

IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ROCAS ÍGNEAS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE REGISTROS DE IMÁGENES DE POZO

Leonardo Simonetto¹, Marta I. D'Angiola²

1: YPF S.A. leonardo.simonetto@ypf.com

2: Weatherford Argentina. marta.dangiola@weatherford.com

Palabras clave: Rocas Ígneas, Imágenes de Pozo, Texturas

ABSTRACT

Igneous rocks, both of intrusive and extrusive origin, comprise and represent an important group within the hydrocarbon reservoirs identified in various productive basins in Argentina. These rocks appear with different distributions and settings, generating effects in the petroleum system of variable magnitude. To predict the distribution of the hydrocarbon reservoir, it is necessary to know the type of igneous rock, characterize it and adjust it to a geological model.

A compilation and detailed analysis of different borehole image logs acquired by different service companies in exploration campaigns and development wells was carried out. Different types of igneous rocks have been analyzed, such as intrusive bodies, lava flows, ignimbrites, ash-flows, auto-breccias, fall deposits, among others.

The approach of the borehole image logs allows not only to interpret the fractures that these rocks have, but also the textures and architecture of the deposits, which are key to the definition of their igneous origin.

For the construction of a solid geological model, it is necessary to calibrate the information from the image logs together with the description of the cores and, to a lesser extent, the description of *cuttings*.

This work shows a selection of the main igneous rock textures identified from well images and their geological interpretation, which were used for the construction of the geological model in different projects.

INTRODUCCIÓN

La caracterización de facies volcánicas y subvolcánicas es de mucha dificultad cuando sólo se utilizan perfiles convencionales y descripciones de *cutting*. Estas herramientas no permiten describir texturas y estructuras que son fundamentales para poder clasificar estas litologías y así interpretar su arquitectura.

La importancia de caracterizar las rocas ígneas en subsuelo de una manera más precisa lleva a la utilización de las imágenes de pozo (resistivas y/o acústicas) como herramienta fundamental a la hora de llevar a superficie una visión 3D de la pared del pozo. No sólo se pueden interpretar

las irregularidades, las fracturas naturales e inducidas, sino también las características texturales que llevarán a la caracterización de las facies de imagen. Los arreglos geométricos, la medición de espesores, las relaciones de emplazamiento con la roca de caja son solamente algunas de las características o rasgos cualitativos y cuantitativos que se pueden obtener.

Existen diversas tecnologías o herramientas de registros de imágenes de pozo, ya sea con cable (wireline), o modo memoria (sistemas asistidos) o bien registros durante la perforación (LWD-*Logging while drilling*). Las más conocidas y utilizadas en la industria son las herramientas de imágenes resistivas y las herramientas acústicas en menor medida. Las resistivas presentan dispositivos para registrar en lodos conductivos (base agua) y lodos no conductivos (base aceite). Las acústicas se pueden utilizar en ambos tipos de lodos. Para este trabajo recopilación se contó con registros de

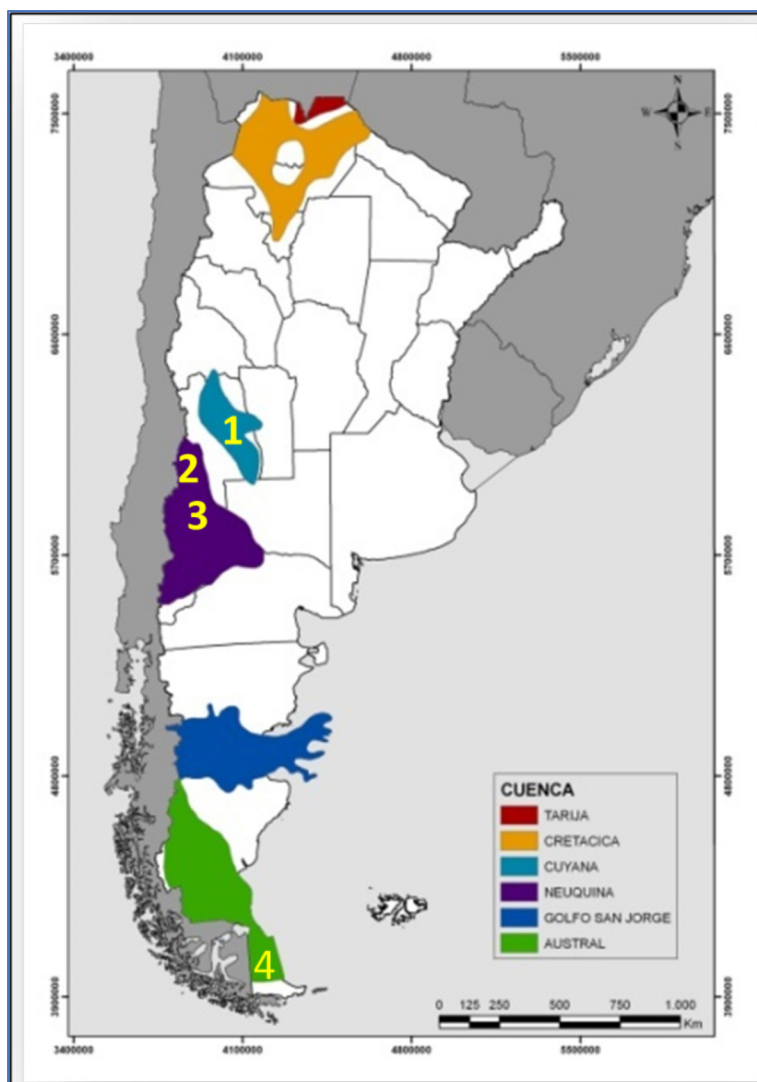


Figura 1. Cuencas productivas de hidrocarburo de Argentina. 1- Lavas de F. Punta de las Bardas, Cuenca Cuyana, 2- Intrusivos en Sur Mendoza; 3- Cuerpos asociados a Cupén Mahuida y 4- Formación Tobífera, Cuenca Austral

cable de herramientas resistivas principalmente y en algunos casos acústicas, así como también registros adquiridos de manera asistida en modo memoria (*CWS*). El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar las diferentes texturas descritas en imágenes de rocas ígneas, volcánicas, subvolcánicas y piroclásticas en diferentes cuencas sedimentarias de la República Argentina, las cuales son fundamentales para su entendimiento.

CASOS DE ESTUDIO

Los principales tipos de rocas ígneas analizadas en esta compilación están asociados principalmente a Cuenca Neuquina, Cuenca Austral y Cuenca Cuyana, encontrándose en menor medida ejemplos de este tipo de rocas en cuencas como la de Golfo San Jorge y Noroeste. En la Figura 1 podemos ver la distribución de las cuencas productivas argentinas, y en función de la disponibilidad y calidad de imágenes se tomó como casos de estudio en especial, las coladas basálticas de la Cuenca Cuyana, los intrusivos en Agrio y Vaca Muerta de la Cuenca Neuquina y la Fm. Tobífera de Cuenca Austral.

EDAD		FORMACION	LITOLOGIA	FASE TECTÓNICA	ROCA RESERVORIO	ROCA MADRE	ROCA SELLO	AMBIENTE SEDIMENTARIO	ESPESOR [metros]	TIEMPO [Ma]
TERCIARIO	PLIOCENO	MOGOTES		ANTEPAÍS				ALUVIAL	0-2000	
		SERIE AMARILLA							0-400	2.0
		TOBAS GRISES SUPERIOR						Vulcanitas	0-100	8.7
		LA PILONA						SISTEMAS	0-250	8.9
		TOBAS GRISES INFERIOR						Vulcanitas	0-150	11.7
	MIOCENO	MARIÑO						ALUVIALES	800-1600	12.2
		Mb. Areniscas Entrecruzadas								
		Mb. Divisadero Largo						Eólico/Fluvial	100-250	
	OLIGOCENO EOCENO	DIVISADERO LARGO						FLUVIAL	10-20	
		PUNTA DE LAS BARDAS						FLUVIAL	0-150	15.5
CRETÁCICO	INFERIOR			RIFT abortado?				BASALTOS	0-100	60-40?
JURÁSICO	SUPERIOR	BARRANCAS		POSTRIFT				ABANICOS ALUVIALES FLUVIAL Y BARREAL	0-200	120-160
TRIÁSICO	RHAETIAN	RIO BLANCO		SAG				FLUVIAL	200-900	202
	NORIAN							DELTAICO		
	CARNIAN	CACHEUTA		SYNRIFT II				LACUSTRE	40-450	
		POTRERILLOS						DELTAICO	100-800	228
	LADINIAN	LAS CABRAS Brecha Verde		SYNRIFT I				PLANICIE ALUVIAL		232
	ANSIAN							VOLCANICOS LACUSTRE	100-700	
	SCYTIAN	RIO MENDOZA						FLUVIAL		242
								ABANICO ALUVIAL	50-200	245
PALEOZOICO		BASAMENTO		PRERIFT						245

Figura 2. Columna estratigráfica esquemática, (Zencich *et al* 2006)

CUENCA CUYANA

Cubre una superficie aproximada de 30000 km² en las provincias de San Juan y Mendoza y corresponde a una cuenca de tipo rift compuesta de norte a sur por una sucesión de subcuencas o depocentros (Kokogian *et al.* 1993) parcial o totalmente desconectados entre sí por altos intracuencales de basamento (Kokogian y Boggetti 1987). La sección sedimentaria se extiende desde el Ordovícico hasta el Terciario, con la roca madre generadora de petróleo en clásticos del Triásico tardío y potenciales reservorios en clásticos del Devónico, Carbonífero, Triásico tardío, Jurásico superior y Terciario superior. La Figura 2 corresponde a la columna estratigráfica esquemática tomada de Zencich *et al.* 2006. Existen varios eventos intrusivos de edad Jurásico – Cretácico, (en Fm. Las cabras, Fm. Cacheuta y Fm. Potrerillos). La Formación Punta de las Bardas (Flecha roja en la Figura 2), representa un evento extrusivo (¿*Rift* abortado?) que rellena el relieve previo y constituye el sello regional de la cuenca; por dicha razón se tomó como caso de estudio estas lavas y fueron caracterizadas a través de imágenes resistivas tanto dinámicas como estáticas, corridas en lodo base agua en pozos verticales.

Lavas como sellos: Formación Punta de las Bardas

En la Figura 3 se puede observar la superposición de tres coladas individuales, con espesores decrecientes hacia el tope de la imagen. En cada colada individual se observa una facies basal (a), con texturas muy resistivas y compactadas posiblemente por el mismo peso de la columna de lava; transicionalmente pasa a una facies de basaltos muy finos, masivos con fluidalidad marcada, culminando hacia el tope con una facies de basaltos vesiculares muy finos, con alteración producto posiblemente de la exposición aérea (c). Dada su calidad y propiedades petrofísicas cumplen la función de sello en este sistema petrolero. Sin embargo, es importante la determinación de fracturas naturales, ya sean tectónicas o de enfriamiento porque pueden romper el sello.

Otra información importante para el modelo regional es la interpretación de las estructuras de flujo dentro del basalto. Los flujos se forman cuando la estructura de la lava se alinea en filas paralelas o en ondas cordiformes, las cuales podrían estar relacionadas a vectores de movimiento de la colada (Farooqui *et al.* 2009).

Las rosetas de acimut de la estratificación volcánica (previamente removido el buzamiento estructural) en color morado podrían indicar direcciones de paleo-pendiente locales o regionales, que permitieron que estas rocas efusivas se derramen en una dirección preferencial. En este ejemplo, la base de la colada 1, apoya de manera concordante y paralela al tope de la Fm. Barrancas (dirección al Oeste), mientras que por encima la fluidalidad muestra una dirección al NNE.

