

# Incrustaciones minerales en cañerías de un pozo productor de hidrocarburos del área Agua Botada, Cuenca Neuquina (Argentina): identificación y tratamiento

---

**Lajoine, María F.; de la Cal, Hernán G.; Salvioli, Melisa A.; Lanfranchini, Mabel E.; Feinstein, Enrique H.**  
Incrustaciones minerales en cañerías de un pozo productor de hidrocarburos del área Agua Botada, Cuenca Neuquina (Argentina): identificación y tratamiento  
Ingenio Tecnológico, vol. 2, 2020  
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

## Incrustaciones minerales en cañerías de un pozo productor de hidrocarburos del área Agua Botada, Cuenca Neuquina (Argentina): identificación y tratamiento

*María F. Lajoinie*

*LEMaC. Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional La Plata. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (UTN-CIC) / INREMI. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (FCNyM-CIC), Argentina  
florlajoinie@gmail.com*

*Hernán G. de la Cal*

*ROCH S.A., Avenida Madero 1020, Piso 21, Buenos Aires, Argentina*

*Melisa A. Salvioli*

*INREMI. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (FCNyM-CIC), Argentina*

*Mabel E. Lanfranchini*

*INREMI. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata-Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (FCNyM-CIC), Argentina*

*Enrique H. Feinstein*

*ROCH S.A., Avenida Madero 1020, Piso 21, Buenos Aires, Argentina*

Recepción: 16 Abril 2020  
Aprobación: 28 Mayo 2020

### RESUMEN:

Las incrustaciones son un conjunto de minerales que se depositan en las cañerías y en diferentes sectores de las instalaciones de producción de los pozos de hidrocarburos impidiendo el flujo normal de los fluidos. También, pueden ocluir la porosidad de la roca reservorio reduciendo su permeabilidad, lo que tiene un impacto económico sumamente negativo. Estas incrustaciones se forman por precipitación química cuando los equilibrios químicos de los fluidos naturales presentes en las rocas sedimentarias se ven perturbados por: contacto entre aguas incompatibles, cambios en la presión y/o temperatura original, liberación de gas o modificaciones en el pH. En la presente contribución se propone una metodología de diagnóstico y potencial remediación, accesible y de bajo costo, que incluye un estudio bajo lupa binocular y análisis SEM-EDX, para las incrustaciones minerales detectadas en el pozo productor de hidrocarburos AB.x-1 del área Agua Botada, provincia de Mendoza, Cuenca Neuquina (Argentina). La caracterización de estas acumulaciones minerales permitió determinar que las mismas corresponden principalmente a yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) y a cantidades menores de halita ( $\text{NaCl}$ ). En este sentido, el conocimiento de su mineralogía posibilita la predicción y prevención de la formación de este tipo de incrustaciones, durante la producción, o seleccionar la técnica más efectiva para su remoción, una vez formadas.

**PALABRAS CLAVE:** Mineralogía, Rocas Sedimentarias, Hidrocarburos, Cuenca Neuquina, Microscopía Electrónica de Barrido.

**ABSTRACT:**

Incrustations are a mineral set deposited in pipes and other places of the hydrocarbon well equipment that avoid the normal fluid circulation. Also, they can occlude the porosity of the reservoir rock reducing its permeability, which has an extremely negative economic impact. These incrustations are formed by chemical precipitation when natural fluid chemical equilibrium in sedimentary rocks is disturbed by: incompatible water incorporation, changes in the original pressure and/or temperature, gas release or pH changes. In this contribution, an accessible and low cost diagnostic and potentially remediation methodology is proposed for the AB.x-1 hydrocarbon producing well in the Agua Botada area, Mendoza province, Neuquén Basin (Argentina). It comprises the study of the detected mineral incrustations under a binocular loupe and SEM-EDX analysis. The characterization of these mineral accumulations allowed mainly gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) and minor amounts of halite ( $\text{NaCl}$ ) to be determined. In this sense, mineralogical knowledge of incrustations allow its formation to be predicted and prevented during production, or also to select the most effective technique for their removal, once they are formed.

**KEYWORDS:** Mineralogy, Sedimentary Rocks, Hydrocarbons, Neuquén Basin, Scanning Electron Microscopy.

**INTRODUCCIÓN**

La precipitación de fases minerales sólidas que ocurre en los pozos de producción de petróleo recibe el nombre de incrustaciones minerales (Figura 1). Éstas tienen distinta composición, así como diversas causas de formación. Lo cierto es que su presencia es una problemática, tanto desde el punto de vista técnico como económico, ya que pueden ocluir el flujo normal del fluido al depositarse en cañerías, válvulas, equipos complementarios e inclusive, en los poros de las rocas adyacentes afectando también su permeabilidad.



**FIGURA 1**

Crecimiento radial de incrustaciones en tubing de producción de 2 7/8” en el pozo AB.x-1, con impregnación de hidrocarburos y una oclusión aproximada del 50%.

