



# Armado artificial de muestras de Formación Vaca Muerta para el ensayo de recuperación de petróleo por imbibición de surfactantes

Por *Esteban González, Jessica Jara, Ricardo Prado, Jorge Montané, Sergio Abrigo, Laura Fernández, Malvina Frigerio y Florencia Toschi* (Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Neuquén).

En este trabajo se presenta una metodología para la reconstrucción, a partir de cuttings, de muestras de la formación Vaca Muerta a ser utilizadas para ensayos de laboratorio de recuperación de petróleo por imbibición de surfactantes.

En la literatura técnica existe una extensa descripción de trabajos de investigación de laboratorio realizados sobre material de corona de reservorios no convencionales de tipo Shale. Las muestras utilizadas son plugs, trozos de corona, “crushed samples” o sandpacks preparados a partir del disgregado de las mismas.

Estas muestras son utilizadas en las caracterizaciones petrofísicas o ensayos especiales como imbibición espontánea o barridos con químicos o gases (CO<sub>2</sub>) [7].

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de una metodología apropiada que pueda contribuir a sumar la utilización en laboratorio de muestras de *cutting* de este tipo de litologías, ya que se trata del material más abundante del que se dispone, y considerando que, en algunos casos, se carece de material de corona o es muy escaso o difícil el acceso a ellas.



Figura 1. *Cutting* de la Fm Vaca Muerta, para el armado de los “cuttingpacks”.

Durante nuestras investigaciones realizadas en yacimientos convencionales enmarcadas en el Proyecto de investigación “Estrategias para controlar y mejorar la recuperación de petróleo con la inyección de productos químicos” hemos utilizado muestras de tipo sandpack con buenos resultados [1].

Esto nos llevó a considerar que una metodología similar podría ser utilizada en reservorios no convencionales de tipo Shale.

En el año 2022 fuimos seleccionados para trabajar en un proyecto PICTO (Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica Orientados), convocatoria realizada por la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Agencia I+D+i) y Fundación YPF. Este proyecto tiene como objetivo estudiar Metodologías para mejorar la producción en Yacimientos de Shale oil de la Fm Vaca Muerta, enfocando los ensayos en la utilización de surfactantes.

Como parte de este trabajo se incluyó el desarrollo de una metodología para la reconstrucción de muestras de tipo “sandpack” a partir de *cutting* de la Fm Vaca Muerta. Las mismas fueron denominadas “cuttingpacks”.

El objetivo principal fue la incorporación de material de *cutting* como muestra confiable a ser utilizada en los ensayos de laboratorio del proyecto.

Como resultado del trabajo se obtuvieron muestras compactas, de forma y tamaño similar a los testigos rotados (plugs) extraídos de coronas, que pudieron ser utilizados en ensayos a diversas presiones y temperaturas en celdas triaxiales y copas Amott, sin evidenciar deformaciones, pérdidas de flujo y/o desarmado de las muestras.

## Materiales y Procedimientos

### Materiales

Para reconstituir las muestras en forma de “cuttingpacks” se trabajó con *cutting* (figuras 1 y 2) de un pozo en perforación, de los niveles productivos de petróleo de

