

FBAS: TRAZADORES PARA CONTROL DE AGUA UTILIZADA MASIVAMENTE EN LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA

Carlos Procak, Victoria de la Fuente y Carlos Somaruga
Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. Argentina. csomarug@gmail.com

SINOPSIS

Frente a una perspectiva nacional de demanda creciente de energía, se requiere mayor producción de hidrocarburos desde los yacimientos maduros y un efectivo desarrollo de los no convencionales.

Ambos casos son demandantes masivos de agua, por lo que el recurso deba utilizarse con la mayor eficiencia posible.

En caso de que no sea así;

- En el primer caso, se incrementarían los volúmenes de agua producida generando inconvenientes en el manejo y tratamiento de la misma, lo que se traduce en mayores costos de producción.
- En el segundo caso, el agua inyectada (con sus aditivos) podría alcanzar zonas del subsuelo mas allá de los reservorios objetivo.

De esta manera, este trabajo presenta los avances realizados sobre el control del agua producida en recuperación secundaria y de flowback en fracturación hidráulica, empleando la familia de trazadores: Ácidos Benzoicos Fluorados (FBAs).

El análisis se focaliza en la evaluación de las concentraciones medidas y las recuperaciones acumuladas de las distintas especies trazadoras inyectadas, en los casos:

- Un yacimiento bajo recuperación secundaria: se marcó el agua de inyección con el trazador 3,5-DiFBA, para evaluarse el grado de recirculación de agua.
- Pozo no convencional: se utilizaron distintos trazadores FBAs para marcar cada etapa de fractura, a fin de analizar la secuencia de devolución de cada etapa, sus aportes relativos y el posible ingreso de agua exógena al reservorio.

En conclusión, a partir de la discusión de los registros obtenidos, se destaca el potencial de los FBAs como especies trazadoras y se pone en evidencia el aporte que este tipo de ensayos ofrece a fin de hacer más eficiente y seguro el uso de agua en ambos yacimientos y además, para ampliar el know-how de las explotaciones no convencionales

INTRODUCCIÓN

El agua afecta todas las etapas de la vida de un yacimiento petrolero, desde la exploración (el contacto agua-petróleo es un factor fundamental para determinar el petróleo in situ), hasta el abandono del campo, pasando por el desarrollo y la producción del mismo.

Dentro de estas dos últimas etapas, es la recuperación secundaria la que más relacionada con el agua se encuentra. En ella, tarde o temprano y aunque se dispongan de las mejores técnicas de manejo de campo, la producción de dicho fluido aumenta, y para su manejo se requiere que grandes inversiones en infraestructura, energía y químicos. Esto conduce a que se cierren alternativamente pozos productores o bien, en última instancia, el abandono del yacimiento por los altos costos productivos.

Por ello es importante un monitoreo del agua de inyección, que permitirá reconocer la existencia de volúmenes recirculados sin que hayan cumplido la función para la que fueron inyectados y la inyección en zonas no objetivo. A partir de los resultados se diseñan tratamientos correctivos, que aumentarán la eficiencia de la inyección, reduciendo la producción de agua y también la necesidad de acceso a fuentes potencialmente útiles para la sociedad. Además, cualquier mejora disminuirá la probabilidad de afectación a acuíferos potencialmente útiles para la sociedad.

En los últimos años se ha comenzado a desarrollar con mayor ímpetu la producción de hidrocarburos de yacimientos no convencionales (shale y tight). La misma requiere de la utilización de tecnologías de fracturación hidráulica en múltiples etapas, a fin de otorgar a la roca la permeabilidad que naturalmente no posee. También aquí las técnicas de monitoreo son importantes: la posibilidad de contar con ellas significa un paso adelante para maximizar resultados, eficientizar recursos y reducir riesgos (IEA, 2012).

En ambas formas de producción, los trazadores se constituyen como una herramienta de diagnóstico fácilmente aplicable, confiable y económica.

GENERALIDADES SOBRE TRAZADORES

Los trazadores son sustancias químicas inertes o compuestos radioactivos que son utilizados a fin de controlar la evolución de un fluido dentro de un sistema (Zemel, 1994).

