

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

POR QUÉ Y CÓMO HACER UN MODELO CONCEPTUAL DE FRACTURAS NATURALES, EL EJEMPLO DE LA FM. CUPÉN MAHUIDA

Ramiro López¹, Remigio Ruiz², Juan Spacapan², Damián Hryb¹, René Manceda²,
Emiliano Santiago³, Aldo Montagna⁴

1: YPF, ramiro.lopez@ypf.com, damian.hryb@ypf.com

2: Y-Tec, remigio.ruiz@ypftecnologia.com, juan.b.spacapan@set.ypf.com

3: emiliano.santiago@ypf.com

4: aldo.montagna@ypf.com

Palabras clave: Fracturas Naturales, Volcaniclasticos, Tectonismo, Deformación, Geomecánica

ABSTRACT

Natural Fractures, Volcaniclastics, Tectonism, Deformation, Geomechanics.

Natural fracture reservoirs are one of the most challenging ones in terms of understanding thus modeling. The available computational tools allow representing with good degree of certainty the presence, intensity and orientation of natural fractures in subsurface. Still, from the geological point of view, the effort should be concentrated in establishing the origin of the fractures system, the so called Conceptual Model. Whichever the selected method for fracture modeling (e.g. Geometric, Geostatistic, Geophysics or Geomechanics) it should be tied to a geological logic and to the available data like geological and structural models, fracture data from image logs, cores, side well cores and even outcrop analogs when available. To develop a Conceptual Model, it is fundamental to establish the natural fractures generation mechanisms, being the tectonism and the lithostatic weight the most common factors, and fracturing by intrusion or by cooling-down of volcanic rocks and related rocks. So, it is necessary to understand the deformation history in the study area.

In this study an Upper Triassic to Lower Jurassic volcaniclastic sequence, characterized by ignimbrites, ash-fall tuffs, subaqueous flows and volcanogenic sedimentary deposits, was generated during a Syn-rift phase, later reactivated at least three times. Based on well data analysis and interpretation, six different cementation stages were recognized. Two of them, so called E2 and E3, were interpreted as cretaceous due to microthermometry after fluid inclusions analysis. Other characteristics such as fracture sizes, orientations, aperture and a potential link within volcaniclastic facies were determined.

All this information resulted in the main guidelines for the subsurface 3D Natural Fractures Model.

INTRODUCCIÓN

La caracterización y eventual modelado de reservorios con fracturas naturales como elementos que impactan en la producción de hidrocarburos se presenta como un gran desafío (Nelson, 2001; Narr *et al.*, 2006).

Existen en la industria flujos de trabajo estandarizados que permiten la construcción de modelos de Fracturas Naturales en subsuelo que, más allá de diferencias propias de cada proveedor, se basan en alguna de las siguientes disciplinas: Geometría, Geoestadística, Geofísica o Geomecánica.

El punto con la primera (Stearns, 1967) es que la deformación y la fracturación de una roca no es una respuesta a la geometría de una determinada superficie, sino el camino recorrido para llegar a la forma actual y en qué condiciones lo hizo es lo que determina la deformación de una determinada unidad.

La Geoestadística es una herramienta muy útil en la caracterización de distintos parámetros de las fracturas, que permite representar las distribuciones de valores críticos como: a. la dispersión de la orientación, b. la distribución de longitud, altura, ancho de fractura, etc. (Dershowitz, *et al* 1998), pero no brinda elementos que colaboren con el poblado de las mismas en un modelo en tres dimensiones, ya que no hace foco en la génesis de las fracturas.

Cuando se dispone de un registro de sísmica 3D de buena calidad, es posible trabajar con el dato sísmico para predecir o intentar detectar fracturas naturales (Chopra, 2002; Chopra y Marfurt, 2007) a partir de rasgos mayores como fallas o pliegues en los cuales, a veces, es válido asumir que están asociadas a los sistemas de fracturas.

Finalmente, los modelos que se construyen sobre una base Geomecánica (Phillips *et al*, 2014; Maerten *et al* 2016) consideran los esfuerzos, que dieron lugar a los principales eventos de deformación en el tiempo, y es en base a la interacción de éstos con elementos como fallas, cuerpos intrusivos, etc., que pueden poblarse los esfuerzos y, en consecuencia, las deformaciones dentro de un área en particular.

La calibración de los modelos de subsuelo con datos indirectos como la microsísmica o los datos de producción pueden resultar engañosos al punto de justificar modelos geológicamente inconsistentes y, por lo tanto, no predictivos.

Que el reservorio aquí presentado esté caracterizado por rocas volcánicas incrementa la complejidad del análisis, ya que se suman tipos de fracturas que no se encuentran en reservorios clásticos o carbonáticos como fracturas por enfriamiento o por intrusión, entre otras. Algunas aproximaciones al entendimiento de estos mecanismos de fracturas y su impacto en la exploración y desarrollo de hidrocarburos fueron realizadas por Zou (2013).

En última instancia, cualquier modelo de fracturas deberá ser calibrado con el mecanismo de generación de la deformación mayor (pliegues, fallas, intrusivos) en la cual se encuentra el área en estudio. Más aún, “en geología aplicada a la industria los modelos deben ser lógicos, pero además tienen la ventaja de poder ajustarse a los datos reales que el propio avance del desarrollo va brindando”, Llambías (2013).

Finalmente, siempre que el objetivo sea la definición de un modelo conceptual y un eventual modelo 3D de fracturas naturales resultará crítico contar con una etapa de Caracterización de

Fracturas Naturales, esto es, la colección sistemática y lo más robusta posible de datos desde el punto estadístico y analítico. Para tal fin, existe un conjunto de fuentes de información que pueden utilizarse y se deberá buscar siempre un equilibrio entre el costo de la información a adquirir y la disminución de la incertidumbre del proyecto.

METODOLOGÍA

El primer paso hacia la realización del Modelo Conceptual es definir el contexto estructural del área de interés, caracterizando correctamente el estilo estructural.

Así es que en el área Cupén Mahuida la estructura principal responde a un anticlinal elongado con su eje orientado en dirección Este-Oeste con cierre en 4 direcciones (Fig. 1), formado como consecuencia de sucesivos levantamientos ocurridos durante el Jurásico y el Cretácico (Silvestro y Zubiri 2008; Jorgensen, *et al.*, 2014). El mismo presenta el flanco sur más abrupto y se encuentra atravesado por fallas de rumbo orientadas aproximadamente Norte-Sur (Figs. 1 y 2).