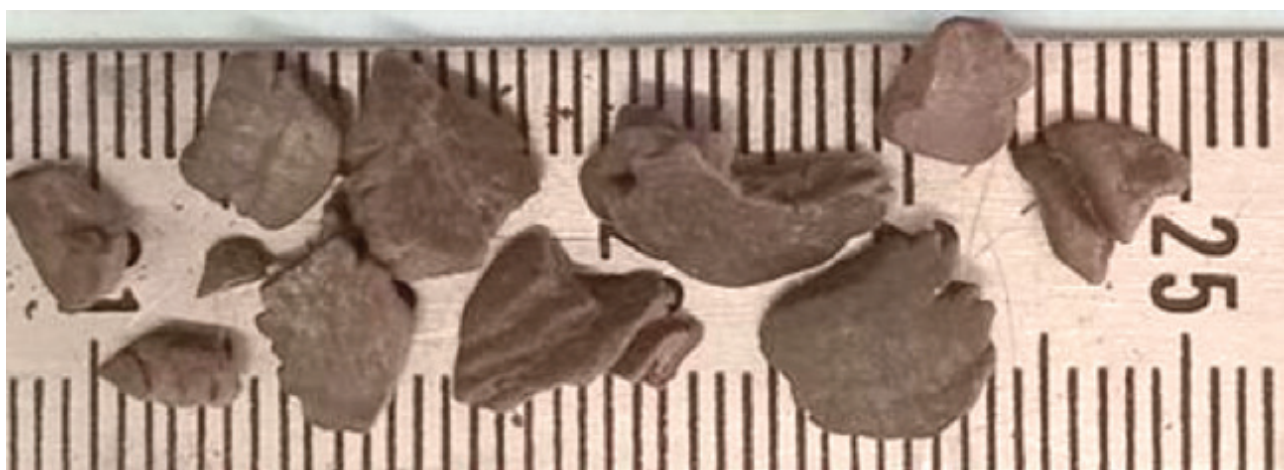


Figura 2. *Cutting* de la Fm Vaca Muerta lavado, para el armado de los “cuttingpacks”.

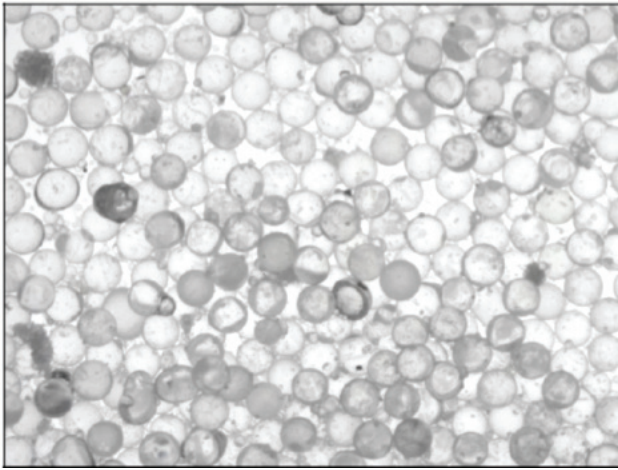


Figura 3. Imagen obtenida con lupa de las esferitas de vidrio empleadas para los "cuttingpacks".

la Fm Vaca Muerta, extraído de las piletas de retorno. Se realizaron ensayos de Difracción de Rayos X para determinar su composición mineralógica. Se identificaron y semicuantificaron los minerales mayoritarios, y se realizó un análisis de polvo total y de fracción menor de 2 micrones. Se determinó la presencia principalmente de minerales arcillosos (44%) y calcita (24%). En menor proporción se identificaron cuarzo (12%), feldespato de tipo plagioclasa (12%) y piritita (6%). En escasa proporción se observa feldespato potásico (2%). En la fracción arcilla se identificó como principal mineral arcilloso Illita (70%), en menor proporción Caolinita + Clorita (27%) y escaso Interstratificado Illita/Esmectita (I/S) (3%)

Debido a que el *cutting* contenía lodo de perforación, de tipo emulsión inversa, se procedió a realizar un lavado empleando gasoil. Se realizaron 3 lavados consecutivos sobre tamiz malla 20 utilizando un pincel suave para no dañar el material.

Se preservó el *cutting* lavado en envases de vidrio cerrados.

El *cutting* está constituido por pequeñas láminas entre 2 y 9 mm (0,002 y 0,009 m) de longitud y menos de 2 mm (0,002 m) de espesor, el mismo puede apreciarse en la figura 2. Para el armado de algunas de las muestras



Figura 4. *Cuttingpack* armado con la celda triaxial.

se utilizaron además esferas de vidrio tamaño de malla 100/30 (figura 3).

Se incluyeron estas esferas en el armado, para evitar la deformación del *cuttingpack* en la posterior compactación a presión.

Se armaron tres tipos de muestras utilizando estos materiales, unas con mezcla de *cutting* y esferas, otras con 100% de *cutting* y una muestra utilizada como blanco de 100% de esferas de vidrio.

