

ANÁLISIS PRELIMINAR DE COLAPSO DE POZOS EN ANTICLINAL PERALES SUR: ¿UNA RESPUESTA A LA HETEROGENEIDAD DEL RESERVORIO MULTICAPA?

Matías Salvarredy Aranguren¹, Pablo Rearte², Brahim Aguil², Daniel Maza², Gustavo González²,
Carolina Chialvo², Laura Toledo², René Manceda³, Jorge Albano³, Eduardo Fuzul², Pablo Euillades⁴,
Leonardo Euillades⁴

1: YPF S.A. & UNPSJB, matias.salvarredyaranguren@ypf.com

2: YPF S.A., pablo.rearte@ypf.com, brahim.aguil@ypf.com, daniel.maza@ypf.com, gustavo.gonzalez@ypf.com,
carolina.chialvo@ypf.com, lauraestela.toledo@ypf.com, eduardo.fuzul@ypf.com

3: consultor Y-TEC

4: C.E.D.I.A.C. (CONICET & FI-UNCuyo), peuillades@cediac.uncu.edu.ar, leuillades@cediac.uncu.edu.ar

Palabras clave: Colapso de casing, Levantamiento superficial, Fm. Bajo Barreal

ABSTRACT

Well integrity is affected by two major issues: design and the underground environment. Anticlinales Perales Sur (APS) oilfield is located 30km to NE of Las Heras city (Santa Cruz) in Golfo San Jorge Basin (GSJB). In this oilfield an integrity well inventory reveals that 17% of wells are collapsed. No major reasons for collapsing were identified in well design, therefore the analysis was focused in the underground environment. APS oilfield is at the stage of waterflooding project and this project involves only Fm. Bajo Barreal. This continental unit has sandbodies product of fluvial deposition which are separated by 20 to 30m of muddy sections analyzed as fluvial plains.

A 50% of collapses occurs in muddy sections very near to the contacts with sandbodies, 39% are direct in sand sections, and finally a 11% could not establish. The spatial distribution of collapses do not correspond to any kind of range of depth, but also it is not related to main or secondary faults. That is why it is necessary to understand the geomechanics behavior of reservoirs once they are flooding. Some authors postulated that a heterogeneous reservoir when is injected expand unequal and exerts very different uplift in overlayers that it can affect mechanic stability of the area. This geomechanic scenario might be even more complex if we take in account an multilayer reservoir as those of GSJB. Superficial features as fissures oriented N-S and uplift near collapsed well locations might understand as a consequence of underground geomechanics instability. Several cases of land motion related to subsurface fluid injection has been documented by studies using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR). This methodology was applied in APS and it let detect variations in the oilfield surface. In summary, the monitoring of water injection and InSAR data in the area will let evaluate if the hypothesis that the fluid injection in a heterogeneous multilayer reservoir might create a geomechanic stress which it produces well collapse, land motion and surface features detected.

INTRODUCCIÓN

El yacimiento Anticlinal Perales Sur (APS) se sitúa en el ámbito del Area de Reservas (AdR) Lomas de Cuy, y concita casi unos 170 pozos (Fig. 1) a unos 32 km al NW de Las Heras. APS

se ubica en el último intervalo sur del lineamiento Anticlinal Los Perales. Este lineamiento corresponde a una falla principal buzante al oeste, que posee un diseño curvado en planta, que conformó el límite oriental de un hemigraben asimétrico para el neocomiano (Homovc *et al.* 1993). En el Terciario esta estructura sufre su principal reactivación e inversión, siendo una de las más importantes de la faja corrida y plegada de San Bernardo en la Cuenca del Golfo San Jorge (Fitzgerald *et al.* 1990) en la Provincia de Santa Cruz. La faja corrida y plegada logra exhumar a lo largo de más de 18 km la sección superior del Cretácico como lo revela las imágenes satelitales del área y la Hoja Geológica 4769-IV El Pluma (Cobos y Panza 2001). Estos afloramientos cretácicos terminan de aflorar 11 abruptamente en el sector sur del Anticlinal Los Perales, este límite es detallado en la Hoja Geológica con un lineamiento (Fig. 2) que condice en subsuelo con una falla ONO-ESE buzante al sur que limita la porción norte del Bloque Sur de este estudio.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio de Anticlinal Perales Sur (APS) identificada por polígono amarillo.

En la figura 2 se aprecia en detalle este aspecto, en la misma se compara el sector de interés de la Hoja Geológica 4769-IV con respecto a una imagen que sobreimprime a la imagen satelital la varianza obtenida a -412 ms (unos 866 mbbp). La varianza es un atributo multitraza que se deriva de un flujo de trabajo específico y nos ayuda a detectar rasgos estructurales como la presencia de fallas. A partir de dicha falla se suceden transversales al eje del anticlinal fallas normales que conforman bloques de hemigrabenes sucesivos profundizándose hacia el sur hasta alcanzar el flanco sur de cierre de la estructura anticlinal (Fig. 3). Sin bien, estas fallas generan un efecto descompresivo en el seno de la estructura anticlinal, un corte transversal a la estructura muestra claramente que la estructura anticlinal no termina diluyéndose en el Bloque Sur (Fig. 3).

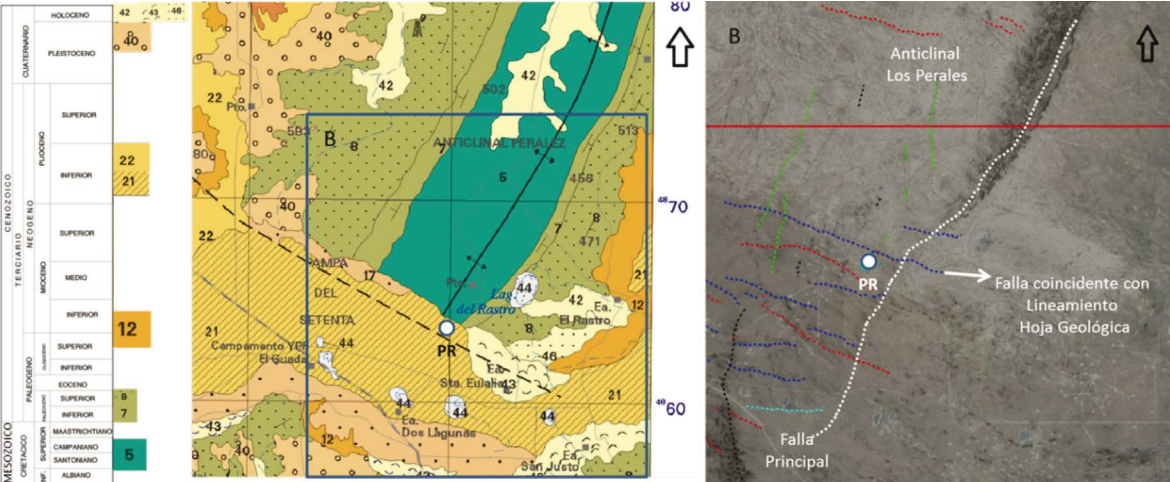


Figura 2. Carta Geológica del área (Panza y Cobos, 2003), el recuadro B detalla la zona del ensamble de los rasgos superficiales y de la varianza a -417 ms. La falla azul al norte del pozo de referencia (PR) muestra como coincide con el lineamiento superficial que controla el inicio de los afloramientos cretácicos. La unidades geológicas aflorantes en el área son: 5) Fm. Bajo Barreal; 7) Formación Salamanca; 8) Fm. Río Chico; 12) Formación Monte León; 21 y 22) Depósitos de Terrazas Fluviales del Cañadón Saldo y Otros Niveles I, II y III; 40) Depósitos que cubren Niveles de Pedimento; 42) Depósitos de Planicies Aluviales; 43) Depósitos de Derrumbes y Deslizamientos; 45) Depósitos Eólicos.

La mayoría de los pozos del yacimiento APS fueron perforados y desarrollados para producción primaria entre los años 1998 a 2002. Se trata de pozos cortos, que mayormente atraviesan parcialmente la Fm. Bajo Barreal e incluso no alcanzan la Sección Tobácea. Los pozos no culminan forzosamente a una profundidad homogénea, por lo que a medida que se alcanzan niveles estratigráficos inferiores, son menos los pozos que los contactan.

