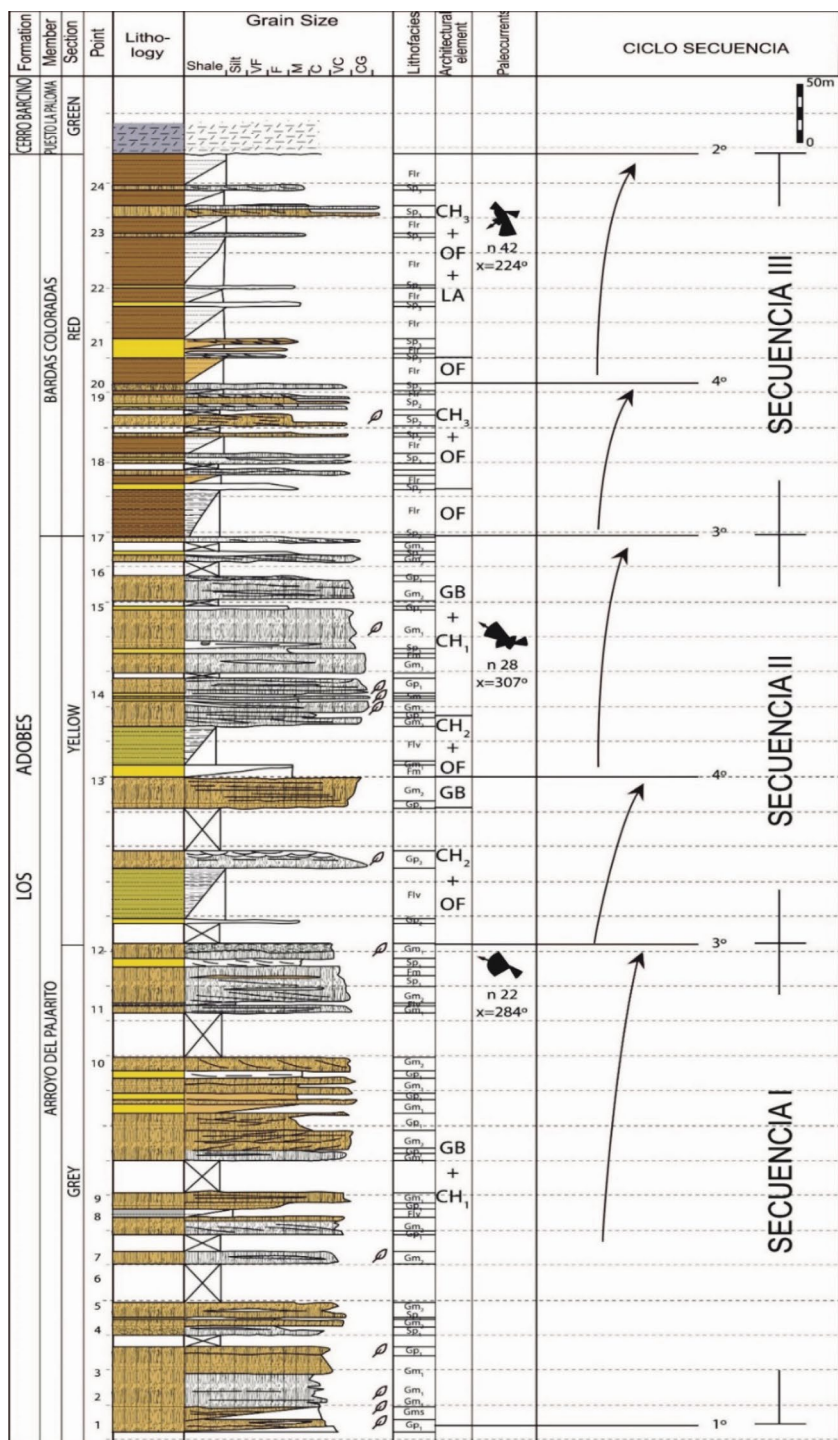


Figura 4. Columna estratigráfica del Co. Fortín (modificada de Figari y García 1992) que se considera la sección tipo para la Fm. Los Adobes (Chubutiano Inferior).

material fino se encuentra subordinado a escasas intercalaciones de arcilitas verdes laminadas (FLv) o drape de arcillitas carbonosas (Fm). A mesoescala las litofacies conglomerádicas se disponen en capas de 3/4m de espesor y 50/80 m largo, con geometría lenticular, base neta y techo suavemente convexo, que amalgamándose originan bancos tabulares de gran extensión lateral (r: ancho/profundidad > 100). Estos conjuntos mayores han sido interpretados como macroformas (Fig. 5) originadas por la migración de barras longitudinales, transversas y formas de lecho gravosas (GB) en ríos entrelazados (CH1). Participación de abanicos aluviales distales o subordinada (escasez de Gms).



Figura 5. Parte inferior de la Fm. Los Adobes (Chubutiano Inferior) en el cerro Fortín. Allí la SI está compuesta por depósitos de barras longitudinales conglomerádicas y cuñas arenosas de gran dimensión.

La SII, presenta dos ciclos estrato-grano crecientes. El primero comienza con un brusco incremento en la participación de finos, representados por arcilitas verdes y moradas (Flv). Entre

ellas se intercalan niveles areno-gravosos, castaños amarillentos de gradación positiva, base neta erosiva y entrecruzamiento planar y en artesa (Gp2). La geometría es lenticular a mesoescala con un r : ancho/profundidad de 30/40. Se interpreta como canalizaciones (CH2), originadas por cursos fluviales móviles de baja sinuosidad (Fig. 6), de carga de lecho mediana a gruesa con una incipiente planicie de inundación (OF). Hacia arriba vuelven a aparecer las litofacies gruesas (Gm, Gp) del elemento GB. El ciclo luego se repite con los elementos CH2+OF pero hacia arriba el material fino prácticamente desaparece, aunque abundan dentro de los niveles GB intercalaciones Sp con restos de troncos (mineralizados) e intraclastos arcillosos (I) algunos de hasta 50 cm de diámetro.



Figura 6. La SII, comienza con un brusco incremento en la participación de finos, representados por arcilitas verdes y moradas. Entre ellas se intercalan niveles areno-gravosos, castaños amarillentos de gradación positiva, base neta erosiva y entrecruzamiento planar y en artesa con intraclastos arcillosos, originados por cursos fluviales móviles de baja sinuosidad.

La SIII, presenta también dos ciclos estrato-grano crecientes. Predominan las arcilitas rojas y moradas (Flr), masivas o con laminación paralela fina, en parte bioturbadas, entre las que se intercalan cuerpos arenoconglomerádicos castaño rojizos, con entrecruzamientos planares y en artesa (Sp2 y Sp3) y gradación positiva (Fig. 7). Los cuerpos de base erosiva geometría lenticular presentan en algunos casos (especialmente en el ciclo superior) superficies de acreción lateral (LA). El r : ancho/profundidad es < 15 . Se interpreta que estos depósitos corresponden a canales que integraron un sistema de mediana a alta sinuosidad (CH3) y una planicie de inundación bien desarrollada (OF).