La mayor parte de las incrustaciones se forma por precipitación química de sustancias en solución que se encuentran disueltas en el agua de formación, alojada en los poros de la roca sedimentaria. La precipitación química se favorece con la incorporación de fluidos incompatibles que sobresaturan el agua o bien por descompresión (Crabtree et al., 1999). Esta última, se genera durante el ascenso de los fluidos

por las cañerías de una perforación, modifica el equilibrio fluido-iones disueltos y provoca la generación de fases termodinámicamente más estables como son los minerales (Ellis y Mahon, 1977). Por otra parte, la temperatura es otro factor influyente debido a que, en una perforación, el gradiente geotérmico normal o promedio genera un incremento de 25-30 °C por kilómetro perforado. En este sentido, los fluidos que ascienden hacia la superficie tienden a enfriarse rápidamente.

La determinación de la composición química y mineralogía de las incrustaciones es sumamente importante para determinar el tipo de tratamiento para su remoción o prevención. Los carbonatos, sulfatos y cloruros son los grupos más comúnmente identificados. Entre éstos, el  $\text{CaCO}_3$  corresponde a una de las variedades cuya remoción resulta relativamente más simple, ya que puede eliminarse en forma química mediante el uso de mezclas ácidas. En el diagrama de la Figura 2 se resumen las características de las técnicas y metodologías de remoción química propuestas por Crabtree et al. (1999). Sin embargo, muchas veces los hidrocarburos depositados sobre las incrustaciones de  $\text{CaCO}_3$  impiden el ataque ácido y se debe recurrir a metodologías más costosas. Los métodos a emplear, en el caso de los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), son variados y se denominan métodos de remoción física o mecánica (Figura 2), y dependen de la fase mineral formada. La variedad de sulfatos incluye aquellos con  $\text{Ca}^{+2}$  (yeso),  $\text{Ba}^{+2}$  (baritina) y/o  $\text{Sr}^{+2}$  (celestina). En general, se utilizan técnicas mecánicas para la remoción de sulfatos, sin embargo, el  $\text{BaSO}_4$  (baritina) constituye una variedad mineral cuya dureza la hace resistente tanto a metodologías químicas como físicas. En este caso, la prevención es uno de los métodos más eficaces y relativamente económicos. Consiste en predecir, de acuerdo con la composición de las unidades geológicas que se van a perforar y la del agua de formación, la posibilidad de que precipiten ciertos minerales que son resistentes a la remoción. De esta forma, y considerando el equilibrio químico fluido-sólidos minerales, se utiliza una solución dispersante o inhibidor químico que impide la precipitación (Crabtree et al., 1999).

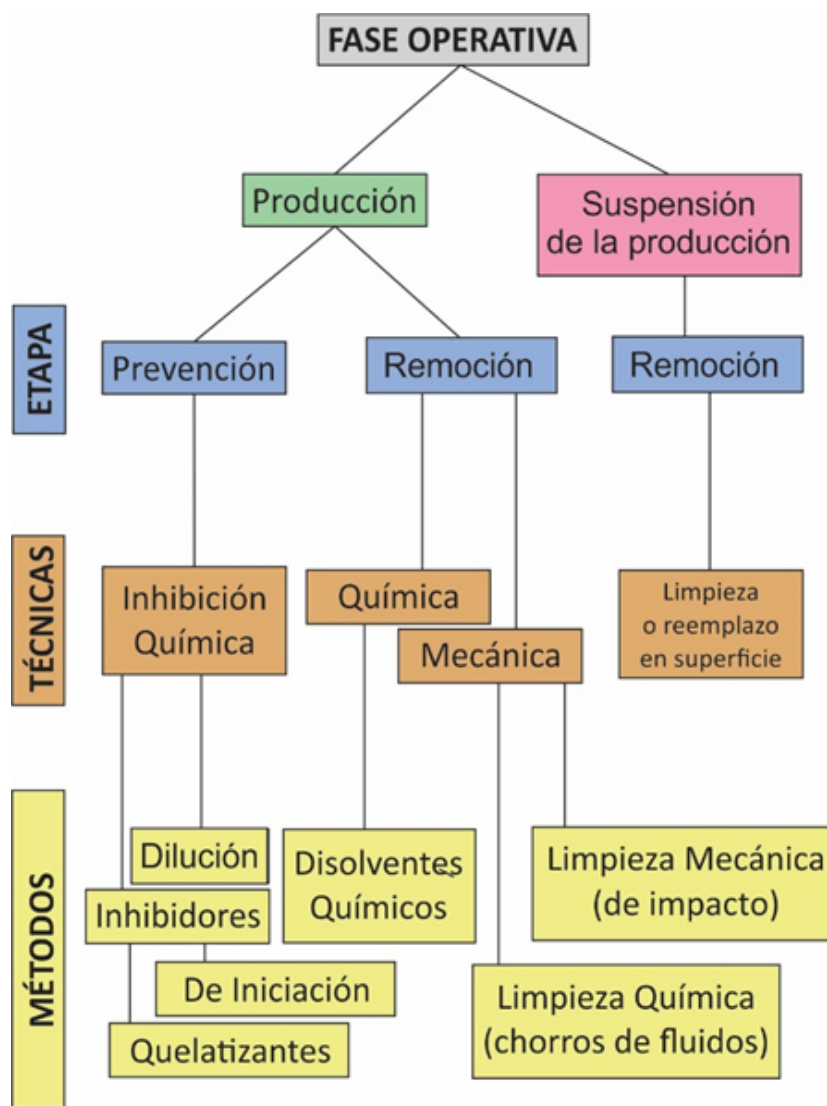


FIGURA 2

Síntesis sobre las principales técnicas, los métodos de remoción y prevención de incrustaciones y su relación con la fase operativa del pozo (modificado de Crabtree et al., 1999).

