

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

(RE)VISIÓN DE SECUENCIAS SEDIMENTARIAS CRETÁICAS EN POZOS PROFUNDOS DE LA CUENCA DEL GOLFO SAN JORGE: LITOESTRATIGRAFÍA, QUIMIOESTRATIGRAFÍA Y CONTROLES EXTERNOS

José Oscar Allard¹, Nicolás Foix², María Leonor Ferreira Pittau³, Mario Atencio⁴

1: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, joseoallard@yahoo.com.ar

2: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco - CONICET, nicofoix@hotmail.com

3: YPF S.A. - Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, leonor.ferreira@ypf.com

4: YPF S.A., mario.atencio@ypf.com

Palabras clave: Grupo Las Heras, Grupo Chubut, arquitectura estratigráfica, quimioestratigrafía, controles sedimentarios externos

ABSTRACT

Review of Cretaceous Sedimentary Sequences in Deep Oil-Wells of the Golfo San Jorge Basin: Lithostratigraphy, Chemostratigraphy and External Controls

The Golfo San Jorge basin (GSJB) is one of the richest oil bearing basin of Argentina. Their petroleum systems are defined by cretaceous sequences, where the Neocomian is constituted by Pozo Anticlinal Aguada Bandera and Pozo Cerro Guadal formations, dominated by black shales (source rock) and sandstones (reservoirs) respectively. Over these formations the Chubut Group is developed (Barremian?-Aptian to Maastrichtian). These sedimentary record initiate with the lacustrine deposits of the Pozo D-129 Formation (source rock), and are covered with alluvial and fluvial deposits of the Castillo and Bajo Barreal formations (main reservoirs of the basin). This contribution evaluates the subsurface lithostratigraphy with traditional cutting observations and handheld x-ray fluorescence analysis. The presence of tuff in the cutting is revalidated as a robust criterion to determine the Chubut Group base showing important modifications from the traditional position of the lithostratigraphic limit, in consideration of the neocomian stratotype logs calibration. Chemosequences were defined from Fe, K, Ca Ti and Zr concentration values. General trends were used for long distance wells correlation, showing the independence of the measurements from the tectonostratigraphic framework and the local subsidence history. The increase of K values before the occurrence of tuff cutting at the top of neocomian deposits suggests criptotefras deposits and alteration of volcanic ash after deposition in subaqueous palaeoenvironments. The mimic-style of Fe, Ti and Zr chemologs is interpreted as a geochemical signal of the basement erosion in the sedimentary source zones. The relative decrease of these elements at the limit of the cretaceous groups is associated with the diminution of the basement exposures zones during the Late Cretaceous times. The results of this study remark the impact of the reevaluation and calibration of the lithostratigraphy in the GSJB using cutting information and state of the art technology.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Golfo San Jorge (CGSJ) es una de las mayores productoras de hidrocarburos de la Argentina, que con una superficie total aproximada de 180.000 km² acumula 111 años de historia, los cuales se ven reflejados en más de 39300 pozos perforados y más de 13500 pozos en producción. En el esquema clásico, la cuenca se subdivide en cinco regiones en base al actual estilo estructural: Flanco Norte, Centro de Cuenca, Flanco Sur, Faja Plegada de San Bernardo y Flanco Oeste (Figari *et al.* 1999) (Figs 1.A,B). Su basamento estructural es complejo e incluye rocas de diverso tipo y edad como ser rocas cristalinas paleozoicas, sedimentitas neopaleozoicas y sedimentitas liásicas (Fig. 2) (Clavijo 1986; Sylwan *et al.* 2011). Sobre este basamento se desarrollan secuencias volcánicas del Jurásico Medio a Superior agrupadas en el Grupo Lonco Trapial, la Fm. Bajo Pobre, el Complejo Volcánico-Sedimentario y el Grupo Bahía Laura. Todas estas unidades se vinculan a la etapa de sin-rift inicial de la cuenca (Fig. 2) (Clavijo 1986; Fitzgerald *et al.* 1990; Figari *et al.* 1999; Sylwan *et al.* 2011).

El registro cretácico comienza con los depósitos neocomianos del Grupo Las Heras (GLH), el cual está constituido por las unidades de subsuelo Fm. Pozo Anticlinal Aguada Bandera (PAAB) y Fm. Pozo Cerro Guadal (PCGu). La primera se caracteriza por pelitas negras con potencial oleogénico, mientras que la segunda presenta mayor variabilidad con desarrollo de fangolitas y predominio de areniscas (Figari *et al.* 1999; Sylwan *et al.* 2011). Estas unidades se dan bajo un contexto sinextensional bien desarrollado vinculado a una etapa de sin-rift tardío y se asocian a un ciclo sedimentario mayor limitado por discordancias denominado Primer Ciclo por Clavijo (1986) o Megasecuencia I por Figari *et al.* (1999).

El modelo regional tradicional del Neocomiano asocia a PAAB a sistemas lacustres a marinos restringidos desarrollados durante una etapa de cuenca hambrienta, mientras que los niveles arenosos de PCGu se atribuyen a un estadio de máxima inundación con influencia marina pacífica (Figari *et al.* 1999). Suprayace en discordancia angular el Grupo Chubut (GCh) (Lesta y Ferello 1972) conformando la Megasecuencia II de Figari *et al.* (1999) y equivalente al ciclo Chubutiano definido por Feruglio (1949) a partir de estudios de superficie. La unidad basal del GCh es la Fm. Pozo D-129 (PD129), la cual se caracterizó inicialmente en subsuelo y luego en algunos núcleos de anticlinales de la Faja Plegada de San Bernardo (FPSB) (Clavijo 1986, Hechem *et al.* 1987; Paredes *et al.* 2014). La posición estratigráfica de esta formación fue controvertida ya que Sciutto (1981) la interpretó como un equivalente lateral de la Fm. Matasiete (areniscas y tobas moradas de Feruglio 1949) y en consecuencia la vinculó al GCh (Lesta y Ferello 1972), mientras que otras propuestas como la de Barcat *et al.* (1989) asignaban ambas unidades al GLH. Clavijo (1986) abordó este problema estratigráfico a partir de la descripción de cutting de pozos ubicados en el sector occidental de la cuenca. En esa contribución propuso un criterio litológico simple, básico y práctico para diferenciar ambos grupos, en el cual se define el GLH por la ausencia de

tobas y al GCh por la presencia de las mismas. Siguiendo esta propuesta, los depósitos de PD129 presentan una extensa distribución areal, con registro en todas las regiones de la cuenca, menos en la subcuenca de Río Mayo (sensu Clavijo 1986). Esta unidad es de origen lacustre y se caracteriza por una importante variabilidad litológica definida por: I) niveles litorales carbonáticos, II) depósitos volcánoclasticos de deltas y abanicos profundos, y III) pelitas negras que constituyen la principal roca madre de la cuenca (Hechem *et al.* 1987; Paredes *et al.* 2014; López Angriman *et al.* 2014; Atencio *et al.* 2015). El engranaje lateral con el sistema fluvial de la Fm. Matasiete propuesto por Sciutto (1981) y Hechem y Strelkov (2002) fue definido en afloramientos a partir de la caracterización de asociaciones de litofacies de niveles deltaicos y litorales (Hechem *et al.* 1987; Paredes *et al.* 2014; Allard *et al.* 2018) y por análisis de subsuelo (Atencio *et al.* 2015).

Suprayacen a PD129 depósitos fluviales y aluviales de las formaciones Castillo, Bajo Barreal y Lago Colhué Huapi en orden decreciente de edad (Fig. 2), bajo un contexto dominado por

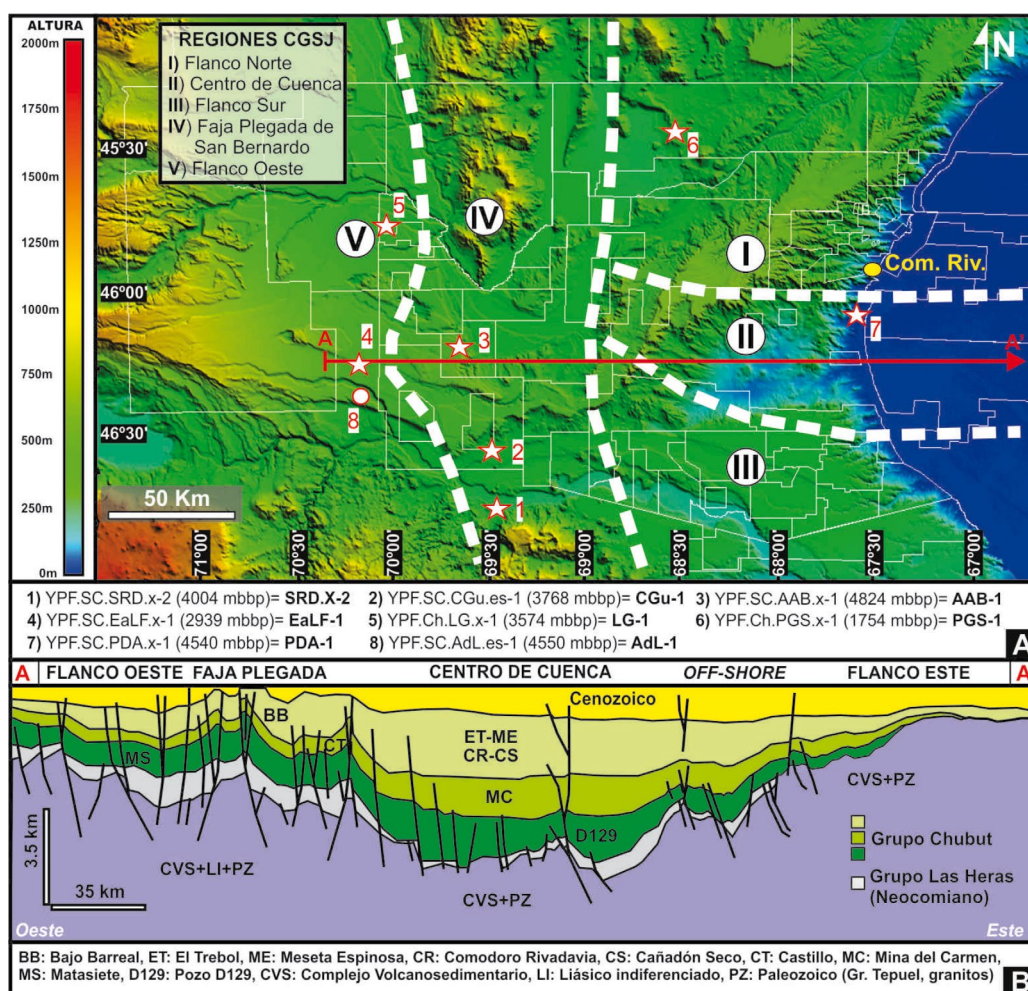


Figura 1. A) Modelo digital de elevación de la cuenca del Golfo San Jorge con sus regiones estructurales (tomado de Figari *et al.* 1999). Se indican los pozos evaluados en esta contribución con su profundidad final y la nomenclatura abreviada utilizada en el texto. La información de AdL-1 se obtuvo de la contribución de Decastelli y Destefano (1990). B) Corte estructural Este-Oeste indicando las regiones de la cuenca, las unidades cretácicas y el basamento económico (sensu Sylwan *et al.* 2011).

el hundimiento termal (Figari *et al.* 1999; Sylwan *et al.* 2011). En superficie y subsuelo estas formaciones se diferencian entre ellas esencialmente por el color de sus depósitos de planicie de inundación y por el contenido piroclástico y volcániclastico de sus secuencias, las cuales desarrollan una marcada tendencia vertical de decrecimiento de estos componentes.