Si bien las aplicaciones de las técnicas con trazadores evolucionan continuamente, en sus inicios fueron utilizados para conocer la conexión entre cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Hoy en día, en nuestro país, una de las principales aplicaciones de este tipo de ensayos se remite a la industria hidrocarburífera. La misma tuvo la capacidad de implementar compuestos ya probados y utilizados comúnmente en hidrografía, en ensayos en reservorios bajo *Waterflooding* (Zemel, 1994; Serres-piole et. al, 2012). En estos, se marca el agua de inyección, y se controla su evolución en el reservorio a partir de la toma de muestra en los pozos productores aledaños a fin de cuantificar el trazador recuperado en función del tiempo; persiguiendo los siguientes objetivos:

- Detectar canales de alta permeabilidad, barreras y fracturas.
- Detectar comunicación entre capas.
- Evaluar la fracción de agua de inyección que alcanza cada pozo productor.
- Determinar la distribución de tiempos de residencia.
- Indicar diferentes estratificaciones en la misma capa.
- Determinar direcciones preferenciales de flujo en el reservorio.
- Estimar la saturación residual de petróleo.
- Obtener información sobre localización y orientación de fracturas hidráulicas (de la Fuente et. al, 2004; Gimenez et. al, 2005; Diaz et. al, 2010; Gavilán et. al, 2011).

En el 2009, se llevaron a cabo las primeras experiencias en fracturación hidráulica múltiple, las que al día de la fecha acumulan más de 30 ensayos. Consisten en la inoculación de un trazador en el fluido de fractura de cada etapa y su posterior muestreo una vez que se comienzan a rotar los tapones. A partir de las respuestas de las distintas especies, se analiza la secuencia de devolución de cada etapa y sus aportes relativos a la producción total (de la Fuente & Somaruga, 2009).

El grupo de medios porosos (GMP) de la Universidad Nacional del Comahue, ha realizado más del 90% de los ensayos con trazadores en la industria petrolera (en las metodologías mencionadas). Para ello, se han investigado numerosas especies químicas potencialmente útiles como trazadores, debido a que no cualquiera de ellas puede utilizarse con ese fin. Para esto, deben satisfacer condiciones generales, tales como:

- Debe ser de fácil obtención, de bajo costo y de manipuleo seguro.
- No debe impactar en el medio ambiente.
- Debe detectarse y medirse fácilmente.
- Debe tener alta eficiencia de marcado, o equivalentemente, bajos límites de detección.
- No debe introducir modificaciones al medio que lo transporta, ni interaccionar química o electrostáticamente con el medio que atraviesa.
- Su comportamiento debe ser predecible. Esto se aplica para el caso de trazadores con decaimiento radioactivo, descomposición o degradación, o que se consuman en una dada reacción química con el transcurso del tiempo.
- Debe seguir fielmente al medio estudiado.
- No debe existir previamente en la formación, o de existir debe conocerse la historia de su concentración.

En base a estas características se pueden describir, en principio dos categorías:

1. *Pasivos o conservativos* (también llamados ideales): son aquellos que fluyen sin experimentar procesos químicos o físicos diferentes de los que experimenta la fase o fracción en la que han sido inyectados.
2. *Activos* (también llamados no ideales): son aquellos que experimentan un proceso químico, físico, biológico, etc., en una manera activa y predecible, siendo por ello apropiados para evaluar alguna propiedad del sistema en el cual es inyectado. El grado de participación activa del trazador es una medida cuantitativa de la propiedad que se quiere determinar. Estos trazadores pueden ser:
 - *particionables*, potenciales para medir la saturación residual de petróleo,
 - *adsorbibles en la roca*, reversible o irreversiblemente, potenciales para medir capacidad de intercambio iónico de la formación rocosa,
 - *hidrolizables*, potenciales para medir la saturación de agua,
 - *degradables térmicamente*, potenciales para medir la temperatura del reservorio lejos de los pozos,
 - *degradables microbiológicamente*, potenciales para medir la actividad microbiológica. (Bjørnstad, 2008).

Para garantizar el éxito de un ensayo es imprescindible definir la aplicación y seleccionar cuidadosamente las especies más adecuadas (Houseby, 2009).

Como los ensayos que se reportan en el presente trabajo, requirieron del seguimiento del agua sin necesidad de medir propiedades, se utilizaron los siguientes trazadores pasivos:

- Radiactivos emisores beta (no interfieren el perfilaje gamma): Agua tritiada (HTO).
- Ácidos benzoicos fluorados (FBAs).