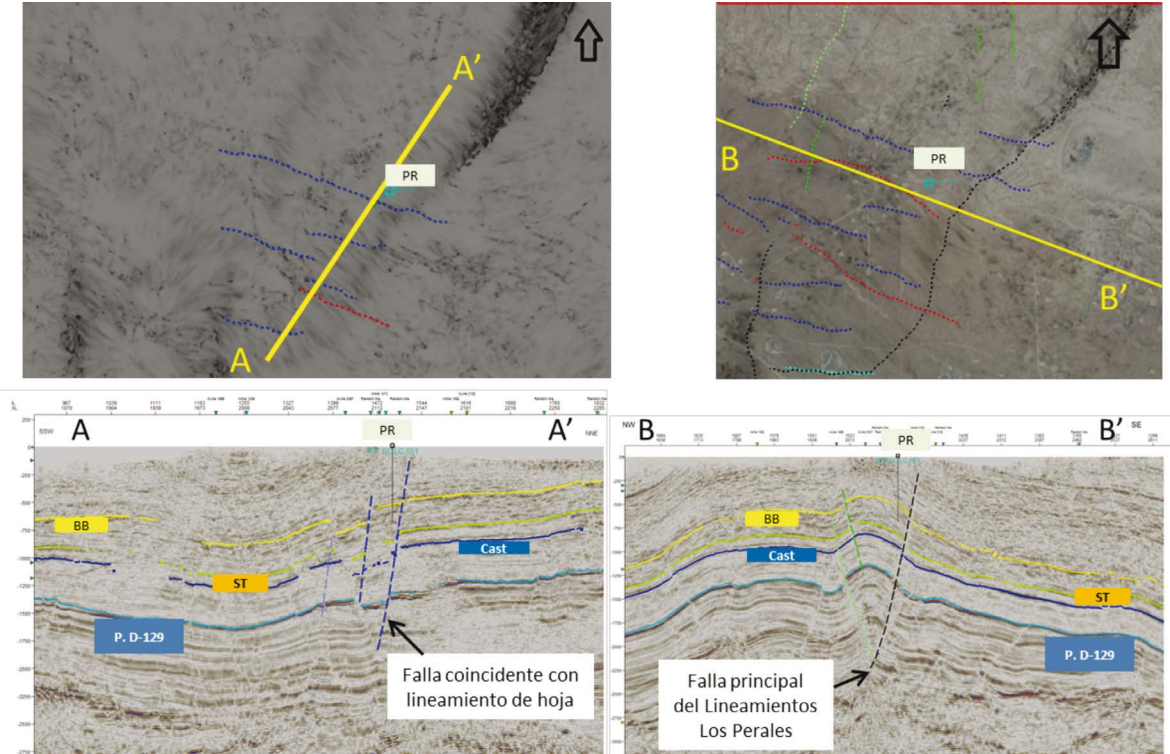


Figura 3. Vista en planta de la varianza para -358 ms y los cortes longitudinales y transversales al Anticlinal.

El Yacimiento Anticlinal Perales Sur está en una etapa de recuperación secundaria que inicia en 1998, en concomitancia con el desarrollo primario. En el año 2002 se efectuó una primera ampliación del proyecto de inyección, y sucesivas ampliaciones en 2007 y 2010, alcanzando con inyección de agua a casi el 70% de los pozos desarrollados del yacimiento. Intervalo de tiempo en que empezaron a constatar los primeros colapsos de pozos por rotura de casing a distintas profundidades.

En 2017 se efectuó un censo de pozos colapsados, pero además se lo integra a un análisis de punzados, estado de cemento, correspondencia litológica del área afectada y a un análisis preliminar de deformación superficial realizado mediante el análisis de imágenes satelitales de radar. La técnica utilizada es conocida como Interferometría Diferencial (DInSAR) que consiste en utilizar la diferencia de fase existente entre 2 imágenes debida al desplazamiento del suelo ocurrido en ese intervalo de tiempo. En esta contribución compartimos los resultados obtenidos.

Metodología

La integridad de los pozos se rige por dos órbitas: diseño (características constructivas, Kiran *et al.* 2017) y el entorno de implantación. Varias aproximaciones metodológicas se utilizaron para llevar a cabo este trabajo de naturaleza multidisciplinaria: revisión de integridad de pozos, revisión de cementos de pozos, revisión de punzados y tipos de litologías frente a roturas, revisión del modelo estructural, revisión de las capas en inyección, revisión de las imágenes InSAR, geología de superficie para la identificación de rasgos de inestabilidad.

Censo de pozos colapsados

La tarea consistió en revisión del historial de intervenciones de pozo (Workover, Pulling o Wireline), que es donde principalmente se identifican los colapsos. Para ello se procedió primeramente por revisar el estado de los pozos (Fig. 4). La atención se focalizó en primer término en las razones técnicas por las que se encuentran en estado de abandono los pozos. Subsiguiente se analizó los pozos que estaban para abandonar. Para luego continuar con los diferentes estados de pozos para determinar la potencial localización en profundidad de restricciones que pudieran caracterizar pozos colapsados. Los colapsos se evidencian ante aprisionamiento de cañerías, pescas de instalación de subsuelo, retornos de hierro y/o cemento al rotar con fresa, marcas en impresores de plomo, obstrucciones al bajar herramienta de pesca de válvulas en inyectoros.

Revisión de los cementos de los pozos colapsados

Una vez identificados los pozos colapsados se procedió a un análisis escrupuloso de los cementos de pozos, prestándose especial interés en el tramo próximo al ámbito de la ruptura. Se