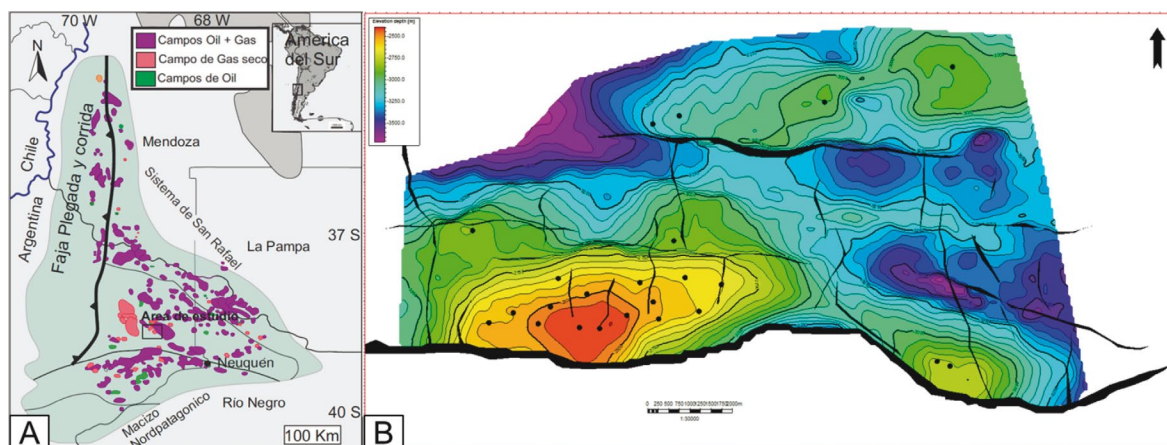
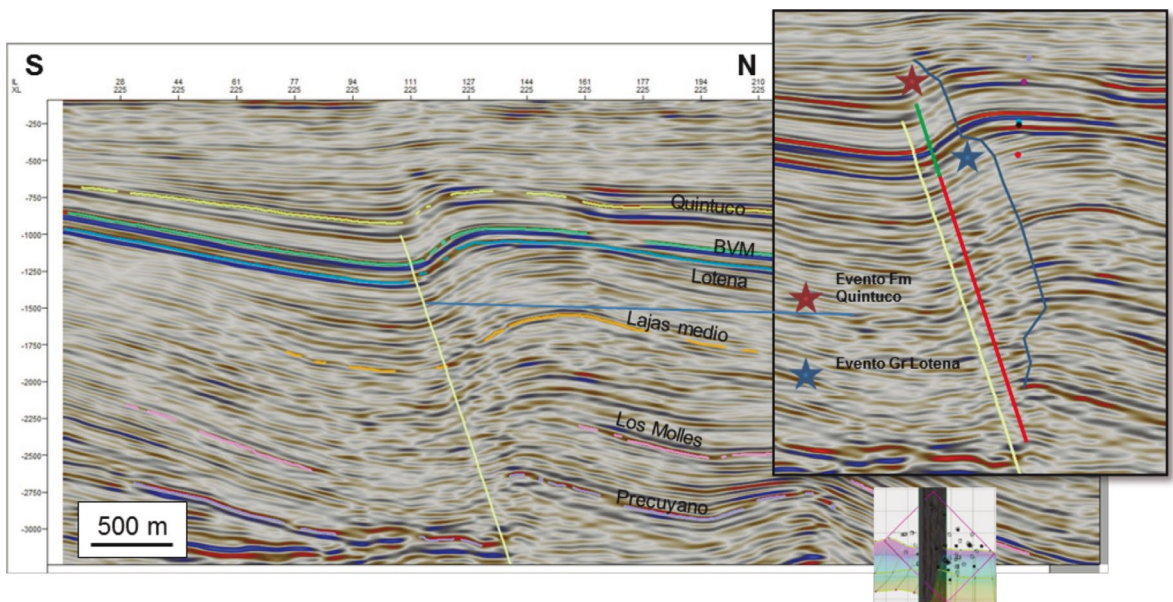


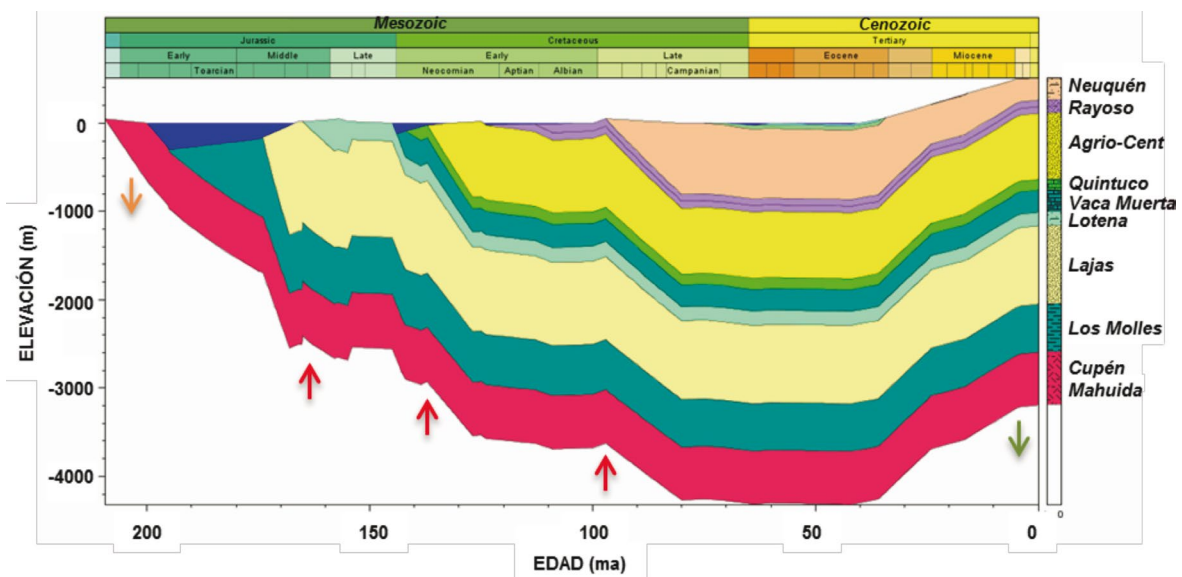
Figura 1:(A) Mapa regional de la cuenca neuquina con la distribución de los campos hidrocarburíferos(modificado de Sylwan, 2014) y(B) Mapa estructural del tope de la Fm. Cupén Mahuida.

Es importante realizar el análisis de la evolución tectónica ocurrida en el área, a partir del cual se identificarán los principales eventos con potencial de generación de fracturas naturales. La principal fuente de información en esta etapa fue el cubo sísmico, sobre el cuál se mapearon las principales superficies y cada una de las fallas, determinándose la edad y los pulsos de reactivación de cada una de éstas.

Al mismo tiempo se consideró el análisis de Curvas de Subsistencia correspondientes a pozos perforados en la estructura, construidas con información complementaria de sectores cercanos al área de interés. De esta forma se reconocieron los siguientes eventos, modificando y actualizando los reconocidos por Jorgensen, *et al.*, 2014 para la misma área: Un evento extensional



contemporáneo con la deposición de la Fm Cupén Mahuida y luego tres reactivaciones durante el Jurásico Medio, Cretácico Inferior y Cretácico Superior respectivamente. A esos cuatro eventos tectónicos se agregó un posible evento de generación de fracturas por carga tectónica.