En la presente contribución se analizan los resultados del estudio bajo lupa binocular y análisis SEM-EDX de las incrustaciones minerales detectadas en el pozo productor de hidrocarburos AB.x-1 (Figura 1) del área Agua Botada, Cuenca Neuquina (Figura 3)(Barrionuevo et al., 2018; 2019). En este pozo, han estado en producción calizas de la Formación Huitrín e intrusivos presentes en los Grupos Mendoza y Lotena, además de otros niveles de este último grupo. Cabe destacar que, la caída en la producción se registró a sólo 14 días de la puesta en marcha del pozo.

La aplicación de esta metodología accesible, junto con el conocimiento de la geología local, permite la caracterización de acumulaciones minerales con el fin de predecir y prevenir su formación durante la producción, o de seleccionar la técnica más efectiva para su remoción.

## GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

El conocimiento de la geología del área es indispensable ya que, la naturaleza química de las formaciones geológicas que atraviesa la perforación de hidrocarburos y las aguas de formación asociadas, son factores a considerar para evitar la precipitación de incrustaciones minerales.

El pozo AB.x-1 se perforó sobre el flanco occidental de anticlinal de Malargüe, en el ámbito de la Faja Plegada y Corrida de Malargüe (Figura 3). El mismo se encuentra en el Dominio Norte del área Agua Botada (Barrionuevo et al., 2019) y, con una profundidad final de 2.190 metros, alcanzó a penetrar en los niveles volcanoclásticos del Pre-Cuyo de edad Triásico Superior a Jurásico Inferior.

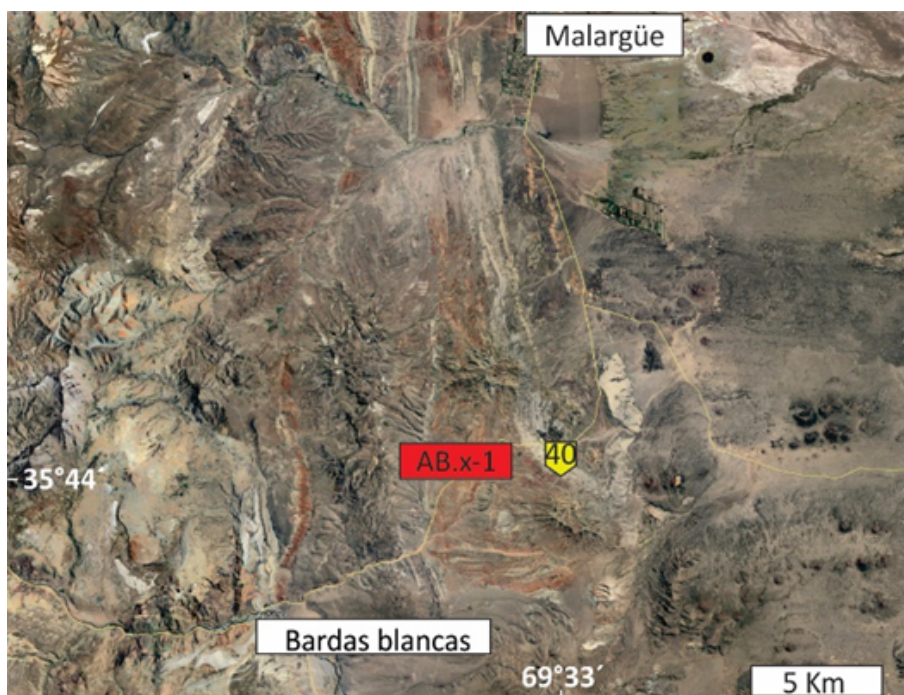


FIGURA 3

Imagen satelital donde se indica la ubicación del pozo AB.x-1 al sur de Malargüe, provincia de Mendoza, ámbito geológico de la Cuenca Neuquina (Argentina)

La secuencia perforada se compone de una gran variedad de tipos litológicos que corresponden a: depósitos clásticos continentales del Grupo Neuquén, evaporitas con abundante yeso y anhidrita ( $\text{CaSO}_4$  anhidro) de las Formaciones Huitrín y Auquilco, carbonatos de las Formaciones Huitrín, Chachao y La Manga, y pelitas y margas bituminosas, con potencial generador de hidrocarburos, de las Formaciones Vaca Muerta y Agrio (Figura 4). Completan esta columna estratigráfica, intrusivos ígneos de edad terciaria.