Figura 7. En la SIII predominan las arcilitas rojas y moradas entre las que se intercalan cuerpos arenosos castaño rojizos, con entrecruzamientos planares y en artesa, gradación positiva y en algunos casos acreción lateral que corresponden a canales que integraron un sistema de mediana a alta sinuosidad y una planicie de inundación bien desarrollada.

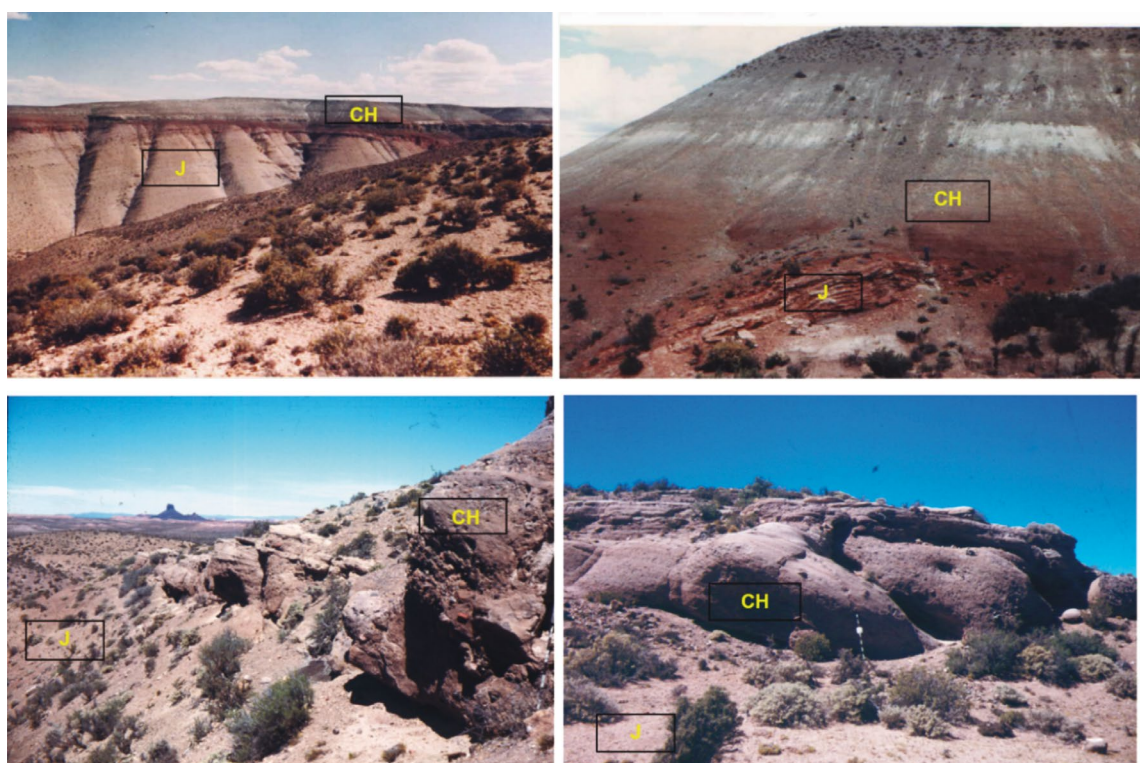


Figura 8. Imágenes de la espectacular discordancia angular entre el Chubutiano (CH) y distintos niveles Jurásicos (J). Las dos fotos superiores son de las cercanías del Valle medio del Río Chubut, al Sur de Cerro Cóndor y las inferiores de Sierra de La Manea/ Bajo de Tierras Coloradas.

Paleodrenaje

Se tomaron medidas de paleocorrientes en todas las secciones (Cerro Fortín, Sa. de Agnia, Cerro Cóndor, Arroyo del Pajarito, Los Adobes, Sierra de la Manea, Estancia Fossatti). La primera conclusión a la que se llegó es que mientras las paleocorrientes de las SI y SII son de alta variabilidad hasta erráticas (en las secciones en las que está presente) las medidas obtenidas en la SIII (presente en todas las localidades de la Fig. 2) domina la tendencia S/SO (por ejemplo, en Fig. 4 n:42/ X= 224°). Se interpreta entonces que mientras en la etapa de depositación de las SI y SII el paleorelieve local generó un control muy fuerte, con la existencia de depocentros locales en la etapa póstuma de la SIII el relieve se suaviza por denudación, los sistemas fluviales se integran y domina una paleopendiente regional que drenaba desde el MNP hacia el Sur.

Controles y Modelo Tectosedimentario

El principal resultado de la generación de espacio Chubutiano, donde bloques kilométricos habrían rotado en sentido horario dentro de un sistema de cizalla dextral (Geuna *et al.* 2000, Figari 2005) es la espectacular discordancia angular de la base de esta unidad y los bruscos cambios de espesores y facies que se observan en el Chubutiano Inferior. Nótese la actitud de esta discordancia regional entre las secuencias basales del Chubutiano y las Jurásicas en la zona del Río Chubut y Sierra de La Manea (Fig. 8).

Siguiendo además la evolución lateral y vertical de las Secuencias I, II y III, así como su relación directa con los bloques pre-Chubutianos, el modelo tectosedimentario propuesto para el CH Inferior, responde a depocentros asimétricos, con fuerte control tafrogénico, y donde la tasa