El Agua Tritiada (HTO) ha sido históricamente señalada como el trazador ideal para este tipo de monitoreos, debido a que justamente se trata de una molécula de agua. Éste es un emisor beta de muy baja energía ($E_{\text{máx}}=18$ Kev), es por ello que la penetración de las partículas emitidas es escasa y como consecuencia no requiere blindajes ni cuidados especiales durante su manipulación.

También han sido caracterizados como pasivos y se mencionan como especialmente apropiados para este uso petrolero, los trazadores de la familia de los Ácidos Benzoicos Fluorados (Serres-Piole et. al, 2012).

Estos últimos derivan del ácido benzoico, en el cual la sustitución de hidrógeno del anillo aromático con átomos de flúor o grupos metilos fluorados, conforman una familia de compuestos, que se diferencian por la posición y cantidad de átomos de flúor. Esto ha suscitado el interés por ellos, debido a que brindan numerosos compuestos de similar naturaleza aplicables en ensayos de complejidad, tales como los multitrazador en secundaria (**Figura 1**) o los de fracturación hidráulica múltiple (**Figura 2**). Es importante mencionar que se trata de compuestos con las siguientes características:

- Estables química, microbiológica (Benson & Bowman, 1994) y térmicamente (Adams et. al, 1992)
- Baja reactividad y toxicidad. Además, Farnham & Stetzenbach (1996), revelaron que ni los compuestos originales ni sus metabolitos poseen propiedades mutagénicas.
- Han probado su eficiencia como trazadores conservativos (o pasivos) en ensayos de laboratorio, acuíferos confinados y libres (Bowman, 1984; Adams et. al, 1992; Bowman & Gibbens, 1992; Benson & Bowman, 1994; Jaynes, 1994; Hu, & Moran, 2005; Seaman et. al, 2007). Sin embargo, los autores sostienen que las características del medio podrían influir.
- Por tratarse de una familia de moléculas orgánicas en una matriz compleja, como lo es el agua de pozo, la cromatografía ha sido utilizada como el mejor método de análisis, consiguiéndose límites de detección menores a 1ppb para numerosos compuestos con GCMS (Procak et. al, 2011).

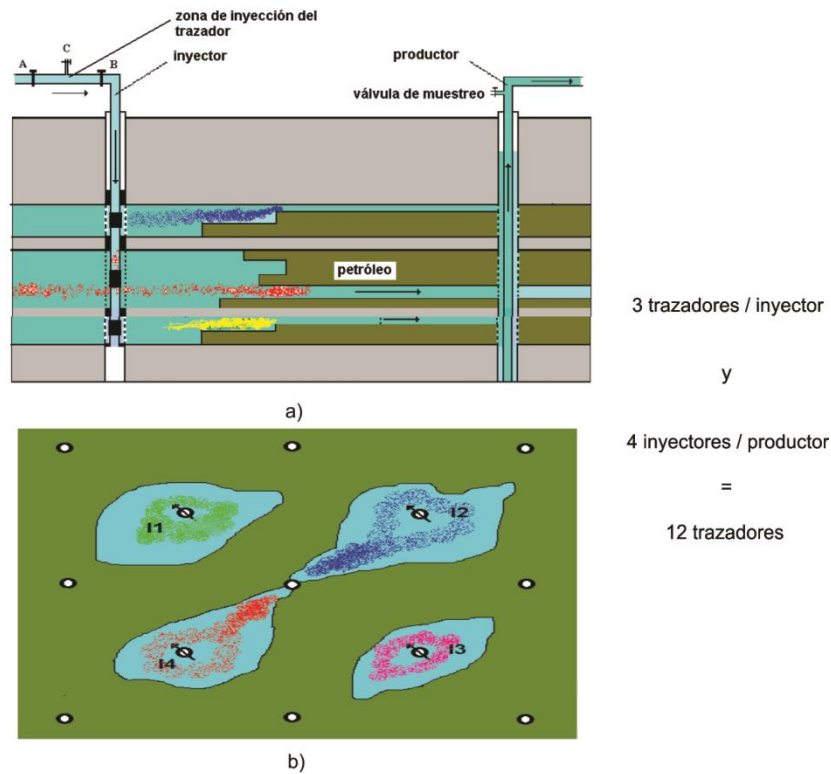


Figura 1 - Esquemas de ensayos multitrazador. (Ensayos a). Multi-capas, b). Multi-inyectores) (Extraído de Procak et. al, 2011)

Además, debido a su incipiente utilización en ensayos de fracturación hidráulica y teniendo en cuenta las condiciones particulares del reservorio bajo estas metodologías, es que se los ensayó en el laboratorio exponiéndolos a condiciones físicas y químicas similares a las que encontrarían en una fractura. Inclusive en conjunto con el agente sostén. Luego de permanecer aproximadamente una semana en condiciones de presión y temperatura similares a las que deberían experimentar en su aplicación real, validaron sus características, por lo que se los consideró apropiados su utilización en este tipo de ensayos.