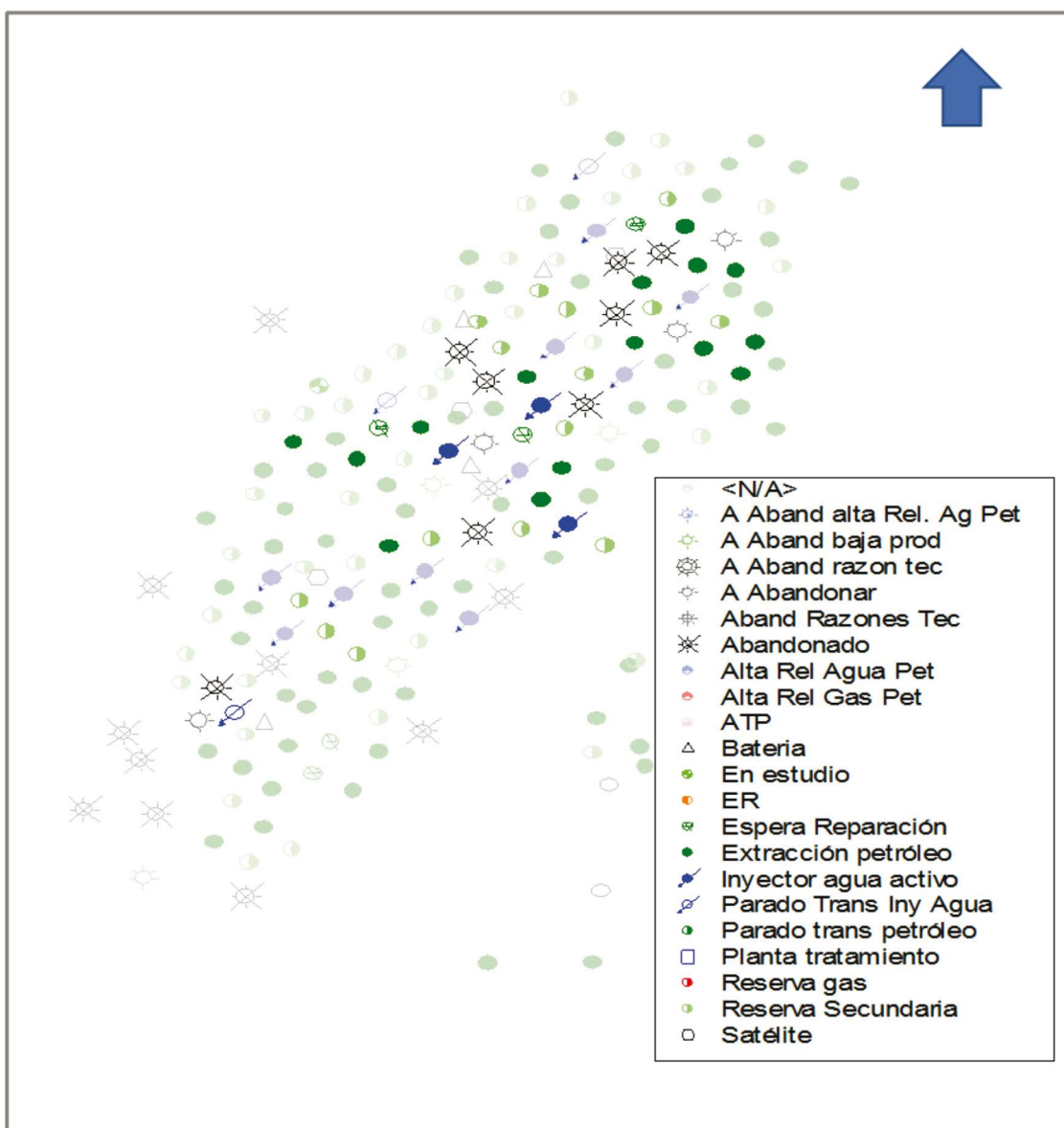


Figura 4. Mapa de localización de pozos con riesgo mecánico. NB: Los pozos grisados no presentan colapsos, los pozos en color son los colapsados identificados por el censo.

analizaron tanto perfiles CBL-VDL de pozos productores, como inyectoros.

Revisión de punzados y tipos de litologías frente a roturas

Para ello se realizó un cotejo con cada esquema de pozo colapsados para establecer si las roturas ocurrían frente a un área punzada o no. Se consultaron perfiles combinados 1:200 y en muchos casos se realizó petrofísicas para establecer con claridad la litología en que ocurrían las roturas de casing.

En el yacimiento los pozos involucran Bajo Barreal como unidad productiva (Sanagua *et al.* 2002) en general sin alcanzar en general la sección tobácea. Esta unidad en el yacimiento se caracteriza por lo que aquí denominaremos “paquetes de arenas” a una asociación de niveles de arena que conforman un evento sedimentario que puede seguirse lateralmente a lo largo de la correlación en el yacimiento.

Cuando nos detenemos en las columnas atravesadas podemos observar trenes de paquetes arenosos generalmente conformados por un promedio de 3 niveles de arenas (fluctúan entre 2 a 5 niveles de arena por paquete) que se encuentran ligeramente desvinculados por fracciones más finas. En algunos casos un nivel de arena se engrosa y erosiona la base fina y logra amalgamarse con otra arena. Los paquetes de arenas están delimitados por cuellos arcillosos o finos (Fig. 5).

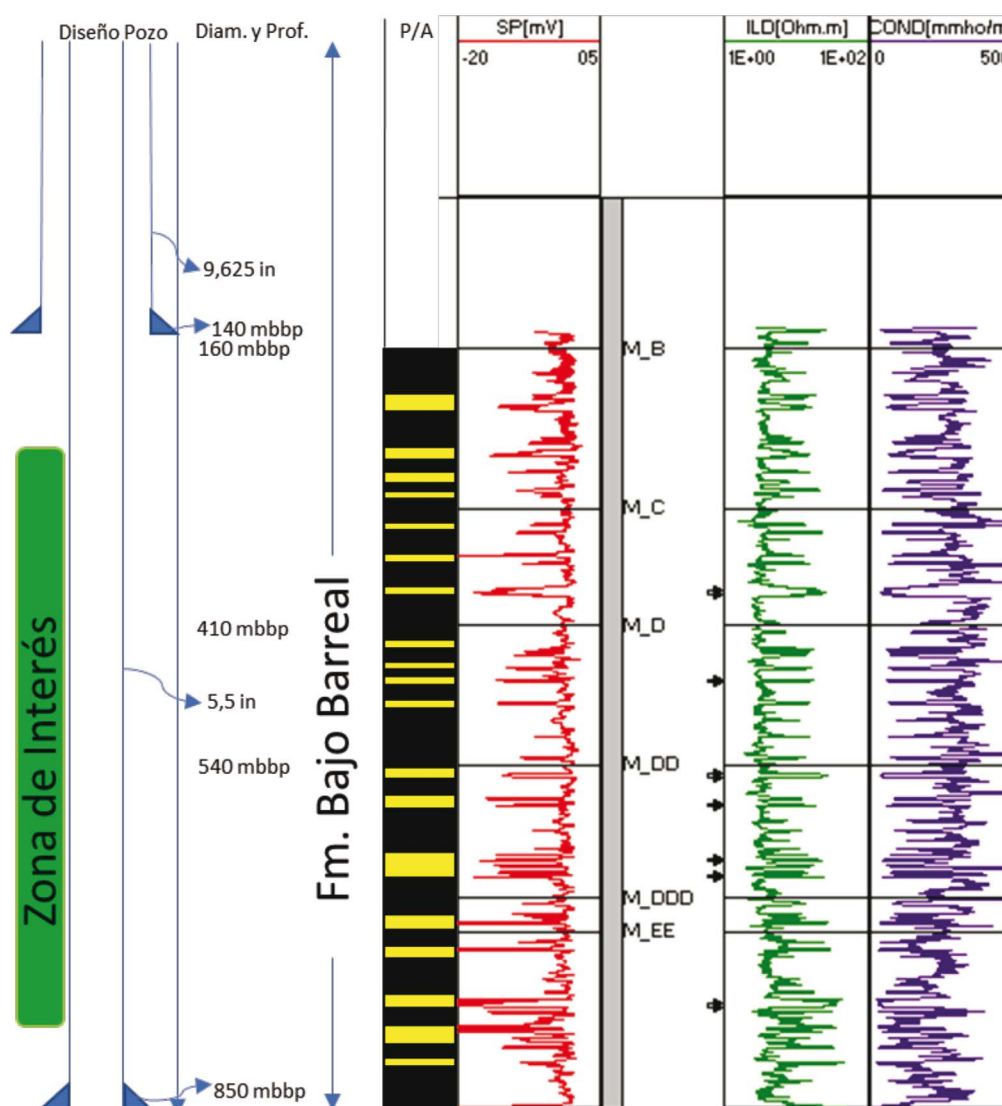


Figura 5. Pozo característico del área. Se muestra el diseño de pozos y tipos de cañerías usadas, relación de pelitas y arenas donde se observan que los paquetes de arenan quedan serparados por intervalos pelíticos de espesor significativo. Principales marcadores de referencia que permite dividir localmente la Fm. Bajo Barreal. Aspecto de la respuesta eléctrica para el área de dicha unidad con las curvas de SP, Resistividades (ILD) y conductividad.

Estas secuencias finas en general superan los 20 metros de espesor.

La construcción de los diferentes mapas para el yacimiento, muestran con frecuencia rasgos de canalización. Los espesores totales, que permiten delimitar el borde capa, pero cuando analizamos los tramos permeables el carácter de canalización se hace más conspicuo. Por lo que puede establecerse que para esta zona el estilo preponderante ha sido de cursos meandrosos semipermanentes con una buena subsidencia que permite que los canales no erosionen los depósitos que han dejado previamente. El carácter semipermanente de los canales meandrosos de arena fina y limoso que alternan con sistema de muy escasa energía tipo barreal que pueden asociarse a la presencia de los cuellos finos de varios metros de espesor que separan los paquetes arenosos.

Revisión de las capas en inyección

Se revisó que las roturas no ocurrieran frente a capas de inyección, o que estuvieran focalizada en alguna capa en particular, para ello se contó con el análisis estático del área.

Revisión del modelo estructural

El área posee un cubo sísmico con reprocesamiento 5D que fue utilizado para la revisión del modelo estructural. La interpretación sísmica propiamente dicha se realizó utilizando el siguiente flujo metodológico. El mismo consistió en realizar cronológicamente la calibración sísmica – pozo; generación de atributos estratigráficos y estructurales, interpretación de fallas y horizontes sísmicos, generación de modelo de velocidades sísmicas y por último la conversión a profundidad de todos los elementos interpretados.