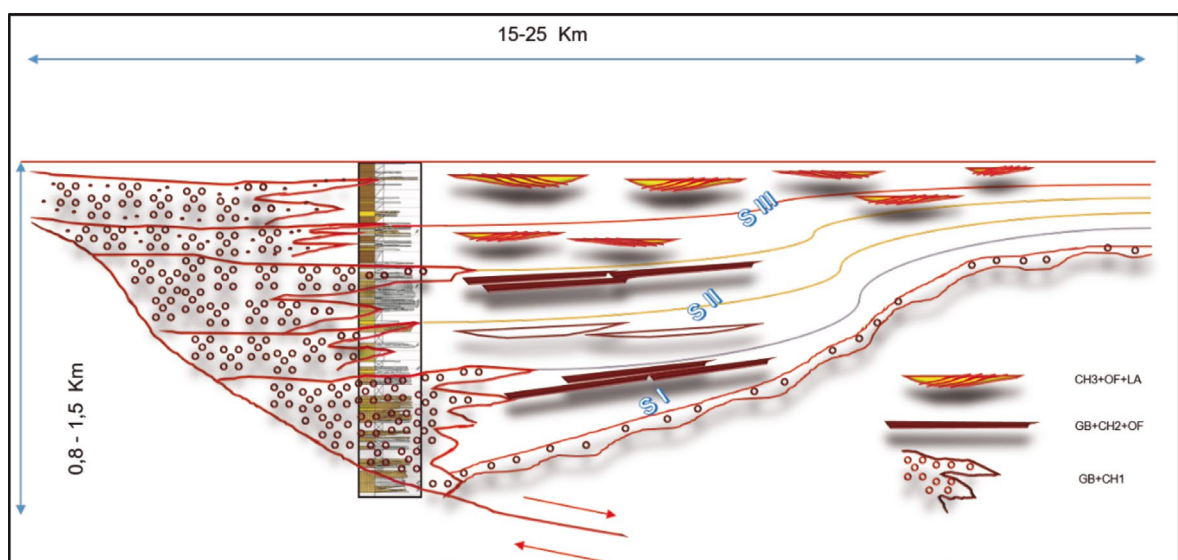


Figura 9. Modelo tectosedimentario propuesto para los depocentros del CH Inferior de la CCA, con fuerte control tafrogénico y variaciones de espesores y facies. Nótese la relación de los elementos arquitecturales correspondientes a las SI, II y III.

de sedimentación está balanceada con la generación de espacio, con bruscos cambios de facies tanto lateral como verticalmente (Fig. 9).

Este modelo de depocentros asimétricos se repite a lo largo de una faja de orientación submeridiana, con cambios de polaridad, y localmente con bruscas variaciones de rumbo (dog leg), mostrando el control de bloques basamentales y antiguos lineamientos reactivados sobre la traza de esta. Esta faja se interpreta como un paleovalle tectónico que drenaba desde el MNP hacia el Sur (Fig. 10).

EL “CHUBUTIANO INFERIOR” EN LA CGSJ

Relaciones e interconexiones entre la CCA y CGSJ

Así como en las etapas pre- Chubutianas los depocentros Jurásicos y Neocomianos se encontraban aislados por elementos basamentales (Fig. 1), es a partir de la generación de espacio Chubutiano donde las cuencas de CCA y CGSJ se empiezan a relacionar. Es por ello por lo que la Cuenca Chubutiana (sensu lato) no es la evolución directa de los episodios de rifting anteriores sino

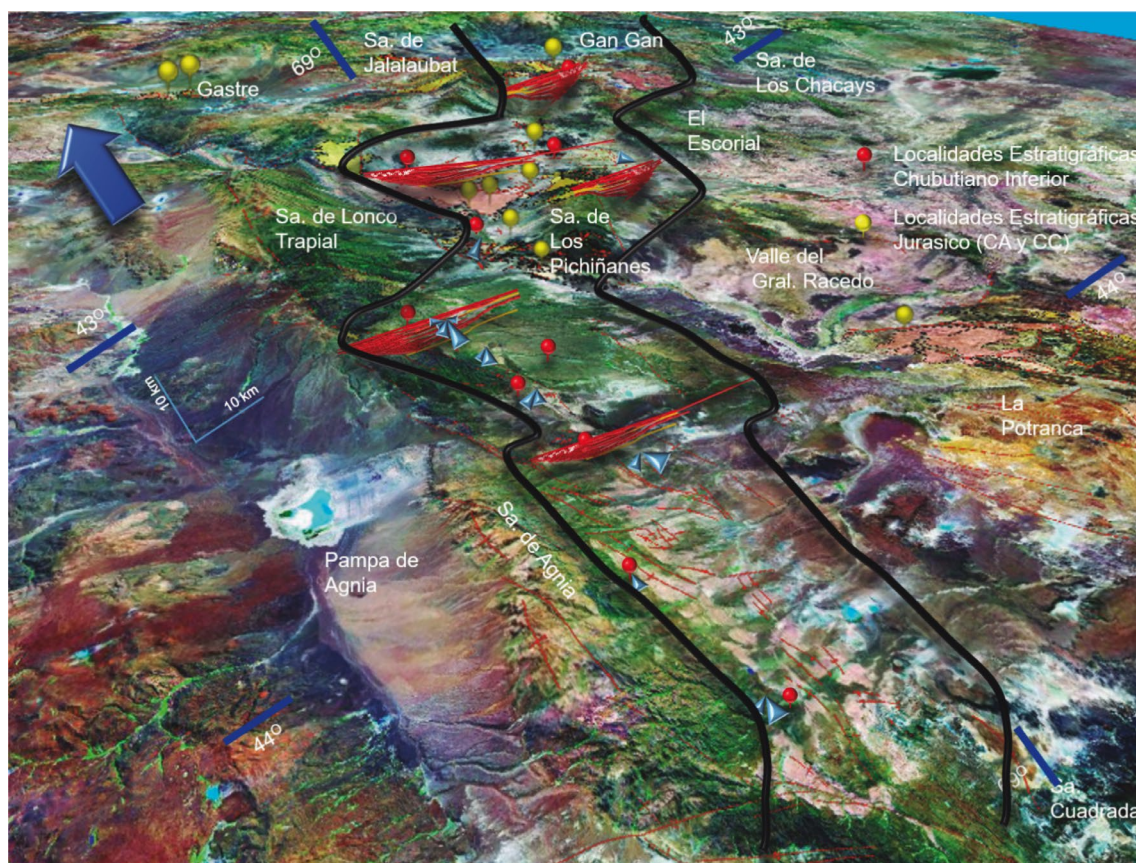


Figura 10. Vista oblicua de imagen satelital mostrando el paleovalle tectónico que drenaba desde el MNP hacia el Sur al tiempo del Chubutiano Inferior. Nótese el control de bloques basamentales rotados y el diseño de tipo dog leg.

el resultado de un evento independiente (Figari *et al.* 1999, 2002) que coincide sólo parcialmente de manera espacial, pero no en los máximos espesores de sus depocentros ni en su génesis.

Por eso se entiende que la rotación de bloques basamentales identificado por Geuna *et al.* (2000) en la CCA se trata del mismo evento regional transtensional que durante el proceso de break-up de Gondwana, en la CGSJ genera un depocentro mayor de orientación general O-E dando lugar al gran lago donde se deposita la Formación Pozo D-129. El origen de este nuevo campo de esfuerzos puede relacionarse al desplazamiento diferencial de los MNP y MDD durante su deriva al oeste, luego de la apertura del océano Atlántico Sur (Figari, 2005). Entonces el paleovalle tectónico antes descrito y contemporáneo con ese lago, una vez colmatados los depocentros locales con los depósitos de las secuencias basales del Chubutiano Inferior conecta y descarga finalmente en la CGSJ, vinculándose a los sistemas fluvio-deltaicos de las Fms. Matasiete y las facies litorales y lacustres profundas de la Formación Pozo D-129 (Fig. 11).