La presente contribución resume algunos de los principales resultados obtenidos de un estudio regional realizado en la CGSJ, en el cual se calibraron los pases formacionales de 56 pozos. Este trabajo expone el análisis litoestratigráfico y quimioestratigráfico del cutting. Los resultados obtenidos tienen diversas implicancias: I) proponen la revisión y calibración del tope de PCGu y en consecuencia del límite GLH-GCh, II) definen quimiosecuencias y markers geoquímicos basados en el contenido de Fe, K, Ca, Ti y Zr, y III) evalúan el aporte volcánico-piroclástico como un control sedimentario de primer orden en la definición de quimiosecuencias cretácicas.

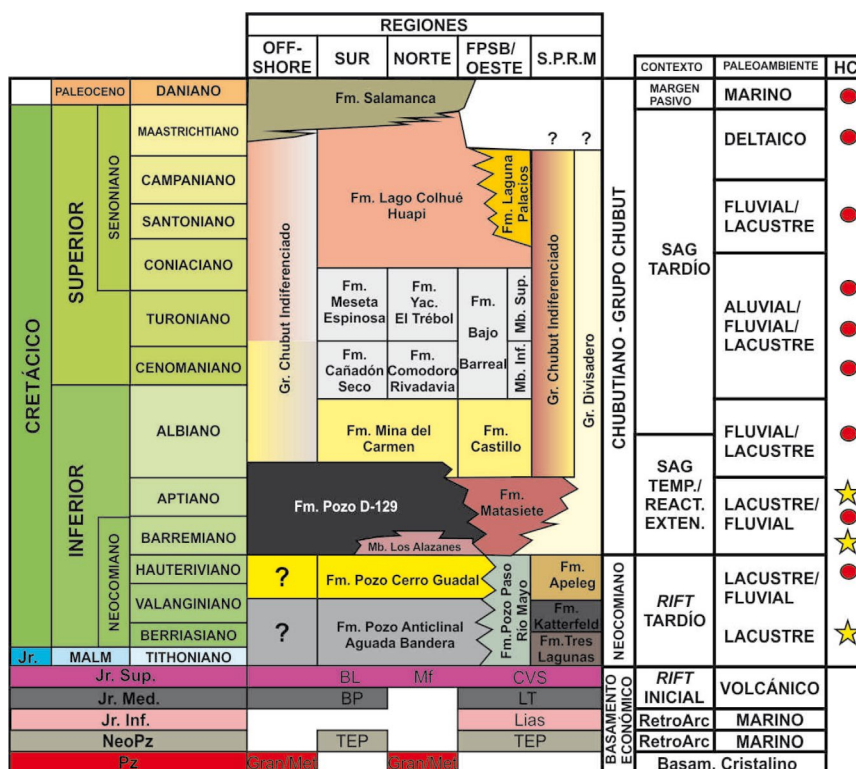


Figura 2. Cuadro cronoestratigráfico simplificado de la cuenca del Golfo San Jorge (modificado de Sylwan *et al.* 2011). Notar el desarrollo indiferenciado del Grupo Chubut en la subcuenca Paso Río Mayo (S.P.R.M.) y en el Off-shore. El límite superior de la Fm. Pozo D-129 se basa en la propuesta de Foix *et al.* (2018a). Se indican las unidades del basamento económico y su dominio en cada región de la cuenca. BL: Grupo Bahía Laura, Mf: Fm. Marifil, CVS: Complejo Volcánico-Sedimentario, BP: Fm. Bajo Pobre, LT: Fm. Lonco Trapial; Lias: Sedimentitas Liásicas, TEP: Grupo Tepuel, Gran/Met: Basamento cristalino conformado por granitos y metamorfitas.

METODOLOGÍA

El estudio realizado se basa en el análisis macroscópico sistemático de recortes de perforación (cutting) mediante lupa binocular. Esta metodología clásica y rutinaria se complementó con el uso

de tecnología portátil de última generación, con la cual se realizaron mediciones de Fluorescencia de Rayos X (FRx). La aplicación de FRx en muestras de cutting presenta escasos antecedentes en la CGSJ, sin embargo ha demostrado ser útil para diferenciar comportamientos geoquímicos en las secuencias sedimentarias de subsuelo del GCh (Schiuma y Larriestra 2013; Larriestra *et al.* 2017).

Uno de los objetivos principales de los análisis geoquímicos fue caracterizar a las pelitas negras de las secuencias cretácicas, ya que macroscópicamente estas litologías solo presentan cambios sutiles de tonalidad y/o color. El instrumental de FRx se utilizó bajo el modo Mining que permite evaluar la presencia y contenido de 33 elementos mayoritarios ($>1\%$), minoritarios ($1\%-0.1\%$) y traza ($<0.1\%$): K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Y, Ba, Ta, W, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, U. El tiempo de exposición de cada medición fue de 90 segundos, ya que luego de ese período solo se modifica el cuarto decimal, razón por lo cual se consideró este lapso como un umbral de estabilización aceptable. La calibración del instrumento se evaluó sistemáticamente con un blanco suministrado por el fabricante. La precisión y exactitud de los resultados obtenidos no fueron evaluados analíticamente ya que no se dispone de valores de referencia de las litologías involucradas. Esta situación se compensó de forma semi-cuantitativa mediante mediciones en muestras inalteradas provenientes de coronas y de afloramientos, con las cuales se evaluó su correlación con mediciones de cutting equivalentes (Figs 3 y 4). Este flujo de trabajo también permitió analizar la representatividad de las lecturas geoquímicas en muestras de cutting que fueran mezclas de más de una litología (Fig. 3). Teniendo en cuenta lo mencionado, los valores geoquímicos expuestos en esta contribución no deben ser considerados con validez estequiométrica, por el contrario, estos sólo definen valores relativos de referencia y trenes geoquímicos verticales característicos.



Figura 3. Ejemplos de muestras de cutting sobre las que se midió FRx. Notar que hay distintos grados de pureza, desde muestras con un solo componente litológico hasta recortes con mezcla de tres componentes (Pel.: pelitas, Aren.: areniscas, Lim. Tb.: Limolitas tobáceas, Tb.: Tobas, Ool.: calizas oolíticas)

El muestreo en los distintos pozos no fue sistemático, ya que se seleccionaron las muestras más limpias para reducir la relación señal/ruido. Al mismo tiempo, la medición en pelitas negras con poca o escasa mezcla con otras litologías también condicionó las profundidades de medición. Todas estas consideraciones permitieron definir distanciamientos verticales de muestreo muy variables, donde el pozo con mayor cantidad de mediciones presenta un rango de 2 a 40 m.

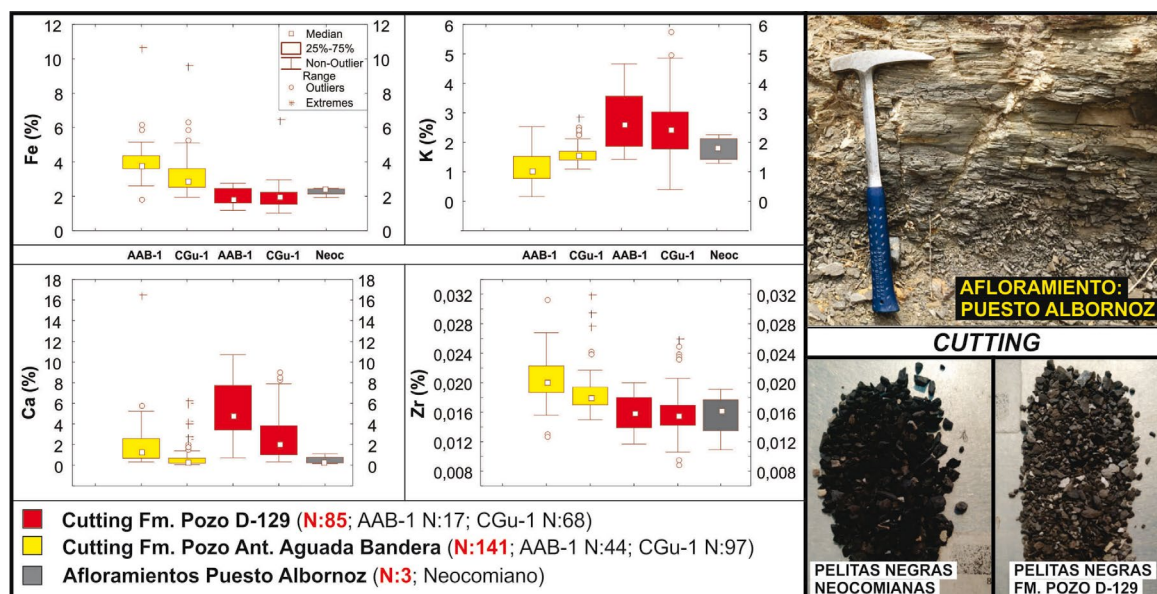


Figura 4. Diagrama de cajas del contenido de Fe, K, Ca y Zr obtenidos con FRx portátil en pelitas negras de las formaciones Pozo Anticinal Aguada Bandera (Grupo Las Heras), Pozo D-129 (Grupo Chubut) y de afloramientos de la localidad Puesto Albornoz (Neocomiano). Las mediciones de subsuelo se realizaron en los pozos tipo AAB-1 y CGu-1.

RESULTADOS

Caracterización litoestratigráfica del límite Neocomiano-Chubutiano

Las características litológicas identificadas macroscópicamente en cutting permitieron diferenciar los límites de unidades del basamento económico y del registro sedimentario cretácico-cenozoico de los pozos de estudio (Fig. 1). Los intervalos definidos se evaluaron en base a su posición relativa en la columna, de manera que hubiera correlación con los afloramientos de la FPSB y con los márgenes de la CGSJ. La mayoría de los criterios utilizados son clásicos y tradicionales en el análisis de subsuelo, entre los que se destaca el sólido criterio de Clavijo (1986) para definir el desarrollo del GCh a partir de la presencia de tobas.