La proporción utilizada para las muestras de "cutting + esferas" fue determinada posteriormente a la medición de espacios vacíos "entre las partículas de *cutting*" resultando 60% *cutting* y 40% de esferas en peso.

### Procedimientos del armado de los "Cuttingpacks"

Para el armado de los *cuttingpacks* se ensayaron dos procedimientos. Las muestras obtenidas, fueron utilizadas posteriormente en los mismos ensayos de imbibición espontánea y forzada. De esta manera se compararon la eficacia y validez de cada metodología.

Para el primer procedimiento de armado se utilizaron *cutting* y esferas de vidrio. Las muestras fueron obtenidas compactándolas a presión en celdas triaxiales.

Para el segundo procedimiento sólo se utilizó *cutting*, la compactación se realizó con una prensa hidráulica a una presión axial tres veces mayor que la de la celda triaxial, esta presión fue necesaria para que al extraer las muestras de la celda donde se prensaba las mismas no se desarmaran.

### Armado de "Cuttingpack" por compactación en celda triaxial

Para cada muestra se obtuvo el peso del *cutting* y de las esferas de vidrio empleadas teniendo en cuenta el tamaño de las partículas que lo conformaban y los espacios vacíos entre ellas.

Las muestras se armaron mezclando *cuttings* y esferitas de vidrio en un recipiente de vidrio en proporción



Figura 5. *Cuttingpack* armados con 100% de *cutting* en celda triaxial



Figura 6. Celda empleada para la saturación con petróleo de los *cuttingpacks*.

60/40 en peso, luego la mezcla fue volcada en una camisa de goma de empaquetamiento de diámetro 38 mm (0,038 m), forrada en su interior con papel de aluminio y colocando cabezales de malla de acero en las caras de en-



Figura 8. Prensa empleada para compactar los "cuttingpacks".

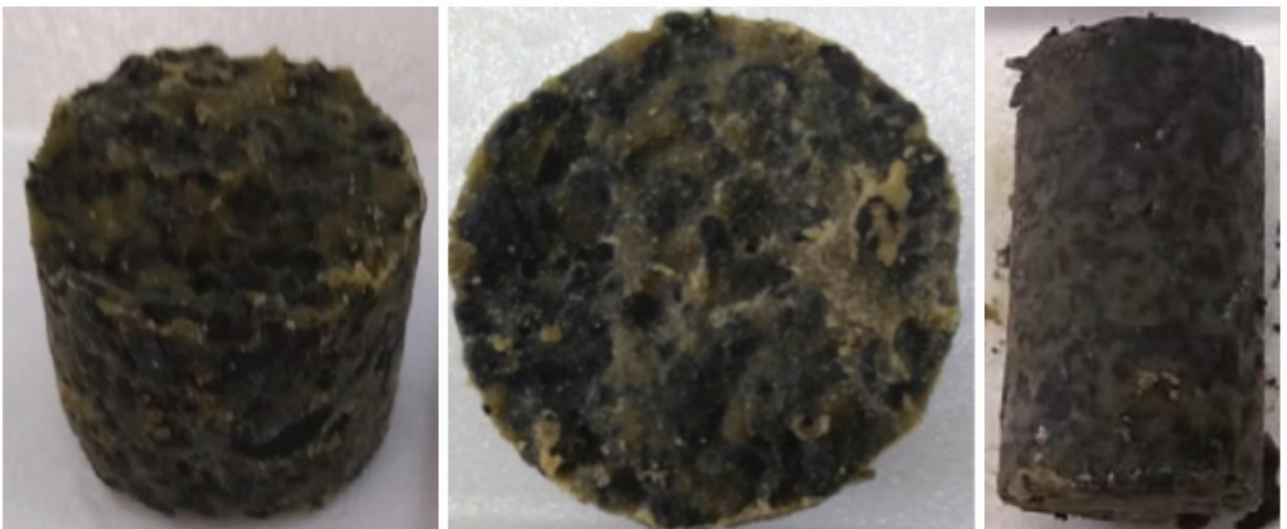


Figura 7. *Cuttingpacks* de cuttings y esferitas de vidrio, armados con celda triaxial.