Todos los elementos estructurales interpretados fueron soportados por atributos sísmicos de varianza, ant tracking (algoritmo para detectar fallas en base a los principios que utilizan las colonias de hormigas) y de buzamiento; por datos de pozos y por visualizaciones realizadas a partir de imágenes satelitales (fallas aflorantes).

Revisión de las imágenes InSAR

Se efectuó un análisis de las imágenes InSar y las ubicaciones de los pozos colapsados, para evaluar si había algún tipo de respuesta de la superficie topográfica respecto a la problemática de subsuelo. También se realizaron comparaciones de las variaciones altimétricas de la superficie topográfica vs los volúmenes de inyección en pozos del área (Euillades *et al.* 2017).

Geología de superficie para la identificación de rasgos de inestabilidad

Se realizó un estudio de superficie efectuándose la detección de elementos de inestabilidad en los suelos de locaciones y otros ámbitos tanto intervenidos antrópicamente como sin intervención (Chialvo y Toledo 2016). Se recorrió el yacimiento se tomaron medidas de desnivel en terrenos, direcciones de grietas, mediciones del ancho de grieta.

Resultados

A continuación, se detallan los principales resultados de los distintos abordajes metodológicos realizados:

Revisión de los cementos de los pozos colapsados

Una vez identificados los pozos colapsados se procedió a un análisis escrupuloso de los cementos de pozos, prestándose especial interés en el tramo próximo al ámbito de la ruptura. En todos los casos se revisó primeramente el estado de cemento en todo el pozo, definiéndose estado general y collar de cemento. Posteriormente se focalizaba sobre la zona de colapso. Es así se constató que en un 70% de los casos los pozos cuentan con buen perfil de cemento frente a la

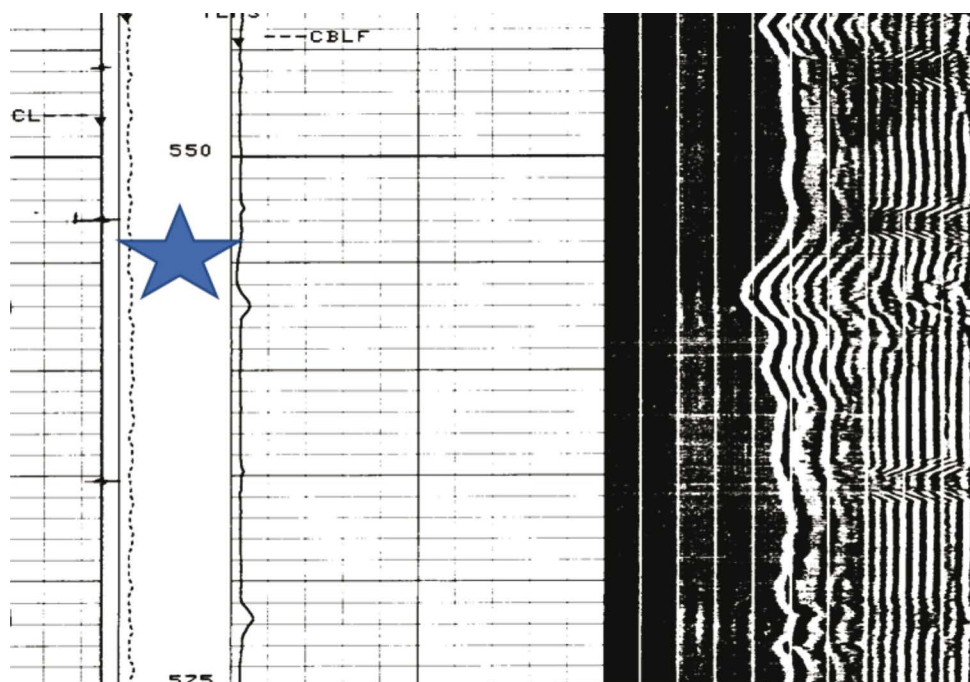


Figura 6. Ejemplo del análisis efectuado para un pozo colapsado con la verificación de la cementación primaria para la zona próxima en donde se detectó rotura de casing (estrella azul) en la interfase arena pelita. En el perfil se detalla cuenta cuplas (CCL), y perfil de cemento CBLy VDL. En la imagen se aprecia donde comienza la arena en 555,5 hasta 557,5 mbbp. Se observa en zona de colapso buen cierre de cemento contra la formación, contra el caño se ve con buena a regular adherencia y cierre.

zona de colapso (Fig. 6). Esto indicaría que un aspecto crítico del diseño de pozo como lo es la aislación por cementación no sería un factor determinante en los colapsos de pozos observados.

Revisión del modelo estructural.

En APS se visualizaron 43 fallas que involucraron distintos niveles geológicos (Fig. 7), de las cuales sólo unas 5 fallas pueden contabilizarse como mayores ya que delimitan la estructura del anticlinal y definen sus bloques internos. El rasgo estructural de mayor relevancia en este bloque corresponde a la falla inversa que limita el anticlinal por el este y se continúa hacia el norte dentro del área Los Perales. Por el oeste la estructura está delimitada por un retrocorrimiento menor. Las restantes estructuras principales observadas constituyen fallas normales de rumbo este-sureste y buzamientos conjugadas con una ligera componente de transurrencia. Con excepción de algunos rasgos estructurales contemplados a partir de la nueva interpretación, el modelo estructural propuesto no difiere demasiado al que se venía utilizando desde el año 2010.

Se realizaron con el modelo estructural 3D numerosas visualizaciones contrastando la ubicación de los rasgos estructurales versus los markers de los puntos de colapsos en los pozos afectados. Este ejercicio, permitió establecer que no se observa una vinculación directa entre los rasgos estructurales y los puntos de colapsos. A título de ejemplo se presenta en la figura 5 la ubicación de los pozos identificados por el censo de colapsos y un corte en Z a -600 ms presentando el resultado de las trazas de las fallas obtenidas de la nueva interpretación para dicha posición. Se visualiza que no existe una relación directa entre fallas y pozos colapsos. Más aún la mayor parte de los colapsos se encuentran en el sector norte de APS, caracterizado por una menor complejidad estructural (Fig. 7) como lo indica la interpretación estructural, pero también las correlaciones entre pozos del yacimiento.

Del presente análisis se puede evaluar que las estructuras principales y secundarias detectadas por el análisis sísmico geológico no han jugado un rol preponderante en la generación de los pozos colapsados.

Localización de los pozos colapsados y su relación con las litologías en que ocurre las roturas de casing.

La tarea de revisión de intervenciones de pozo arrojó un total de 35 pozos con evidencias de posibles colapsos o desvinculaciones, de este modo se constató que un 17% de los pozos perforados han colapsado. La distribución de los pozos afectados por esta problemática se mostró extendida a lo largo de la superficie del yacimiento (Fig. 4 y 7) y que en profundidad ocurren a disímiles profundidades.