Los resultados obtenidos se compararon con los pases formacionales definidos en los legajos de pozo para obtener un indicador de la calibración de los límites litoestratigráficos propuestos. Cabe mencionar que la mayor parte de los topos formacionales de los legajos de pozo son previos

al trabajo de Clavijo (1986), planteando un escenario diacrónico entre la definición de ese criterio litoestratigráfico y la designación de los pases formacionales. Resulta de particular interés el análisis de tres pozos tipo que definen las unidades neocomianas de subsuelo entre 1968 y 1970: YPF.SC.CGu.es-1, YPF.SC.CGu.es-1(I) e YPF.SC.AAB.x-1. En la figura 5 se resume de forma esquemática los resultados de la revisión y calibración actualizada de los límites formacionales en dichos pozos. Es evidente la diferencia en el tope de PCGu, donde los desfases con los legajos son de 349 m a 522 m. En estos casos, todas las calibraciones efectuadas condujeron a que el límite litoestratigráfico quede ubicado más profundo.

La revisión de los tres pozos mencionados define el inicio del GCh, es decir la base de PD129, con el primer recorte de perforación tobáceo identificado con lupa binocular. Se debe resaltar que en la información del legajo del pozo YPF.SC.CGu.es-1(I) se definió un miembro tobáceo en la parte media de PCGu, de acuerdo al criterio de esa época, el cual difiere al aplicado en esta contribución. El trabajo pionero de Clavijo (1986) denomina a este intervalo tobáceo como “zona de transición” y lo reasigna a PD129, es decir al GCh. En nuestra propuesta se aplica el criterio litológico y estratigráfico de dicho autor, sin embargo al comparar el tope de PCGu con el definido por Clavijo (1986) se reconoce una diferencia de 62 m.

Otro elemento diagnóstico para identificar el desarrollo PD129 en afloramientos y en subsuelo es la presencia de oolitas (Hechem *et al.* 1987; Figari *et al.* 1999; Paredes *et al.* 2014; Allard *et al.* 2017). Estos precipitados carbonáticos presentan distintos tamaños y morfologías, y pueden estar vinculados a otros tipos litológicos tales como pelitas negras, areniscas o limolitas tobáceas. Su principal utilidad práctica es que permiten definir el tope de PD129 a partir de la primer aparición de oolitas en muestras de cutting. Este criterio se utilizó con precaución, ya que estos elementos pueden haber sido retrasportados y redepositados en posiciones más profundas del sistema lacustre, y por lo tanto no responden a batimetrías litorales. Al mismo tiempo, no siempre en los niveles de paleocosta de PD129 se desarrollaron calizas oolíticas lo cual en ocasiones dificultó la evaluación del tope formacional.

Un caso particular surgió del análisis del pozo YPF.SC.CGu.es-1, el cual presenta oolitas con un tamaño mínimo de ~0.1-0.2 mm y que fueron definidas como microoolitas (Fig. 6). Estas fueron identificadas mediante una exhaustiva revisión, la cual fue motivada por mediciones en tiempo real de FRx que indicaban valores relativos de Ca anómalamente elevados. El inicio del registro de estos microprecipitados se correlaciona con el límite en perfiles eléctricos utilizado para definir el tope de la PCGu según el legajo de pozo (Fig. 6). Esta correlación entre el cutting y el patrón de los perfiles eléctricos se interpreta como el efecto resistivo del carbonato de calcio de las microoolitas. Debe resaltarse que el intervalo reasignado a PD129 en este estudio surge de la presencia de tobas, mientras que los niveles carbonáticos solo confirman el desarrollo de dicha unidad (Fig. 5).

Considerando la calibración propuesta para YPF.SC.CGu.es-1(I), el espesor definido para PCGu en su pozo tipo es de 216 m, potencia inferior a los 297 m que propone Clavijo (1986), y

mucho menor a los 586 m que surgen de su legajo y a los 560 m indicados por Sylwan *et al.* (2011). Esta última contribución menciona una caracterización litológica para PCGu con presencia de areniscas con matriz tobácea, limolitas tobáceas y tobas, por lo cual no sigue el criterio de Clavijo (1986). Un escenario contrastante surge de los topes formacionales de Pozo D129, Castillo y Bajo Barreal, los cuales no presentan grandes diferencias entre la revisión realizada y las propuestas de legajo de hace casi 50 años (Fig. 5).

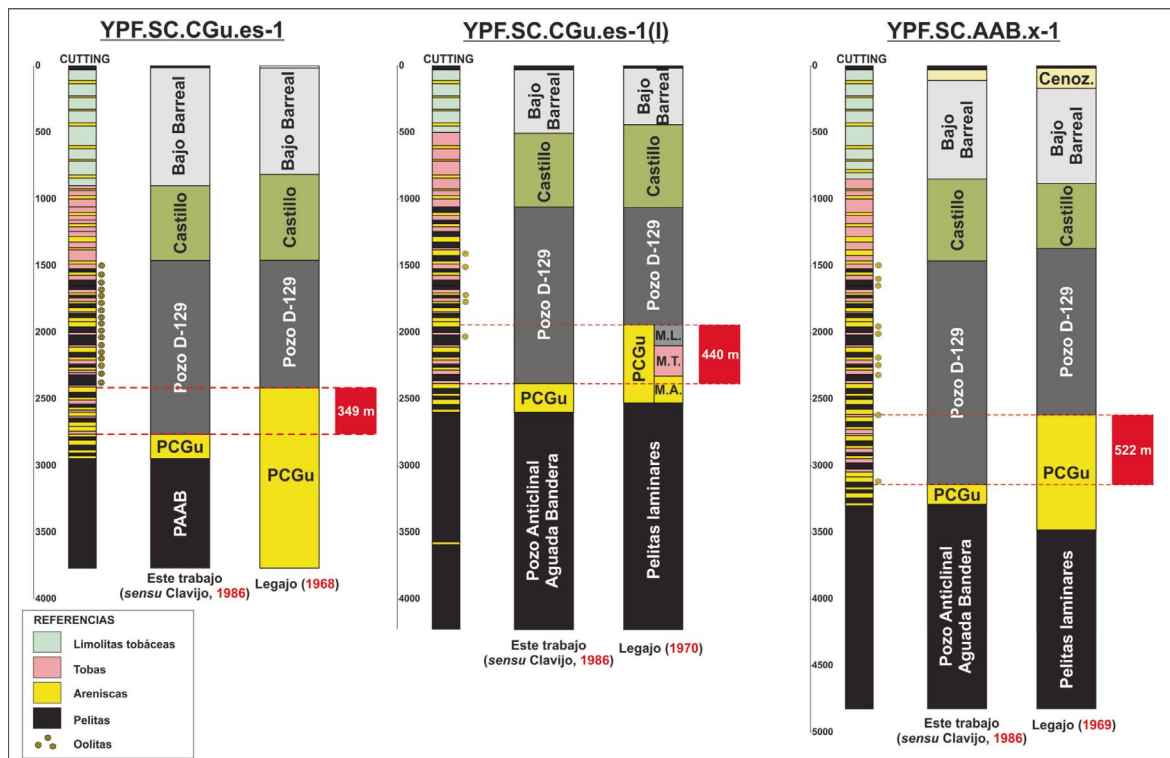


Figura 5 (página anterior). Propuesta de límites formacionales para pozos tipo que definen las unidades de subsuelo PCGu y PAAB. El criterio litoestratigráfico utilizado sigue la propuesta de Clavijo (1986). Notar que los límites de legajo son previos a esta propuesta y que en YPF.SC.CG.U.es-1(I) definen un miembro tobáceo en la sección media de PCGu. M.L.: Miembro Lutítico, M.T.: Miembro Tobáceo, M.A.: Miembro Arenoso.

El caso de estudio ejemplifica la importancia de utilizar criterios litoestratigráficos uniformes y al mismo tiempo revalida la revisión sistemática del cutting, más allá de la información de base que suministran los legajos. De aceptarse la calibración propuesta para el techo de PCGu, se deberían reevaluar aquellas situaciones donde el límite entre el GLH y el GCh surja de una correlación con la propuesta litoestratigráfica del legajo del pozo tipo. Dicha reevaluación del cutting permitiría mejorar los modelos geológicos de la cuenca.

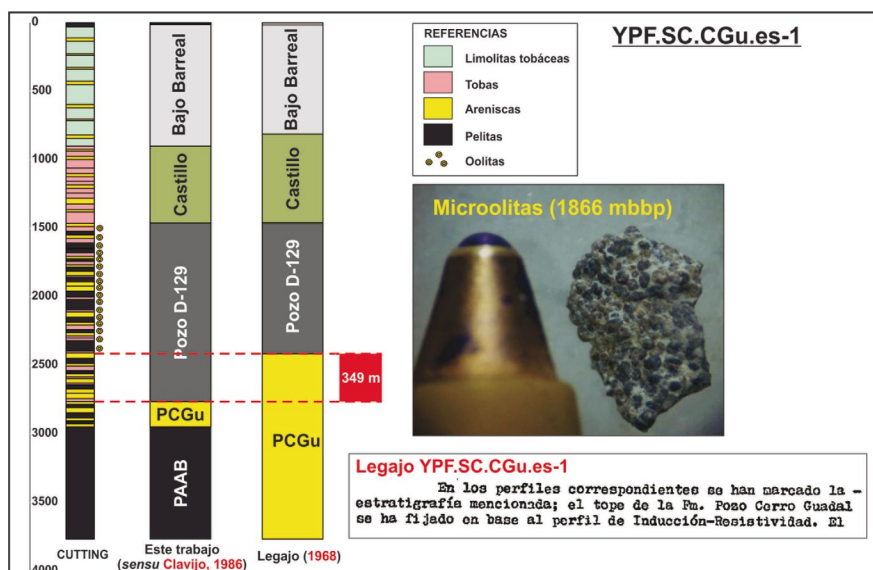


Figura 6. Detalle del cutting con microoolitas. La punta de la birome tiene 0.5 mm. Se incluye un extracto del legajo de pozo donde se deja explícito el criterio de perfil eléctrico usado para definir el techo de PCGu. El carácter resistivo de las oolitas carbonáticas se interpreta como responsable del patrón eléctrico de la sección media-superior de PD129.

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE POZOS PROFUNDOS

Caracterización de pelitas negras

Debido a la uniformidad litológica de las pelitas negras (sensu lato) de los ciclos sedimentarios cretácicos, para evaluarlas adecuadamente, se recurrió a mediciones de FRx. El muestreo se realizó en los dos pozos tipo que definen las formaciones PAAB y PCGu, con un total de 165 muestras en CGU-1 y de 61 muestras en AAB-1 (Fig. 7). El comportamiento geoquímico de cada intervalo litoestratigráfico se evaluó combinando las mediciones de ambos pozos. De esta forma se obtuvieron poblaciones de muestras de pelitas negras que tienen representadas la variabilidad espacio-temporal de las concentraciones geoquímicas. Los rangos de valores representativos del Neocomiano (N:141) y de PD129 (N: 85) se definieron a partir de los intervalos intercuartiles, descartando las mediciones extremas (Fig. 7). En consecuencia, el mayor o menor contenido relativo entre las unidades hace referencia solo a la distribución intercuartil y al promedio del elemento analizado. Como tendencia general se observa que los depósitos del Neocomiano se caracterizan por valores de Fe, Ti, Zr y Zn mayores que los de PD129, mientras que los contenidos de K y Ca son inferiores a los de la unidad lacustre chubutiana (Fig. 7).