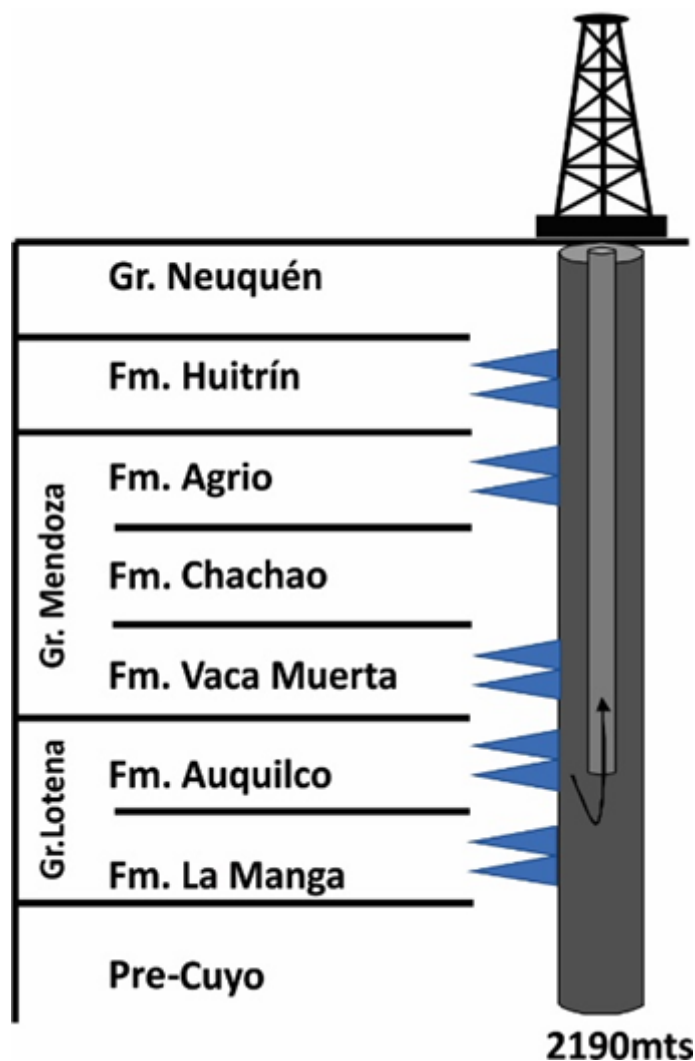


FIGURA 4

Esquema simplificado (no a escala) del pozo AB.x-1 con la ubicación de las principales unidades geológicas atravesadas. Gr: Grupo, Fm: Formación. En azul se indican los niveles productivos.

## METODOLOGÍA

Se seleccionaron fragmentos de incrustaciones alojadas en la cañería de producción o tubing, de 2 7/8" (Figura 1). Estos fragmentos fueron descritos bajo lupa binocular marca Olympus modelo SZH10 con una cámara Olympus de alta resolución acoplada, en el Laboratorio de microscopía del Instituto de Recursos Minerales (UNLP-CICBA). Dicha descripción incluyó la apreciación de la morfología, tamaño, color, brillo, transparencia y otras propiedades físicas de los individuos o asociaciones cristalinas identificadas.

Además, con la finalidad de obtener imágenes de mayor resolución y detalle, los cristales seleccionados fueron estudiados en un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), modelo FEI Quanta 200, con filamento de tungsteno acoplado, en el Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas (LIMF, Facultad de Ingeniería, UNLP). Por último, se realizaron determinaciones semi-cuantitativas de la composición química de los cristales, así como mapeos de la composición elemental de los mismos, por fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDX), Detector Apolo 40 (LIMF, Facultad de Ingeniería, UNLP).

## RESULTADOS

La observación bajo lupa binocular de los fragmentos de incrustaciones muestreadas permitió la identificación de cristales relativamente translúcidos, incoloros a castaños, posiblemente debido a la impregnación con hidrocarburos, con tamaños entre 1 y 6 mm y brillo vítreo (Figura 5a, b). Los hábitos predominantes de los cristales son el columnar y el tabular, aunque también se han identificado cristales aciculares y algunos formando maclas “en punta de flecha” como se observa en la Figura 6a y b.

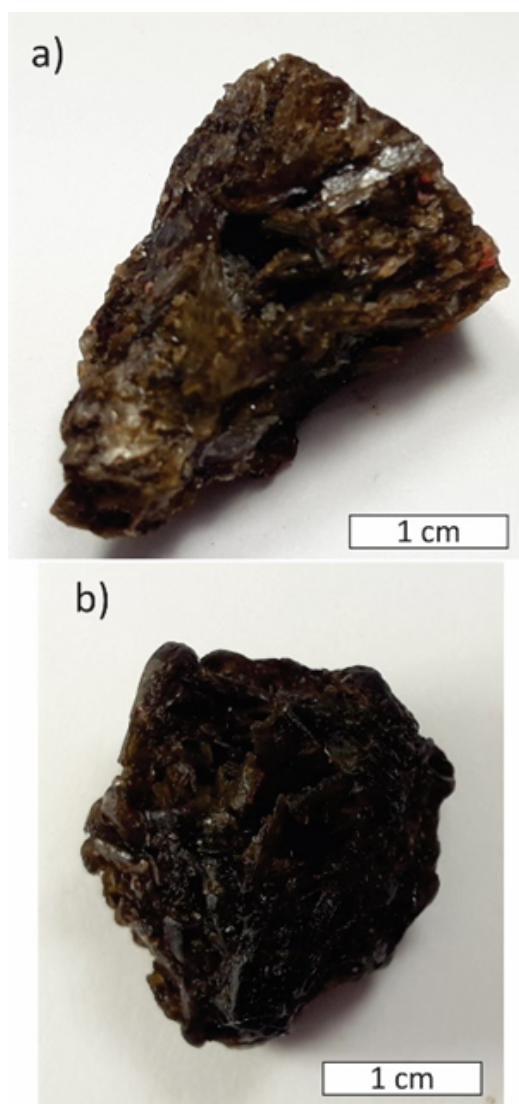


FIGURA 5: A Y B)

Fragmentos de incrustaciones con distinto grado de impregnación de hidrocarburos evidenciado por la variación en las tonalidades castañas.