Figura 9. Cuttingpack de cutting armado con prensa.

trada y salida, para evitar el movimiento de las esferas de vidrio en el barrido inicial con salmuera. El material se compactó con presión triaxial de 6000 psi (41,37 MPa), posteriormente se extrajeron los cilindros envueltos en el papel de aluminio (figuras 4 y 5). Se armaron también dos blancos, uno con 100% cuttings y otro con 100% esferas de vidrio.

Todas las muestras se saturaron con petróleo proveniente de la Fm Vaca Muerta y permanecieron a temperatura 95 °C y presión de 2500 psi (13,79 MPa) durante 60 días, en celda de acero (figura 6).

La muestra blanco de cutting sufrió una deformación producto de los espacios “vacíos” existentes entre las partículas de cutting (figura 5), mientras que las muestras de “cutting+vidrio” conservaron la forma cilíndrica (figuras 4, 7). En todas se logró una buena compactación y quedaron aptas para poder ser ensayadas con los surfactantes seleccionados.

#### Armado de “Cuttingpack” por compactación con prensa

Estas muestras se armaron sólo con material de cutting utilizando una celda de contención de diámetro 38 mm, (0,038 m). El material se compactó en una prensa con una presión axial de 14000 psi (96,53 MPa) (figura

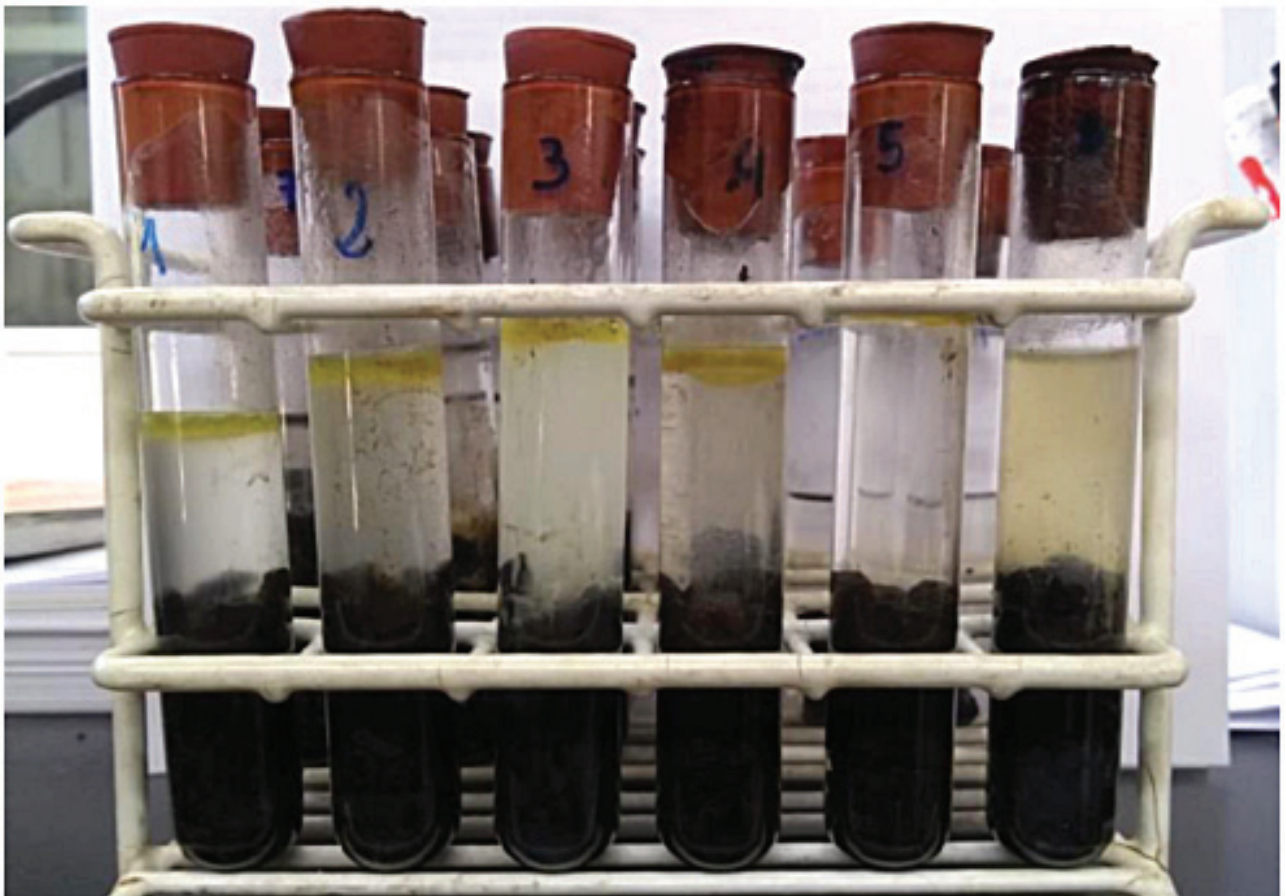


Figura 10. Tubos de ensayo donde se contactó el cutting de la Fm Vaca Muerta con distintos surfactantes.

8), esta presión fue necesaria para que las muestras no se desarmaran al extraerlas de la celda de contención, para ser ensayadas.

Las muestras quedaron compactadas, no sufrieron deformación y quedaron aptas para ser ensayadas (figura 9).

### Ensayos sobre cutting y cuttingpacks

Antes de realizar los ensayos sobre los cuttingpacks se contactó el cutting lavado con gasoil con distintos surfactantes y a temperatura, para seleccionar los surfactantes candidatos a ser empleados en las muestras armadas (figura 10).