Para ello se realizó un cotejo con cada esquema de pozo colapsados para establecer si las roturas ocurrían frente a un área punzada o no. Se consultaron además los perfiles combinados 1:200 y

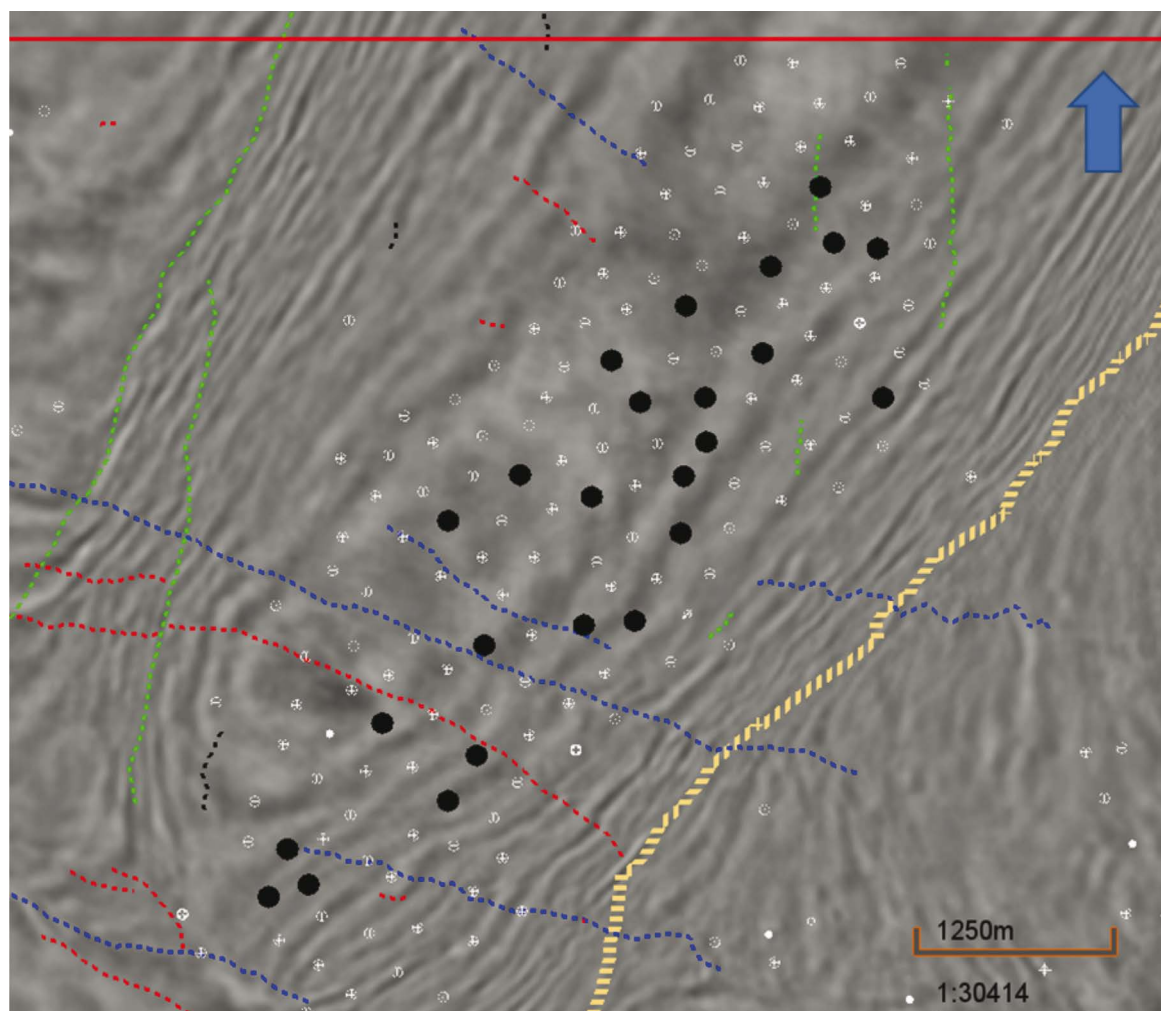


Figura 7. Visualización 2D de las fallas y pozos colapsados en APS. En la figura se muestra un time slice a -600 ms (profundidad media de Bajo Barreal Inferior) donde se proyecta la interpretación realizada, los pozos presentes en el área (color blanco) y pozos colapsados (color negro). NB: Las fallas rojas son normales buzantes al N; las fallas azules son normales buzantes al S; la falla amarilla clara es la principal y es inversa buzante al oeste; las fallas verdes son en general normales buzantes al este, con diversos grados de inversión tectónica.

en muchos casos se realizó petrofísicas para establecer con claridad la litología en que ocurrían las roturas de casing. Se estableció que los colapsos no estaban forzosamente relacionados con planos de debilidad del diseño de pozo juntas de caños de entubación, cuplas o zonas punzadas. Las desvinculaciones en un 50% ocurren en los cuellos de arcilla próximos a los contactos con las arenas, en tanto un 39% frente a arenas y un 11% fue imposible de establecer el punto exacto de la desvinculación (Fig. 8). La distribución espacial de estos colapsos no responde a un rango de profundidad determinado, ni a la proximidad de las fallas principales o secundarias del área de estudio.

Se revisó dónde las roturas ocurrían frente a capas de inyección o sin inyección, si estaban focalizada en alguna capa en particular, para ello se contó con el análisis estático del área. De este análisis estático, obviamente hubo un 11% de los colapsos no pudieron ser analizados

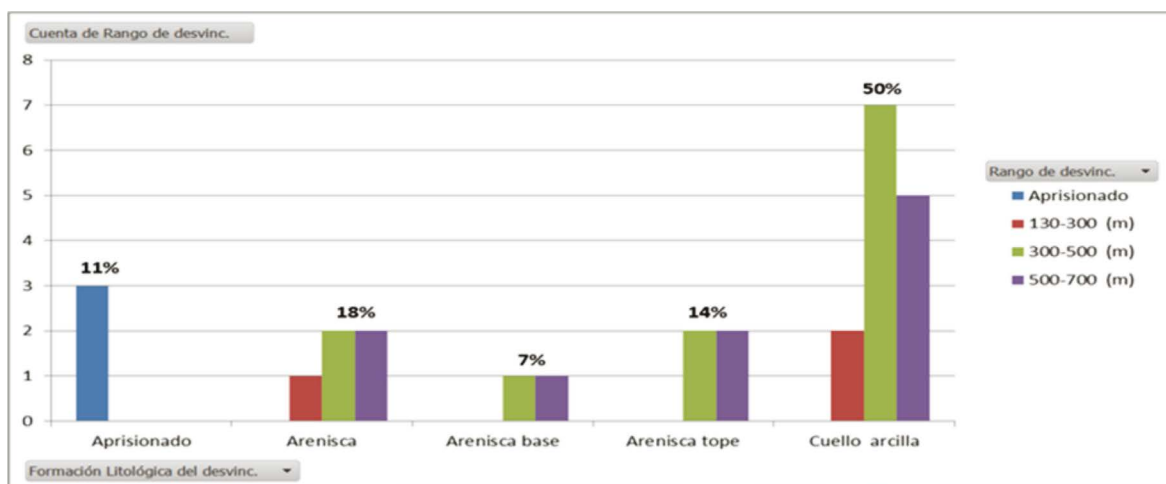


Figura 8. Distribución en profundidad y por litología de las zonas de colapso.

(aprisionados, ver Fig. 8), pero pudo establecerse que sólo un 15% de las roturas de casing ocurrieron en niveles en los que no se realiza recuperación secundaria. El 75% restante ocurre en intervalos donde hay inyección activa. El 15% de roturas de casing detectadas por fuera de la zona de inyección, no pueden excluir que la inyección esté causando algún efecto dado que podría haber problemas de selectividad en estos pozos tales como mandriles inyectando en capas donde los pozos están parados ó directamente inyectoros activos en patterns con productores inactivos. Las roturas mostraron mayor frecuencia en algunas capas en particular, pero ninguna concentró por sí sola un número significativo de roturas que permitiera diferenciar una zona dentro del área en inyección o fuera de ella. Este dato resulta relevante porque no estaría indicando un problema de sobrecargar a una capa o un número de capas en particular, sino más bien podría asociarse a variaciones laterales que ocurren en el subsuelo en estudio.

Del análisis realizado se desprende que una parte significativa de los colapsos ocurren en un 50% en sectores del cuello pelita de los pozos (Fig. 8), que en muchos casos se sitúan en tramos pelíticos próximos a contactos con arenas de modo muy coincidente por lo propuesto por Dusseault *et al.* 2001. De dicho universo de colapsos en zona arcillosa, un 86% tienen lugar en la zona en inyección. Es por lo que, más allá que estas roturas ocurran en litologías arcillosas, podría la inyección ser causal de las mismas y esta inyección generar la hidratación de arcillas causando su expansión que podrían llevar al colapso del pozo cuando ocurre en proximidad del mismo (Fauqué 2002). La inyección podría estar proviniendo a estas arcillas de capas inferiores o superiores a la zona colapsada, pero también sería factible la influencia de capas que varían lateralmente a facies arcillosas donde ocurren los colapsos (Fig. 9).