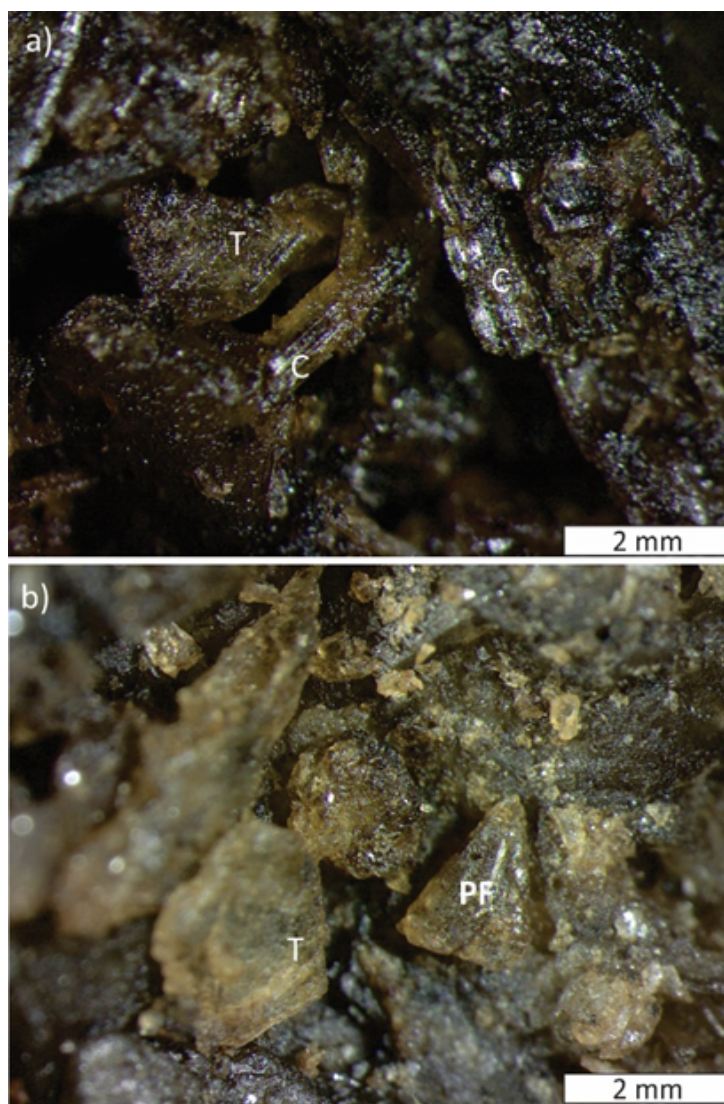


FIGURA 6: A Y B)

Aspecto de los cristales identificados en las incrustaciones (bajo lupa binocular)

En a) se observan cristales con morfología columnar (C) y tabular (T) y en b) maclas "en punta de flecha" (PF).

Mediante la observación de las muestras seleccionadas, en el microscopio electrónico de barrido, se pudieron aislar cristales de forma individual y obtener la composición química de: un cristal con hábito tabular y otro con hábito columnar (Figura 7a y b, respectivamente). También, en ambas fotografías se observa que los cristales tienen clivaje perfecto en una dirección.