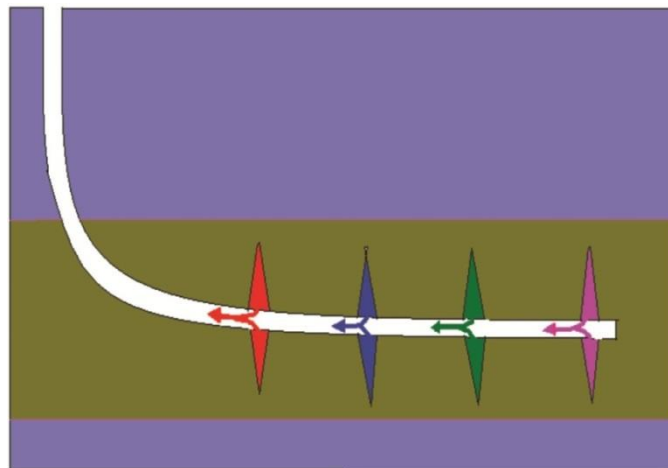


Figura 2 - Ensayo multitrazador en Fracturación Hidráulica (Extraído de Procak et. al, 2013)

TRAZADORES EN RECUPERACIÓN SECUNDARIA

Durante el año 2011, se realizó la inyección conjunta de 3,5-DiFBA (5 Kg) y agua tritiada (HTO: 370 GBq) en el inyector convencional DBE-IA-92 (Fm. Rayoso), del yacimiento Desfiladero Bayo Este, operado por YPF S.A. A través de este ensayo, se intentó comparar el comportamiento de los FBAs frente un trazador ideal como HTO, como así también caracterizar el estado de la recuperación secundaria. Los resultados de este trabajo son publicados por Diaz et. al, 2013.

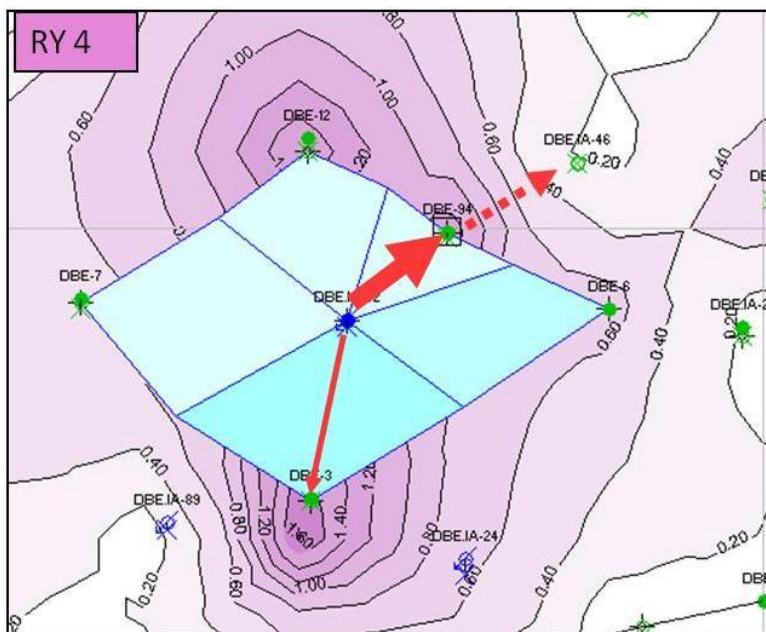


Figura 3 - Pozos con irrupción de trazadores (extraído de Diaz et. al, 2013).-

Si bien se produjeron detecciones en los pozos DBE-3 y en uno de segunda línea (DBE-46), el productor DBE-94 tuvo la irrupción más fuerte y temprana (**Figura 3**), por lo que ha alcanzado un mayor desarrollo del registro de respuestas. A partir de esto, es que el análisis se focalizó sobre este pozo.