Esta interpretación está en concordancia y complementa el concepto de corredores sedimentarios propuesto por Allard *et al.* (2015, 2017), definidos como regiones de mayor subsidencia, con ejes principales meridionales subparalelos, y separados por una región de menor subsidencia relativa. Allí se plantean dos corredores sedimentarios principales en el sector

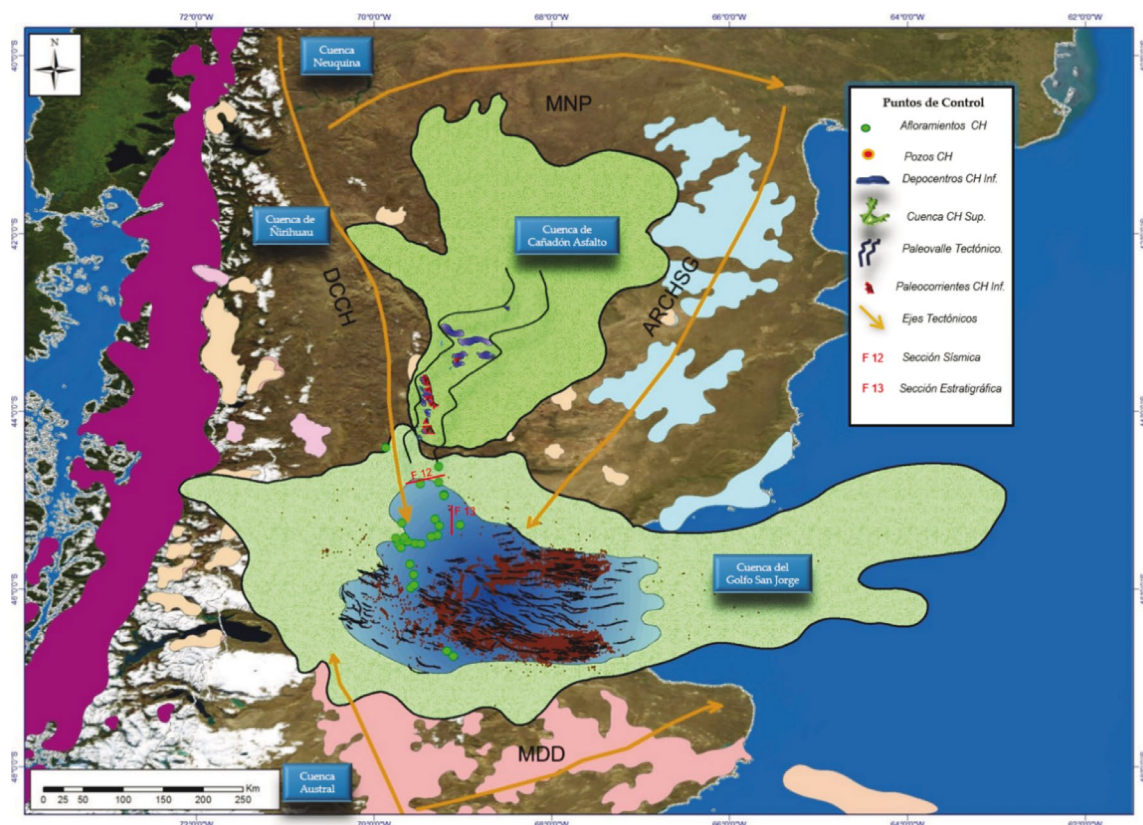


Figura 11. Mapa esquemático (modificado de Figari y García, 2016) mostrando la ubicación de los depocentros del Chubutiano Inferior y Superior en el ámbito de las Cuencas de Cañadón Asfalto (CCA) y del Golfo San Jorge (CGSJ). Nótese el contexto tectónico simplificado resaltando la posición de los Macizos, Complejos Volcánicos Sedimentarios Jurásicos, Ejes tectónicos (Cortiñas 1995) y Cuencas circundantes.

noroccidental de la cuenca del Golfo San Jorge: a) Sierra Nevada- Sierra de Península Baya y b) Ferraroti-Río Mayo. Si bien ambos corredores existen, así como otros posibles principalmente desde el MNP, pero también factibles desde el MDD, creemos que el paleovalle por nosotros planteado es el más relevante identificado hasta el momento, por su envergadura y área de drenaje y conecta con el denominado corredor de Sierra Nevada- Península Baya.

Las Formaciones Matasiete y Pozo D-129 en el Flanco Norte de la CGSJ

A partir del hallazgo en superficie de afloramientos de la Formación Pozo D-129 en la Sierra de San Bernardo (Hechem *et al.* 1987 a y b), se pudo rever la estratigrafía de esta unidad descripta previamente de manera exclusiva en subsuelo, así como su vinculación lateral con la Formación Matasiete (Sciutto 1978, Hechem *et al.* 1989, 1990). Posteriormente los trabajos de Allard *et al.* (2011, 2015, 2017), describieron no sólo los corredores sedimentarios comentados anteriormente sino también midieron abundantes paleocorrientes en numerosos afloramientos y calcularon el área mínima necesaria de las cabeceras de los sistemas fluviales chubutianos para mantener el volumen de un lago permanente asociado.

Es posible entonces demostrar además la continuidad de este paleovalle tectónico que se desarrolla en el margen occidental del MNP desde al menos los alrededores de Jalalaubay y el modelo tectosedimentario planteado con información de subsuelo (secciones sísmicas y sondeos relacionados) sobre el anticlinal de Sierra Nevada, Península Baya y Sierra Silva. Con esta información se puede comprobar para niveles de La Fms. Matasiete /Pozo D-129 una geometría y arquitectura similar al propuesto en este trabajo, con depocentros asimétricos (Fig. 12) vinculados con falla extensivas chubutianas (posteriormente invertidas) y down-laps en labios bajos de falla que sugieren cuerpos lobulados.

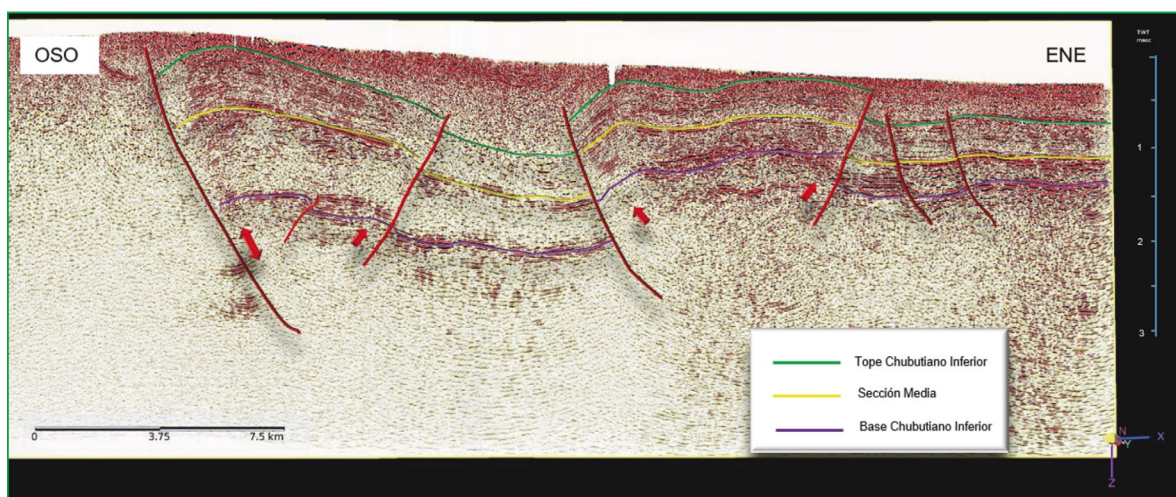


Figura 12. Sección sísmica de orientación OSO-ENE, a la altura del anticlinal de Sierra Nevada. Nótese la disminución de espesor para el Chubutiano Inferior hacia el Este (ver ubicación en Fig. 11).