Por otra parte, el 39% de los casos de ruptura de casing ocurre en arenas (Fig. 8), de los cuales 79% ocurre en arenas en inyección (Fig. 9B), es decir del universo total de roturas de casing el 30% ocurre en arenas en inyección.

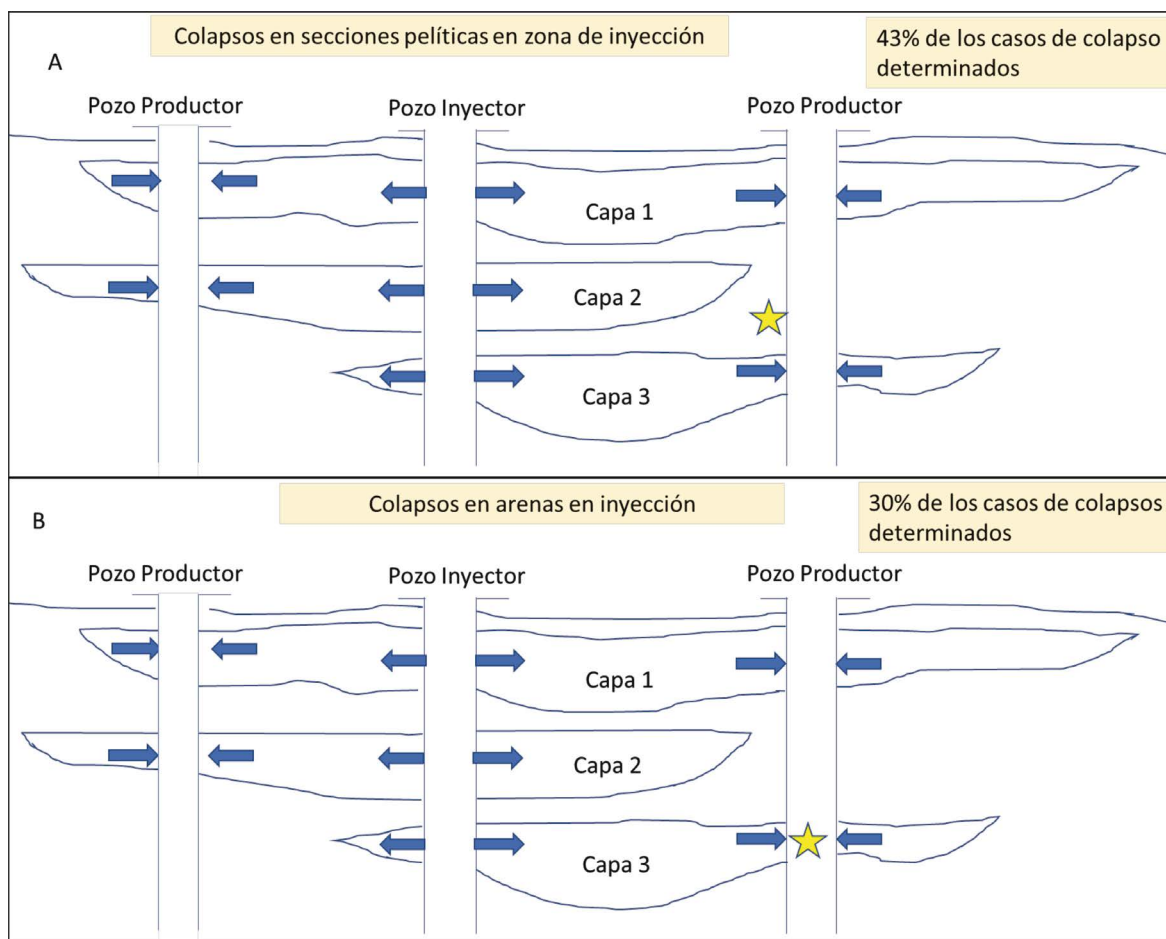


Figura 9. Esquemas conceptuales de la problemática abordada. A) La zona de rotura se sitúa en un 43% de los casos en ámbitos de pelitas, éstas están delimitadas por debajo y arriba, pero también en muchos casos lateralmente por arenas en inyección, por lo que cualquiera de las tres capas puede influir en el punto de ruptura de casing (demarcado por estrella amarilla). B) En el 30% de los casos la ruptura del casing se encuentra en una arena en inyección.

Revisión de las imágenes InSAR

Se efectuó un análisis de las imágenes InSar y las ubicaciones de los pozos colapsados inyectoros del área de estudio, para evaluar si había algún tipo de respuesta de la superficie topográfica respecto a la problemática de subsuelo. Dicha técnica se basa en el procesamiento de imágenes satelitales de radar de apertura sintética. Teatini *et al.* (2011) han documentado numerosos casos de movimientos en superficie por efecto de inyección de fluidos en subsuelo por la metodología de radar interferométrico de apertura sintética (InSAR) que permite establecer variaciones milimétricas de altura del suelo. Este enfoque aplicado a APS permitió detectar patrones de variaciones en la superficie del yacimiento. Es así que pudo establecerse un desplazamiento superficial en el yacimiento APS. Este desplazamiento se resuelve en patrones circulares que indican el área de deformación (Fig. 10). En el periodo de tiempo analizado el suelo del yacimiento experimentó un proceso de deformación considerable alcanzando velocidades de deformación de 10 cm por año (Fig. 11).

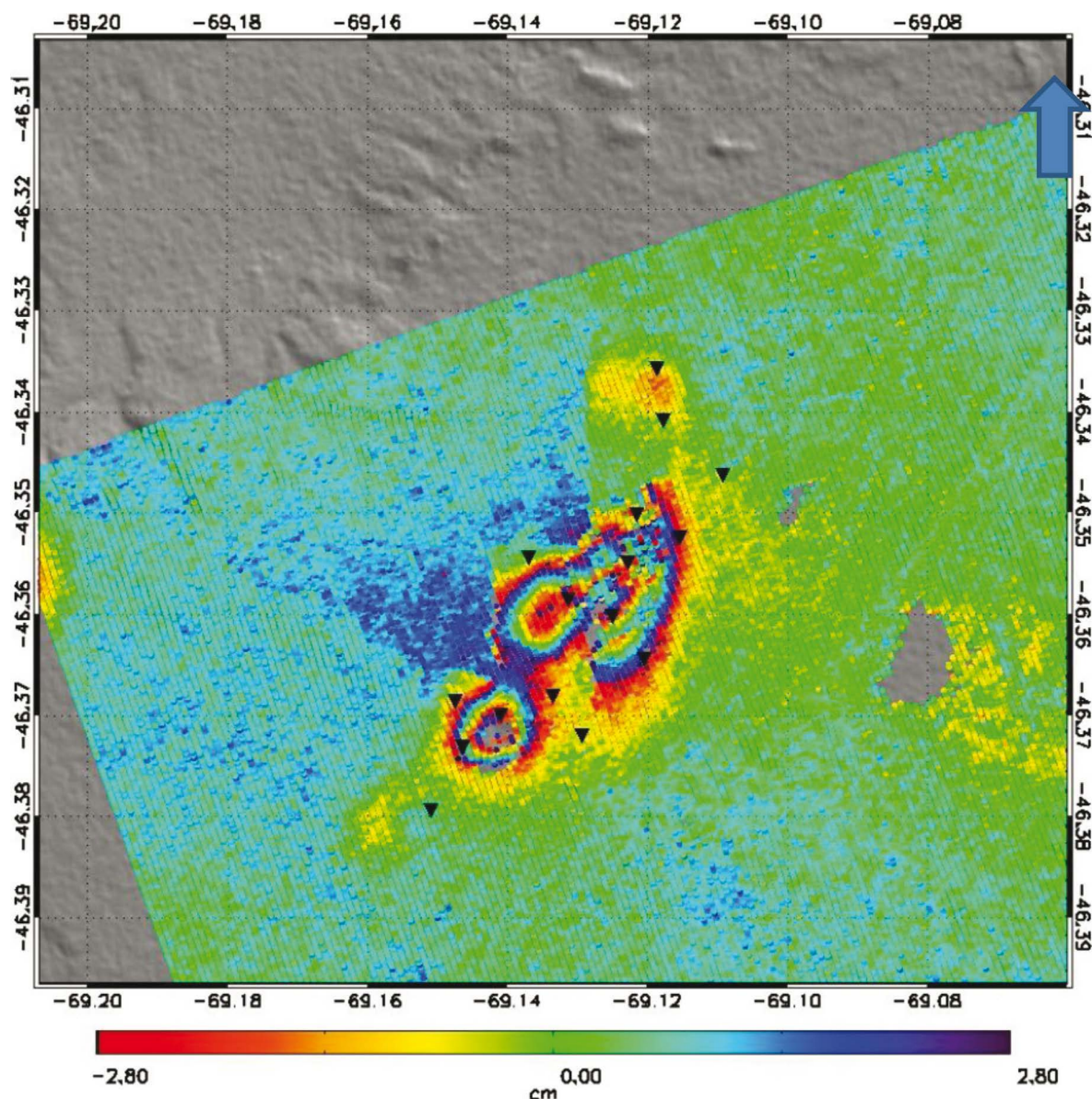


Figura 10. Desplazamiento superficial en el yacimiento APS. Pueden observarse patrones de deformación. Con símbolos triangulares se consigna la ubicación de los pozos inyectoros.