Es también importante la determinación de las facies presentes y el ambiente de deposición de las mismas. En este sentido, el relleno inicial de los hemigrábenes en Cupén Mahuida y

Cupén Mahuida Norte, comienza con una secuencia volcániclastica desarrollada mayormente en ambiente subácueo, sincrónica con el comienzo de la primera ingresión marina que inundó la Cuenca Neuquina, evidenciada por el contenido fosilífero y la presencia de efusiones magmáticas subácueas. La columna litológica se completa con fangolitas, ignimbritas (con exposición subaérea) y lavas e intrusivos de composición andesítica.

Si bien inicialmente este relleno fue asignado en forma genérica al Precuyano sensu stricto, un estudio integral sobre testigos coronas, testigos laterales y recortes de perforación llevó a Llambías y Schiuma (2007), a reubicar a estos depósitos en la sección basal del Grupo Cuyo y denominarlos Fm. Cupén Mahuida (Schiuma *et al* 2011). Desde el punto de vista del reservorio, estos depósitos volcániclasticos son considerados “tight”, por los bajos valores de porosidad-permeabilidad y la sobrepresión constatada con ensayos y puesta en producción de los pozos.

En el área de estudio, la Fm. Cupén Mahuida es dividida informalmente en dos secciones: inferior y superior, siendo esta última la de mayor importancia desde el punto de vista de la producción de hidrocarburos y es por este motivo que el modelo se enfocó en esta sección.

Esta secuencia (Fig. 4) comienza con depósitos de flujos densos subácueos originados a partir de efusiones hidromagmáticas, caracterizadas por tobas vítreas con abundantes litoclastos, brechas y fangolitas. Se trata de depósitos de hialoclastitas y peperitas, con una distribución areal restringida y fuertes pendientes de acreción. En la sección basal, se identificaron dos unidades estratigráficas principales denominadas “Hialoclastita 1” y “Hialoclastita 2”, que contienen niveles reservorio de regular a buena condición petrofísica. Suprayacente y expandiendo notablemente

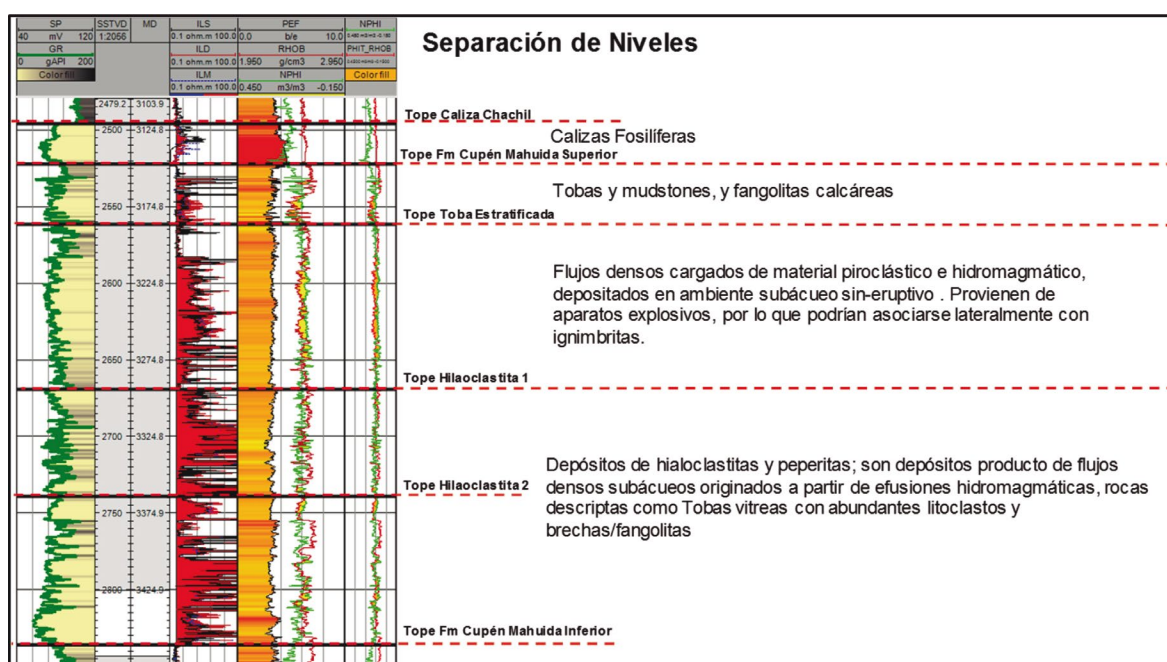


Figura 4: Subdivisión estratigráfica utilizada en el área de Cupén Mahuida para la formación homónima

el área de depositación continua la unidad denominada “Toba Estratificada” originada por flujos densos cargados de material piroclástico e hidromagmático, depositados en ambiente subácuo sin-eruptivo, provenientes de aparatos explosivos, por lo que podrían asociarse lateralmente con ignimbritas. Desde el punto de vista sísmico se caracteriza por ser de baja impedancia acústica, constituyendo las mejores facies reservorio del campo. Culmina el relleno con un intervalo denominado “Zona de Transición” compuesto por niveles tobáceos, mudstones, y fangolitas calcáreas (Llambías & Schiuma 2009); siendo a veces transicional el pasaje a la Fm. Los Molles y otras veces representado por las calizas fosilíferas de la Fm. Chachil (Weaver, 1942).

Las facies y asociaciones de facies de la sección superior de Cupén Mahuida tienen un buen ajuste con la información sísmica, y regular vinculación con los perfiles eléctricos de pozo.

Otro elemento considerado para la construcción del modelo conceptual fueron las imágenes de pozo. Éstas constituyen uno de los métodos más rápidos y precisos para recolectar datos geológicos del subsuelo, cubriendo un rango de información que hace el nexo entre los testigos corona y la sísmica y cumpliendo un papel central en la descripción y caracterización moderna de reservorios desde mediados de los años ochenta.

En este caso se contó con 13 pozos con imágenes distribuidas cubriendo las estructuras de Cupén Mahuida y Cupén Mahuida Norte que fueron interpretadas y analizadas en detalle (Fig. 5) principalmente para la determinación de orientaciones, intensidades y sus variaciones.