Cabe destacar en este punto que si bien no se coincide totalmente con ciertos aspectos del estilo estructural descripto por Barcat *et al.* (1984) en esta zona, en ese trabajo se reconocieron cuencas sintectónicas, angostas profundas y asimétricas, con fuertes cambios de facies y que la discordancia en la base de la Formación Pozo D-129, representaba un evento tectónico importante en la evolución de la cuenca.

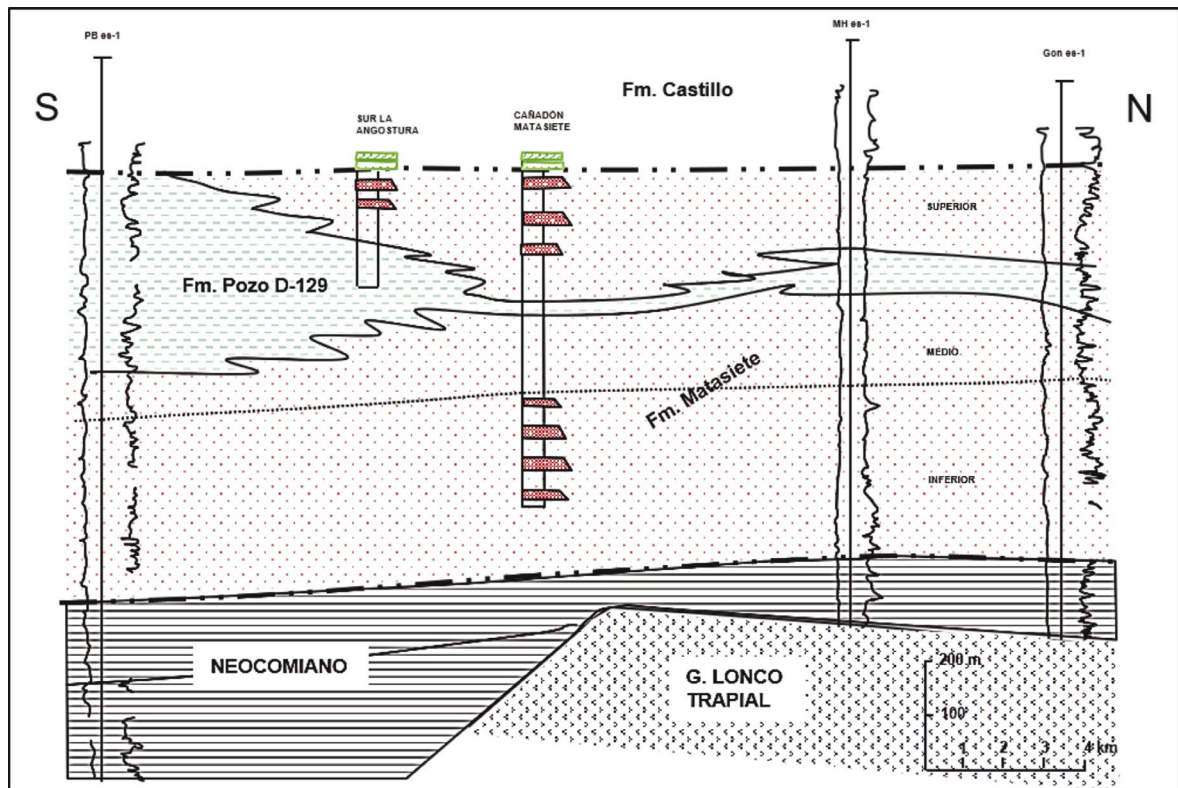


Figura 13. Corte estratigráfico N-S (modificado de Hechem *et al.* 1989), involucrando sondeos e información de superficie (Sciutto, 1978). Las arcilitas lacustres litorales de la Fm Pozo D-129 traslapan los depósitos gruesos de la Fm. Matasiete, representando un momento de máxima expansión del lago para luego pasar a un evento regresivo (ver ubicación en Fig. 11).

Adicionalmente el corte de la Figura 13 (modificado de Hechem *et al.* 1989), con información de sondeos y de superficie muestra como a medida que nos dirigimos de Norte a Sur, aumenta la influencia del lago de la Fm. Pozo D-129. De esta manera, las arcilitas lacustres litorales, con facies oolíticas, traslapan los depósitos gruesos de la Fm. Matasiete, representando un momento de máxima expansión del lago para luego pasar a un evento regresivo con varios ciclos grano crecientes con una disminución de espacio disponible progresiva.