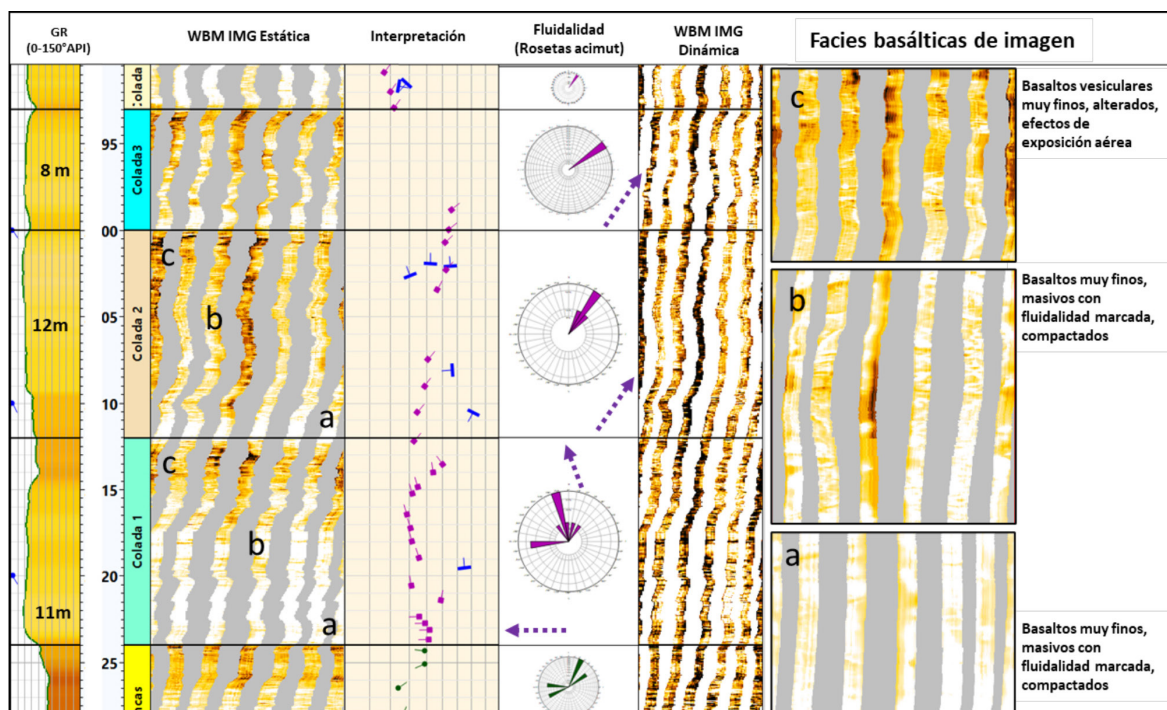


Figura 3. Desarrollo de coladas, Formación Punta de las Bardas, en el área de Vacas Muertas.

CUENCA NEUQUINA

La Cuenca Neuquina abarca la casi totalidad de la provincia del Neuquén, Oeste de Río Negro y La Pampa y el extremo SO de Mendoza (Figura 4). Desde el punto de vista estratigráfico, su historia depositacional comienza en el Triásico, en un escenario de apertura o rifting, con depósitos continentales que rellenaron fosas sobre el Gr. Choiyoi, que continúan hasta el Jurásico Inferior (Precuyano), dominados por regímenes de subsidencia por falla. Por encima continúa una etapa syn-rift seguida por hundimiento termal y representados por el Grupo Cuyo y Grupo Lotena durante el Jurásico medio, que se interrumpe por movimiento diastrófico que produce el levantamiento de la Dorsal de Huincul, depositándose la Formación Tordillo continental en el Jurásico superior, base del Grupo Mendoza. La posterior inundación produjo el ciclo Vaca Muerta – Quintuco, que fueron seguidos por la depositación de depósitos clásticos producto de una importante caída del nivel del mar (Ciclo Agrio-Centenario). Al Grupo Mendoza, le sigue el Grupo Rayoso y las sedimentitas continentales del Grupo Neuquén del Cretácico Superior. A principios del Terciario, la transgresión atlántica conforma el conjunto del Grupo Malargüe. Las fases diastróficas andinas del Terciario, aportan la gran mayoría de los intrusivos terciarios, mayormente posteriores al Eoceno especialmente en el sector sur mendocino, aunque afectan a casi toda la columna estratigráfica. En esta sección se aportarán ejemplos de estos productos, asociados muchas veces con reservorios, actuando de manera positiva o negativa en el desarrollo de los sistemas petroleros asociados.

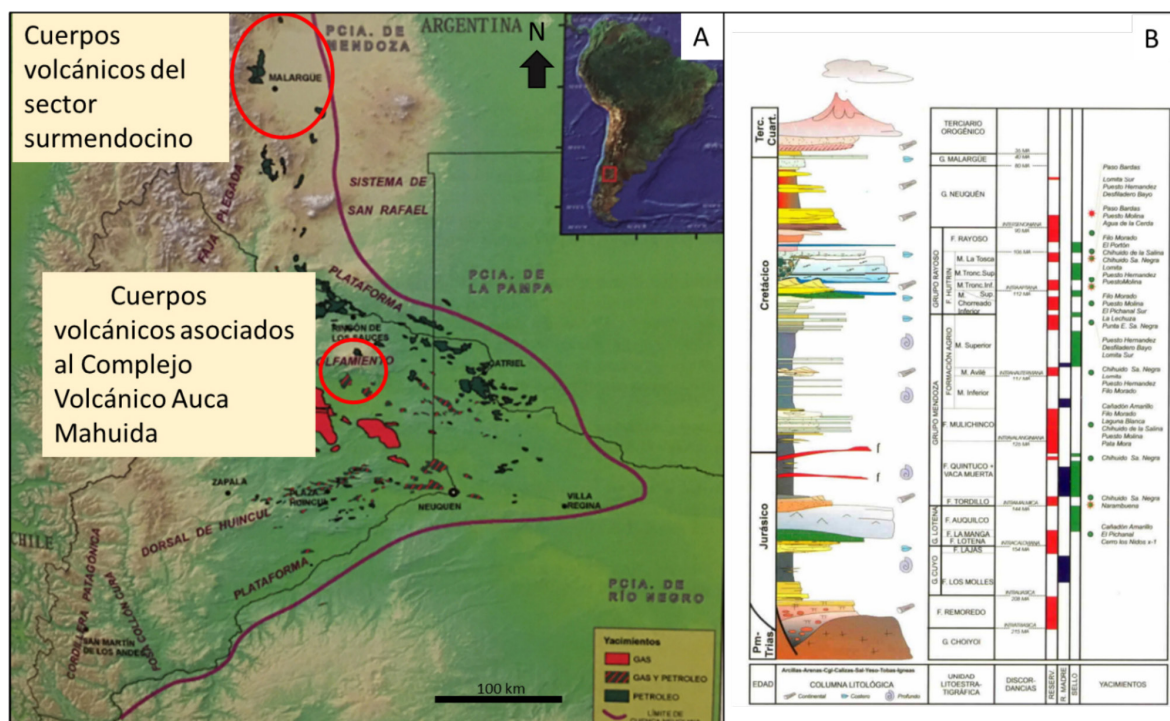


Figura 4. A: Mapa de la Cuenca Neuquina con los casos de estudio. B Columna estratigráfica esquemática.

Los cuerpos volcánicos del sector sur-mendocino

Se han descripto filones y diques en diferentes niveles y su importancia fue destacada por Schiuma y Llambías (2014). Según estos autores, los filones capa o *sills* se intruyen preferentemente en niveles de baja competencia mecánica, como por ejemplo Fm. Vaca Muerta y Fm. Agrio, y en menor medida Huitrín y Grupo Neuquén. La calidad de estas rocas es variable, con porosidades desde nula hasta elevadas, conformándose en estos casos en rocas reservorios si su porosidad supera a la porosidad de las rocas de caja que actuarían como sello.

La utilización de las imágenes de pozo permite una caracterización más extensiva de estos cuerpos en subsuelo que lo que ofrecen las coronas. Por esta razón, a continuación, se caracterizarán las principales texturas que son observables en la pared del pozo, así como también sus relaciones espaciales y características geométricas. Los pozos elegidos como ejemplo son verticales a levemente desviados por lo cual sólo se describirán filones horizontales o sub-horizontales; las imágenes son resistivas y corridas en lodos base agua.

El criterio de caracterización en esta sección se basó en la definición visual de intervalos de imagen con características similares, generando el concepto de textura de imagen y facies de imagen, comparando en algunos casos cuerpos emplazados en diferentes niveles y en diferentes localidades. Se eligieron casos de estudio, ubicados en la zona de la faja plegada y corrida de Malargüe (área Los Cavaos) dada la disponibilidad y calidad de imágenes de pozo las cuales

permitieron caracterizar 2 grupos de facies principales: las facies de metamorfismo de contacto (superior e inferior) y las facies de los filones propiamente dichos.

Las zonas de metamorfismo de contacto (ZMC)

En todos los filones de composición andesítica (según el control geológico) la roca de caja intruida sufre una transformación mineralógica y textural debido a la acción térmica propia del proceso del emplazamiento. El alcance de dicha transformación va a depender de la composición de la roca de caja y de la temperatura del cuerpo intruido, entre otros factores. Estas zonas de baja resistividad (CLR_sZ) fueron extensamente desarrolladas por Spacapan *et al.* en 2019. La zona de metamorfismo de contacto superior (ZMCS) presenta inter-digitamiento o apófisis, evidenciados por formas que asemejan cuernos de resistividad indicando relictos de la roca de caja, mientras que la zona de metamorfismo de contacto inferior (ZMCI), también muestra anomalías de resistividades, pero además se halla más fracturada y deformada como consecuencia de la fricción durante el emplazamiento. Las figuras 5A y 5B ilustran las características principales que manifiestan estas facies en la pared del pozo.

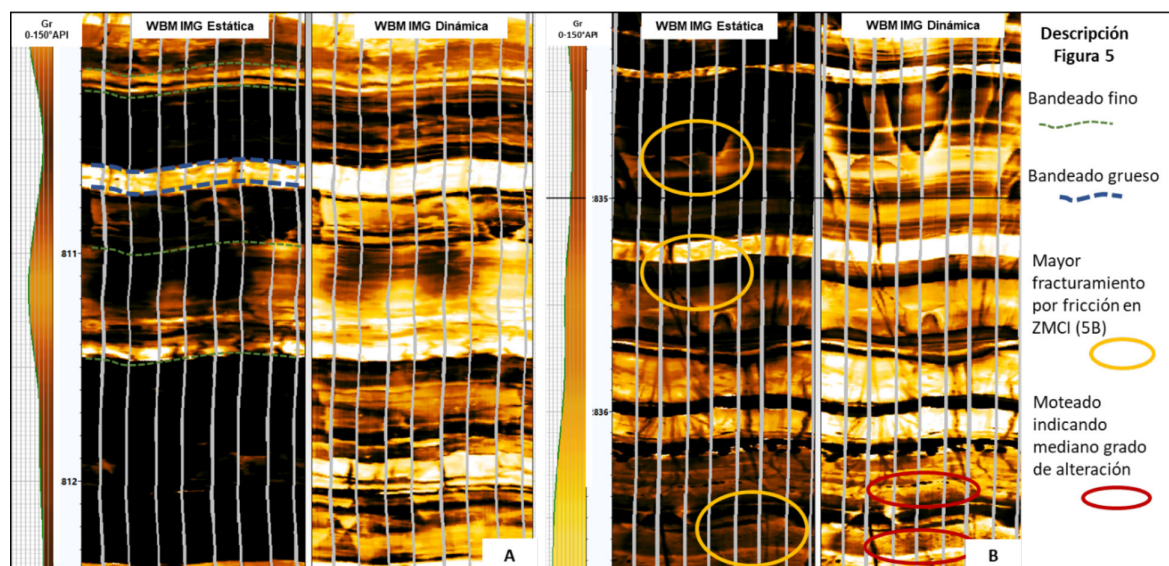


Figura 5. Zonas de Metamorfismo de Contacto (ZMC). (A) ZMCI y (B) ZMCS, filón en Fm. Vaca Muerta.

Facies de Filón

Los casos estudiados corresponden al área Los Cavaos en la faja plegada de Malargüe y se describen texturas en diferentes niveles estratigráficos, dentro del mismo pozo para que puedan ser comparables entre sí. La figura 6 resume las zonas o facies desarrolladas dentro del cada filón intruido en Fm. Vaca Muerta y Fm. Agrio, (Figuras 6A y 6B respectivamente); tanto en imágenes

estáticas como dinámicas, se pudieron describir en detalle diferentes texturas visuales que fueron asociadas verticalmente y agrupadas en tres facies distintivas: facies bandeadas basales, facies intermedias con diferente grado de alteración y facies bandeadas superiores. Las mismas son descriptas en detalle a continuación.