La **Figura 4** representa la evolución de la masa de trazador que se extrae por metro cúbico de agua producida en el pozo DBE-94, respecto a la masa inyectada en la malla.

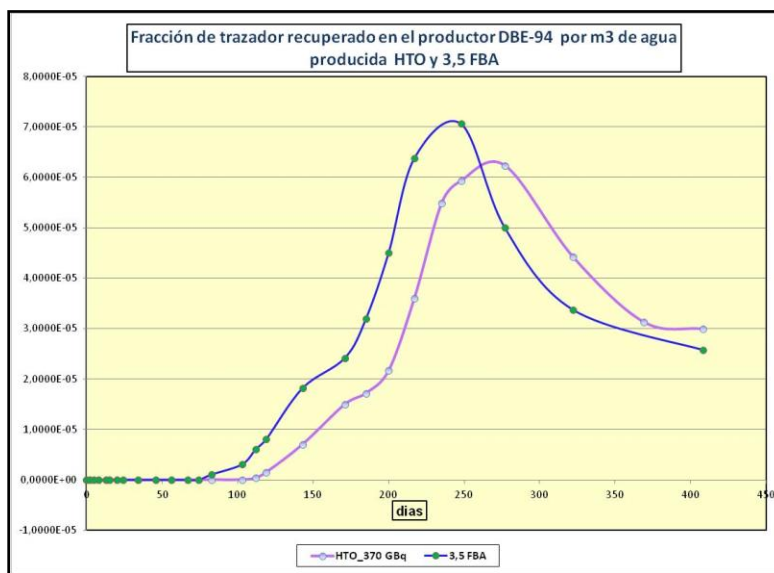


Figura 4 – Registros de recuperación fraccional por m³ de agua producida (extraído de Diaz et. al, 2013).-

Es importante añadir aquí otro concepto. La masa de trazador recuperado en el pozo, respecto al total inyectado en el inyector de la malla, se denomina “recuperación fraccional acumulada” y se representa en la **Figura 5**.

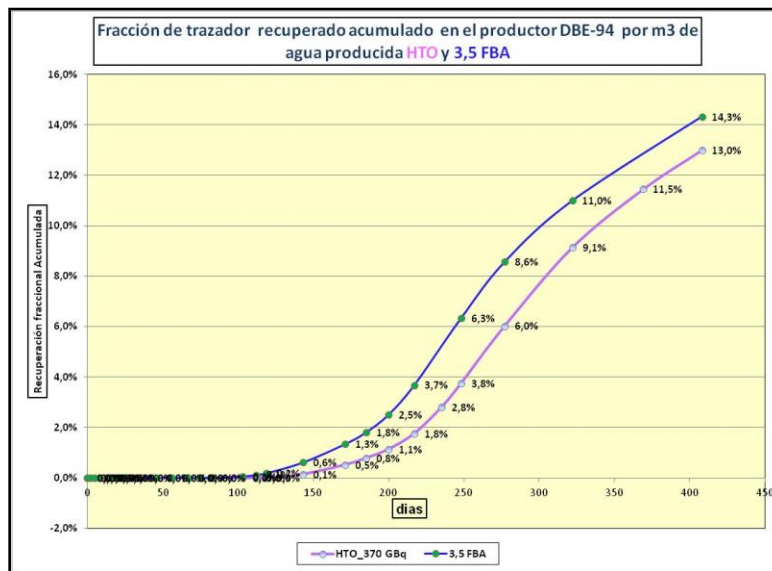


Figura 5 - Registro de recuperación fraccional acumulada por m³ de agua de agua producida (extraído de Diaz et. al, 2013).-

A través del análisis de registros expuestos por las figuras anteriores, los autores señalan que existe un adelanto claro del trazador 3,5-DiFBA respecto al de HTO (**Figura 4**), lo que se consolida al observar la recuperación acumulada de ambos trazadores en la **Figura 5**. En la misma existe una ínfima diferencia que se tiende a igualarse con la maduración del ensayo. Además, y de no menor importancia, el volumen de formación contactado por estas especies en el día 408 es similar y predicen que el de HTO pasará a ser mayor con el avance del registro (**Figura 6**).