El gran lago de la Formación Pozo D-129

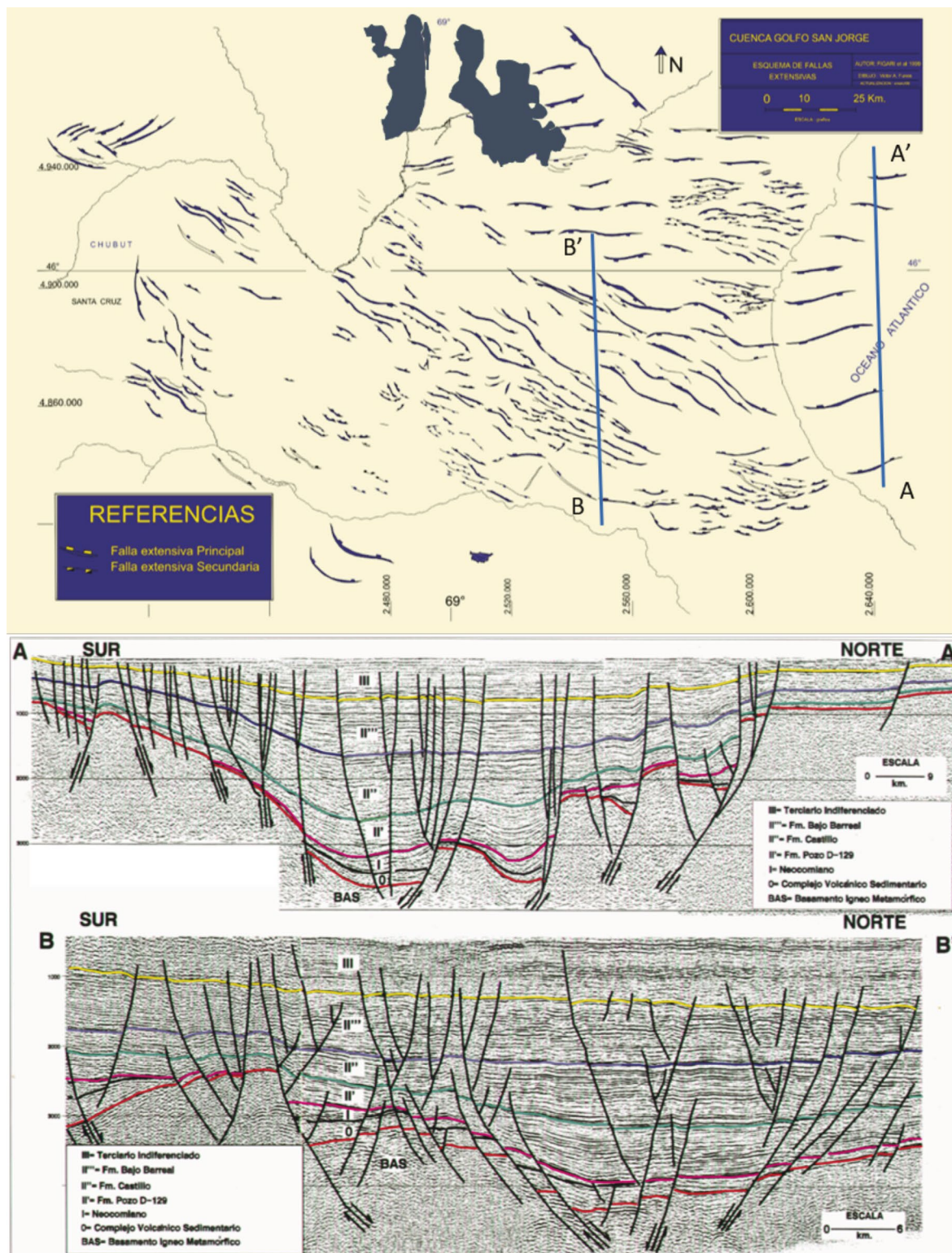
El evento transtensional Barremiano-Aptiano fue especialmente eficiente para la creación de generación de espacio en este nuevo depocentro entre los MNP y MDD que se desplaza al

Este comparado con los máximos espesores Neocomianos. El sistema de fallas extensionales/transtensionales responsables de esto, tiene una orientación ONO/ESE a O/E, presentando los grandes flancos una polaridad inversa. En el Flanco Norte dominan fallas maestras con vergencia al Sur y lo opuesto en el Flanco Sur. En las Figuras 14 y 15 (Figari *et al.* 1999, 2002) se presentan dos secciones sísmicas regionales donde se observa que, aunque esta polaridad opuesta en el fallamiento ocurre, ambas imágenes no son perfectamente especulares y se encuentran desplazadas con sentido dextral. Esto es el resultado del proceso de extensión oblicua que afectó la región, coherente con los resultados de Geuna *et al.* (2000) en el MNP.

De esta manera se desarrolló un gran lago estratificado de decenas de miles de kilómetros cuadrados de superficie, relativamente profundo en el centro con fluctuaciones en los grados de hipersalinidad/alcalinidad, pero con cambios faciales importantes asociados a bordes abruptos de origen tectónico y un drenaje de tipo centrípeto, aunque con algunas áreas de aporte extracuenal (Allard *et al.* 2015). En este lago, se diferencian al menos cinco secciones interpretadas como el registro de distintos estadios de nivel alto y bajo (Gómez Omil *et al.*, 1990, Hechem *et al.*, 1987b) vinculados con los ciclos de expansión/contracción del lago. En los depósitos de nivel alto (mayor expansión), se depositan pelitas oscuras y calizas oolíticas, mientras que en los de nivel bajo hay concentración de clásticos gruesos y material piroclástico. En ese marco general, existe predominio de materia orgánica algal en las partes más profundas, en tanto que hacia los bordes (flancos Norte y Sur) hay mayor aporte terrestre y un ambiente menos reductor. Hacia el Oeste, debido al importante aporte piroclástico proveniente de un protoarco, se produce una pérdida gradual en el contenido y calidad de la materia orgánica (Fig. 16).

Allard (2017) analiza también la variación espacial de las distintas posiciones de paleocostas definidas por sismofacies deltaicas en los trabajos de Iovine *et al.* (2013) y López Angriman *et al.* (2014) y en afloramiento por ooides o asociaciones de litofacies deltaicas para la Formación Pozo D-129 y la vinculación de los corredores con algunos cuerpos clásticos gruesos que se encuentran o bien como cuerpos deltaicos sobre la plataforma lacustre o bien como lóbulos originados por flujos densos depositados en los labios bajos de las fallas formadoras de cuenca (Fig. 16). Estos cuerpos constituyen uno de los actuales plays profundos de la CGSJ, siendo de vital importancia por un lado la calidad de los reservorios vinculados con sus áreas de aporte y los procesos de transporte y por otro la cercanía con las facies euxínicas generadoras de gas o petróleo, dependiendo de su nivel de madurez térmica. Buenos ejemplos del éxito de este play son los yacimientos Estancia Cholita en Flanco Sur (Basile *et al.* 2014), y Trahuil-Coirón en Flanco Norte (López Angriman *et al.* 2014).

Por último, se destaca el potencial como objetivo no convencional de las facies pelíticas de la sección superior de la Fm. Pozo D-129 ya que posee buenas características de COT, espesor, fracturabilidad y distribución areal (Basile *et al.* 2014, Utgé *et al.* 2014), y a pesar de tener ciertos elementos poco favorables aún en estudio, debe ser considerado un play emergente.



Figuras 14 y 15. Esquema de las principales fallas extensivas de la CGSJ, y dos secciones sísmicas regionales Norte-Sur mostrando el paulatino cambio de polaridad de las fallas generadoras de espacio para la Fm. Pozo D-129 (Figari et al. 1999, 2002).