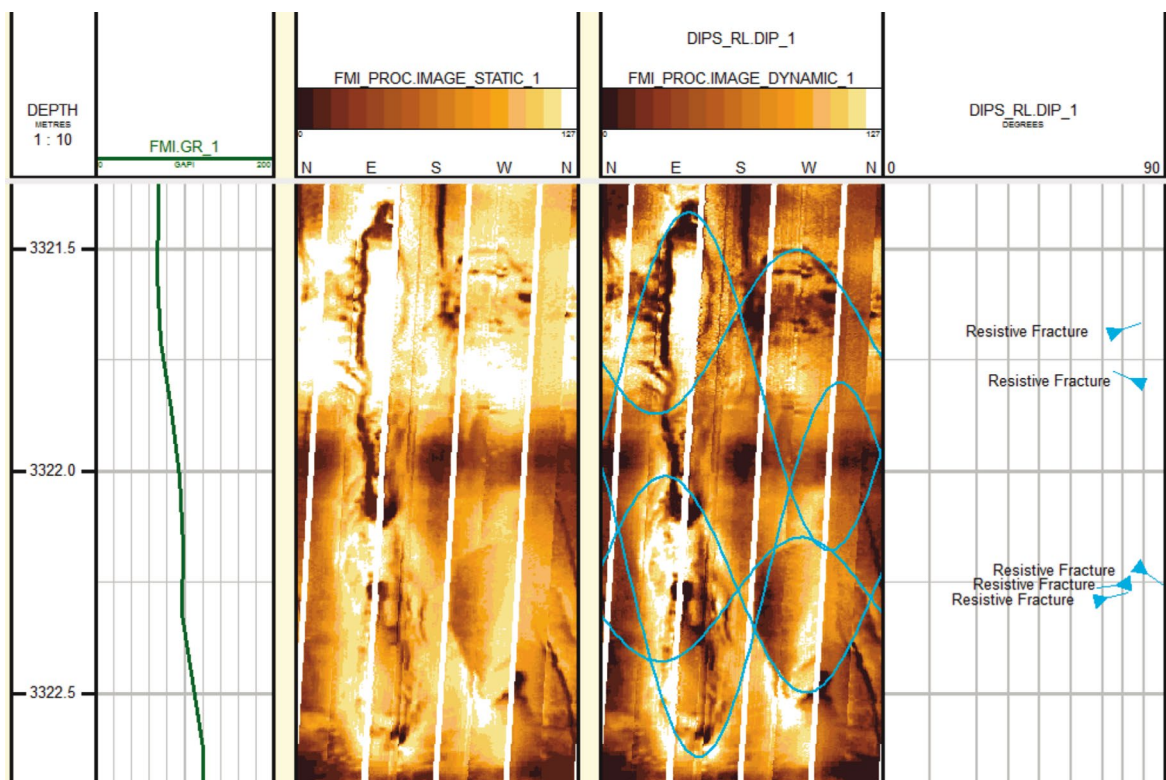


Figura 5. Ejemplo de observación de las fracturas naturales sobre imágenes resistivas.

Luego de la interpretación de los planos de fracturas naturales para cada uno de los pozos se realizó el análisis de los datos. En primera instancia, se reconoció una importante variabilidad areal en cuanto a las orientaciones de las principales familias de fracturas (Fig. 6). Esta variación se interpreta como asociada a la rotación local de la orientación de los stresses debido a la presencia de fallas.

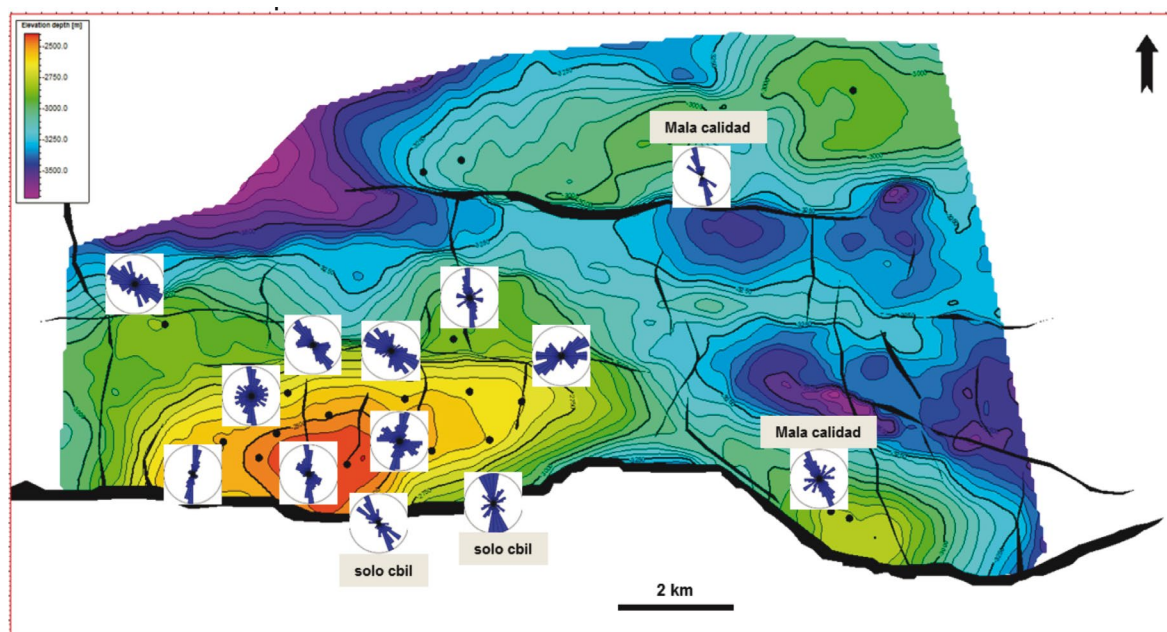


Figura 6. Ubicación de los pozos con registro de Imagen de pozo y orientación principal de las fracturas naturales en cada pozo.

Finalmente, fue analizado el elemento más crítico en la construcción de los modelos conceptuales, como los testigos corona. El principal impacto es que constituyen una muestra del subsuelo, por lo tanto, todo lo que sobre ellas se observe, se mida o se calcule será representativo del reservorio, a diferencia de otros elementos como el modelo estructural y las imágenes de pozo que se basan principalmente en observaciones indirectas.

En este caso se contó con 4 testigos corona y testigos laterales de 3 pozos.

Sobre las coronas se realizó la descripción sistemática de las fracturas naturales de acuerdo con la metodología desarrollada por el Bureau of Economic Geology de la Universidad de Texas (Structural Diagenesis Initiative, 2018). De esta forma se colectaron las principales características de cada una de las fracturas como tipo y grado de cementación, morfología del plano de fracturas, inclinación y terminaciones, entre otras (Fig. 7).