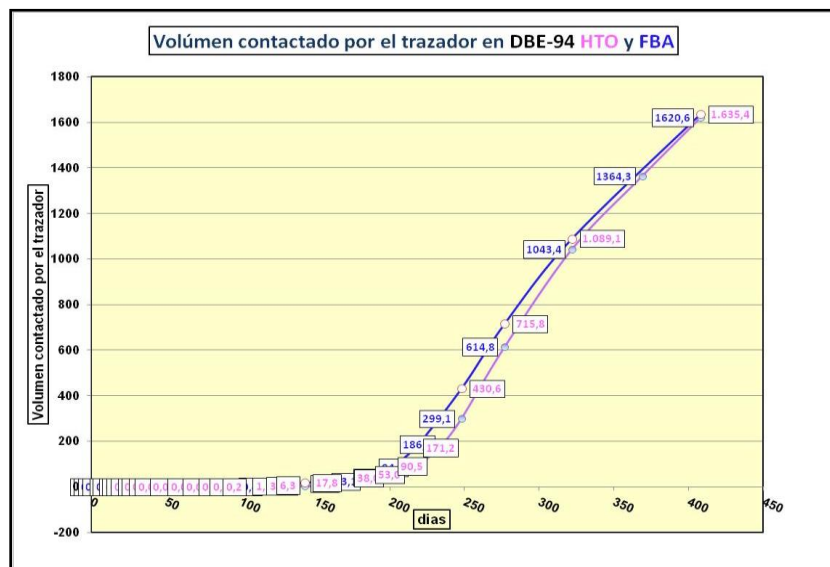


Figura 6 - Volumen contactado por los trazadores (extraído de Diaz et. al, 2013).-

Conclusiones del ensayo

Este trabajo permite concluir acerca de dos cuestiones:

1. *Características de los FBAs como trazadores*

El ensayo de Díaz et. al (2013), sustenta lo expresado por Bjørnstad (2008) y Serres-Piole et. al (2012), los que coinciden en señalar que tanto el HTO como los FBAs son trazadores pasivos con grandes potencialidades de aplicación en la industria hidrocarburífera. Según Díaz et. al (2013), los FBAs no son absorbidos por el medio y no sufren degradación alguna en los tiempos del ensayo, lo que se observa en la mínima diferencia existente en la recuperación fraccional acumulada representada en la **Figura 5**. Además, coinciden con numerosos autores al señalar que si bien existen diferencias en el transporte de ambos (**Figura 4** y **Figura 6**), las mismas son pequeñas no afectando al momento de decidir acciones correctivas.

2. *Consideraciones acerca de la eficiencia del barrido con agua*

La recuperación fraccional acumulada de trazador (Figura 5) nos dá indicios acerca de la recirculación de agua existente entre el par inyector-productor es decir, el agua que no cumple función alguna (Zemel, 1994; de la Fuente et. al, 2004; Gimenez et. al, 2005; Díaz et. al, 2010; Gavilán et. al, 2011). Además, este dato se consolida con lo que concluye Díaz et. al (2013), al afirmar que el volumen de formación contactado por los trazadores (**Figura 6**) coincide con la producción acumulada de petróleo desde los inicios de la inyección con agua.

Es importante actuar proactivamente en la corrección de esto, debido a que este volumen de agua que ingresa a la formación sin cumplir función alguna, requiere de energía para ser movilizadada y tratamientos para ser dispuesta en las condiciones que requiere la inyección. A través de los datos que se desprenden de las **Figura 5** y **Figura 6**, se podrá diseñar los tratamientos correctivos necesarios (como por ejemplo una inyección de químicos) con la finalidad de subsanar estos desbalances de inyección y deficiencias productivas (Díaz et. al, 2010). Una vez aplicado el tratamiento, caracterizar la inyección a través de un nuevo ensayo con trazadores sería lo más acertado a fin de conocer la eficiencia de lo aplicado.

TRAZADORES EN FRACTURACIÓN HIDRÁULICA MÚLTIPLE

En el trabajo de Procak et. al (2013), se reseñan distintos casos en los que han sido aplicados trazadores en estimulaciones de reservorios no convencionales. En el presente trabajo abordaremos dos, a fin de demostrar la utilidad de los mismos en la caracterización del agua utilizada.