La caracterización geoquímica obtenida en los pozos tipo del Neocomiano se comparó con datos del pozo YPF.SC.SRD.x-2 (SRD-2), el cual perforó uno de los mayores espesores de secuencias neocomianas de la CGSJ (Figs. 18 y 20 de Fitzgerald *et al.* 1990). Con la calibración litoestratigráfica de este pozo se definió un espesor de 1646 m de PAAB, 856 m de PCGu y 907

m de PD129. Una particularidad del SRD-2 es el desarrollo de una secuencia de pelitas negras de 158 m de espesor en el tope de PCGu, intervalo ausente o muy poco desarrollado en otros pozos de la cuenca, como ser en AAB-1 donde se presenta con solo 20 m de potencia. Esta arquitectura estratigráfica del pozo SRD-2 se interpreta como consecuencia de la elevada subsidencia del depocentro Sur Río Deseado. Por su parte, la evaluación geoquímica del pozo SRD-2 involucró 128 mediciones en pelitas negras (PAAB: 69, PCGu: 39, D129: 20). A partir de estas mediciones se definieron los parámetros estadísticos básicos que marcan el comportamiento general de los intervalos estratigráficos (Fig. 8). Las pelitas negras de PAAB y PCGu presentan contenidos

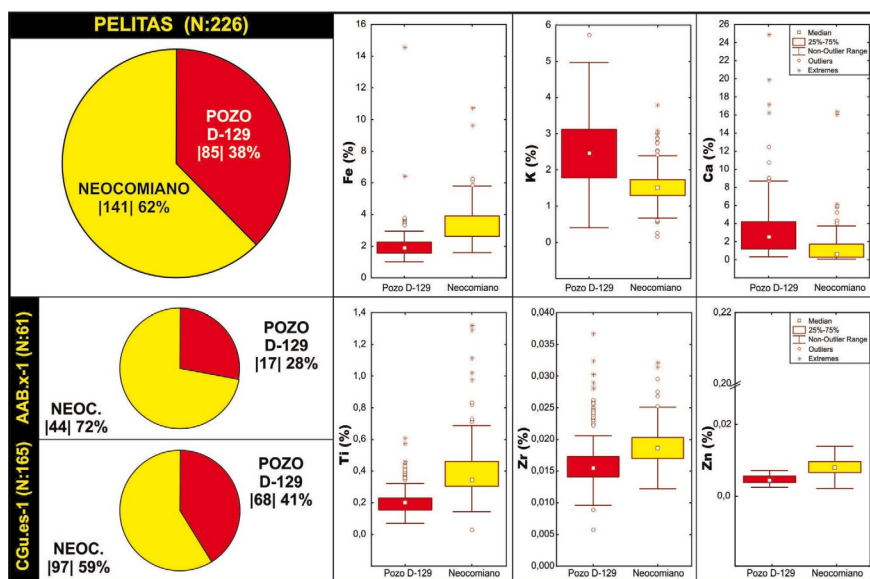


Figura 7. Geoquímica de pelitas negras de las secuencias neocomianas y de PD129 en los pozos CGu-1 y AAB-1. Notar que los rangos intercuartiles de todos los elementos (mayoritarios, minoritarios y trazas) permiten diferenciar los intervalos estratigráficos.

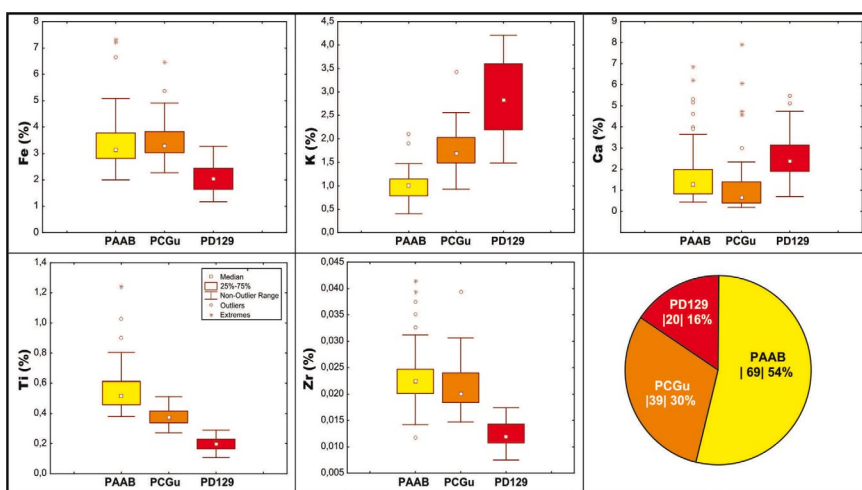


Figura 8. Geoquímica de pelitas negras de PAAB, PCGu y PD129 en el pozo SRD-2. Las secuencias neocomianas presentan semejanzas en la distribución intercuartil de Fe y Zr. Cada unidad litoestratigráfica desarrolla un rango intercuartil específico para el K y el Ti, con una tendencia vertical a incrementar el K y disminuir el Ti hacia PD129. El Ca presenta un rango intercuartil con valores mayores en PD129 que en las secuencias neocomianas.

promedios de Fe superiores al de PD129. Al mismo tiempo, los rangos intercuartiles de este elemento son similares en ambas unidades neocomianas y PD129 presenta un rango menor a estas últimas. La mayor concentración de K se da en PD129, mientras que para el ciclo neocomiano se dan mayores valores de K en PCGu que en PAAB. Otro elemento mayoritario fundamental es el Ca, este presenta las mayores concentraciones en PD129, valores intermedios en PAAB y las menores mediciones en PCGu. Elementos de menor concentración como Ti y Zr también exponen concentraciones características, definiendo una tendencia que disminuye sus contenidos relativos desde PAAB a PD129 (Fig. 8).

La caracterización de pelitas negras de PD129 en la FPSB se comparó con 18 mediciones de este tipo litológico en el pozo PDA-1 (ver ubicación en Fig. 1), el cual se ubica en el Centro de Cuenca y presenta la particularidad de ser uno de los más profundos de la cuenca (Fig. 9). En este pozo, el contenido de Fe y Ti es similar a los valores de CGu-1 e inferior a los de AAB-1. Por otro lado, el K presenta menores concentraciones que los pozos evaluados en la FPSB, mientras que el Ca es el único elemento que incrementa relativamente su contenido. A pesar de este aumento en el Ca, la revisión macroscópica del cutting no arrojó presencia de oolitas.

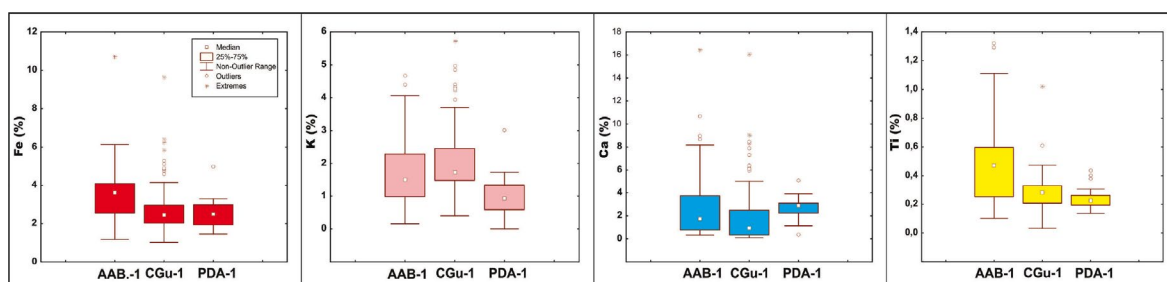


Figura 9. Diagramas de cajas de mediciones geoquímicas en pelitas negras de PD129 en los pozos AAB-1 (N: 17), CGu-1 (N: 68), PDA-1 (N: 18). El Fe y el Ti presentan mayores valores de Q1 y Q3 en AAB-1. El K presenta un rango intercuartil con valores menores en PDA-1 respecto de AAB-1 y CGu-1. El Ca presenta los mayores valores de Q1 y promedio en PDA-1.

Caracterización general

Las mediciones de FRx no se restringieron a las pelitas negras, ya que también se realizaron en otros tipos litológicos puros y de mezcla (Fig. 3). Las concentraciones obtenidas en cada pozo definieron trenes geoquímicos que fueron vinculados con las observaciones a lupa binocular. La densidad de muestreo condicionó la resolución de las tendencias evaluadas, las cuales abarcaron desde ciclos decamétricos hasta de centenas de metros.

El pozo CGu-1 presenta la frecuencia de muestreo más cerrada permitiendo un análisis de alta resolución de los patrones geoquímicos verticales:

Hierro (Fe): Uno de los rasgos más evidentes es la caída del Fe en forma acoplada con el Zr y Ti, tendencias que definen un marker geoquímico principal (MFe2) (Fig. 10). Los trenes que separan este nivel presentan ciclos menores con patrones en bloque de centenas de metros de

espesor, a partir de los cuales se identificaron otros markers de menor jerarquía (MFe1, MFe3, MFe4) (Fig. 10). La posición de cada marker geoquímico se evaluó con respecto a los límites litoestratigráficos definidos macroscópicamente. Esta comparación arrojó excelentes correlaciones entre MFe2 y el tope de PCGu, así como entre MFe4 y el tope de PD129 (Fig. 10). Dentro del ciclo Chubutiano, el tope de la Fm. Castillo coincide con un marker poco definido (MFe5), el cual solo se diferencia a partir del inicio de una leve tendencia al incremento de las concentraciones de Fe, Zr y Ti (Fig. 10).

Calcio (Ca): El patrón vertical del Ca es mucho más aserrado que el de Fe. Esta elevada variabilidad en las mediciones se correlacionó con la presencia y proporción de litologías carbonáticas tales como margas o calizas oolíticas, y/o con el registro de cemento carbonático en areniscas o limolitas. Estas litologías presentan carbonato de calcio en su composición, por lo cual las lecturas relativas de Ca se incrementan, inclusive si se encuentran en una proporción muy subordinada (menor al 5-10%). A pesar de esto, se definieron cinco ciclos del orden de centenas de metros de espesor. El ciclo inicial presenta una tendencia general creciente, donde los valores altos anómalos en los depósitos de PAAB se correlacionaron con la descripción de margas, mientras que los valores elevados en PCGu se asociaron principalmente a areniscas (Fig. 10). Este patrón vertical se interrumpe en MCa2, a partir de donde se inicia un intervalo en bloque con elevada dispersión de las mediciones (Ciclo 3) (Fig. 10). Este último marker tiene la particularidad de coincidir con el inicio de las microoolitas identificadas con lupa binocular (Fig. 6). Suprayace una marcada caída de los valores, a partir de la cual se define el marker MCa3 (Fig. 10). Los trenes geoquímicos de Ca, al igual que los de Fe, se ubican en posiciones cercanas a los límites litoestratigráficos. En el caso del Ca el mejor ajuste se define entre el tope de PD129 con MCa3, límite que representa el pasaje de los depósitos lacustres de PD129 al registro fluvial-aluvial de la Fm. Castillo.