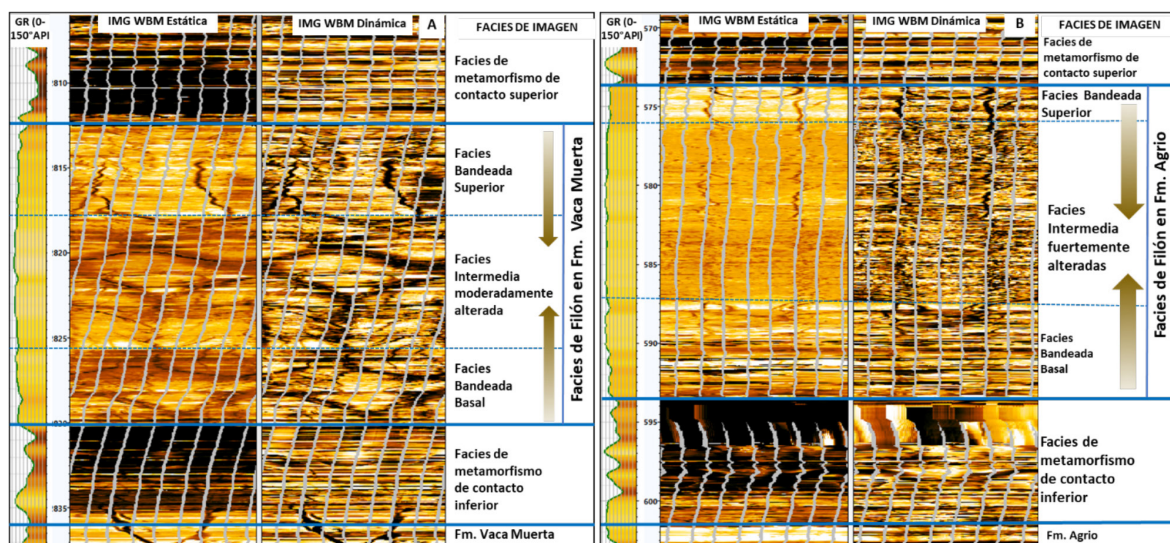


Figura 6. Resumen zonas del filón intruido en la Fm. Vaca Muerta (A) y Fm. Agrio (B). Las flechas indican intensidad y dirección de aumento de la alteración, comparativamente entre ambos filones.

Facies bandeada basal. En el filón intruido en Agrio (Figura 7A), se observa alternancia de texturas finas, con motas espaciadas, tanto resistivas como conductivas con intervalos de 20-30 cm de laminación fina, que podrían ser interpretada como diaclasas de flujo; las fracturas naturales conductivas que seguramente favorecieron el flujo de soluciones son evidentes en esta sección. El grado de alteración es relativamente intenso y queda evidenciado por el moteado conductivo y los parches resistivos, asociados al bandeo fino. En el intrusivo de Vaca Muerta (Figura 7B), se ven texturas bandeadas más gruesas, con capas de límites netos de aproximadamente 10 cm de espesor. La alteración se evidencia por un moteado fino, algo difuso, vesículas aisladas y venillas rellenas posiblemente de calcita o sílice. El grado de alteración parece menor que el Agrio. En ambos casos, se observan fracturas naturales muy conductivas (oscuras) respecto de la matriz, con fuertes halos, que quizá fueron responsables de conducir las soluciones que alteraron a estas facies, de manera diferencial.

Facies Intermedia fuertemente alterada. Como se dijo más arriba, el filón superior intruido en Fm. Agrio presenta un perfil de alteración muy marcado y son varias las texturas que se asocian en esta facies. En la sección inferior, se observa moteado conductivo como se observa en la figura 8A, asociado con laminación fina y parches resistivos, producto de alteración y oquedades rellenas

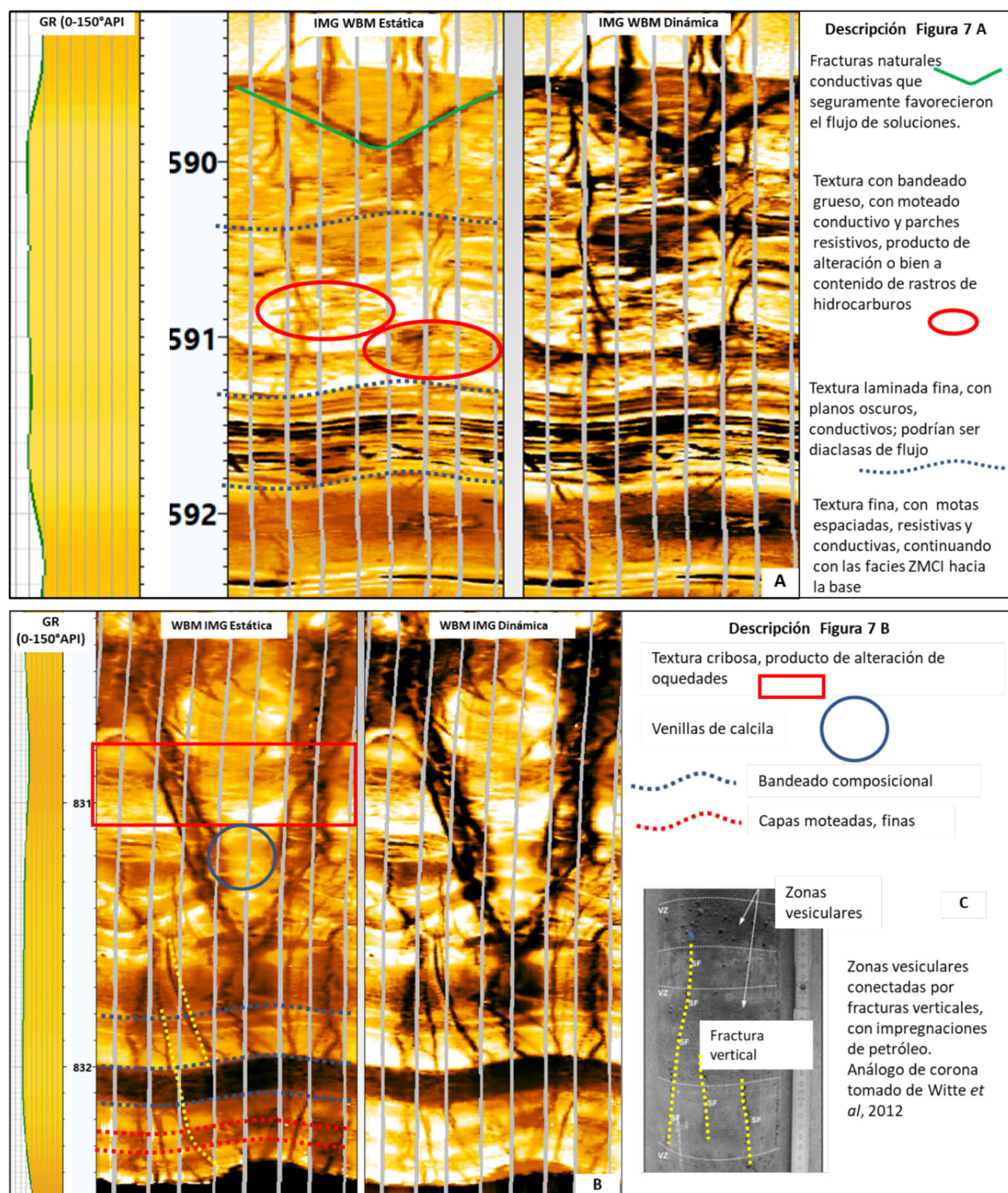
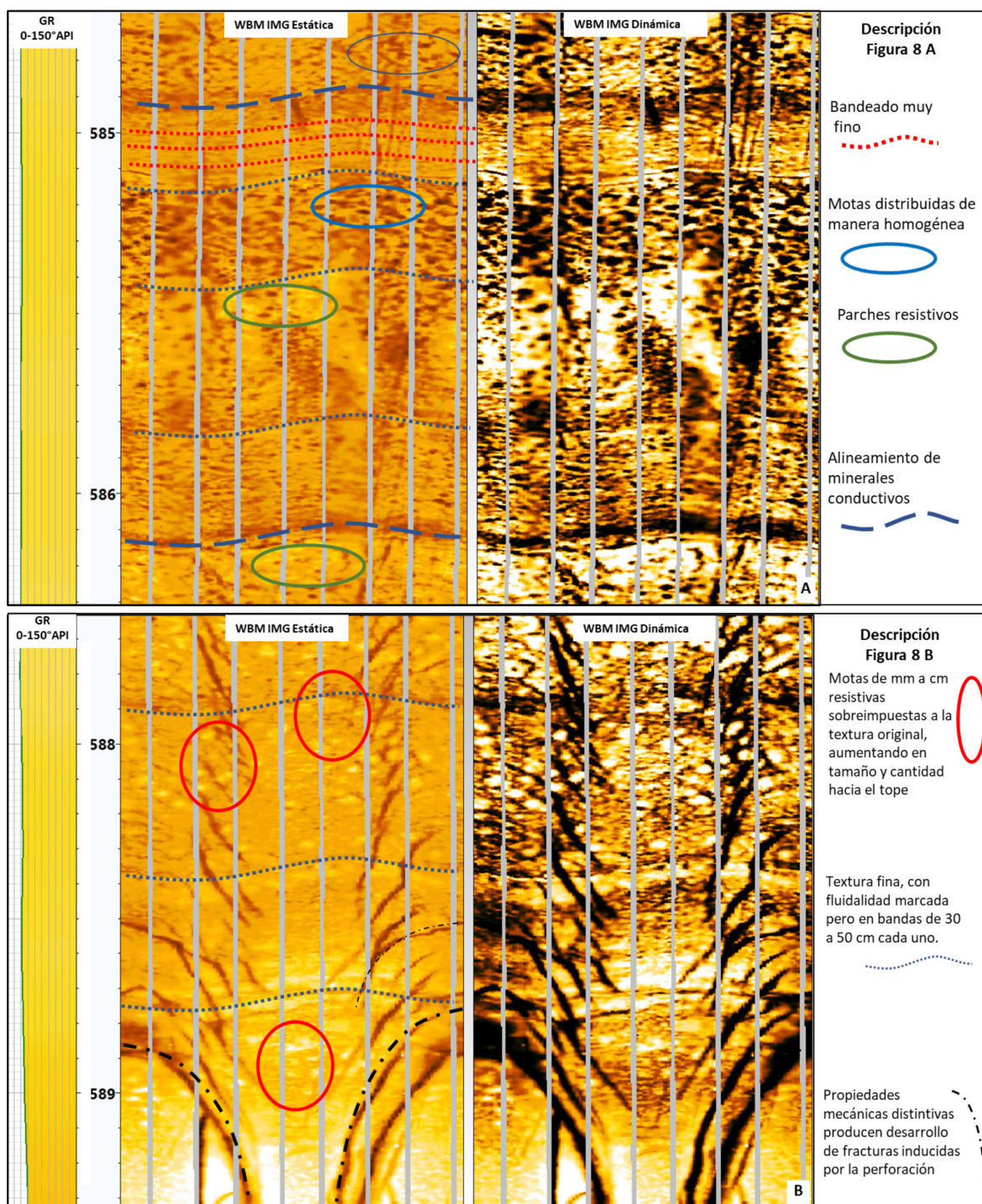


Figura 7. Facies bandeada basal del filón en Fm. Agrio (A) y en Fm. Vaca Muerta, (B); (C) análogo de corona en Fm. Vaca Muerta, área Los Cavaos.

de lodo conductivo base agua; el moteado resistivo, con motas de mm a cm, como sobreimpuestas a la fluidalidad original, aumentando en cantidad y en tamaño hacia el tope de la facies, demuestra un grado de alteración importante. Las propiedades mecánicas distintivas producen desarrollo de fracturas inducidas por la perforación (Figura 8B).



Figuras 8A y 8B. Facies basal intermedia fuertemente alterada en filón de Fm. Agrio.

Facies Intermedia levemente alterada. En el filón emplazado en la Fm. Vaca Muerta, el grado de alteración es menor en esta facies. Sin embargo, se observan texturas cribosas producto de los rellenos de las oquedades, alternadas con bandeo composicional de límites netos, con moteado muy irregular. Las microfracturas forman figuras poligonales se pueden ver en el detalle de la Figura 9.