Las muestras armadas con cutting (tanto las armadas con esferas de vidrio, las prensadas y el blanco con 100 % de cutting) se ensayaron en copas Amott a presión atmosférica y 65 °C (figura 11), con salmuera sintética y con soluciones salinas con distintos surfactantes y concentraciones de los mismos. También se ensayaron dos muestras de cutting con esferas de vidrio en celdas triaxiales a presión de confinamiento de 3000 psi y 65 °C. Los resultados de estos ensayos se compararon con ensayos en copa Amott con trozos de corona preservada sin resaturar y con plugs de corona sin resaturar (figura 12). Así mismo, se hicieron ensayos en muestras de corona (*Plugs*) resaturados con petróleo de la FM Vaca Muerta.

En los trozos de corona y plugs sin resaturar no se produjo petróleo por imbibición espontánea en copa Amott.



Figura 11. Ensayo de imbibición en copas Amott de los cuttingpacks, contactándolos con surfactantes y salmuera.

En los ensayos con cuttingpack y plugs resaturados se obtuvo petróleo por imbibición espontánea en copa Amott y los resultados obtenidos son similares. Con algunos de los surfactantes y en determinadas concentraciones, los ensayos fueron prometedores, por lo que se están repitiendo los ensayos en celdas diseñadas especialmente para repetir los ensayos de imbibición a mayores presiones y temperaturas. (figura 13).

### Conclusiones

Se presentaron dos metodologías de armado de muestras de *cutting*, una empleando cutting y esferitas de vidrio utilizando una celda triaxial para someter a las mismas a una presión de 6000 psi, y otra sólo con cutting empleando una prensa alcanzando una presión de 14000 psi.

Ambos tipos de muestras realizadas quedaron compactadas y manteniendo una forma cilíndrica, apropiadas para la realización de ensayos con fluidos y comparables a muestras consolidadas de corona.