Potasio (K): Un elemento mayoritario que expone claras tendencias verticales es el K. Este comienza con valores relativamente bajos de concentración hasta MK1, a partir de donde se inicia un ciclo caracterizado por una tendencia a incrementar su contenido (Fig. 10). Este intervalo se vincula al cutting de la parte superior de PAAB y de PCGu. Este ciclo presenta una sección inferior con poca dispersión de los valores y una superior con mayor variabilidad. El límite entre ambas tendencias coincide aproximadamente con el tope de PAAB, sugiriendo una correlación entre el tipo litológico dominante y las lecturas de K. El tope del ciclo geoquímico neocomiano está representado por un quiebre en la tendencia positiva de K (MK2), a partir de donde se inicia un ciclo decreciente de 383 m en depósitos de PD129. La sección media y superior de esta formación desarrolla un patrón de K creciente-decreciente con valores anómalos en todo el ciclo. Las muestras de este intervalo presentan proporciones variables de pelitas negras, limolitas tobáceas, oolitas, tobas y areniscas tobáceas, por lo cual no hay una correlación específica entre las mediciones de K y la litología. Los depósitos de otras unidades chubutianas como las formaciones Castillo y Bajo Barreal no presentan tendencias definidas pero en términos generales disminuyen los valores de K respecto de PD129.

Los resultados obtenidos en CGu-1 definen un escenario quimioestratigráfico donde ciclos geoquímicos de centenas de metros se interpretan como quimiosecuencias. La continuidad espacial de estas, así como de los markers que las limitan, se evaluó a partir de la caracterización geoquímica de AAB-1(N: 89) y de SRD-2 (N: 208). Los elementos que permitieron una mejor correlación de patrones fueron el Fe y el K. A partir de estos elementos se identificaron seis markers y cinco quimiosecuencias, dos de ellas en el Neocomiano y las tres restantes en el registro del GCh (Figs 11 y 12). Las correlaciones geoquímicas se realizaron en pozos distanciados hasta 60 kilómetros, hecho que sustenta el carácter regional de los patrones definidos. Al mismo tiempo, la correspondencia entre algunos de los markers con los contactos formacionales sugiere una relación directa entre los límites litoestratigráficos y las quimiosecuencias. En este sentido, se destaca el acople de MK2 con el tope de PCGu, relación que permite plantear un vínculo entre el contenido de K y la presencia o ausencia de recortes tobáceos (ver discusión). De esta forma, la quimioestratigrafía fortalece de forma indirecta el criterio litológico clásico de Clavijo (1986). Por otro lado, la diferenciación de markers dentro de intervalos dominados por pelitas negras de PAAB (MFe0 y MK0) y de PD129 (MFe3 y MK3) otorga un criterio extra de correlación en contextos de litologías uniformes y monótonas.

Un patrón geoquímico fundamental y muy importante para evaluar la quimioestratigrafía de la CGSJ, es la tendencia a incrementar el K hacia el tope de PAAB y en el intervalo de pelitas negras de PCGu (Fig. 12). Este comportamiento se vinculó a un factor de control estratigráfico de primer orden, independiente del contexto tectónico local, ya que los pozos evaluados se ubican en marcos estructurales diferentes. Al mismo tiempo, el intervalo sedimentario mencionado se

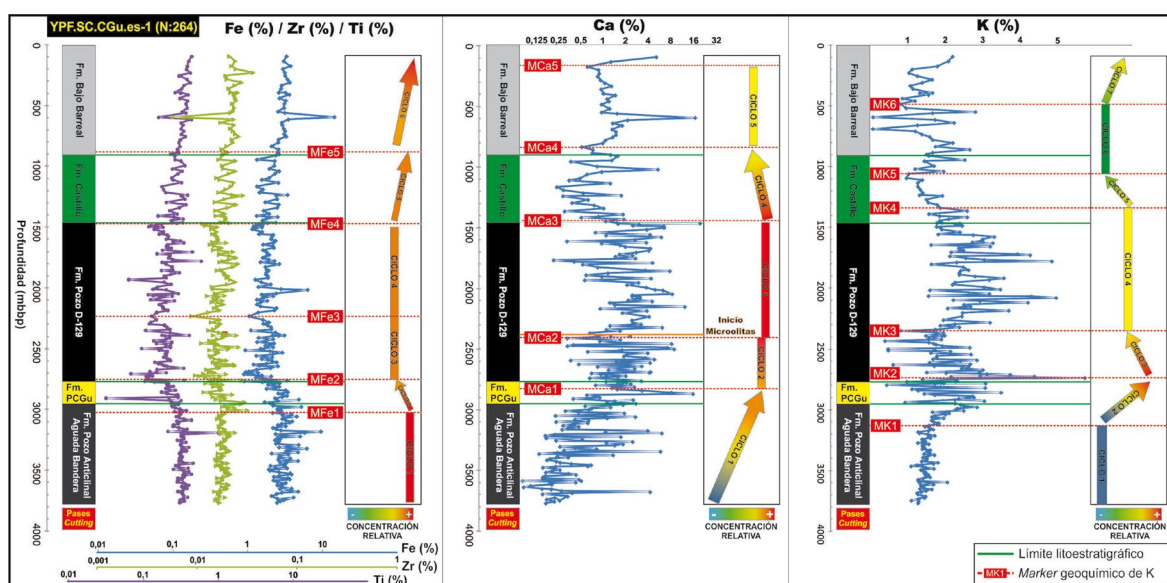


Figura 10. Geoquímica del cutting del pozo CGu-1. Las concentraciones relativas definen ciclos geoquímicos utilizados para interpretar markers de correlación. Notar el acople de los patrones generales de hierro (Fe), circonio (Zr) y titanio (Ti) y su correlación con los límites litoestratigráficos. En el patrón de concentración de calcio (Ca) se indica el inicio del registro de microolitas. El potasio (K) define una tendencia creciente antes del registro de tobas en el cutting .

corresponde con una posición estratigráfica contemporánea con la actividad del arco volcánico andino durante el Cretácico Inferior (Ghiglione *et al.* 2015). Teniendo en cuenta estos escenarios, se propone que el incremento de K tiene un origen vinculado al suministro de material piroclástico-volcanoclástico sin llegar al registro de tobas que puedan ser identificadas a ojo desnudo (ver discusión).

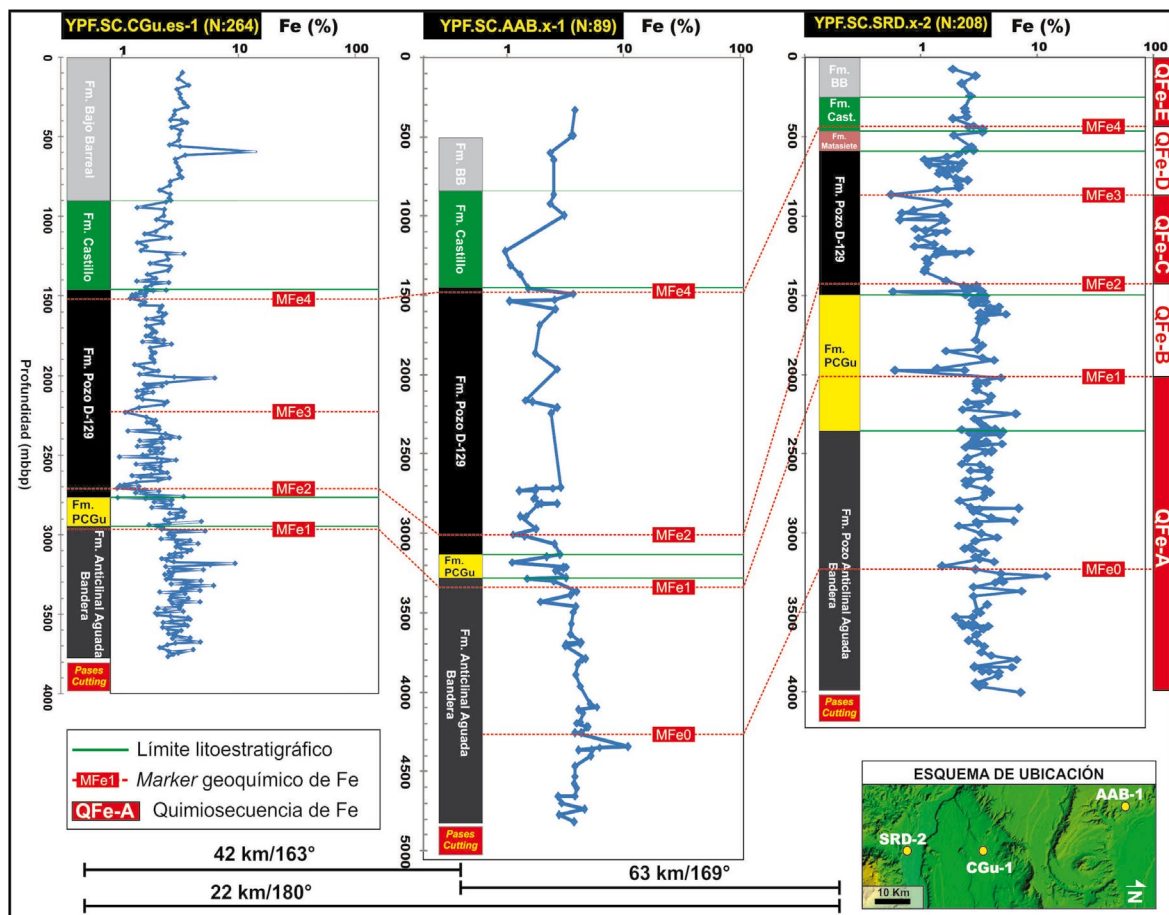


Figura 11. Correlación regional de quimiosecuencias definidas por la concentración de hierro (Fe) en los pozos CGu-1, AAB-1 y SRD-2. Notar la distancia entre los pozos.

Una interpretación alternativa surge de la propuesta de Larriestra *et al.* (2017), quienes analizan FRx en cutting de pozos del Flanco Sur (Cañadón León), y reconocen patrones de K análogos a los expuestos en este trabajo. Estos autores asocian el incremento vertical de K en PD129 al contenido de biodetritos de la unidad. Esta línea de trabajo fue desestimada, ya que al evaluar la geoquímica de las secuencias sedimentarias cretácicas, es evidente que la presencia del material tobáceo en pelitas y areniscas del GCh incrementa las lecturas de K, respecto de las litologías epiclásticas del GLH. Este comportamiento general se complementa con los resultados de Decastelli y Destefano (1990) obtenidos en el pozo YPF.SC.AdL.es-1, donde se indica un importante aumento en la

proporción de esmectita al ingresar al GCh y un dominio de esta arcilla durante todo su desarrollo. Este pozo se ubica 58 km al noroeste de CGu-1 (Fig. 1), por lo cual esta relación geoquímica-mineralógica sugiere un vínculo directo entre el desarrollo de este argilomineral y las lecturas de K en los depósitos tobáceos del GCh. Por otro lado, el efecto tobáceo en el contenido de K de areniscas y limolitas se sustenta por mediciones de FRx en afloramientos de deltas volcanoclásticos de PD129 en el extremo norte de la sierra Silva (Allard *et al.* 2018).