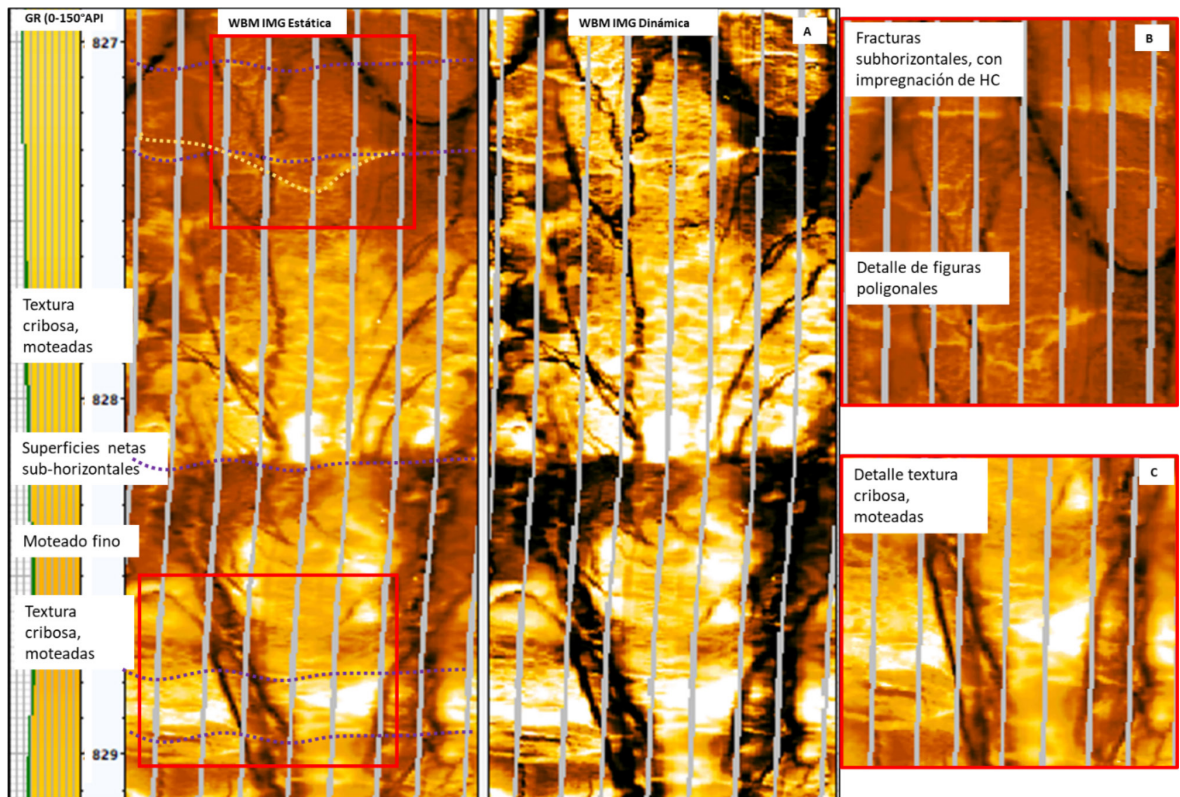


Figura 9. A Facies intermedia levemente alterada en filón en Fm. Vaca Muerta. B y C Detalles de diferentes texturas producto de alteración y relleno de oquedades o cavidades

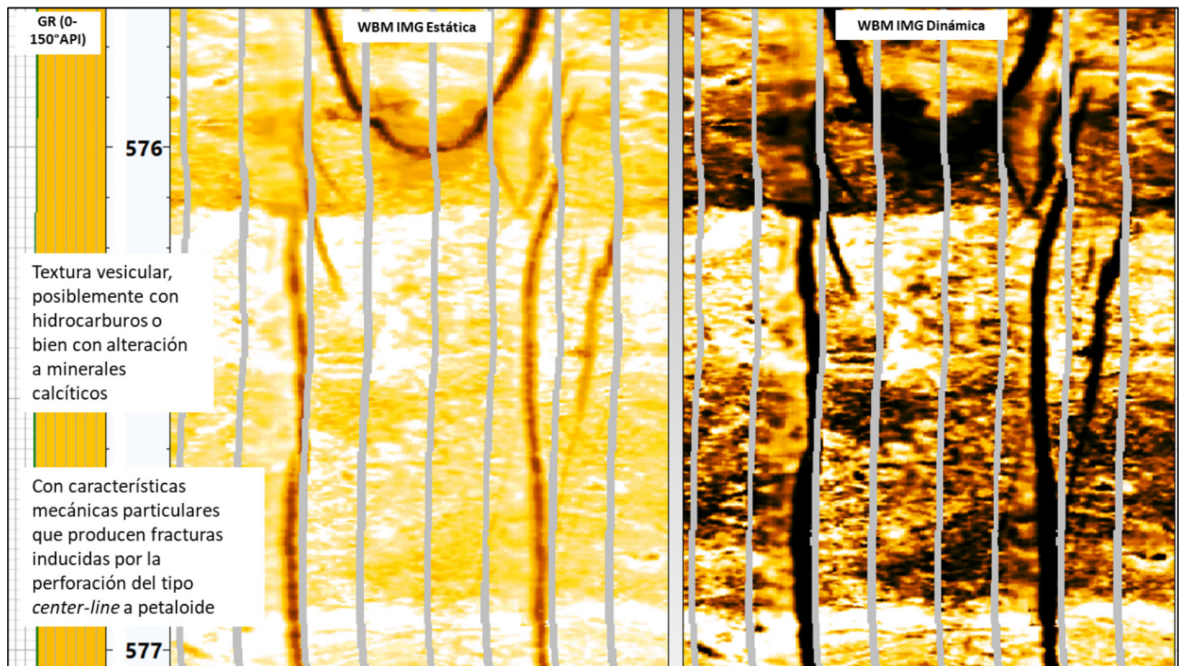


Figura 10. Facies bandeada superior en filón de Fm. Agrio.

Facies bandeada superior. Hacia el tope del intrusivo en Fm. Agrio (Figura 10), la facies está formada por una alternancia de texturas gruesas y finas, con moteado conductivo muy irregular. Hacia el tope el bandeo composicional de hace más concreto y se observan fracturas conductivas verticales compatibles con fracturas inducidas por la perforación de tipo centerline – petaloides.

La Figura 11A corresponde a facies superiores del filón intruído en la Fm. Vaca Muerta. El bandeo grueso, cortado por numerosas fracturas horizontales mineralizadas; figuras sigmoidales formadas por las fracturas finamente mineralizadas, dejando relictos, dan un aspecto brechoso.

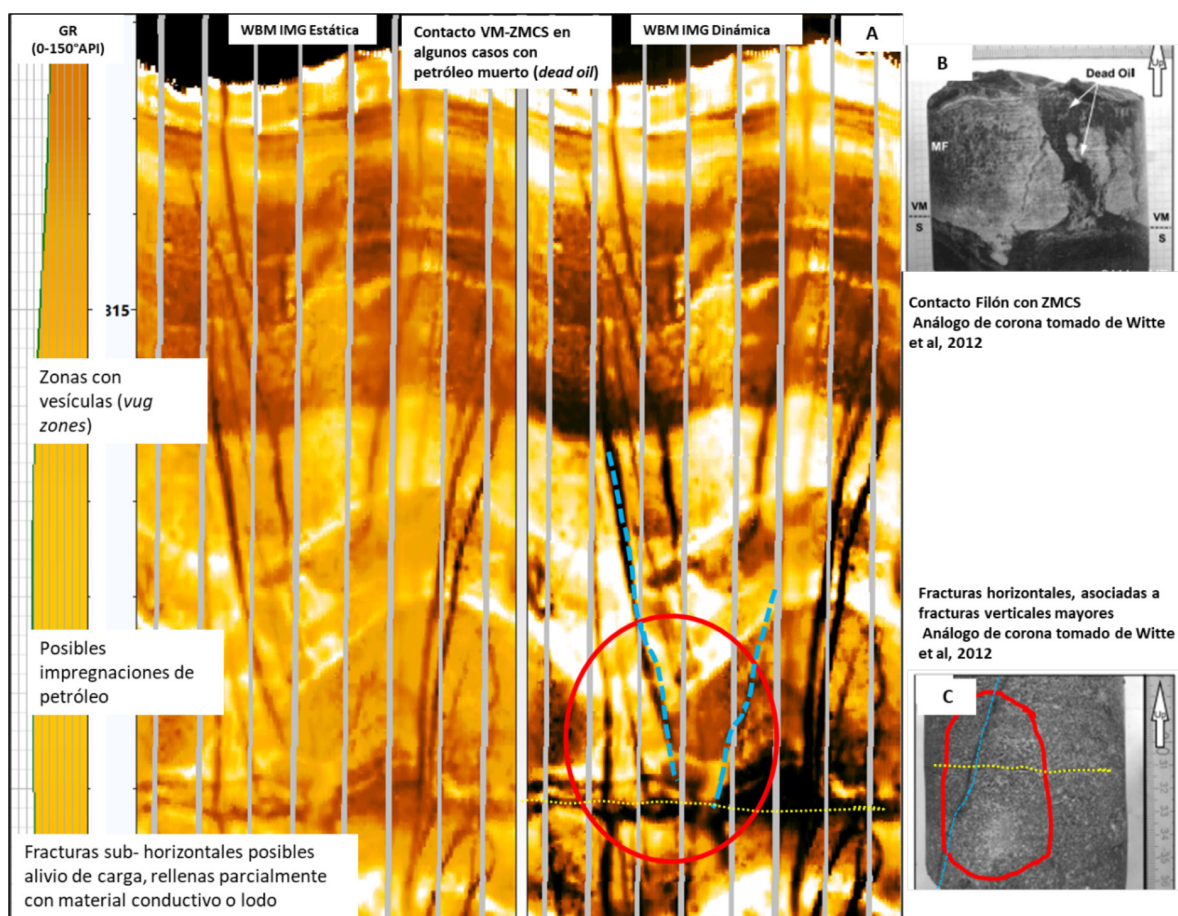


Figura 11. A- Facies bandeada superior, filón en Fm. Vaca Muerta. B- Análogo de corona, con indicios de petróleo muerto y C- Análogo de corona, con intersección de fracturas horizontales y verticales

En síntesis, para los filones estudiados en esta área de la cuenca, las zonas o facies de metamorfismo de contacto al techo y base, son muy similares en ambos niveles estratigráficos; sin embargo, en estas facies de filón propiamente dicho es donde se han encontrado mayor variedad de texturas. Sin embargo, el control fundamental lo da el espesor del bandeo, la intensidad y homogeneidad del moteado relacionado al grado de alteración y en algunos casos la presencia de fracturas. Si bien las texturas son parecidas, conformando facies muy similares, lo que diferencia

es el grado de alteración. Pareciera que la intensidad de la alteración de la parte superior del filón intruido en la Fm. Agrio, es mayor que el perfil de alteración del filón en Vaca Muerta.

Los cuerpos asociados al Complejo Volcánico Auca Mahuida

Con las nuevas tecnologías de registros asistidos en modo memoria y las técnicas de geonavegación, se han podido estudiar y documentar a través de super pozos horizontales las variaciones laterales de la Fm. Vaca Muerta. De esta manera, fue posible también caracterizar cuerpos subvolcánicos verticales o diques intruidos en las margas y fangolitas, que con los pozos verticales era poco probable que sean alcanzados. En estos ambientes, la perforación se hace con lodo base petróleo por temas de estabilidad entre otros; por esta razón la elección de las herramientas de registro de imagen debe ser las adecuadas para poder adquirir buena información de las paredes del pozo. La importancia de su caracterización impacta de manera directa en las estrategias operativas, así como también en los diseños de terminación de los pozos (Domínguez *et al.* 2020).

Los filones y diques de Vaca Muerta. En esta sección se incluirá un ejemplo revisado de D'Angiola (2019) donde se han utilizado registros asistidos combinados con herramientas compactas, diseñadas para lodo base aceite, indicados para la identificación de cuerpos texturalmente diferentes precisando su correspondiente relación geométrica y estructural respecto de la roca de caja.