Esta tarea además da lugar a la observación detallada del sistema de fracturas y permitiendo generar las primeras hipótesis sobre la génesis de las mismas. Al mismo tiempo facilita la toma de muestras para el trabajo sobre las fracturas con técnicas analíticas como las inclusiones fluidas

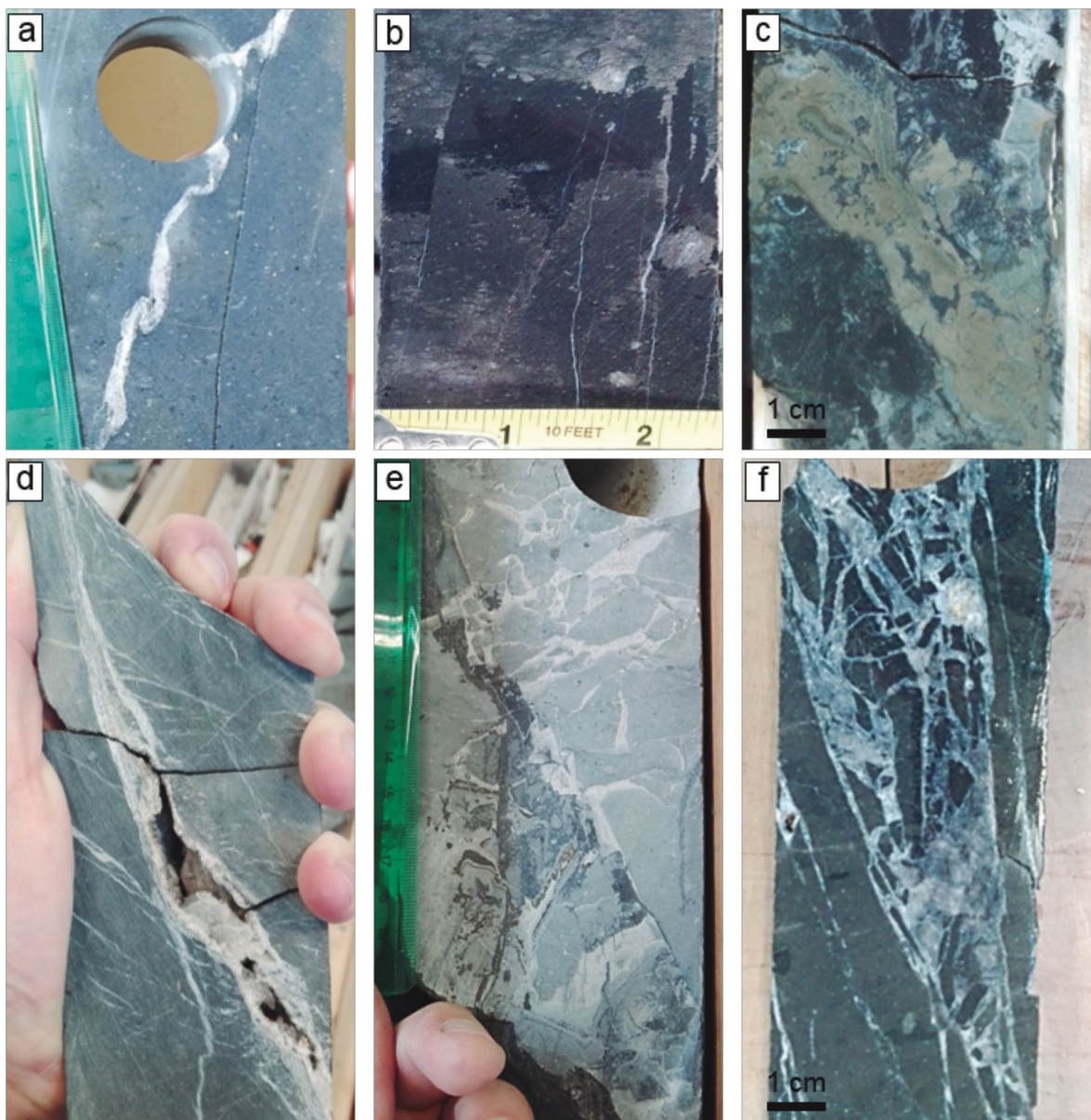


Figura 7. Ejemplos de las fracturas observadas en los testigos corona. a) Fractura con plegamiento ptigmático, indicativo de haber sido generada previo al soterramiento; b) Dos sistemas de fracturas, uno alimenta al nivel impregnado (negro) y el otro lo fractura y desplaza; c) Bandeamiento de pirita posterior a la impregnación de la roca; d) La fractura principal presenta importante porosidad en el tramo sigmoide caracterizada por un tapiz de cristales euhedrales de calcita; e) y f) Texturas de brechas en rompecabezas típico de sistemas hidrotermales.

y la espectrometría Raman (ambas utilizadas en este trabajo) o los isótopos estables, rayos X o microscopio electrónico de barrido y cátodo luminiscencia, entre otros.

El trabajo de detalle sobre las muestras tomadas de las coronas comenzó con la definición de las características más generales, como la cantidad de eventos cementantes y su mineralogía, sus relaciones de corte, entre otras, para luego obtener datos analíticos como temperaturas mínimas de formación o composición de las fases orgánicas detectadas (Figs 7 y 8). Esta estructura de trabajo constó de cuatro etapas:

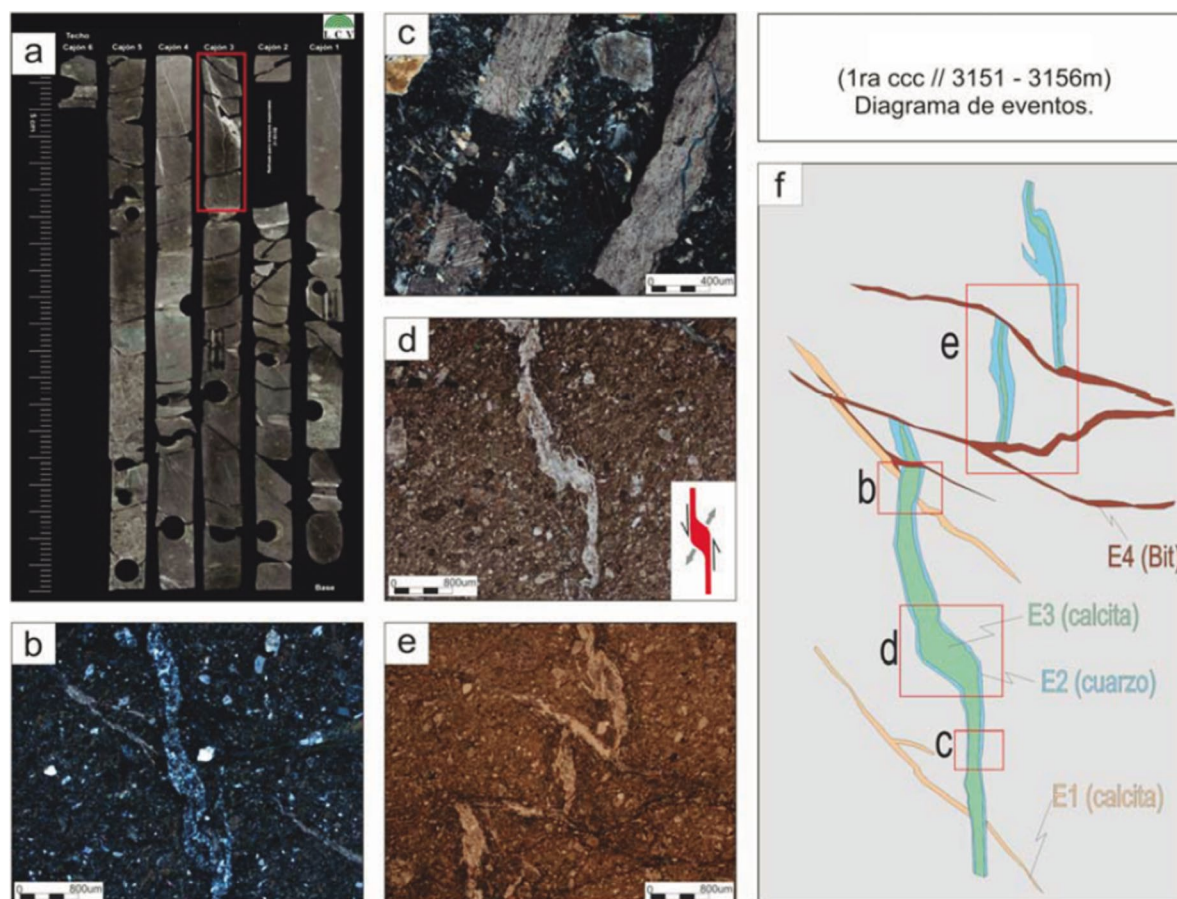


Figura 8: Esquema de eventos de fracturación. a) Mosaico de la corona slabeada; b) Eventos E1 y E2 mostrando la relación de corte; c) Evento E2 silíceo poco potente y E3 carbonático dominante; d) Estructura sigmoide desarrollada en el evento E3; e) Evento E4 evidencias de estructuras desplazadas tipo echelon por acción de cizalla junto a migración de bitumen; f) Esquema integrador de los pulsos reconocidos, su mineralogía y la relación de corte entre ellos. CCC: carrera con corona.

a) Caracterización petrográfica: examinación al microscopio, en secciones delgadas y pulidos calcográficos con la intención de definir la mineralogía presente, texturas, estructuras, etc., determinar la presencia de inclusiones fluidas (IIFF), sus características morfológicas y agrupación por familias; y finalmente establecer un esquema paragenético integrando los diferentes eventos reconocidos.

b) Análisis de las IIFF por fluorescencia: Diferenciación de las IIFF con hidrocarburo líquido (petróleo) de aquellas que solo contienen soluciones acuosas y realización de aproximación cualitativa de la composición y densidad del petróleo atrapado. Los estudios de fluorescencia UV fueron realizados con un microscopio Zeiss A2m con fuente de luz de Mercurio, utilizándose un set de filtros conformados por un filtro de excitación de G-365nm, un lente dicromático de FT-395nm y un filtro pasa banda de emisión LP-420nm, recolectándose la señal en un espectrofotómetro CRAIC PV508 acoplado al microscopio.

c) Caracterización por espectrometría Raman: Técnica no destructiva, rápida y de alta resolución que permite obtener información química y estructural, permitiendo definir

mineralogías, caracterización de la materia orgánica, discriminar en el interior de inclusiones fluidas la presencia de fases líquidas y gaseosas y determinar la composición de las especies químicas atrapadas en su interior, entre otras aplicaciones. Los espectros Raman fueron obtenidos con un equipo espectrómetro Jasco NRS-4100, equipado con un láser de 532nm y una potencia de 20mW, verticalmente polarizado y con un set de filtros holográficos, acoplados a un sistema de microscopía Olympus que enfoca el láser sobre la muestra utilizando un objetivo de 20x (N.A.: 0.40) y colectando la señal Raman de manera retrodispersada. El tamaño del área analizada por el láser es de aprox. 1,5µm, con un rango de medición de 50-4000 cm⁻¹, un tiempo de adquisición de 5 segundos y un set de 5-10 acumulaciones para lograr un espectro satisfactorio, optimizando la relación de señal-ruido (S/N). Se utilizó el estándar de Silicio para la calibración del equipo.

d) Estudios microtermométricos: Se realizan sobre las IIFF permitiendo determinar las condiciones fisicoquímicas propias del fluido (temperatura, salinidad, presión, densidad, composición química, etc.) que da origen a los cementos de las fracturas naturales. Se realizaron con una platina motorizada Linkam MDSC600, la cual permite estudios en el rango de -180°C/+600°C. Se analiza la forma de ocurrencia de cambios de fases en las IIFF y sus respectivas temperaturas en comparación con fases preestablecidas de forma experimental.

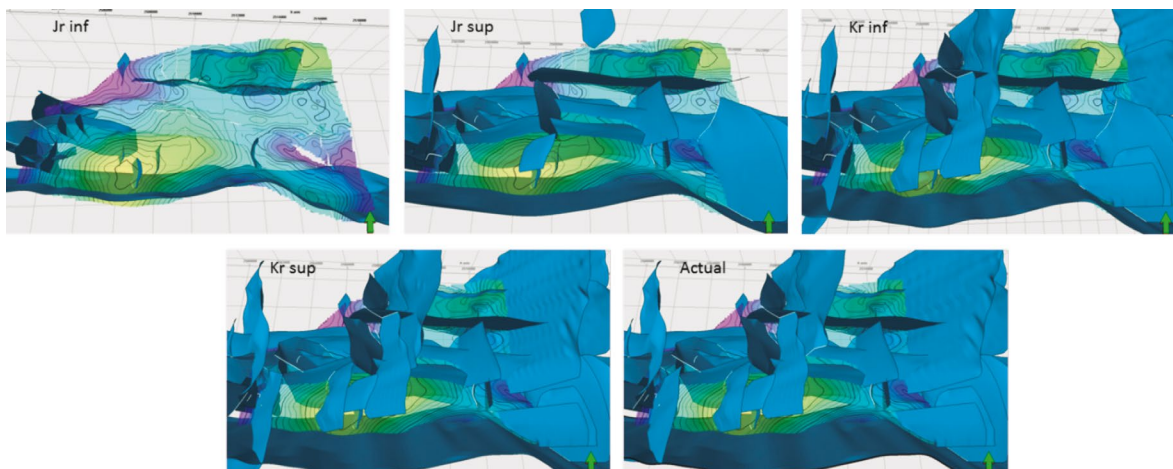


Figura 9. Se interpretó el tiempo de generación y reactivación de cada uno de los planos de falla.