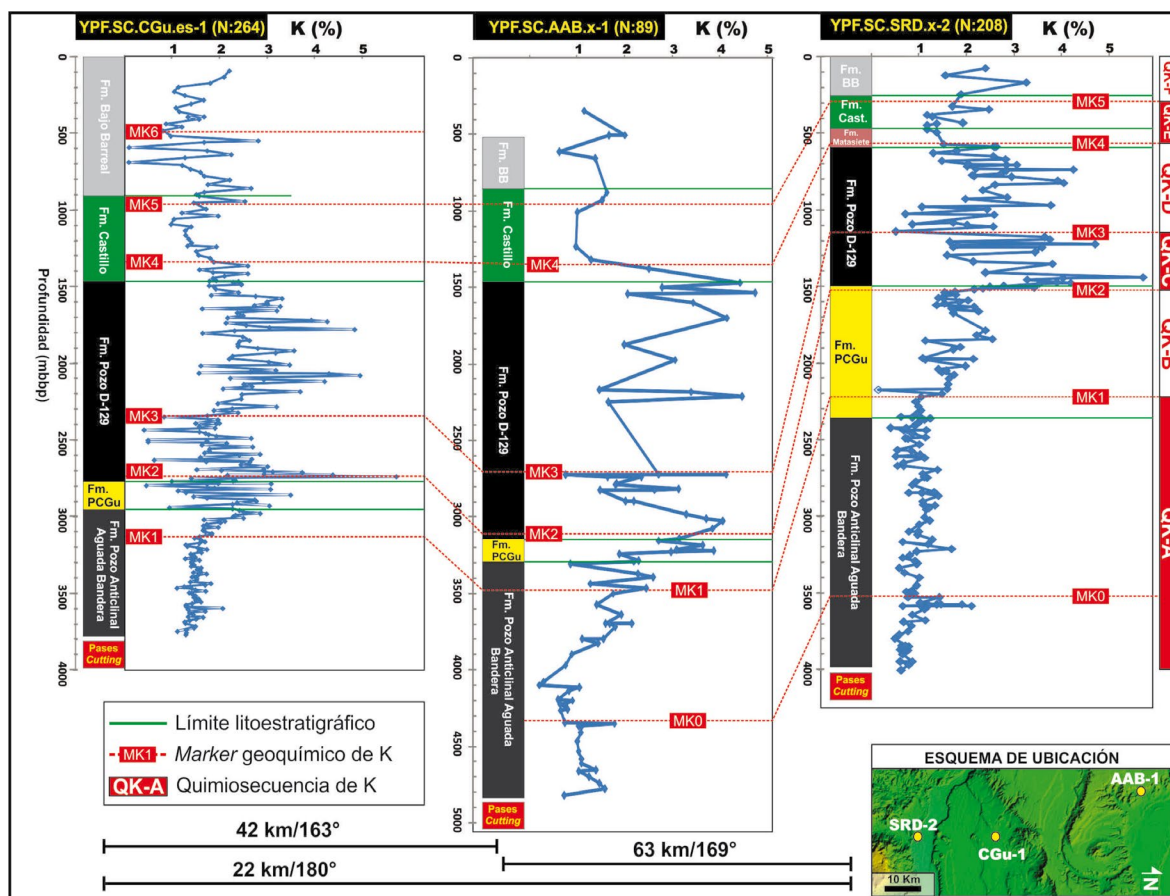


Figura 12. Correlación regional de quimiosecuencias definidas por la concentración de potasio (K) en los pozos CGu-1, AAB-1 y SRD-2. Notar la distancia entre los pozos

El estudio de FRx también incluyó la geoquímica del basamento económico. Esta información se obtuvo a partir de veinte valores medidos en distintas posiciones de la cuenca: PGS-1 (N: 9), EaLF-1(N: 3) y LG-1 (N: 8) (Fig. 13). Las litologías caracterizadas son contrastantes ya que incluyen recortes de rocas volcanoclásticas del Complejo Volcánico-Sedimentario (CVS) y de basamento cristalino vinculadas a granitos paleozoicos. Considerando la totalidad de las mediciones, el contenido geoquímico promedio indica mayores valores de K y Ca para los recortes de rocas ígneas graníticas, mientras que los depósitos del CVS muestran mayor contenido de Fe (Fig. 13). Los pozos PGS-1 y LG-1 presentan una densidad de muestreo similar, por lo cual se utilizó sus

rangos intercuartiles para comparar la geoquímica del basamento económico. En este sentido, los recortes de basamento granítico presentan un rango intercuartil de K y de Ca con valores mayores que los asociados a depósitos del CVS (Fig. 13). Por otro lado, el Fe presenta un rango intercuartil con valores menores en los granitos que en el CVS, con un valor de Q2 en los granitos similar al Q1 del CVS. En consecuencia, las distribuciones intercuartiles de Fe, K y Ca en el Flanco Norte (PGS-1) y en el Flanco Oeste (LG-1) definen valores geoquímicos particulares para cada litología del basamento económico. El Ti y Zr no muestran tendencias específicas.

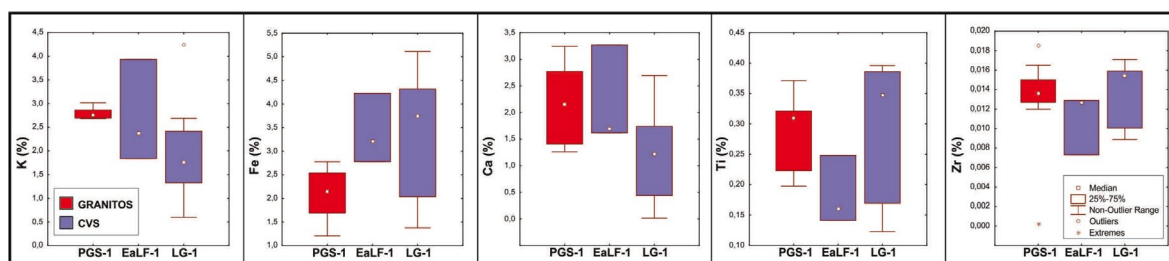


Figura 13. Geoquímica de cutting del basamento económico de la CGSJ. Los recortes de granitos corresponden a PGS-1 (N: 9), mientras que los niveles volcano-sedimentarios del CVS son de EaLF-1 (N: 3) y de LG-1 (N: 8). Ver ubicación de los pozos en la Figura 1.

CONTROLES EXTERNOS EN LAS QUIMIOSECUENCIAS

Los resultados expeditivos obtenidos con FRx permiten plantear algunas líneas generales en relación a los factores externos que ejercieron algún tipo de control en la evolución de las quimiosecuencias cretácicas de la CGSJ. A tal efecto, es fundamental considerar el efecto de las tefras en el registro estratigráfico, ya que es un elemento de primer orden que fue utilizado para diferenciar litológicamente el GLH del GCh (Clavijo 1986). Por otra parte, también se deben considerar el efecto del retransporte y la resedimentación de material piroclástico primario. Este tema es objeto de continuas actualizaciones y revisiones (Kataoka 2009 entre muchos otros).

Recientes avances en tefrocronología caracterizan horizontes demasiado finos y/o con muy bajas proporciones de tefras como para ser identificados a ojo desnudo, de aquí que surge el concepto de criptotefras (Spano *et al.* 2017). El carácter críptico de estos depósitos hace de la geoquímica la herramienta fundamental para identificar y caracterizar estos registros. Spano *et al.* (2017) descubren criptotefras en el Lago Superior (Estados Unidos) y correlacionan sus posibles fuentes a partir del contenido de K₂O, FeO y CaO. La figura 4 de esa contribución muestra la variabilidad de esos elementos mayoritarios en el vidrio volcánico de 2 criptotefras y 8 tefras de referencia, donde el FeO: 1-3 (wt%), CaO: 0.5-2 (wt%), y K₂O: 2-5 (wt%). Realizando una conversión estequiométrica sencilla se demuestra que dichos rangos están acorde a las mediciones obtenidas con FRx portátil en las pelitas negras de PD129 (Figs 4 y 7). Esta analogía de valores geoquímicos enmarcados en contextos de sistemas lacustres, afectados por eventos piroclásticos, sugiere el posible desarrollo de criptotefras en los depósitos profundos de PD129. En este esquema, una vez depositada la

ceniza volcánica, el material lábil (vidrio) habría sido transformado a esmectita durante la diagénesis temprana debido a su inestabilidad termodinámica y elevada reactividad (Hong *et al.* 2017). Este escenario implicaría que las asociaciones de arcillas fueron afectadas principalmente por eventos piroclásticos independientemente de factores paleoclimáticos (Do Campo *et al.* 2010). Estas inferencias se correlacionan muy bien con el dominio de esmectita en el GCh de un pozo profundo del Flanco Oeste (Fig. 14), región donde la señal piroclástica está mejor desarrollada (Figari *et al.* 1999). La diagénesis posterior al soterramiento habría favorecido el desarrollo de interstratificados illita/

esmectita a través de la adición de K no intercambiable en la intercapa (Hong *et al.* 2018). De esta forma se explicaría de forma sencilla las mayores lecturas de K en las fangolitas del GCh respecto de las del GLH (Figs 7, 8 y 12).