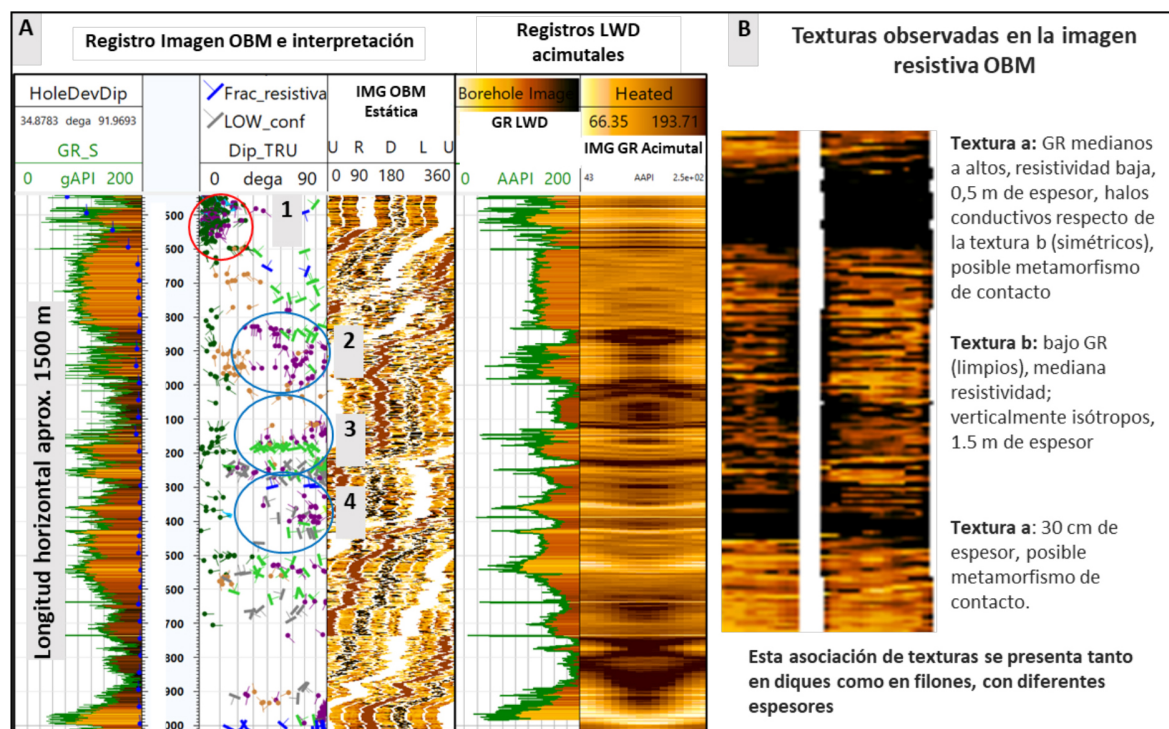


Figura 12. A- Interpretación integrada de imagen OBM y Registros LWD acimutales. B- Texturas de imagen (D'Angiola 2019).

En cuanto al análisis textural a partir de las imágenes OBM se describieron 2 texturas de imagen (a-b); las mismas fueron caracterizadas tanto en los cuerpos tabulares concordantes como discordantes a través de la resistividad y GR, así como también el comportamiento de los registros de LWD acimutales de GR. Si bien estos cuerpos son de escaso espesor, (2-3 m) desarrollan una facies compatible con el desarrollo de zonas de contacto inferior y superior en los filones y anterior y posterior en los diques verticales, respectivamente. Las mismas en forma simétrica, presentan bajos valores de resistividad y altos valores de gamma, tal cual se han descripto en las zonas de contacto de algunos diques del área surmendocina. La facies b presenta GR limpios, y resistividades medianas a altas; ambas texturas se ven finamente bandeada.

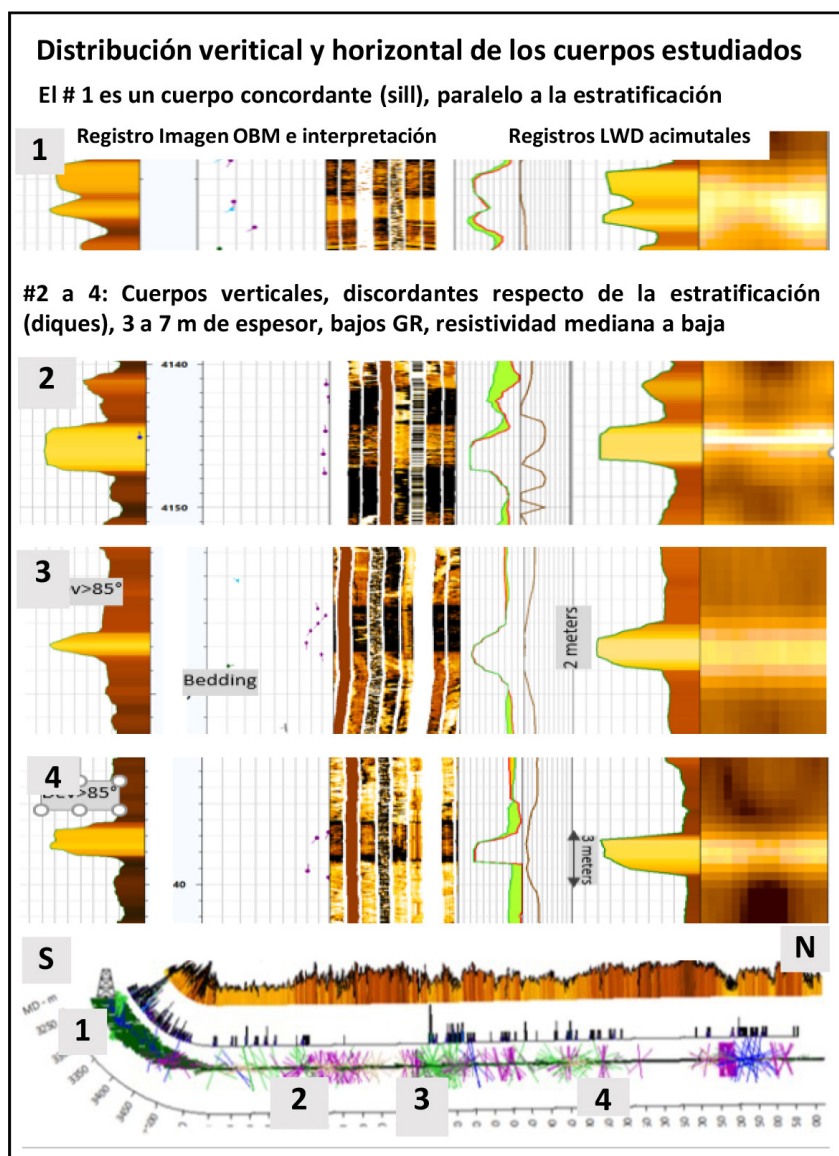


Figura 13. Distribución vertical y horizontal de los cuerpos estudiados, en un corte esquemático S-N.

Como síntesis en esta Figura 12 están las características principales y los rasgos comunes de los 4 cuerpos identificados. El # 1 identificado tanto en la imagen OBM como en la del GR Acimutal, es un cuerpo concordante con la estratificación, en posición superior al tope de Fm. Vaca Muerta; los cuerpos identificados como # 2 a 4 fueron interpretados como 3 diques discordantes (verticales a sub-verticales) respecto de la estratificación del *shale* como se puede apreciar en el *vector track* de la figura, con valores de buzamiento cercanos a los 90°. Todos estos casos, muestran rasgos en común: las texturas *a* y *b* se describieron en los 4 ejemplos, tanto en el descripto como filón como en los diques. En la Figura 13, se resumen los 4 cuerpos caracterizados, y se incluye un corte esquemático a lo largo de la trayectoria S-N del sondeo horizontal donde se volcaron los cuerpos mencionados.

CUENCA AUSTRAL

Ubicada en el extremo sur de Sudamérica, compartida entre la República Argentina y Chile, comprendiendo parte de la región austral de la Patagonia. Es una cuenca de retroarco de configuración axial, elongada en sentido NNO-SSE, cuyo relleno sedimentario se desarrolla entre el Jurásico y el Cenozoico.

Dentro de la etapa inicial de *rift* se encuentran los depósitos volcánicos y volcanoclasticos jurásicos correspondientes a Serie Tobífera, la cual es productiva de hidrocarburos a partir de reservorios naturalmente fracturados (Figura 14). Se caracteriza por una gran variabilidad litológica que le confiere una marcada complejidad al momento de intentar correlacionar lateralmente estos tipos de rocas.

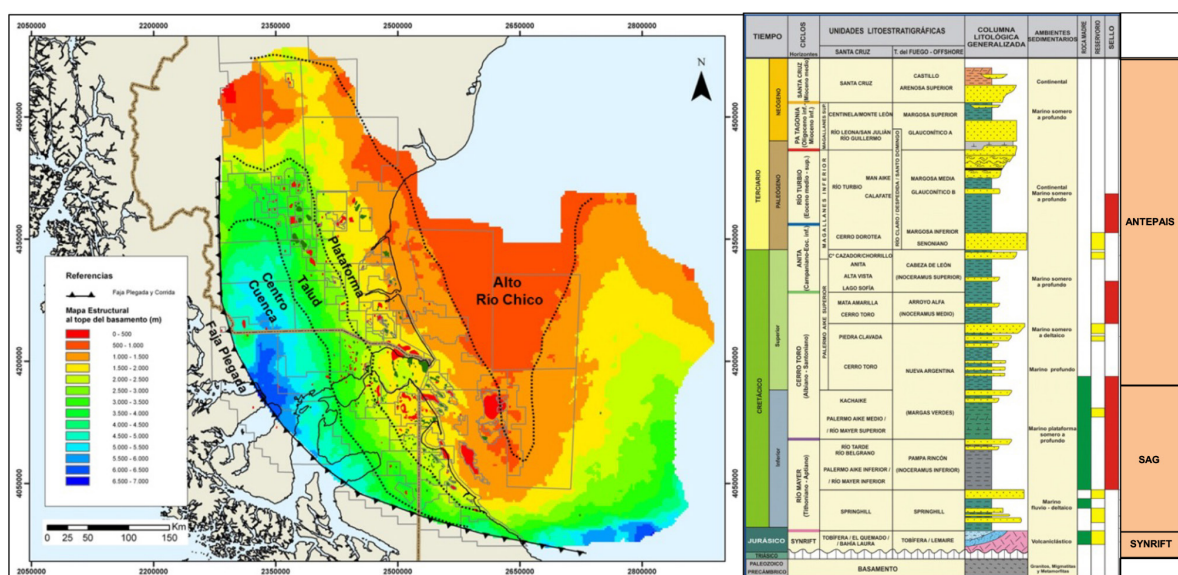
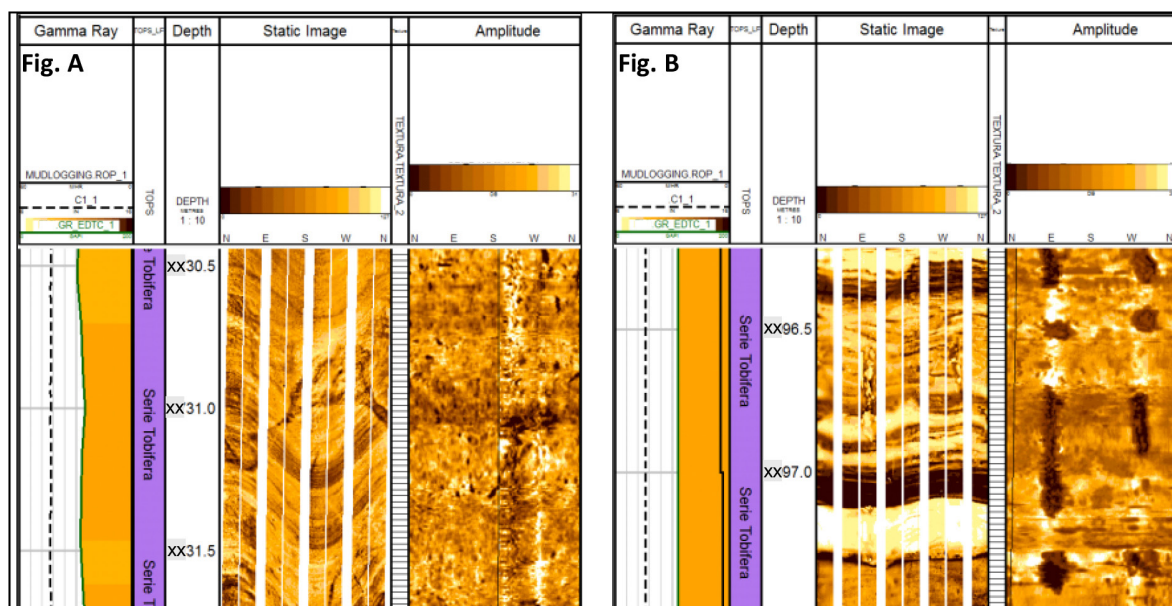


Figura 14. Mapa estructural de basamento con las zonas de estudio y columna estratigráfica para Cuenca Austral, Argentina.