Figura 13. Ensayo de imbibición en plugs de corona preservada y resaturados, contactándolos con surfactantes y salmuera a presión y temperatura

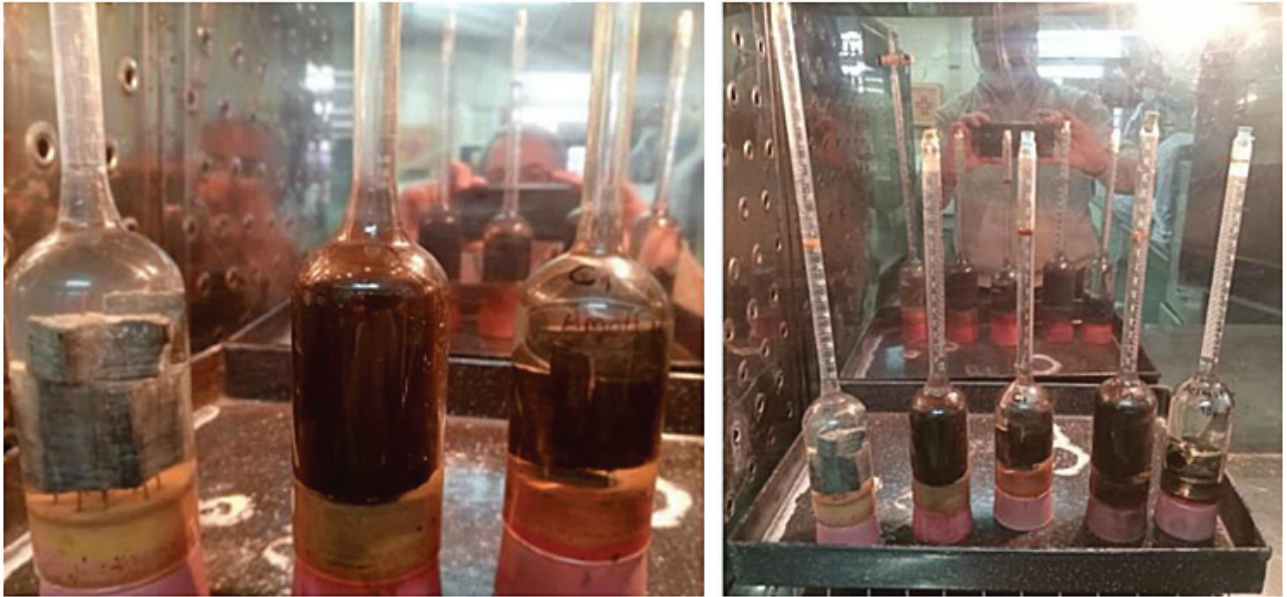


Figura 12. Ensayo de imbibición en copas Amott de trozos de corona preservados sin resaturar contactándolos con surfactantes y salmuera.

Se realizaron ensayos de imbibición espontánea en copa Amott sobre los cuttingpacks resaturados y plugs extraídos de coronas de la Fm Vaca Muerta resaturados y sin resaturar. Los ensayos fueron comparados y se observó resultados semejantes en los cuttingpacks resaturados y los plugs resaturados.

Analizando los resultados obtenidos, se puede concluir que las muestras de cutting denominadas "cuttingpack" son apropiadas para ser empleadas como primera instancia de análisis en reservorio tipo shale antes de realizar el mismo análisis con un testigo corona, ya que los resultados obtenidos son similares a una muestra real. Esto permite discriminar y seleccionar los fluidos a emplear en función a los resultados obtenidos sobre los cuttingpack, seleccionando los más apropiados y limitando de esta manera los ensayos sobre muestras reales de la formación.

## Referencias

Abrigo S., Jara, J., Pinuer, E., García, R., Fernández, L., González, E., 2022 "Caracterización de tamaños y ensayos de petrofísica básica en sandpacks de arenas naturales" Resumen presentado en el Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas CLICAP.

Alvarez, J. O., Schechter, D. S., 2016 "Application of wettability alteration in the exploitation of unconventional liquid resources." Paper presented at the Petroleum Exploration and Development, 2016

Alvarez, J. O., Schechter, D. S., 2016 "Altering wettability in Bakken shale by surfactant additives and potential of improving oil recovery during injection of completion fluids." Paper presented at the

SPE Improved Oil Recovery Conference, 2016

Alvarez, Johannes O., Wayan Rakananda Saputra, I., Schechter, D. S., 2017 "Potential of improving oil recovery with surfactant additives to completion fluids for the Bakken." *Energy & Fuels* 31.6 (2017): 5982-5994.