El efecto del stress piroclástico/volcanoclástico en el sistema deposicional Matasiete-Pozo D-129 no se restringe solo al registro de tobas o criptotefras. La alteración de la ceniza volcánica aguas-arriba y aguas-abajo del sistema fluvial de la Fm. Matasiete, así como del material resedimentado y aportado por caída directa en el paleolago de PD129, habría impactado en la hidroquímica del sistema lacustre. Este proceso habría modificado el agua dulce del paleolago

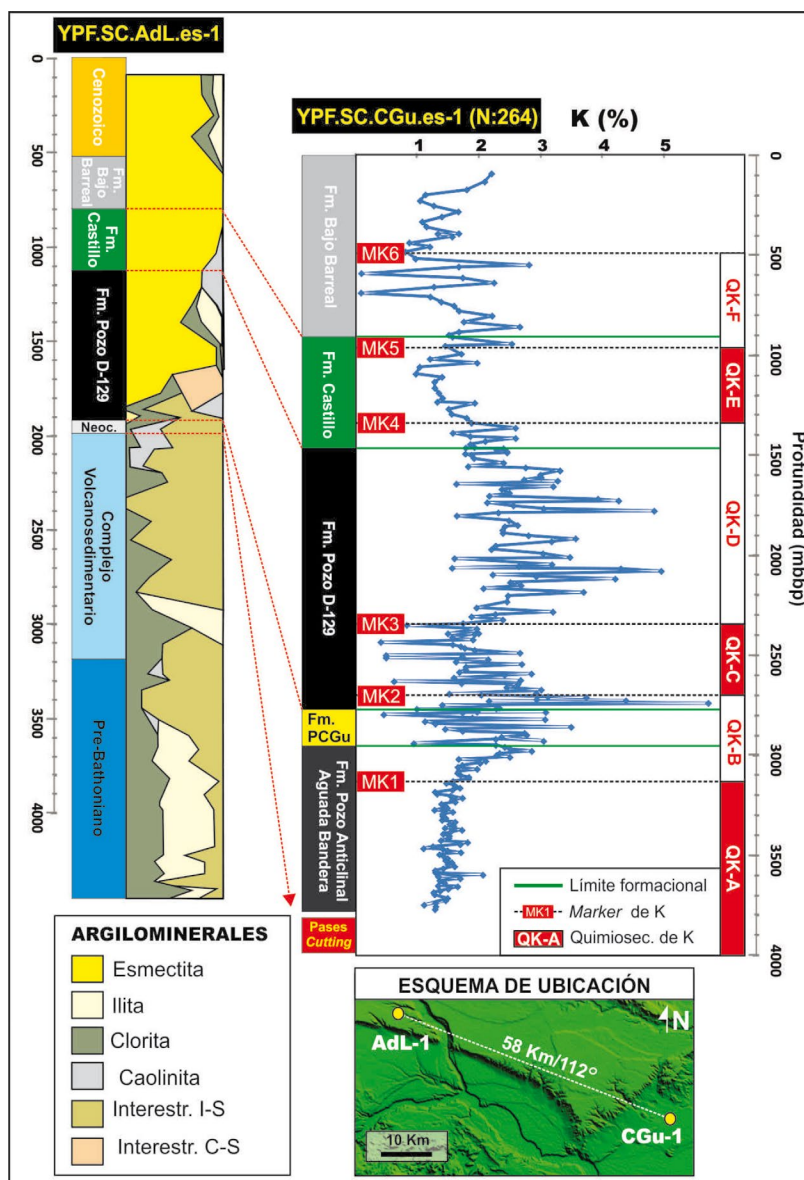
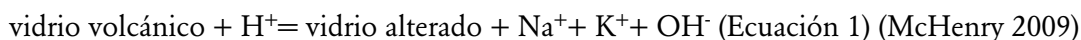


Figura 14. Correlación litoestratigráfica entre los pozos AdL-1 y CGu-1, a partir de la cual se comparan las quimiosecuencias de K con las asociaciones de argilominerales de las unidades cretácicas (sensu Decastelli y Destefano 1990). Notar el inicio del registro de esmectita al tope del Neocomiano y su dominio en el Grupo Chubut.

cerrado y balanceado (sensu Carrol y Bohacs 1999) hacia condiciones más salinas-alcalinas a partir de la reacción:



Esta relación entre el aporte volcanoclástico y la paleohidroquímica lacustre se sustenta de forma indirecta a partir de la presencia de calizas oolíticas en PD129 y su ausencia en los cuerpos de agua neocomianos. El desarrollo y relativa abundancia de estos precipitados carbonáticos en la base del Grupo Chubut viene acoplado al registro de limolitas tobáceas y tobas, y en general los recortes tobáceos anticipan la presencia de las oolitas o microoolitas (Figs 5, 6 y 10). El estrecho vínculo entre el aporte volcanoclástico y la generación de ooides está documentado en secciones delgadas de afloramiento donde los núcleos de precipitación son componentes neovolcánicos (Allard *et al.* 2018; Olazábal *et al.* 2018). Esta relación causa-efecto está implícita en los mapas de Merta (1974) y Figari *et al.* (1999), donde la plataforma carbonática está mejor desarrollada al oeste, próxima a las facies piroclásticas distales.

El producto de la ecuación 1 también explicaría la tendencia vertical al enriquecimiento de K al ingresar al GCh, en los depósitos de PD129 (Fig. 10). Este patrón se inicia antes del límite GLH-GCh, ya que comienza con el marker MK1 a partir del cual se define la quimiosecuencia QK-B (Figs 12 y 14). Este intervalo se ubica en niveles estratigráficos neocomianos, los cuales se caracterizan por la ausencia macroscópica de tobas (Fig. 12). Esta situación se interpreta como el efecto diluido de la ceniza volcánica en los niveles superiores de PAAB y en las pelitas negras de PCGu, donde solo se registra una señal geoquímica de K. En el pozo SRD-2 se observa claramente este comportamiento, ya que el intervalo de pelitas negras definidas al tope de PCGu tiene un rango intercuartil de K intermedio entre las de PAAB y PD129 (Fig. 8).

La meteorización química de rocas graníticas, así como de componentes paleovolcánicos tobáceos aportados por el CVS (o equivalentes) o por el Liásico, también habrían contribuido al control hidroquímico del gran lago de PD129. En este sentido, las mediciones de FRx en recortes de estas unidades indican elevados contenidos de K que podrían haber sido suministrados al sistema lacustre junto con el Ca (Fig. 13) (Owen *et al.* 2018). Esta hipótesis permitiría explicar el esquema paleogeográfico de Figari *et al.* (1999), donde se indica un buen desarrollo de facies carbonáticas en el Flanco Sur; región sin un vínculo lateral directo con facies piroclásticas distales, pero con áreas fuentes paleovolcánicas ubicadas en la región del Deseado.

En el Centro de Cuenca, el carácter tobáceo que define a las formaciones del GCh se ve diluido, situación que se amplifica en los pozos del off-shore, donde las unidades se tornan casi indiferenciabiles (Foix *et al.* 2018a). La geoquímica de pelitas negras del pozo PDA-1 (Centro de Cuenca) indica una disminución en el contenido de K respecto a los pozos AAB-1 y CGu-1, ubicados en la FPSB (Fig. 9). Esta tendencia se correlaciona con el decrecimiento del contenido tobáceo en sentido de Oeste a Este (Merta 1974, Figari *et al.* 1999). La magnitud de esta variabilidad

espacial cobra dimensión al comparar la abundancia de tobas y areniscas tobáceas que definen la Sección Media de PD129 en la FPSB (Atencio *et al.* 2015), respecto de la ausencia de esta litología y el posible desarrollo de criptotefras en el Centro de Cuenca.

Si se considera que el sistema lacustre de PD129 tuvo una paleogeografía integrada entre la región de FPSB y el Centro de Cuenca, se puede definir entonces, un gradiente Oeste-Este para el registro del stress volcanoclástico/piroclástico. En este contexto, el origen de los niveles tobáceos sería principalmente por resedimentación del material piroclástico y de forma subordinada por la caída directa de ceniza volcánica. En este esquema paleogeomorfológico, el volumen de ceniza volcánica aportada y la eficiencia del sistema lacustre para resedimentarla por sistemas proximales y distales (Fongngern *et al.* 2018) controlaría el registro de tobas, de limolitas tobáceas y de criptotefras.

Los patrones geoquímicos obtenidos no se restringen solo a elementos mayoritarios, ya que también se manifiestan marcadas tendencias verticales en el Ti y Zr (Fig. 10). El Ti puede ser inmóvil si se concentra en minerales secundarios y el Zr si se vincula a circones. Sin embargo ambos elementos asociados al vidrio volcánico presentan mayor movilidad (McHenry 2009). Teniendo en cuenta que la ceniza volcánica retransportada es un elemento diagnóstico para PD129, la alteración del vidrio volcánico estaría asociada a la movilidad del Ti y Zr presente en las tefras. Las mediciones de FRx realizadas en cutting exponen un comportamiento acoplado entre estos elementos y el Fe (Fig. 10), permitiendo correlacionar los trenes geoquímicos de CGu-1 con las quimiosecuencias regionales definidas en el GLH y el GCh (Fig. 11).

En términos generales, el patrón geoquímico de Fe, Zr y Ti expone un marcado descenso de las concentraciones al pasar de PCGu a PD129 (MFe2), un comportamiento estable en PD129 y una tendencia creciente en los depósitos subaéreos del GCh (MFe4 y MFe5). La caracterización geoquímica del basamento económico demuestra que tanto los granitos como los depósitos volcanoclásticos del CVS disponen de Zr y Ti. La meteorización de estas rocas en altos paleotopográficos internos y de borde de cuenca implicaría la liberación de minerales portadores de Zr y Ti (ej. circones, illmenita) o de dichos elementos (ej. alteración de líticos paleovolcánicos) (Owen *et al.* 2018). Estos habrían sido depositados en las cubetas neocomianas parcialmente aisladas o en el gran sistema lacustre de PD129. En cualquiera de los dos esquemas paleogeográficos cretácicos, la exposición de las rocas de basamento habría jugado un rol fundamental en el suministro de esos elementos geoquímicos, al igual que sucede con minerales como muscovita y cuarzo (Foix *et al.* 2018b). El decrecimiento del contenido de Ti de forma idéntica que el Fe puede vincularse a la disminución en el suministro de minerales detríticos pesados como ser opacos, illmenita, titanita y granate, independientemente del tipo de basamento involucrado aguas-arriba. De forma similar, el patrón de Fe por sí solo puede asociarse al aporte de minerales neoformados (ej. óxidos e hidróxidos férricos) (Owen *et al.* 2018) o de líticos con biotita y/o clorita provenientes de los altos de basamento jurásicos (Fig. 14) (Decastelli y Destefano 1990). Por otro lado, las mediciones de Zr

exponen un patrón vertical que disminuye levemente su concentración relativa al ingresar al GCh. Este comportamiento sugiere un origen detrítico ya que de haber sido liberado por alteración del vidrio neovolcánico, este habría sido capturado en minerales secundarios, incrementando su concentración en ese intervalo estratigráfico. A partir de lo mencionado, se considera como muy probable que el patrón de Fe, Ti y Zr en el límite del GLH-GCh responda a la superficie expuesta de los altos paleotopográficos en las cabeceras de los sistemas de transferencia fluviales. Estos habrían sido más abundantes durante la etapa de cuencas hambrientas vinculada a PAAB (Figari *et al.* 1997). La integración de las cubetas, así como la colmatación de los depocentros habría reducido el suministro de elementos geoquímicos vinculados a altos de basamento. Esta situación se complementaría con la cobertura parcial o total con tefras de las áreas fuentes, vinculado a la actividad piroclástica distal del Grupo Divisadero durante la depositación del GCh (Cas y Wright 1987). La leve tendencia a incrementar el contenido relativo de Fe, Zr y Ti a partir del marker MFe4 (Fig. 10), en los depósitos subaéreos del GCh, habría estado controlada por la depositación y alteración de los componentes neovolcánicos.

Los resultados geoquímicos obtenidos permiten considerar las cubetas cretácicas de la CGSJ como un laboratorio natural para evaluar los controles quimioestratigráficos de cuencas extensionales pre- y sin- eruptivas de un arco volcánico distal.