RESULTADOS

En base al análisis e interpretación estructural se construyeron modelos estructurales para cada uno de los 5 principales eventos de deformación reconocidos (Fig. 9). Además de formar parte del Modelo Conceptual, en una etapa posterior cada uno de estos modelos fue utilizado para la evaluación de la deformación al tiempo correspondiente.

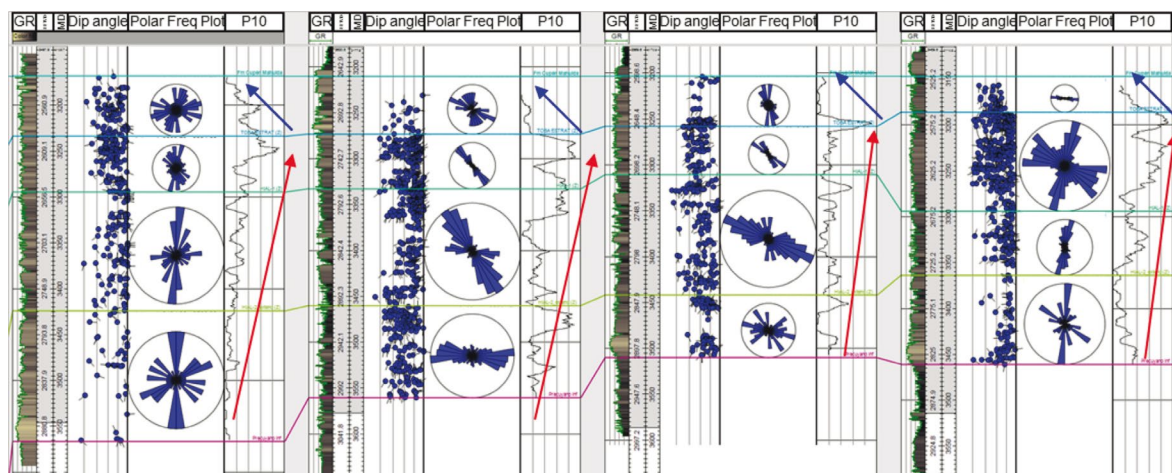


Figura 10: Distribución vertical de fracturas naturales. Rosas de orientación (Track 5), Curva de intensidad de fracturas (P10) (Track 6).

Por otro lado, del análisis de las fracturas naturales reconocidas en las imágenes de pozo se reconoció en la mayoría de los pozos un máximo de intensidad en la “Toba Estratificada” disminuyendo la intensidad hacia arriba y hacia abajo (Fig. 10).

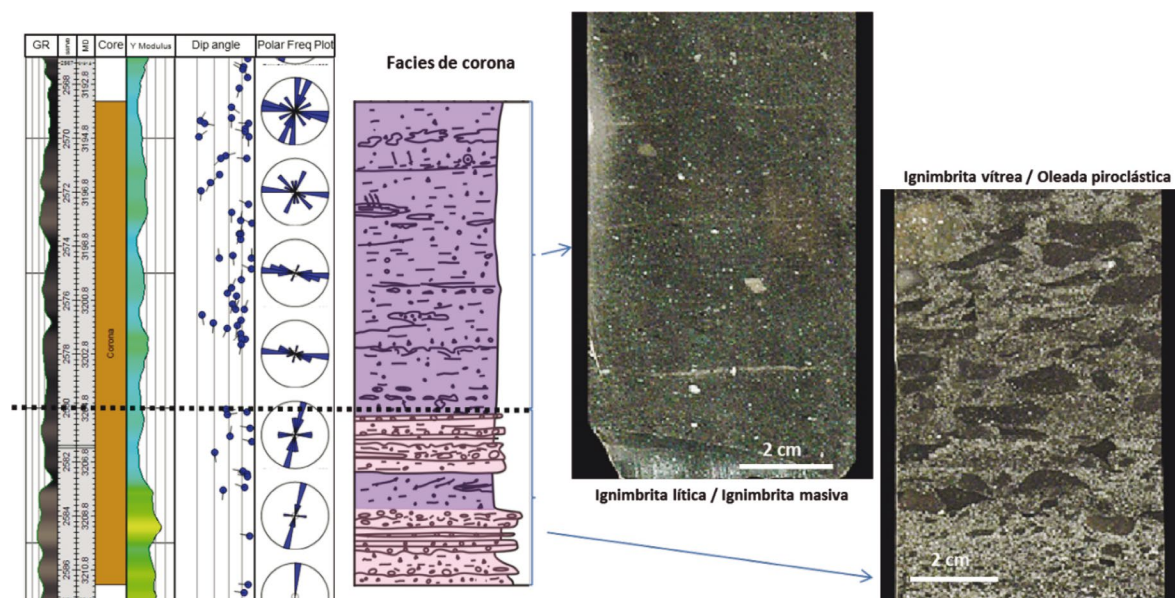


Figura 11. Variación de orientación de acuerdo con las facies atravesadas.

Al mismo tiempo, se observó una variación vertical en la orientación de las fracturas naturales tanto a nivel de unidades (Fig. 10) como a escala de facies (Fig. 11). Ésta última se atribuye a que ambas facies se deformaron a distinto tiempo debido a una diferencia en las propiedades mecánicas

Fracturas en Naturales en Precipicio. Área Sierra Barrosa-Barrosa Norte	SW	>				NE	Observaciones
	CUM a-2 (3151-3195m)	CUM a-9 (3232m)	CUM a-4 (3077-3094m)	CUM a-10 (TL 3371m // 1ccc 3193-3211m // TL 3444,3m)	CUM a-11 (3381,6m)	CUMN-x-1 (1ccc 3611 - 3617m // 2ccc 3733 - 3740m)	
E1 - calclia	E1	E2	E2	E2	E3	E2	
E2 - cuarzo	E2	E3	E3	E3	E4	E3	
E3 - calclia	E3	E4	E4	E4	E4	E4	
E4 - bitumen				Ez			
Ez - Zeolitas							
Evento							
Hidrotermal							Eh
Evento hidrotermal postumo							
Estilo de las VII	rectas	sigmoides	sigmoides	brecha bandeado	rectas	rectas	rectas
orientación de la VII (respecto a la corona)	Hz	Vt	Vt	sub-Hz	Vt	Vt	Vt, sub-Hz y Hz
IF acuosas	escasas	escasas	abund	ausente	escasas pequeñas	escasas pequeñas	abund. pequeñas
IF orgánica			melano + bit.				
Temperatura mínima de entrapamiento (promedio)		147				147.2	153.8
Edad del evento		K inf.				K inf.	K sup.

Figura 12. Tabla resumen de los eventos.

de las mismas. El set N-S posee solo alto ángulo de inclinación y es ubicuo mientras que el set E-W muestra un amplio rango de inclinación y se encuentra concentrado en la Ignimbrita Masiva (Fig. 11). En función de la escala que posee esta heterogeneidad, si bien no es posible incluirla en el modelo de fracturas, sí es importante registrar estas variaciones desde el punto de vista conceptual, ya que puede ser fuente de incertidumbre del modelo.