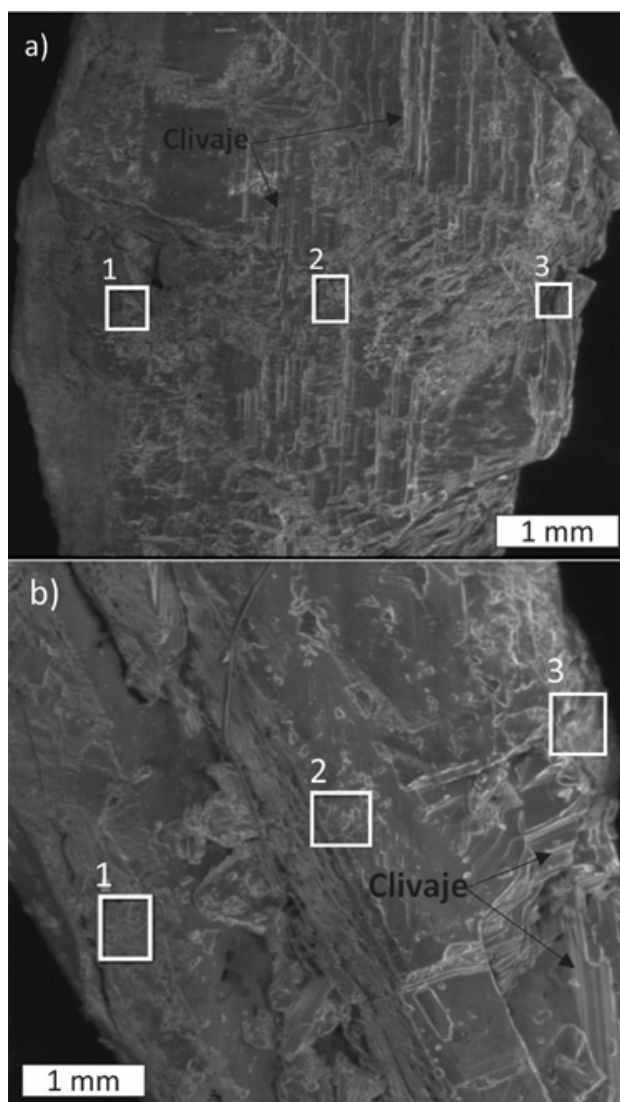


FIGURA 7: A) Y B)

Aspecto de los cristales de hábito tabular y columnar, respectivamente

En ambas fotografías se resaltan los planos de clivaje y los puntos de determinación de la composición química (recuadros blancos).

La determinación de la composición química semi-cuantitativa (EDX) de los cristales se realizó mediante el análisis puntual, en borde y centro de los mismos (Figura 7 a, b), y mediante el mapeo elemental. De esta manera, fue posible registrar variaciones en la composición química dentro de un mismo cristal.

En la Figura 8 se observan los picos más representativos de S, O y Ca, para el cristal de hábito tabular (a) y columnar (b). En la Tabla 1 se indican los porcentajes en peso de elementos para ambos cristales.

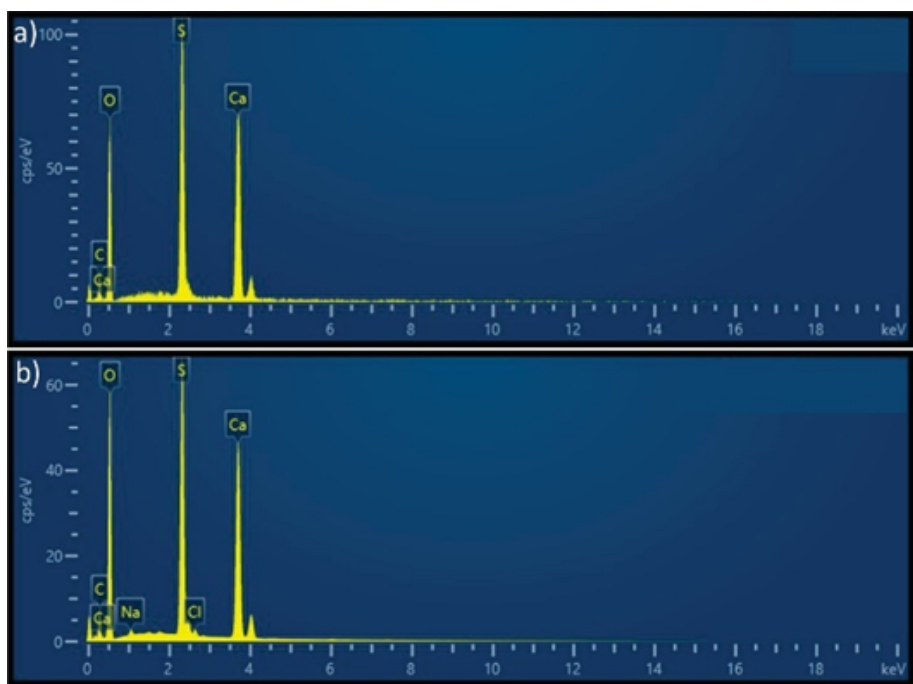


FIGURA 8  
Espectros composicionales promedio de los puntos 1, 2 y 3 de los cristales, a) tabular y b) columnar, obtenidos mediante análisis EDX.

Elemento	Cristal tabular	Cristal columnar
C	14,66	13,47
O	53,80	53,93
S	14,55	12,94
Ca	16,99	14,78
Cl	0	0,43
Na	0	0,44
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

TABLA 1  
Composición química promedio de los cristales con hábito tabular y columnar. Valores dados en % en peso de elementos.

Se destacan en ambos cristales un pico asociado al C y, además, en el cristal columnar picos menores de Na y Cl. Estos últimos, con bajos y similares porcentajes en peso (Tabla 1).

Por otro lado, en las imágenes de mapeo elemental se puede constatar que los contenidos de S, O y Ca son representativos de la composición de prácticamente todo el cristal (Figuras 9 y 10) y que, si bien el C se encuentra en bajo porcentaje, también se distribuye en forma homogénea. Lo contrario ocurre con el Na y Cl, que se encuentra en forma minoritaria y en sectores puntuales muy acotados (Figura 10).

## DISCUSIÓN

Las incrustaciones minerales en cañerías de pozos petroleros son una problemática común que tiene un costo económico elevado ya que, en ciertos casos, pueden desencadenar la interrupción de la producción de hidrocarburos o incluso la suspensión de forma definitiva. En este sentido, la mención de diferentes casos de estudio es sumamente importante como antecedentes que deben tenerse en cuenta al momento de diagramar una perforación en un determinado contexto geológico.