CONCLUSIONES

El estudio realizado demuestra la importancia de la revisión del cutting, inclusive en una cuenca madura con más de 100 años de historia. Los resultados obtenidos proponen la redefinición de algunos de los pases formacionales del GLH y del GCh. En especial se destaca la calibración de centenas de metros para el tope del PCGu (límite GLH-GCh) utilizando el criterio básico, simple y sólido de Clavijo (1986).

Los resultados de FRx permitieron un estudio quimioestratigráfico donde se definieron distintos markers a partir del contenido de Fe, K, Ca, Zr y Ti, algunos de los cuales coinciden parcialmente con los límites formacionales. El reconocimiento de quimiosecuencias de Fe y K de centenas de metros de espesor permiten definir ciclos geoquímicos de primer orden bien desarrollados. Las correlaciones geoquímicas en pozos separados decenas de kilómetros sustentan señales regionales que son independientes de los contextos tectonoestratigráficos y de las condiciones locales de acomodación. La diferenciación de ciclos geoquímicos en las pelitas negras del Neocomiano y de PD129 aporta nuevos criterios para subdividir intervalos litológicamente monótonos. La medición de FRx en cutting es una metodología rápida, económica, con resultados en tiempo real, de alta resolución y no destructiva, con mucho potencial para el estudio de las secuencias cretácicas de la CGSJ.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a YPF S.A. por permitir difundir los resultados. Esta contribución está dedicada a la memoria de Ricardo Clavijo, quien fundó las líneas de base de este estudio e influenció y motivó muchas de las ideas sobre las cuales se trabajaron. Los comentarios y las detalladas correcciones de Marcelo Limeres mejoraron sustancialmente la contribución original.

REFERENCIAS CITADAS

- Allard, J.O., N. Foix y S.A. Buetti, 2017, "Nuevo hallazgo de la Formación Pozo D-129 en el Anticlinal del Cerro Kepi (Sierra Silva, cuenca del Golfo San Jorge): paleoambiente, estratigrafía y controles externos", XX Congreso Geológico Argentino, Actas ST 1, p. 1-6, Tucumán, Argentina.
- Allard, J.O., N. Foix., S.A. Buetti y S.X. Olazábal, 2018, "Variabilidad petrofísica, geomecánica y geoquímica de deltas volcánoclasticos de la Formación Pozo D-129 en la sierra Silva, cuenca del Golfo San Jorge", este congreso.
- Atencio, M., E. Junken, Y. Basile, S. Utge y F. Spath, 2015, "Geomorfología sísmica de la última transgresión lacustre de la Formación Pozo D-129 en la región de la faja plegada, cuenca del Golfo San Jorge" Revista de la Asociación Geológica Argentina 72, 1, p. 136-147.
- Barcat, C., J.S. Cortiñas, V.A. Nevistic y H.E. Zucchi, 1989, "Cuenca del Golfo San Jorge". En: Chebli, G., Spalletti, L. (Eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica Nro 6, Universidad Nacional de Tucumán, p. 319-345.
- Carroll, A.R. y K. M. Bohacs, 1999, "Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls", *Geology* 27, p. 99-102.
- Cas, R.A. y J.V. Wright, 1987, "Volcanic succession, modern and ancient", Chapman & Hall.
- Clavijo R., 1986, "Estratigrafía del cretácico inferior en el sector occidental de la Cuenca Golfo San Jorge. Boletín de Informaciones Petroleras, Tercera Epoca Año III, 9, p. 15-32.
- Decastelli, O.O. y M.C. Destefano, 1990, "Aplicación de geotermómetros en la evaluación diagenética del sondeo Aguada del Leon es-1, Santa Cruz", XI Congreso Geológico Argentino, Actas I, p. 7-10.
- Do Campo, M., C. Del Papa, F. Nieto, F. Hongn y I. Petrinovic, 2010, "Integrated analysis for constraining palaeoclimatic and volcanic influences on clay-mineral assemblages in orogenic basins (Palaeogene Andean foreland, Northwestern Argentina)", *Sedimentary Geology* 228, p. 98-112.
- Feruglio, E., 1949, "Descripción Geológica de la Patagonia", Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Editorial Coni, 334 p., Buenos Aires.
- Figari, E., M. Cid de la Paz, G. Laffitte, 1997, "Modelos de Hemigrábenes en el Neocomiano del Sector Occidental de la Cuenca del Golfo San Jorge: Sistemas Petroleros, Origen e Inversión Tectónica", Boletín de Informaciones Petroleras, 52, p. 4-17, Buenos Aires, Argentina.

- Figari, E., E. Strelkov, G. Laffitte, M.S. Cid de la Paz, S. Courtade, J. Celaya, Vottero A., P. Lafourcade, R. Martínez y H.J. Villar, 1999, "Los sistemas petroleros de la cuenca del Golfo San Jorge. Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica", IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas 1, p. 197-237, Mar del Plata, Argentina.
- Fitzgerald, M.G., R.M. Mitchum, M.A. Uliana y K.T. Biddle, 1990, "Evolution of the San Jorge Basin, Argentina", American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74, 6, p. 879-920.
- Foix, N., J.O. Allard, M.L. Ferreira y M. Atencio, 2018a, "Aportes a la arquitectura estratigráfica del Grupo Chubut en el Flanco Norte, Centro de Cuenca y Offshore de la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina", este congreso.
- Foix, N., J.O. Allard, M.L. Ferreira y Atencio M., 2018b, "Influencia del basamento ígneo-metamórfico en la sedimentación del Grupo Chubut: implicancias en la calidad de sus rocas reservorio en el Flanco Norte y Offshore de la cuenca del Golfo San Jorge", este congreso.
- Fongngern, R., C. Olariu, R. Steel, D. Mohrig, Krezsek C. y T. Hess, 2018, "Subsurface and outcrop characteristics of fluvial-dominated deep-lacustrine clinoforms", Sedimentology 65, p. 1447-1481.
- Ghiglione, M.C., M. Naipauer, C. Sue, V. Barberón, V. Valencia, B. Aguirre-Urreta y V.A. Ramos, 2015, "U-Pb zircon ages from the northern Austral basin and their correlation with the Early Cretaceous exhumation and volcanism of Patagonia", Cretaceous Research 55, p. 116-128.
- Hechem, J.J., E.G. Figari y E.A. Musacchio, 1987, "Cuenca del Golfo San Jorge. Hallazgo de la Formación D-129. Información estratigráfica y paleontológica", Petrotecnia. 28, 11, p. 13-15.
- Hechem, J.J. y E.E. Strelkov, 2002, "Secuencia sedimentaria mesozoica del Golfo San Jorge", en: J.M. Haller (ed.) Geología y recursos Naturales de Santa Cruz, 15° Congreso Geológico Argentino 1, p. 129-147, Buenos Aires.
- Hong, H., Q. Fangb, Ch. Wang, G. Jock Churchman, L. Zhao, N. Gong y K. Yin, 2017, "Clay mineralogy of altered tephra beds and facies correlation between the Permian-Triassic boundary stratigraphic sets, Guizhou, south China", Applied Clay Science 143, p. 10-21.
- Hong, H., L. Zhao, Q. Fang, T.J. Algeo, Ch. Wang, J. Yu, N. Gong, K. Yin y K. Ji, 2018, "Volcanic sources and diagenetic alteration of Permian-Triassic boundary K bentonites in Guizhou Province, South China", Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology, in press.
- Kataoka, K., 2009, "Impacts of explosive volcanism on distal alluvial sedimentation: Examples from the Pliocene -Holocene volcanoclastic successions of Japan" Sedimentary Geology 220, 306-317.
- Larriestra, F., M.E. Covo, Cúneo R., R.A. Benso, A. Corvelleri y C.N. Larriestra, 2017, "La relación K/Rb, su implicancia geológica y petrofísica: un caso de prueba en la cuenca del Golfo San Jorge", Desafíos Y-Tec 4, 10, p. 60-65.
- Lesta, P. y R. Ferello, 1972, "Región Extraandina del Chubut y norte de Santa Cruz" en: A. Leanza (ed), Academia Nacional de Ciencias (Eds.) Geología Regional Argentina, p. 601-654, Córdoba.
- 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, Actas 1, p. 489-510, Mendoza, Argentina.

- McHenry, L.J., 2009, "Element mobility during zeolitic and argillic alteration of volcanic ash in a closed-basin lacustrine environment: Case study Olduvai Gorge, Tanzania", *Chemical Geology* 265, p. 540-552.
- Merta, J., 1974, "Planos varios de la cuenca del Golfo San Jorge. Informe Yacimientos Petrolíferos Fiscales (inédito)", 5 p., Comodoro Rivadavia.
- Olazábal, S.X., J.O. Allard y N. Foix, 2018, "Petrografía de depósitos litorales de la Fm. Pozo D-129: aportes a la interpretación paleoambiental desde la lamina delgada", *Actas VI Jornadas de Ciencias de la Tierra "Dr. Eduardo Musacchio"*, Comodoro Rivadavia.
- Owen, R.B., R.W. Renaut y T.K. Lowenstein, 2018, "Spatial and temporal geochemical variability in lacustrine sedimentation in the East African Rift System: Evidence from the Kenya Rift and regional analyses", *Sedimentology* 65, p. 1697-1730.
- Paredes, J.M., N. Foix, F. Colombo, A. Nillni, J.O. Allard y R. Marquillas, 2007, "Volcanic and climatic control on fluvial style in a high energy system: the Lower Cretaceous Matasiete Formation, Golfo San Jorge basin, Argentina", *Sedimentary Geology* 202, p. 96-123.
- Paredes, J.M., J.O. Allard, N. Foix, B. Alvarez y S.X. Olazábal, 2014, "Sedimentología y perfiles de rayos gamma de la Formación Pozo D-129 en la Sierra de San Bernardo, Chubut", *Actas IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, p. 455-479, Mendoza, Argentina.
- Schiuma, M.F. y C.N. Larriestra, 2013, "Geological environment and oil systems characterized by x Ray Fluorescence tool", *AAPG Search and Discovery Article #90166©2013 AAPG International Conference & Exhibition*, Cartagena, Colombia.
- Sciutto, J.C., 1981, "Geología del codo del río Senguerr, Chubut, Argentina", 8° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 3, p. 203-219, Buenos Aires.
- Spano, N.G., C.S. Lane, S.W. F. y T.C. Johnson, 2017, "Discovery of Mount Mazama cryptotephra in Lake Superior (North America): Implications and potential applications", *Geology*, 45; 12; p. 1071-1074.
- Sylwan C., C. Droeven, J. Iñigo, F. Mussel y D. Padva, 2011, "Cuenca del Golfo San Jorge" VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, *Simposio Cuencas Argentinas: visión actual*, p. 139-183.



**10° CONGRESO DE
EXPLORACIÓN Y
DESARROLLO DE
HIDROCARBUROS**

**Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018**