Desde el punto de vista de las coronas la aplicación de la metodología utilizada permitió definir una secuencia de 6 episodios de cementación de las fracturas naturales. El cemento se reconoció compuesto por calcita, cuarzo, ceolitas, bitumen y pirita (Figs 7, 8). Una cronología de los distintos pulsos integrada para los pozos analizados fue realizada (Fig. 12). Se detectó un total de 6 eventos y cada uno de éstos fue caracterizado según la disposición y el tipo de estructuras (vetillas con geometrías sinuosas, brechas, sigmoides), los tipos de texturas (mosaicos de grano fino a grueso, bandeados coloformes, etc.), que evidencian la complejidad de los factores intervinientes en cada evento de apertura-relleno-cementación de estos sistemas de fracturas naturales. Esta caracterización nos permitió reconocer claras evidencias de procesos de cizalla, con presencia de fracturas Modo II/III. En base a los estudios microtermométricos se obtuvieron temperaturas para los eventos 2 y 3 que se corresponden con las temperaturas del sistema para el período cretácico inferior y cretácico superior.

CONCLUSIONES

El presente trabajo intenta hacer foco en la importancia del entendimiento de la génesis de las fracturas naturales siempre que se considere hacer un análisis o un modelado de las mismas. Cualquier modelo de fracturas de subsuelo debe estar ajustado a los datos y debe estar dentro de la lógica de la generación de fracturas naturales sea cual fuera su génesis.

Para el caso presentado aquí como ejemplo se construyó un modelo conceptual de la historia de deformación basado en la interpretación del cubo sísmico, el análisis de las curvas de subsidencia, la interpretación del sistema de fracturas observado en las imágenes de pozo y la descripción y analítica realizada sobre los testigos corona y los testigos laterales.

Se interpretaron así 5 eventos de generación de fracturas naturales: el primero asociado a una etapa de sinrift, luego 3 eventos compresivos y finalmente un evento por carga litostática. También se determinaron las orientaciones e intensidades de las fracturas naturales, sus variaciones y se establecieron hipótesis sobre las razones de la misma. En base a la petrografía se estableció la cronología de eventos presentes en los testigos corona y se pudo realizar el fechado relativo de alguno de ellos.

Con posterioridad a este trabajo, gran parte de la información obtenida fue incorporada y sirvió de calibración para el modelo de fracturas naturales realizado.

Cabe aclarar que, si bien el reservorio aquí analizadose caracteriza por la presencia de rocas

volcaniclásticas; la metodología general es común para todos los tipos de reservorios. En ocasiones habrá que prestar mayor atención a algún proceso de generación de fracturas naturales que a otras, pero la metodología de estudio y acercamiento al conocimiento es similar.

Con relación al modelado de subsuelo de fracturas naturales queda aún mucho trabajo por realizar, ya que hay una importante parte de la información colectada durante la etapa de caracterización que no puede ser incluida en los modelos, principalmente debido a limitaciones en los software comerciales.

Por último, es claro que en el modelado de los sistemas de fracturas naturales es muy importante contar con un modelo calibrado con datos de campo y de pozo, ya que permite reducir errores y un mayor acercamiento a las condiciones reales del subsuelo.

AGRADECIMIENTOS

A YPF por permitir la presentación del trabajo y a Mirta Suarez y Christian Gatica por la colaboración en la realización del modelo estructural.

REFERENCIAS CITADAS

- Chopra, S., 2002. Coherence cube and beyond. First Break, 20, 27-33.
- Chopra, S. y Marfurt, K.J., 2007. Volumetric curvature attributes for fault/fracture characterization. First Break, 25, 35-46.
- Dershowitz, W., Lee, G., Geier, J., Foxford, T., LaPointe, P. y Thomas, A., 1998. FracMan Interactive Discrete Fracture Data Analysis, Geometric Modeling, and Exploration Simulation. User documentation. Version 2.6 Golder Associates Inc, Seattle.
- Jorgensen, L., Manceda, R. y R. Coppo. 2014. Impacto en las fracturas naturales en la producción de un yacimiento tight. Formación Lajas, Cuenca Neuquina, Argentina. Simposio de Recursos No Convencionales, p.187-209, Conexplo, Argentina.
- Llambías, E.; Schiuma, M.; 2009. El Grupo Cuyo Inferior en Cupén Mahuida. Informe interno de YPF.
- Llambías, 2013. 50 años escrutando la naturaleza de las rocas ígneas. Ciencia e Investigación, Reseñas. Tomo 1 Nro 3. ISSN 2314 3134.
- Narr, W., Schechter, D.W., y Thompson, L.B., 2006. Naturally fractured reservoir characterization. Society of Petroleum Engineers. 115p.
- Nelson, R., 2001. Geologic analysis of naturally fractured reservoirs. Elsevier. 352p.
- Phillips, H., Joonnekindt, J. P. y Maerten, L., 2014. Natural Fracture Prediction for Discrete Fracture Modelling. 76th Conference & Exhibition 2014. Amsterdam
- Stearns, D.W., 1967, Certain aspects of fracture in naturally deformed rocks, in R.E. Rieker, editor, NSF Advanced Science Seminar in Rock Mechanics: Bedford, Air Force Cambridge Research Laboratories, p. 97-118.

- Schiuma, M.; Rodríguez, E.; Tórtora, L.; Llam-bías, J., 2011 Depósitos de Origen volcánico en el Yacimiento Cupén Mahuida, Cuenca Neuquina, Argentina. VIII Congreso de Exploración y Producción de Hidrocarburos, Mar del Plata.
- Silvestro, J. y Zubiri, M., 2008. Convergencia Oblicua: Modelo Estructural Alternativo Para La Dorsal Neuquina (39°s) – Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63 (1): 49 – 64.
- Structural Diagenesis Initiative, 2018., Software, Methods and Papers by Topic. University of Texas at Austin, Public website <http://www.jsg.utexas.edu/sdi/software-and-methods>
- Suppe, J., Chou, G.T., Hook, S.C., 1992. Rates of folding and faulting determined from growth strata. In: McClay, K.R. (Ed.), Thrust Tectonics. Chapman & Hall, Suffolk, pp. 105 – 121.
- Sylwan, C., 2014. Source rock properties of Vaca Muerta Formation, Neuquina Basin, Argentina, Simposio de Recursos No Convencionales. IX Congreso Argentino de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. IAPG. Mendoza, Argentina.
- Weaver, C. 1942. A general summary of the Mesozoic of South and Central America. 8° American Science Congress, 1940, 4, Geology, Washington, D.C. (1942), pp. 149-193.
- Zou C., 2013. Volcanic Reservoirs in Petroleum Exploration. Ed. Newes. ISBN 9780123977878.



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

**Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018**