En el caso del estudio presentado, pozo AB.x-1 del área Agua Botada, se reconocieron incrustaciones constituidas por cristales que fueron estudiados mediante una metodología simple y de bajo costo.

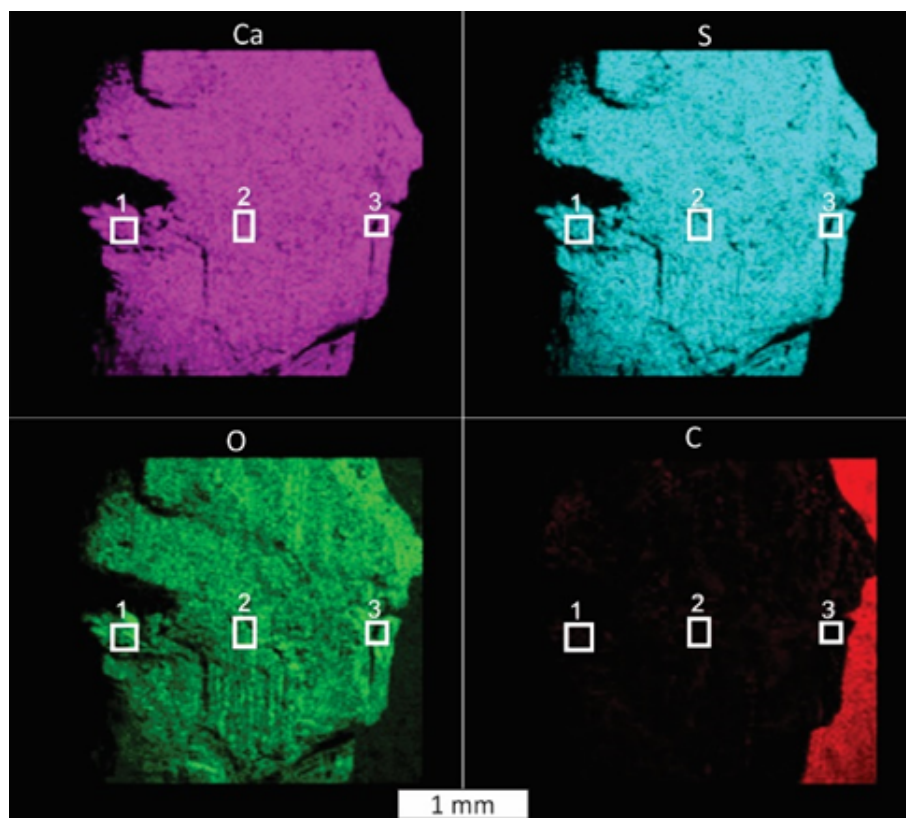


FIGURA 9  
Mapeo de elementos en cristal de hábito tabular.

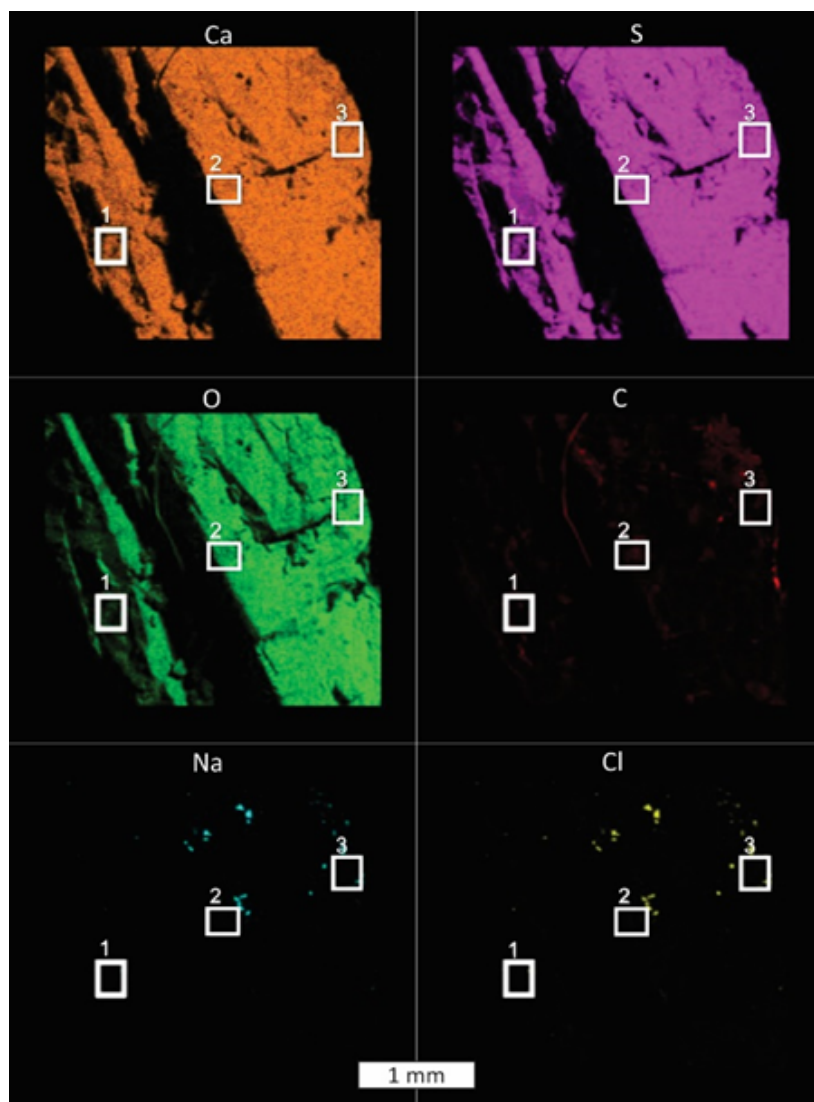


FIGURA 10

Mapeo de elementos en cristal de hábito columnar.