Crotti, M., Labayén, I., 2014 "Inyección de Agua en Reservorios shale oil. El Impacto de los Fenómenos Capilares sobre la Producción." Trabajo presentado en el X CONEXPLO, IAPG, Mendoza diciembre 2014

Crotti M., Labayén I., Tuero F., 2015 "Recuperación mejorada en escenarios de shale oil", *Petrotecnia*, octubre 2015, 46-58

Wang, D., Butler, R., Liu, H., Ahmed, S., 2011. Flow-rate behavior and imbibition in shale. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, 14(04), 505-512.

Wang, D., Dawson, M., Butler, R., Li, H., Zhang, J., Olatunji, K. 2016. Optimizing Water Chemistry to Improve Oil Recovery from the Middle Bakken Formation. Paper presented at the SPE Improved Oil Recovery Conference? (pp. SPE-179541). SPE.

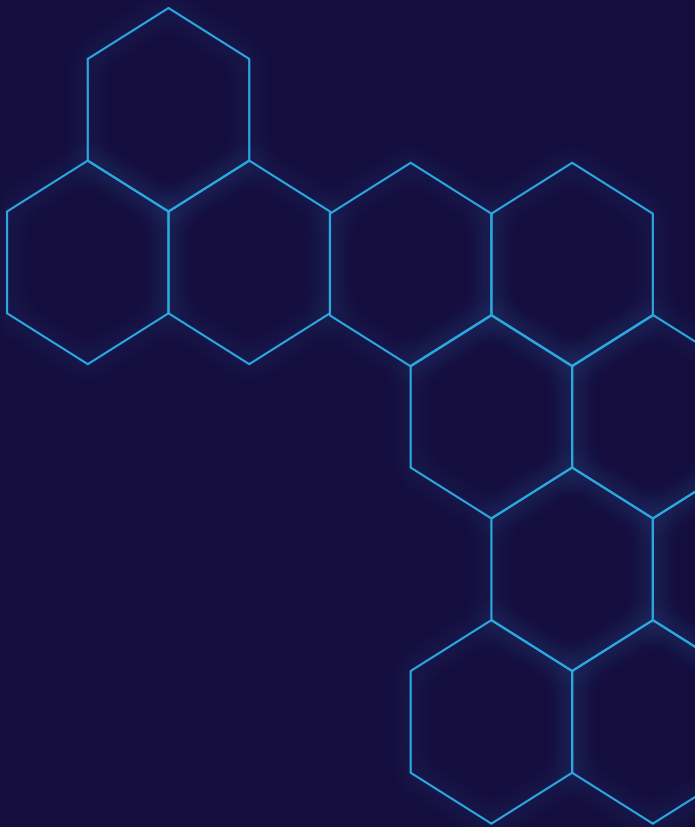
Wang, L., Tian, Y., Yu, X., Wang, C., Yao, B., Wang, S., Winterfeld, P., Wang, X., Yang, Z., Wang, Y., Cui, J & Wu, Y. S., 2017. Advances in improved/enhanced oil recovery technologies for tight and shale reservoirs. *Fuel*, 210, 425-445.

Zeng, Tongzhou, Chammi S Miller, Kishore Mohanty., 2018 Application of surfactants in shale chemical EOR at high temperatures. Paper presented at SPE Improved Oil Recovery Conference, 2018.



INSTITUTO ARGENTINO  
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

En el Marco de



# J(R)ED<sup>3</sup>

JORNADAS REVOLUCIÓN DIGITAL  
PARA PETRÓLEO Y GAS

23-24 OCT  
2024, NEUQUÉN



INSTITUTO ARGENTINO  
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Maipú 639 (C1006ACG) - Buenos Aires, Argentina  
Tel: (54 11) 5277 IAPG (4274) - [www.iapg.org.ar](http://www.iapg.org.ar)