Estos patrones de deformación por levantamiento o subsidencia (Figs 10 y 11) son muy clásicos en yacimientos sujetos a técnicas de recuperación secundaria (Teanti *et al.* 2011).

Dado que en este tipo de situaciones se ha podido constatar que la inyección puede causar deformación en superficie del yacimiento (Niu *et al.* 2017). Se realizó un análisis muy preliminar se comparó el desplazamiento de la superficie del área próxima a los pozos inyectoros y los volúmenes inyectados observándose en algunos casos una interesante correspondencia (Fig. 12).

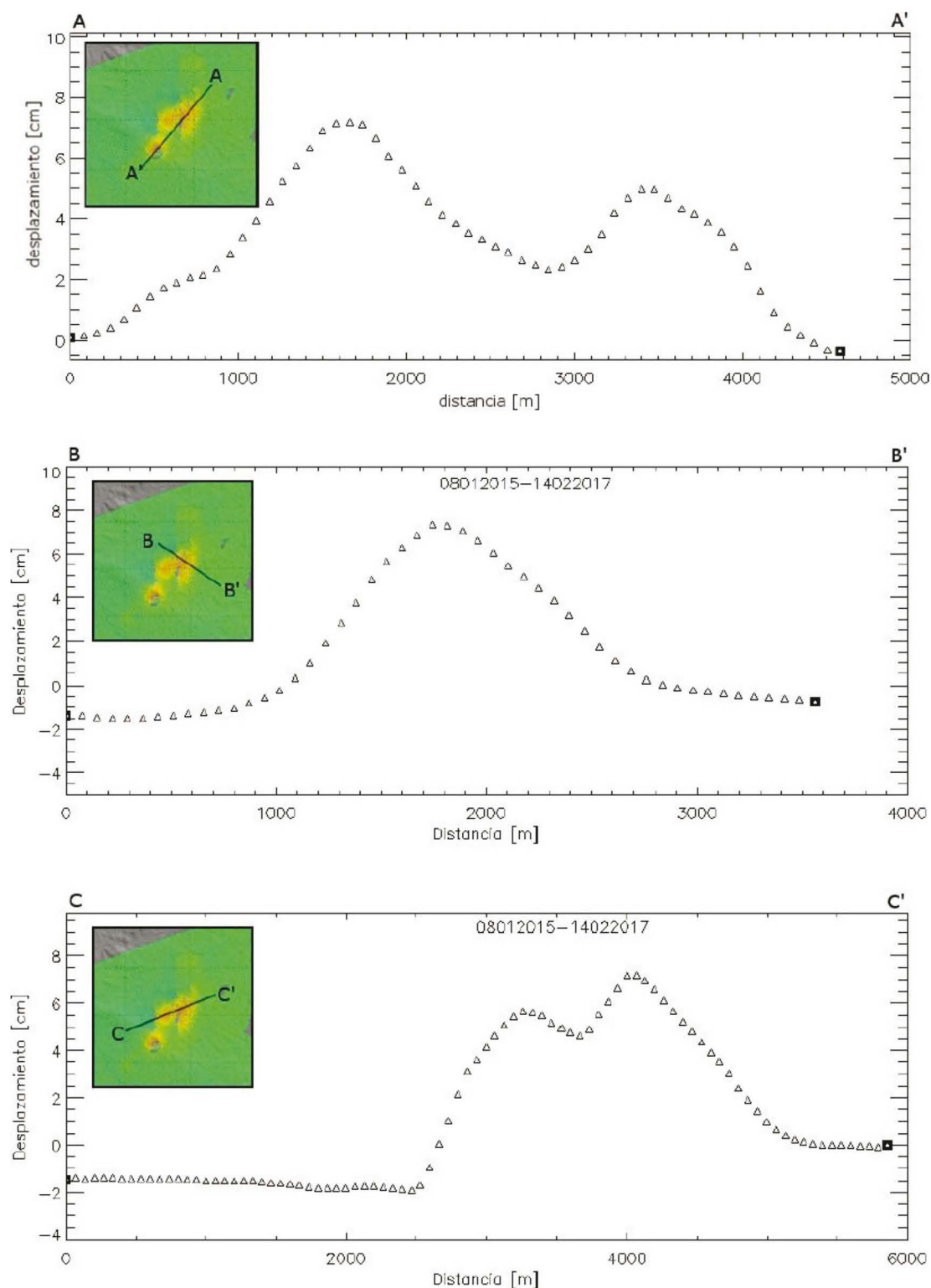


Figura 11. Perfiles transversales que representan la deformación alcanzada para un periodo de tiempo en el yacimiento mostrando levantamientos y subsidencias.

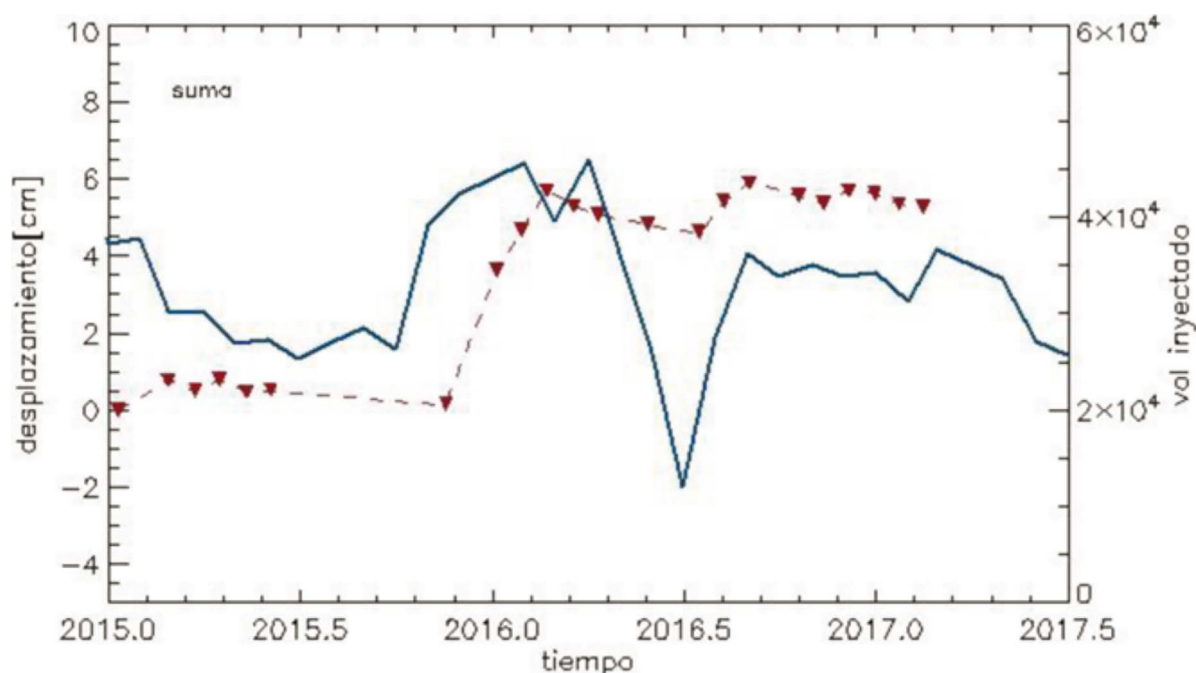


Figura 12. Evolución temporal del desplazamiento superficial de un pozo inyector. La línea con triángulos refleja los desplazamientos del terreno entre cada adquisición de imágenes. La línea continua representa los volúmenes de inyectados para las capas en secundaria.