La observación bajo lupa binocular permitió el reconocimiento de diversas propiedades físicas correspondientes al yeso ( $\text{CaSO}_4$ ), principalmente el desarrollo de maclas “en punta de flecha” (Chang et al., 1996). Estos estudios quedan respaldados por los análisis químicos que indicaron altos porcentajes de S, O y Ca. Mientras que otros elementos como el C son atribuidos a la presencia de impregnaciones de hidrocarburos. Por otro lado, los bajos porcentajes de Na y Cl indican pequeños núcleos de precipitación de halita ( $\text{NaCl}$ ).

La formación de yeso podría ser atribuida a la existencia de importantes unidades evaporíticas que atraviesa la perforación (Barrionuevo et al., 2019). En este sentido, los iones disueltos y en equilibrio en las aguas de formación al ser removidos, mezclados con otros fluidos co-productos y luego sometidos a un brusco descenso de temperatura y presión (por haber circulado por las cañerías) perdieron el equilibrio químico. Así, se pudo haber producido una disminución en la solubilidad de las sales (Crabtree et al., 1999) que provocó la precipitación de los cristales de yeso en las cañerías y sectores asociados en los que ciertas imperfecciones o superficies ásperas, favorecieron el entrapamiento de pequeños núcleos cristalinos. Estos núcleos pudieron haber crecido rápidamente por incorporación de iones, hecho que aceleró el proceso de formación de

incrustaciones. En el caso de estudio este proceso se desencadenó en el lapso de 14 días, pero en situaciones extremas, puede darse en tan sólo 24 horas y provocar la anulación total de la producción.

Finalmente, teniendo en cuenta que las incrustaciones identificadas en el pozo AB.x-1 están constituidas principalmente por yeso, las mismas debieron ser extraídas en forma mecánica, por lo que el pozo quedó fuera de producción durante el procedimiento.

Para evitar la formación de nuevas incrustaciones en las cañerías, se utilizó un capilar dosificador con un aditivo de base fosfonato que mantiene los sulfatos en solución. Este aditivo, consiste en una mezcla de polímeros de uso comercial, diseñado para inhibir la formación de incrustaciones de sulfatos de calcio. Complementariamente, se realizó un monitoreo químico cualitativo y cuantitativo de los iones disueltos en el agua de producción asociada al petróleo, principalmente de los correspondientes a  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{SO}_4^{=}$  para regular la dosificación del aditivo.

## CONCLUSIONES

Sobre la base de los estudios realizados se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Los estudios aquí propuestos constituyen una secuencia metodológica accesible y efectiva para el reconocimiento de incrustaciones minerales.
- Los resultados obtenidos deben ser considerados al momento de diagramar perforaciones en un contexto geológico similar al de la perforación AB.x-1 del área Agua Botada, Cuenca Neuquina, con el fin de evitar la formación de incrustaciones de yeso.
- La prevención, mediante el uso de aditivos e inhibidores, es el método más económico y eficiente para el tratamiento de incrustaciones de yeso.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por la financiación, a ROCH S.A. por el aporte de información y material de estudio, al LEMaC e INREMI, por las instalaciones y el tiempo disponibles para la realización de este trabajo, y a la Dra. María Elena Canafoglia, por la asistencia durante los estudios SEM-EDX.

## REFERENCIAS

- Barrionuevo, M., de la Cal, H.G., Mescua, J., Giambiagi, L., Suriano, J. & Soto, J.L. (2018). Análisis estructural del área Agua Botada (Faja plegada y corrida Malargüe) y su relación con potenciales reservorios ígneos. *10° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, Mendoza. Sesiones Generales, 461-482.
- Barrionuevo, M., Giambiagi, L., Mescua, J., Suriano, H., de la Cal, H., Soto, J.L. & Lossada, A.C. (2019). Miocene deformation in the orogenic front of the Malargüe fold-and-thrust belt (35°30'–36° S): Controls on the migration of magmatic and hydrocarbon fluids. *Tectonophysics*, 766, 480-499.
- Chang, L.L.Y., Howie, R.A. & Zussman, J. (1996). *Rock-forming minerals*, (2nd edition), 40-73.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Millar, M., Jonson, A. & King, G. (1999). La lucha contra las incrustaciones. Remoción y prevención. *Oilfield Review*, 3, 30-49.
- Ellis, A. J. & Mahon, W. A. J. (1977). *Chemistry and Geothermal Systems*. New York. United States of America: Academic Press.