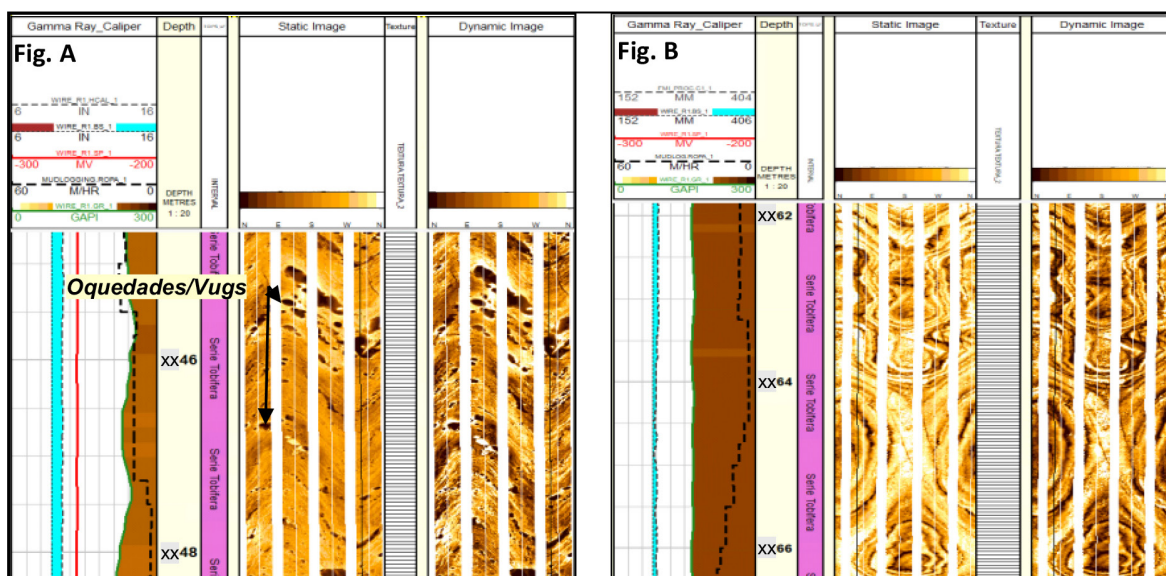
Lavas, ignimbritas y tobas de la Serie Tobífera

El análisis de imágenes de pozo registradas en sondeos verticales realizados principalmente en ámbito de plataforma dentro de la Isla de Tierra del Fuego, han permitido reconocer una gran variedad de texturas en las paredes de pozo, las cuales fueron calibradas con datos de laboratorio de testigos coronas, testigos laterales y *cuttings* obtenidos en esos mismos pozos (Mykietiuik *et al.* 2022, este Congreso). Las principales texturas que se reconocieron en Serie Tobífera fueron las de tipo fluidal o bandeado (*banding*), textura de tipo brecha, en menor medida textura masiva y textura vugular.

Textura fluidal o bandeado (*banding*): Se definió de esta forma al aspecto “laminado” de las rocas volcánicas. Se observaron diversas variantes dentro de esta, como ser bandeado delgado de escasos centímetros, similar a lo que conocemos como laminación (Figura 15 A), y bandeado más grueso (Figura 15 B), similar a la estratificación con capas de varios centímetros. Dicha textura de bandeado podría estar relacionada a depósitos lávicos. Dentro del mismo bandeado y de forma paralela acompañando el mismo se encontraron también motas conductivas que podrían asociarse a posibles oquedades/vugs (Figura 16 A). Por último, se presenta un ejemplo de bandeado con alto ángulo o vertical el cual le confiere un aspecto de “deformado” (Figura 16 B). La textura de bandeado fino está asociada generalmente a rocas lávicas y se interpreta como fluidalidad. Cuando es más gruesa puede estar asociada a rocas piroclásticas y ser estratificación fina en piroclastos de caída o fluidalidad en ignimbritas.

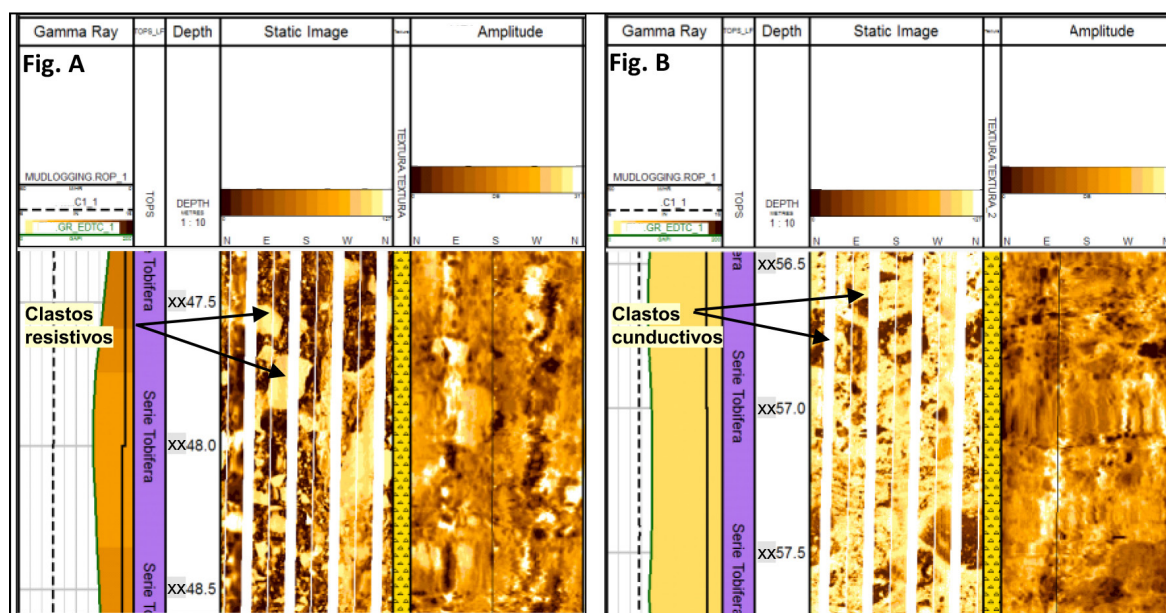


Figuras 15 A. Texturas de bandeado delgado y B. bandeado grueso.

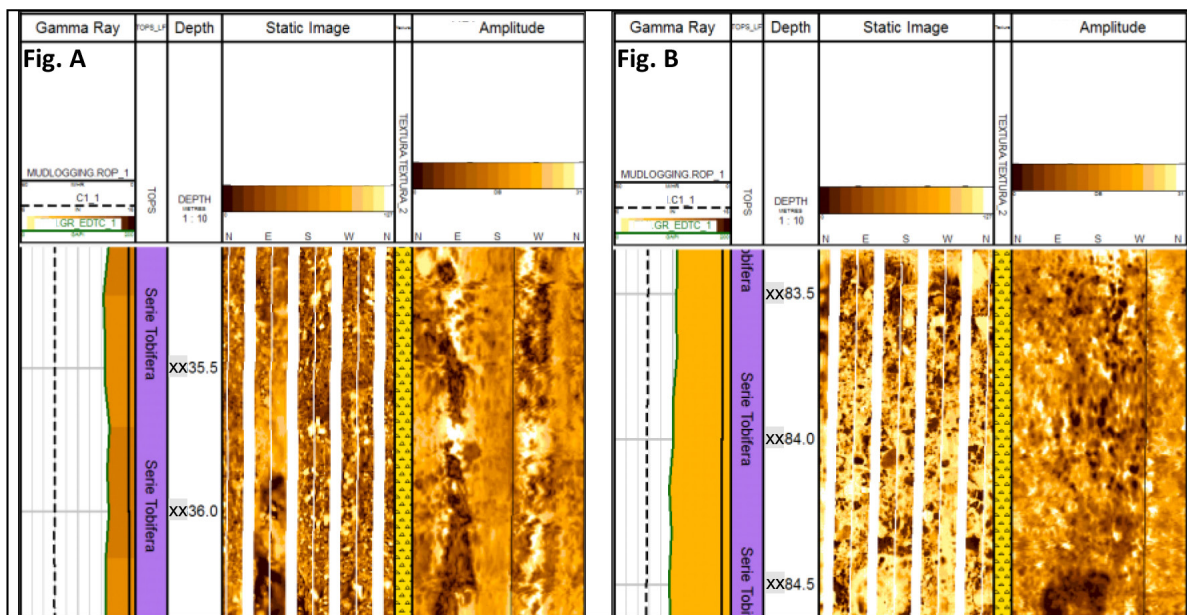


Figuras 16 A. Texturas de bandeado con oquedades/vugs y B. de alto ángulo.

Textura tipo brecha: Las texturas de brecha reconocidas se dividieron según su tamaño de clastos y resistividad de estos. Podemos ver ejemplos de brechas de clastos grandes resistivos como en la figura 17 A, así como clastos conductivos en la Figura 17 B. También se reconocieron brechas de granulometría menor ya sea de clastos resistivos como se ve en la Figura 21 y de clastos conductivos reconocidos en la Figura 22.



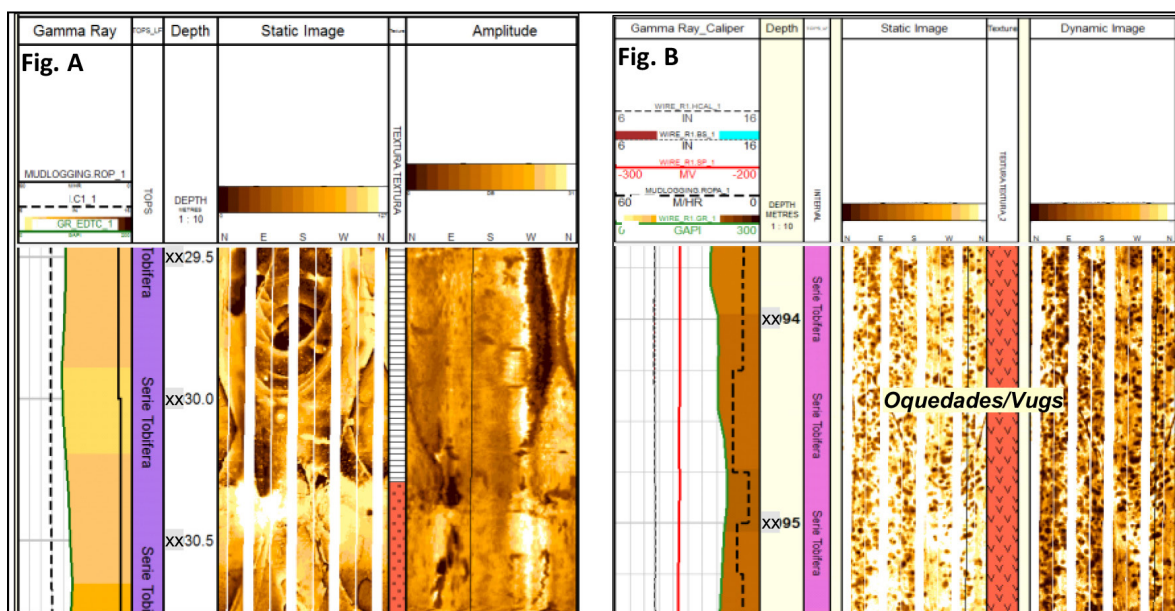
Figuras 17 A. Texturas de brechas de clastos grandes resistivos y B. conductivos.