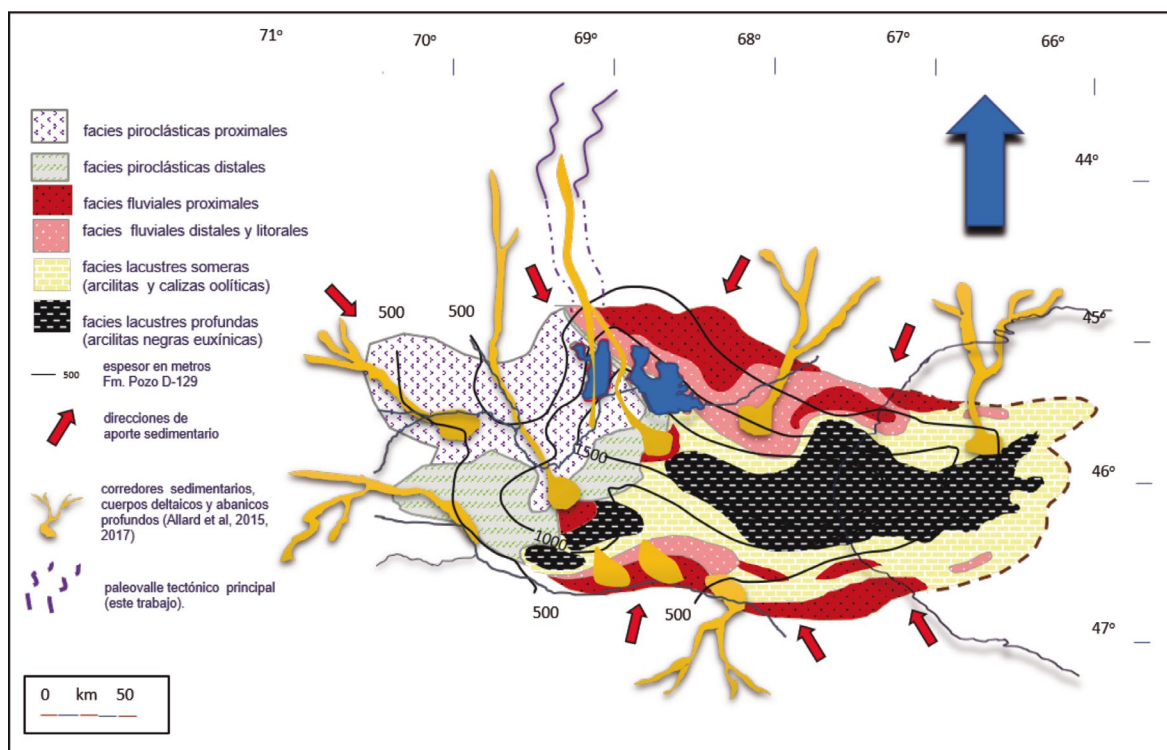


Figura 16. Esquema de la distribución de facies de la Fm. Pozo D-129 (Modificado de Merta 1974 y Figari *et al.* 1999), mostrando el aporte epiclástico proveniente de los macizos Norpatagónico y del Deseado, contrastante con el piroclástico proveniente del protoarco de Oeste. Se incluyen corredores sedimentarios (Allard *et al.* 2015, 2017) y paleovalle tectónico propuesto en este trabajo.

CONCLUSIONES

Los afloramientos del Chubutiano Inferior en la CCA se encuentran restringidos en una franja submeridiana de varios km de ancho que se extiende desde el flanco oriental de la Sa. de Jalalubab al Norte, en el bajo de Gan-Gan, hasta el flanco sudoriental de la Sa. de Agnia al Sur, en las cercanías de la Sa. Cuadrada.

Partiendo de la información de trabajos anteriores, algunos publicados y otros inéditos, se revieron perfiles estratigráficos columnares, revisando espesores y paleocorrientes en una escala regional, y describiendo asociaciones de facies, geometrías y elementos arquitecturales en el perfil del Cerro Fortín, considerado como localidad y sección tipo para esta unidad.

A partir de esta información se propone un modelo tectosedimentario que satisface las fuertes variaciones de espesor, facies y arreglos granulométricos de las secuencias aflorantes y que puede ser extrapolado a subsuelo. Este modelo es de depocentros asimétricos con fuerte control tafrogénico con generación de espacio y tasa de sedimentación balanceadas, orientados en una faja de orientación submeridiana, con cambios de polaridad, y localmente con bruscas variaciones de rumbo interpretándose como un paleovalle tectónico principal que drenaba desde el Norte hacia el Sur, por el margen occidental del MNP.

Este paleovalle continuaba en depocentros similares dentro del área de influencia de la CGSJ por la alineación de Sierra Nevada, Cañadón Matasiete, Península Baya, Sierra Silva y alimentaba un gran lago permanente en el centro de la cuenca.

El origen de este lago se atribuye al mismo evento transtensional Barremiano-Aptiano que originó el paleovalle tectónico, pero que aquí fue especialmente eficiente para la generación de espacio, desarrollando un gran depocentro entre los MNP y MDD con una orientación O-E presentando los flancos tectónicos polaridad inversa. En ese marco general, existen facies euxínicas en las partes más profundas, en tanto que hacia los bordes (flancos Norte y Sur) hay mayor aporte terrestre con la presencia de lóbulos deltaicos en las plataformas y lóbulos lacustres profundos en los labios bajos de falla. Hacia el Oeste, aumenta el aporte piroclástico produciendo una degradación en la calidad de los potenciales reservorios y rocas madres.

AGRADECIMIENTOS

A YPF S.A. por el apoyo prestado para la concreción de este trabajo. A Norman Urrez y Daniel Lorenzo por la ayuda generosa con secciones sísmicas, sondeos e intercambio de valiosas ideas, y al grupo de Cartografía por su soporte. A Jorge Hechem por sus valiosos comentarios.

REFERENCIAS CITADAS

- Allard, J.O., N. Foix, R. Clavijo, L. Ferreira, G. Iovine, N. Urrez, F. Sanchez, A. Rodriguez, S. Buetti, 2017. "Corredores sedimentarios cretácicos en la cuenca del golfo San Jorge: origen, arquitectura e impacto en la exploración de Hidrocarburos". XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán. Actas :7-12.
- Allard, J.O., R.E. Giacosa y J.M. Paredes, 2011. "Relaciones estratigráficas entre la Formación Los Adobes (Cretácico Inferior) y su sustrato jurásico: implicancias en la evolución tectónica de la cuenca de Cañadón Asfalto, Chubut, Argentina". XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Actas: 988-989.
- Allard, J.O., J.M. Paredes, N. Foix y R.E. Giacosa, 2015. "Corredores sedimentarios aptianos en el margen de la cuenca del Golfo San Jorge (Patagonia argentina): paleogeografía, implicancias tectonoestratigráficas y potencial para exploración de hidrocarburos". Revista de la Asociación Geológica Argentina 72 (1): 21-37.
- Barcat, C., J. S. Cortiñas, V. A. Nevestic, N. H. Stach y H. E. Zucchi, 1984. "Geología de la región comprendida entre los Lagos Musters - Colhue Huapi y la Sierra Cuadrada, Departamentos Sarmiento y Paso de Indios, Provincia del Chubut". Actas IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, II: 263-282.
- Basile, Y.A., S.M. Utgé, V. Martínez Cal, y C. Ponce, 2014. "Avances en el conocimiento sobre la capacidad generadora de la Fm. Pozo D-129: aspectos litológicos y geoquímicos. Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina". IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza. Actas 1: 265-285.