Geología de superficie para la identificación de rasgos de inestabilidad

Hace 3 años comenzaron a apreciarse una serie de rasgos superficiales en el área del yacimiento. Desde 2016 comenzó a documentarse la presencia de fracturas mayormente N-S de distinto grado de tamaño que no parecen corresponderse con rasgos erosivos. Además de desniveles en locaciones y caminos de APS (Fig. 13). Se realizó un estudio de superficie efectuándose la detección de elementos de inestabilidad en los suelos de locaciones, caminos, trazas de cañerías, etc., tantos intervenidos antrópicamente, como sin intervención.

Los rasgos cartografiados aparecen mayormente a las zonas en que las imágenes DInSar muestran deformación.

Construcción de un Modelo Geomecánico

Los datos señalados precedentes están siendo tomados en cuenta para la construcción de un modelo geomecánico que explique los fenómenos observados. Los datos de interferometría son relevantes porque demuestran la presencia de fallas, que se observan en superficie, sino también una elevación del terreno de varios centímetros debido a la sobre-inyección a la que fue sometido el yacimiento. La interpretación estructural preliminar permite concluir que la presencia de estas fallas no son reactivaciones de las fallas que limitan la estructura. Teniendo en cuenta

estas observaciones, los resultados preliminares de un modelo geomecánico en proceso dan un campo compresivo entre los niveles de inyección y la superficie. El esfuerzo in situ en la zona es de carácter compresivo E-O, el cual se sobredimensiona debido a la elevación de la zona entre los niveles de inyección y superficie. Este campo compresivo muestra un campo de esfuerzos máximos subhorizontal, mientras que hacia superficie la orientación, tienen una rotación hacia la vertical, lo que genera una trayectoria de este esfuerzo de geometría lítrica. En consecuencia, los 700 metros superiores en que se desarrolla este yacimiento se encuentran en un dominio de campo de esfuerzos compresional que prácticamente está recibiendo un empuje hacia arriba, lo que se resuelve en numerosas zonas de despegues y desplazamientos en las zonas favorables para la generación de fallas, las cuales propician el colapso de los sondeos del yacimiento y que afloran en superficie.

El cálculo de los valores de los esfuerzos actuantes y el análisis de los niveles de despegues en arcillas y arenas, permitirá a su vez el cálculo del volumen de inyección apropiada para que el esfuerzo in situ sea de carácter subcrítico y no genere los desplazamientos que producen los colapsos en los pozos.



Figura 13. Evidencias de los rasgos de deformación superficiales relevados en el yacimiento APS.

CONCLUSIONES

Diferentes aproximaciones metodológicas han sido puestas en práctica para evaluar las causas de los colapsos en pozos de APS. Las diferentes vías analizadas muestran que los colapsos no responden claramente a una disposición espacial controlada por las estructuras de fallamiento del bloque, ni a dificultades de diseños de pozo. Las zonas de colapso se concentran en un 75% de los casos en la zona productiva de los pozos que se encuentra bajo inyección de agua para recuperación secundaria. Niu y otros (2017) postulan que un reservorio heterogéneo al inundarse genera una expansión desigual del reservorio y ejerce un efecto muy diferente sobre la superficie que lo suprayace lo que puede afectar la estabilidad mecánica del área. Estas respuestas geomecánicas pueden ser más complejas si tenemos en cuenta que los yacimientos son multicapa como resultan ser los de la CGSJ. Así se interpreta que los colapsos podrían estar respondiendo a un llenado diferencial de los reservorios que poseen una alta variabilidad lateral de facies, o incluso resolverse secundariamente como una transferencia de fluido a secciones pelíticas causando la hidratación de arcillas expansibles (Fauqué 2002). Esta hipótesis de trabajo puede ofrecer una explicación a los rasgos de inestabilidad mecánica observados próximos a pozos desvinculados (grietas superficiales de tendencia N-S con ramificaciones subparalelas, levantamientos de terrenos en locaciones, etc.), y pueden entenderse como una manifestación en superficie conexas a los causales de colapsos en subsuelo. La dinámica de llenado por inyección mostraría una correspondencia con los desplazamientos observados en superficie detectados con imágenes DInSAR. Los patrones de superficies observados por la dicha técnica se resolverían por diversos rasgos como desniveles y fracturas. Un modelado geomecánico en curso explicaría que el yacimiento se desarrolla en un ámbito compresional que por la inyección sufre un movimiento ascendente produciendo nuevos niveles de despegues de fallamiento causando los colapsos de los pozos. En síntesis, el monitoreo conjunto de la recuperación secundaria y de DInSAR para el área permitirá evaluar si el comportamiento geomecánico del área está reflejando un llenado desigual de los reservorios multicapas generando un stress geomecánico que se resuelve en los rasgos de superficie detectados y evaluar si los mismos son convergente con los resultados del análisis geomecánico en curso.

AGRADECIMIENTOS

A YPF S. A. e YTEC por la autorización en la utilización y difusión de los datos utilizados para esta contribución. Nuestro agradecimiento extensivo también a los revisores de esta contribución Martín Paris y Marcelo Frydman.

REFERENCIAS CITADAS

- Cobos, J. C. y J. L. Panza, 2001, Hoja Geológica 4769-IV, El Pluma. Provincia de Santa Cruz, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 309, 89 p. Buenos Aires.
- Chialvo, C. y L. E. Toledo, 2016, Reconocimiento de Estructuras Superficiales en Campo Anticlinal Perales Sur, Informe Inédito, pp. 7.
- De Jesus, B. S., 1990, Ecopetrol Uses Aluminum-Hydroxychloride To Stabilize Clays in a Water-flooding Project, Society of Petroleum Engineers.
- Dusseault, M., M. Bruno y J. Barrera, 2001, Casing Shear: Causes, Cases, Cures, SPE Drilling & Completion, paper 72060, 98-107.
- Euillades, P. A., L.D. Euillades y M. Blanco, 2017, Análisis de deformación cortical mediante SBAS-DInSAR. Yacimiento Lomas del Cuy, Informe CEDIAC (IN-IS513-17), CONICET, p. 13.
- Fauqué, L. E., 2002, Yacimiento El Guadal Zona Sur. Pozos con problema de colapso de casing, Informe Inédito YPF, pp. 25.
- Fitzgerald, M. G., R. M. Mitchum, M. A. Uliana y K. T. Briddle, 1990, Evolution of the San Jorge Basin, Boletín AAPG, 74, 879-920.
- Homovc, J. F., G.A. Conforto y P. A. Lafourcade, 1993, Faja Plegada en el subsuelo de la cuenca del Golfo San Jorge, Ejemplo de inversión tectónica, Actas XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Tomo 3, 233-240.
- Kiran, R., C. Teodoriu, Y. Dadmohammadi, R. Nygaard, D. Wood, Mokhatari y S. Salehi, 2017, Identification and evaluation of well integrity and causes of failure of well integrity barriers (A review), Journal of natural Gas Science and Engineering, 45, 511-526.
- Niu, Z., Q. Li y X. Wei, 2017. Estimation of the Surface uplift due to fluid injection into a reservoir with a clayey interbed. Computers and Geotechnics, 87, 198-211.
- Sanagua, J., J. Hlebszevitsch y F. Suárez, 2002, Los reservorios del flanco oeste, en M. Schiuma, G. Hinterwimmer y G. Vergani (eds.) Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina, V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 175-198, Mar del Plata.
- Teatini, P., G. Gambolati, M. Ferronato, A. Settari y D. Walters, 2011, Land uplift due to subsurface fluid injection, Journal of Geodynamics, 51, 1-16.