Figuras 18 A. Texturas de brechas de clastos pequeños resistivos y B. conductivos

Textura masiva: La textura masiva, en la cual no se reconoce ninguna de las texturas anteriores se puede observar en la Figura 19 A. No es muy frecuente en los pozos descritos y podría estar relacionado con capas de mayor espesor dentro de una zona de bandeado más delgado.

Textura vugular: En la Figura 19 B se observan oquedades (*vugs*) oscuros (conductivos) que se estima podrían llegar a ser generados por disolución o por escapes de gas. Muchas veces las rocas magmáticas sufren alteraciones, donde existen ciertos minerales que se alteran primero,



Figuras 19. A. Textura masiva y B. textura vugular.

llegando inclusive a ser totalmente reemplazados por otros o desaparecer, cuando la alteración es importante puede ser reconocida en las imágenes de pozo. Otras rocas como los basaltos, al ser tan fluidas, los gases se disuelven en superficie como burbujas, cuando la roca litifica queda con estructura amigdalóide.

Integración corona – imagen de pozo

La integración de la información de coronas y texturas de las imágenes de pozos aporta información para trabajar en la generación de un modelo geológico que ayuda al entendimiento de este tipo de depósitos.

A continuación, se muestran distintos ejemplos de la correlación que se observa entre las estructuras observadas en coronas y las imágenes de pozo registradas.

La figura 20 muestra el mosaico de unos 18 metros de corona, allí se aprecia las facies de brecha, con clastos de variada coloración y tamaño. A la derecha se observa el perfil de imagen sobre ese mismo tramo reconociendo la textura de brecha. También se reconocen fracturas de alto ángulo conductivas y resistivas.

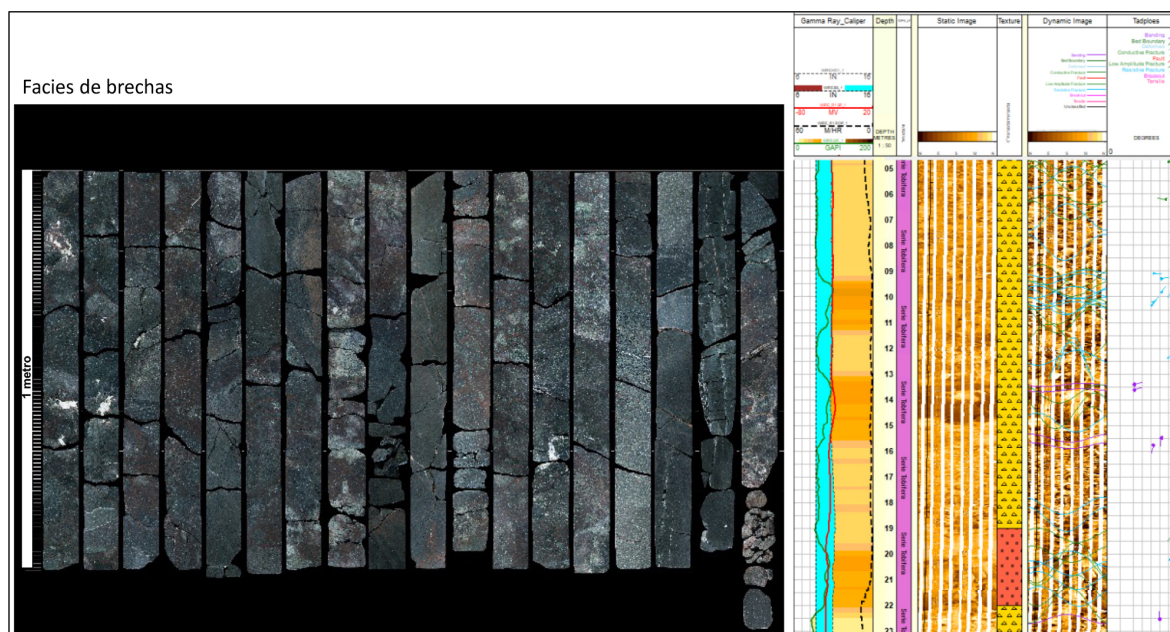


Figura 20. Mosaico de corona y perfil de imagen.

En la Figura 21 se puede apreciar que la corona presenta dos facies, una inferior denominada facies fluidal y una superior denominada facies brecha, y en la imagen de pozo se puede ver la correlación de ambas facies. Nótese que el carácter conductivo de las fracturas naturales en la

facies fluida responde a un relleno color rojizo, cuyo análisis indicó contenido rico en hierro. En tanto las fracturas resistivas del tope de la facies brecha responde a una composición rica en cuarzo. Este patrón de facies se repite en el resto de la corona y también en el resto del pozo.

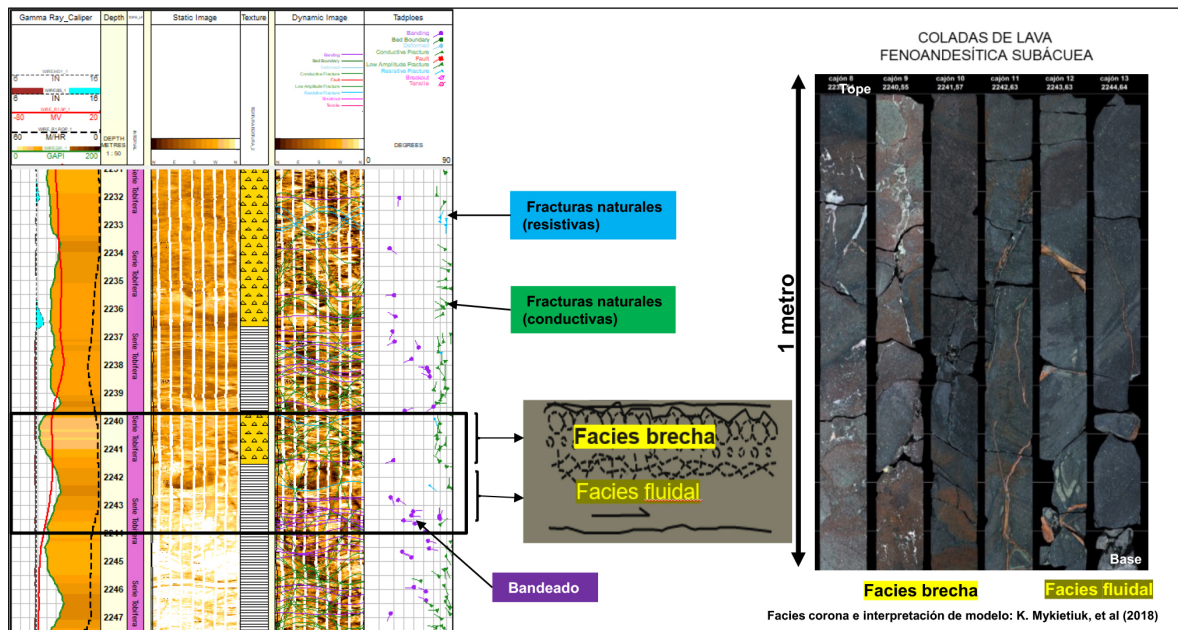


Figura 21. Mosaico parcial corona y perfil de imagen.

La Figura 22 corresponde a facies fluida, correspondiente a una lava de composición fenoandesítica. Estas presentan en la imagen de pozo generalmente una textura de bandeo (*banding*) y alta densidad de fracturas.

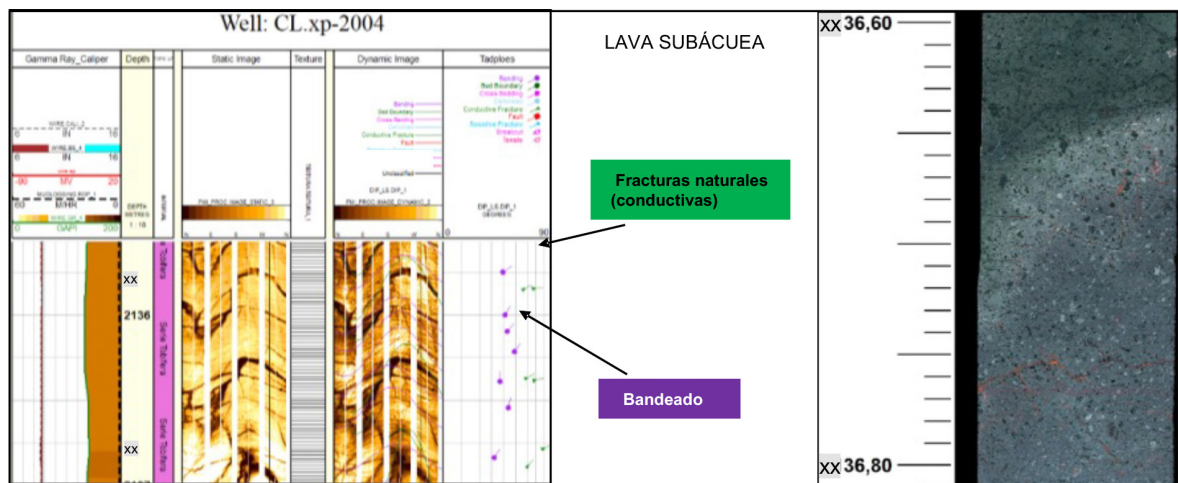


Figura 22. Tramo corona de lava subacua y perfil de imagen.

Otro ejemplo de facies de corona reconocido en imagen de pozo fueron las facies de brecha correspondiente a peperitas, las cuales se generan cuando una lava se mezcla con un sedimento muy rico en agua y se genera una especie de mezcla de ambas litologías. La Figura 23 muestra un ejemplo de dicha mezcla.

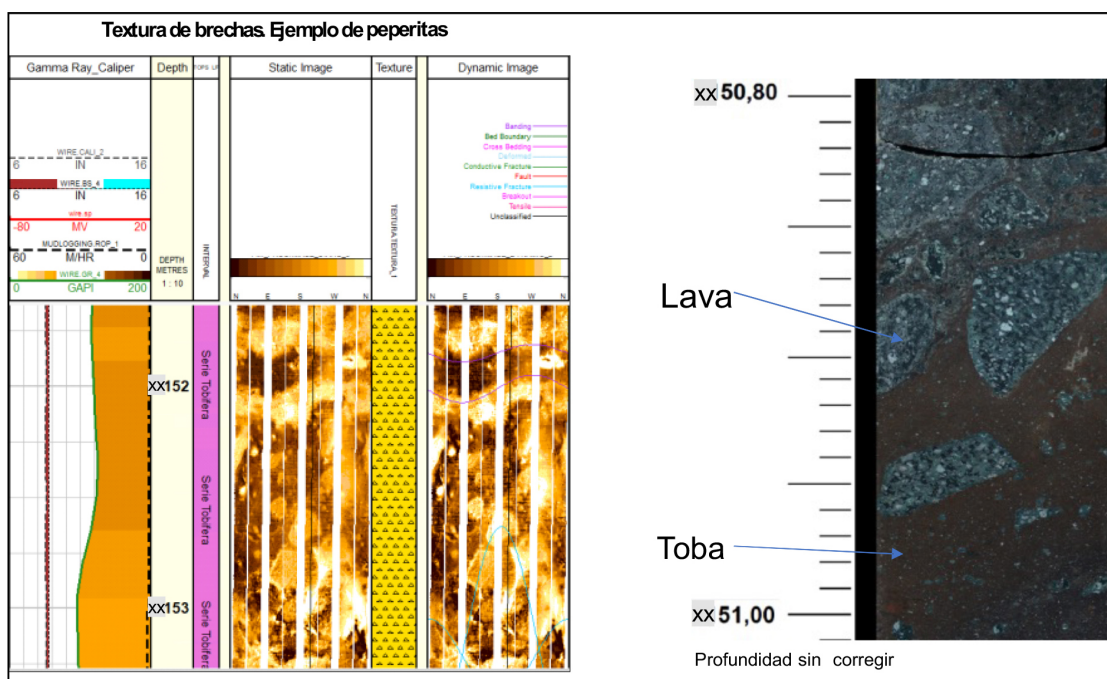


Figura 23. Tramo de corona y perfil de imagen. Peperita.

Otro ejemplo de facies de brecha reconocido son las facies de *block and ash flow* analizadas en laboratorio (Figura 24).