- Codignotto, J., F. Nullo, J. Panza y C. Proserpio, 1978. "Estratigrafía del Grupo Chubut entre Paso de Indios y Las Plumas, Provincia del Chubut". VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Actas 1:471-480.
- Cortiñas, J. S., 1995. "La Cuenca de Somuncurá - Cañadón Asfalto: sus límites, ciclos evolutivos del relleno sedimentario y posibilidades exploratorias". XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires. Actas, 1: 147-163.
- Figari, E.G., 2005. "Evolución Tectónica de la Cuenca de Cañadón Asfalto". Tesis Doctoral 3896, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires. Biblioteca Digital FCEN-UBA, 198 p.
- Figari, E.G. y S.F. Courtade, 1993. "Evolución Tectosedimentaria de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Chubut, Argentina". XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos., Mendoza. Actas I: 66-77.
- Figari, E. G. y D. G., García, 1992. "Análisis litofacial y arquitectónico de los depósitos continentales mesocretácicos, aflorantes en el Cerro Fortín, Chubut, Argentina". Cuarta Reunión Argentina de Sedimentología, La Plata. Actas (1): 119-126.
- Figari, E.G. y D.G. García, 2016. "Relaciones Tectosedimentarias y Arquitectura Depositacional del Chubutiano Inferior en la Cuenca de Cañadón Asfalto, Chubut, Argentina". XV Reunión Argentina de Sedimentología/ VII Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Santa Rosa. Actas: 81.
- Figari, E., R. Scasso, R. Cuneo e I. Escapa, 2015. "Estratigrafía y evolución geológica de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Provincia del Chubut, Argentina". LAJSBA, Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis. V. 22 (2) :135-169.
- Figari, E. G., E. Strelkov, G. Laffitte, M. Cid De La Paz, S. Courtade, J. Celaya, A. Vottero, P. Laffourcade, R. Martinez y H. Villar, 1999. "Los Sistemas Petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis Estructural, Estratigráfica y Geoquímica". 4º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata. En: G., Laffitte, H. Villar, y L. Legarreta (eds.), Los Sistemas Petroleros de Argentina. Actas 1: 197-227.
- Figari, E. G., E. Strelkov, M. Cid De La Paz, J. Celaya, G. Laffitte y H. Villar, 2002. "Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis Estructural, Estratigráfica y Geoquímica". XV Congreso Geológico Argentino, El Calafate, en Miguel Haller (ed.) Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz, Relatorio. III-1: 571-601.
- Georgieff, S.M., L. Ferreira y J.M. Góngora, 2016. "Los depósitos deltaicos del chubutiano en el flanco sur de la cuenca del Golfo San Jorge: procesos, características sedimentológicas y criterios de identificación". Segundas Jornadas Geológicas de la Cuenca del Golfo San Jorge, Comodoro Rivadavia. Actas 1: 46-47.
- Geuna, S., Somoza, R., Vizán, H., Figari, E. and C. Rinaldi, 2000. "Paleomagnetism of Jurassic and Cretaceous rocks in central Patagonia: a key constrain the timing of rotations during the breakup of southwestern Gondwana?". Earth and Planetary Science Letters 181: 145-160.
- Gómez Omil, R., H. Arroyo, G. Laffitte y A. Melo, 1990. "Anteproyecto exploratorio para el Sector Oriental del Flanco Sur". YPF S.A, C. Rivadavia. Informe inédito: 31 p.
- Hechem, J.J., E.G. Figari y E.A. Musacchio, 1987a. "Cuenca del Golfo San Jorge. El hallazgo de la Formación Pozo D-129 en superficie: Información estratigráfica y Paleontológica". Petrotecnia, XXVIII, 11:13-15.

- Hechem, J.J., R. Clavijo, E.G. Figari y J.F. Homovc, 1987b. "La Formación Pozo D-129 en la Sierra de San Bernardo, Cuenca del Golfo San Jorge, provincia de Chubut". Tercer Simposio Cretácico de América Latina, Tucumán, Resúmenes: 1p.
- Hechem, J.J., J.F. Homovc y E.G. Figari, 1989. "Estratigrafía del Chubutiano en la Sierra de San Bernardo, Cuenca del Golfo de San Jorge, Provincia del Chubut". Y.P.F. Comodoro Rivadavia. Informe Inédito: 78 p.
- Hechem, J.J., J.F. Homovc y E.G. Figari, 1990. "Estratigrafía del Chubutiano (Cretácico) en la Sierra de San Bernardo, Cuenca del Golfo San Jorge, Chubut, Argentina". IX Congreso Geológico Argentino, San Juan. Actas 3: p. 173-176.
- Homovc, J., E. G. Figari y S. Courtade, 1991. "Geología de la Cuenca de Cañadón Asfalto, Provincia del Chubut". YPF, Buenos Aires. Informe inédito: 22 p.
- Iovine, G., M.L. Ferreira, M. Foster y A. Santangelo, 2013. "Nuevas consideraciones paleoambientales de la Formación Pozo D-129, en el área de la provincia de Santa Cruz: integración de datos". Primeras Jornadas Geológicas de la Cuenca del Golfo San Jorge, Comodoro Rivadavia. Actas 1: 29-30.
- Landi, V, A. Fuente y P. Triana, 1988. "Reconocimiento geológico de las sedimentitas cretácicas en el área comprendida entre Co. Cóndor y Ea. La Bernarda". Comisión Nacional de Energía Atómica, Trelew. Informe Inédito: 26 p.
- López Angriman A., C. Zarpellón, F. Mussel, y M. Cohen, 2014. "Modelo Paleogeográfico de la Sección Superior de la Formación Pozo D-129. Su aplicación al desarrollo de reservas en la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina". IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mendoza. Actas 1: 489-510.
- Merta, J., 1974. "Planos varios de la Cuenca del Golfo San Jorge". YPF, Comodoro Rivadavia. Informe inédito.
- Miall, A.D., 1996. "The Geology of Fluvial Deposits". Springer-Verlag, Berlin, 582 pp.
- Robbiano, J. A., 1971. "Estratigrafía de las Sierras de Lonco Trapial, Olte y Río Chubut Medio, Pcia. del Chubut". YPF, Buenos Aires. Informe inédito.
- Sciutto, J.C., 1978. "Perfiles estratigráficos en la Sierra de San Bernardo". YPF, Comodoro Rivadavia. Informe inédito.
- Utgé, S.M., V. Martínez Cal, Y.A. Basile, y C. Ponce, 2014. "Evaluación del Potencial de La Formación Pozo D-129 como Reservorio No Convencional Shale Gas/Oil". IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio de Recursos No Convencionales: Ampliando el Horizonte Energético, Mendoza. Actas: 117-135.