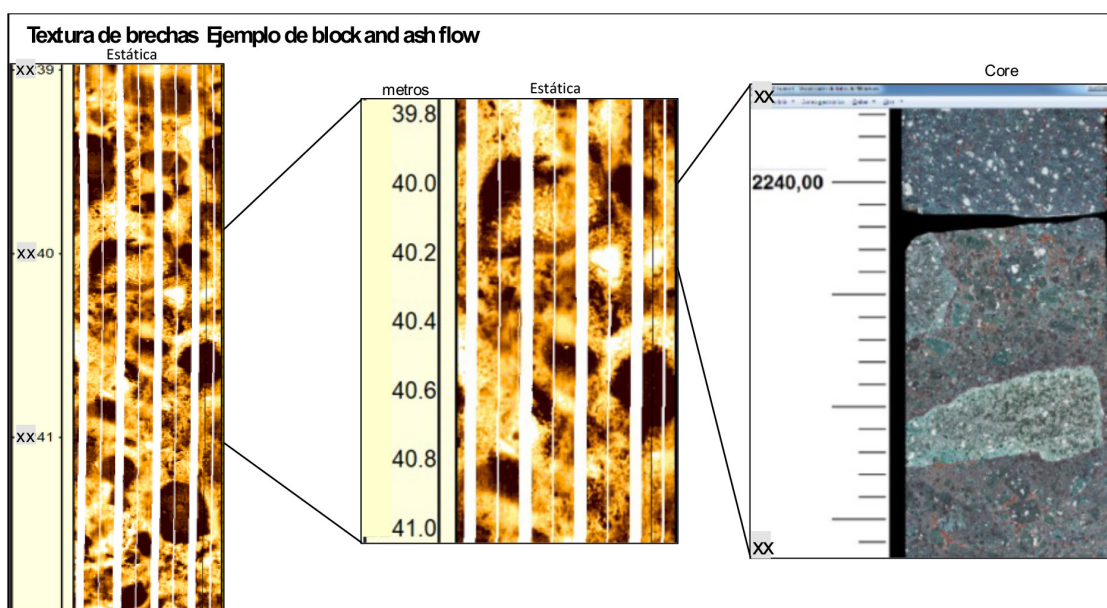


Figura 24. Tramo de corona y perfil de imagen. Peperita.

Implementación de las imágenes de pozo en la construcción de un modelo geológico

A modo de resumen de estos pozos se presenta un cuadro en la figura 25 con las principales facies de coronas identificadas y el perfil de imagen asociado. Las interpretaciones de imágenes sirvieron, junto al análisis de coronas realizado por el equipo de exploración de YPF, para la generación de un modelo geológico de la Serie Tobífera (Mykietiuik *et al.* 2018). Las facies identificadas fueron: lava fenoandesítica, peperitas y block and ash flow, las cuales estarían depositadas en cercanías de las fallas asociadas a grabenes y hemigraben de donde provendría el aporte volcánico. En otra locación analizada las facies identificadas en coronas corresponden a una alternancia de facies brechas y facies fluidal que se repetirían a lo largo de todo el registro de imagen.

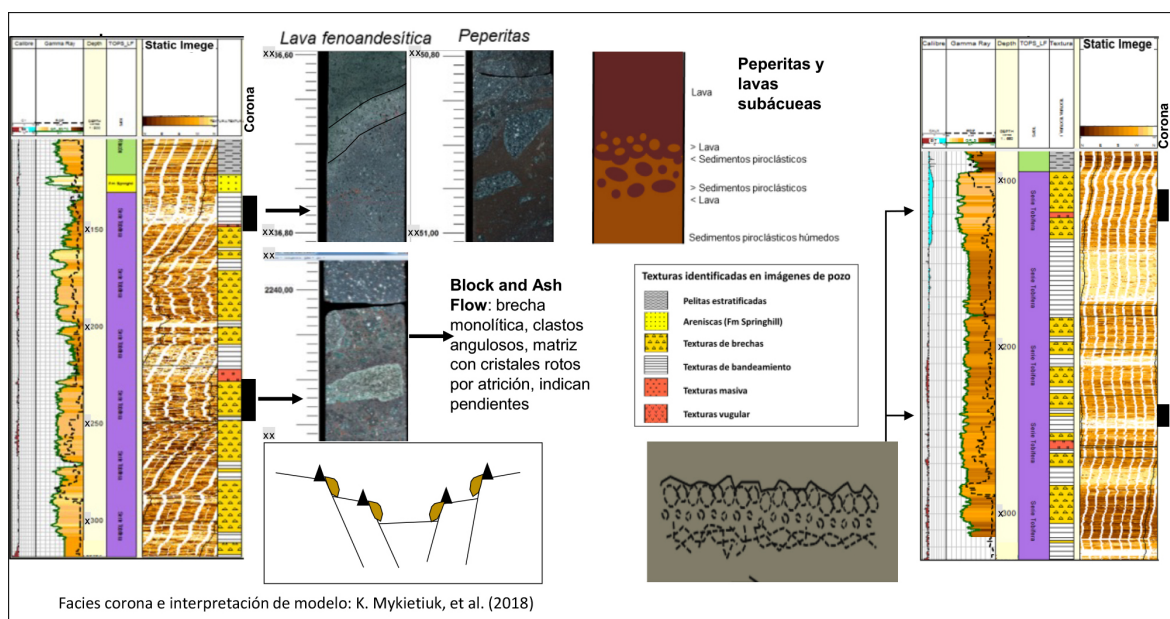


Figura 25. Cuadro resumen de las facies de corona y texturas de imágenes de pozo identificadas.

CONCLUSIONES

La interpretación de texturas desarrolladas sobre la pared de pozo a partir del análisis de imágenes permitió reconocer diferentes facies y plantear en primera instancia los posibles tipos de rocas ígneas asociadas a los diferentes sistemas petroleros de cada cuenca. Se tomaron rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Cuenca Austral, filones y diques de la Cuenca Neuquina y coladas de lavas en la Cuenca Cuyana.

Cuenca Cuyana: Se analizaron coladas basálticas que representan diferentes eventos o pulsos volcánicos que quedaron registrados en la Formación Puntas de las Bardas y que funcionan como sellos dentro del sistema petrolero. Las texturas identificadas en las imágenes responden entonces

a rocas con propiedades específicas; sin embargo, la identificación de fracturas a través de las imágenes de pozo cumple un rol fundamental para establecer la eficiencia de estas rocas como sello.

Cuenca Neuquina: Respecto de los intrusivos (diques y filones), se logró identificar diferentes facies a partir del análisis texturas tales como zonas “quemadas o alteradas”, indicadores de fluidalidad, diferente tamaño de grano y alteración, diferentes composiciones, etc. Se observó también un claro perfil de alteración de los filones aumentando la intensidad hacia el centro. Esta situación se podría asociar con una circulación de fluidos más eficiente producto de fracturas naturales, por un lado, la proximidad a los focos o complejos volcánicos, así como también a los volúmenes emplazados con sus espesores asociados. Dado que el mayor grado de alteración podría modificar las propiedades petrofísicas y calidad de la roca original, es de suma importancia esta caracterización y cuantificación del grado de alteración de los filones, sin olvidar el papel preponderante que va a jugar las fracturas naturales, ya sean sistemáticas o no sistemáticas para el desarrollo de reservorios.

Cuenca Austral: La disponibilidad de información adicional, como por ejemplo testigos coronas en los tramos analizados, permitió una calibración mucho más ajustada de los diversos tipos de rocas presentes. Se definieron mediante integración de esta información distintas asociaciones de facies en la vertical, que extrapolado al resto del registro de imagen hizo posible plantear un modelo de depositación de rocas volcánicas y volcanoclásticas, el cual cobra más relevancia al momento de considerar un posible modelo prospectivo de este tipo de reservorios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a YPF y Weatherford Argentina por el apoyo y aprobación para difundir los trabajos involucrados en esta contribución; por la lectura crítica del manuscrito los autores agradecen a Karina Mykietiuik y a Hernán de la Cal así como también a los árbitros del CONEXPLO por las correcciones y sugerencias aportadas.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|--|--|
| <p>Arbe, H., Fernández Bell Fano, F., 2002. Formación Springhill en el área costa afuera. In: Schiuma, M., Hinterwimmer, G., Vergani, G. (Eds.), Rocas Reservorio de las Cuencas Productivas Argentinas.</p> <p>Azpiroz G., G. Covellone, K. Mykietiuik, L. Simonetto, M. Atencio, L. Tórtora, D. Ancheta, V. Meiss-</p> | <p>inger and E. Pedro, 2018. Exploración del Play Serie Tobífera en el ámbito de Tierra del Fuego. Cuenca Austral. Argentina y Chile. X Conexplo 2018.; p-143.</p> <p>Biddle, K., Uliana, M., Mitchum jr, R., Fitzgerald, M., Wright, R., 1986. The stratigraphic and structural evolution of central and eastern Magallanes</p> |
|--|--|

- Basin, Southern America. International Association of Sedimentologists, Special Publication 8. In: Allen, P., Homewood, P. (Eds.), *Foreland Basins*. Blackwell, Oxford, pp. 41-61.
- Boggetti, D. Martinez Cal, V. Regazzoni, C., Andrada, L. y Marnetti, M., 1999. Aporte de la Sísmica 3D al modelo prospectivo en la cuenca cuyana. IV Congreso Exploración y Desarrollo Hidrocarburos, IAPG, Actas I, p.263-281, Mar del Plata, Argentina.
- Covellone G., 2012. Mapeo Roca Madre Cuenca Austral. YPF. Informe inédito
- D'Angiola, M. 2019. Subsurface identification and characterization of volcanic bodies in unconventional Vaca Muerta reservoir using borehole resistive images, Neuquen Basin, Argentina. LASI 6 Conference, Malargüe, 25-26 Nov. 2019.
- Domínguez, R. Utge, S., García, D., Pérez, G.; D'Angiola, M., Ruiz, R and Rodriguez, J. 2020. A Systematic volcanic intrusive characterization model for exploration and production of Vaca Muerta Formation. In Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference (LACPEC) 2020.
- Farooqui, M.Y, Hou, H., Li, G., Machin, N. Neville, T., Pal, A., Shrivastva, Ch., Yang, X. 2009. Evaluation of volcanic fields. *Oilfield Review* Spring 2009: 21, no. 1
- Kokogian, D., Fernandez Seveso, F. y Mosquera, A. 1993. Las secuencias sedimentarias triásicas. XII Cong. Geol. Arg. Y II Cong. De Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Geología y Recursos Naturales de Mendoza – V.A. Ramos (ed.) Relatorio I (7): 65-78.
- Kokogian, D. y D. Boggetti, 1987. Reconocimiento de las formaciones Barrancas y Punta de las Bardas en la zona de Paramillo de Uspallata, Mendoza. 10° Cong. Geol. Arg., Tucumán. Actas t.3 p. 131-134. Tucumán.
- Schiuma, M. y Llambías, E. 2014. Importancia de los filones capa como reservorios en la Cuenca Neuquina Surmendocina de Mendoza. IX Congreso Exploración y Desarrollo Hidrocarburos, IAPG, T I, Trabajos Técnicos p.331-349, Mar del Plata, Argentina.
- Schwarz, E., Veiga, G.D., Spalletti, L.A., y Massaferro J.L., 2010. The transgressive infill of an inherited-valley system: The Springhill Formation (lower Cretaceous) in southern Austral Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 1-24.
- Spacapan, J.B., A. D'Odorico, O. Palma, O. Galland, Senger, K. R. Ruiz, R. Manceda y H.A. Leanza 2019. Low resistivity zones at contacts of igneous intrusions emplaced in organic-rich formations and their implications on fluid flow and petroleum systems: A case study in the northern Neuquén Basin, Argentina. *Basin Research*;1-22.
- Witte, Jan; M. Bonora, C. Carbone, and O. Oncken. 2012. Fracture evolution in oil-producing *sills* of the Rio Grande Valley, northern Neuquén Basin, Argentina. *AAPG Bulletin*, v. 96, no. 7 (July 2012), pp. 1253-1277
- Zencich, S. D. Delpino, R. Baudino, F. Rodríguez y H. Villar, 2006. Observaciones de campo acerca del efecto térmico en rocas generadoras oír contactos con rocas ígneas, III Workshop Interno Repsol YPF de Geoquímica Sistemas Petroleros, Quito, Ecuador.