En este tipo de ensayos, la inyección de las especies se realiza “en flujo”, aprovechando la disponibilidad de bombas dosificadoras suficientemente precisas como para asegurar la dosificación uniforme del fluido de fractura en el “blender”. Además, en la mayor parte de los casos, los muestreos del fluido devuelto por el pozo, se iniciaron luego de completarse todas las etapas de fractura, tras ponerse en producción el pozo y accediéndose normalmente por válvulas en el separador. Las densidades de muestreo fueron altas en el comienzo (primeros días), decayendo de manera exponencial hasta completarse aproximadamente un mes (y varios meses en algunos casos especiales).

Caso 1: evaluación de la acumulada de trazador vs. acumulada de agua.

El presente caso permitió evaluar la recuperación acumulada de trazador en un pozo multifracturado (en un objetivo shale) y compararla con la acumulada de producción de agua. Al respecto se presentan en la **Figura 7** los registros de trazadores de siete etapas de fracturamiento, en los cuales se visualizan diferentes respuestas entre las etapas, que van desde una devolución acumulada del 11.5% en la etapa 4, hasta un escaso 0.4% en la etapa 1, luego de controlarse por un plazo de poco más de 6 días.

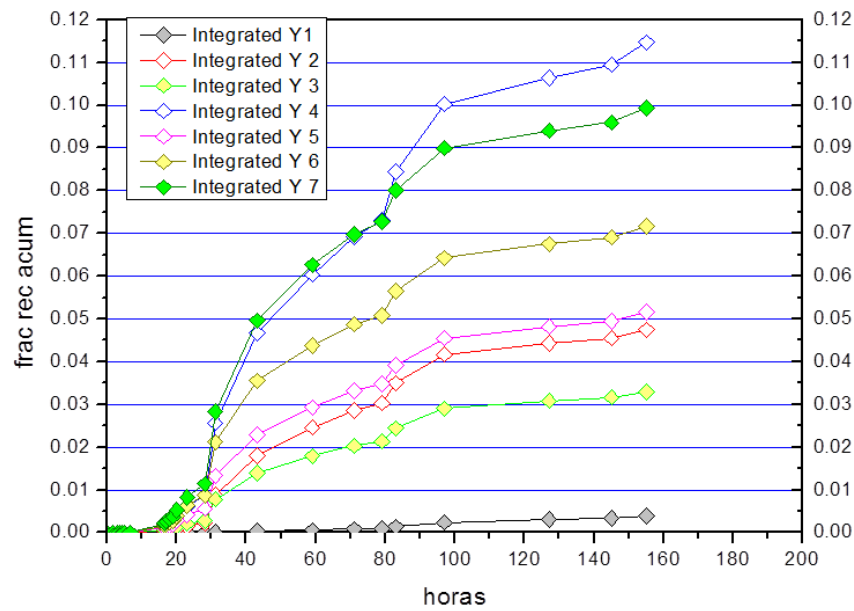


Figura 7 – Registros de Recuperación Acumulada de Trazador (desde las 7 etapas de fracturación).-

En la **Figura 8**, se observa el promedio de los registros de producción de trazadores de la **Figura 7**. La **Figura 9**, que representa el registro de acumulada de agua, permite la comparación entre ambos. Claramente puede destacarse que ambas acumuladas son muy próximas (ambas están entre 6 y 7 %, luego de 6 días), indicando la ausencia de aportes significativos de agua exógena a la estimulación.

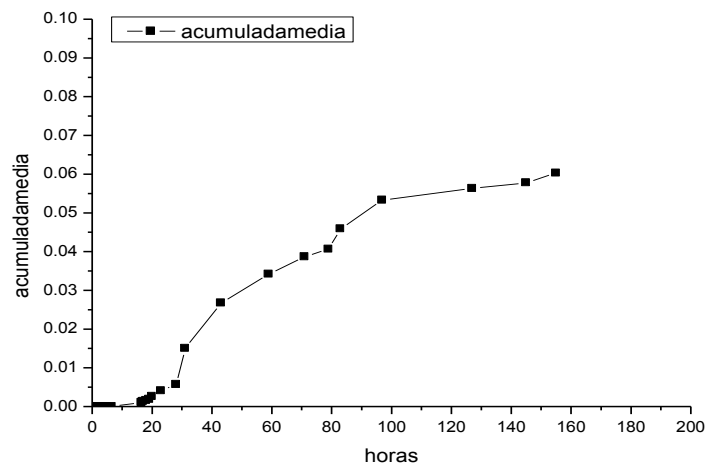


Figura 8 - Promedio de los registros de recuperaciones acumuladas.-

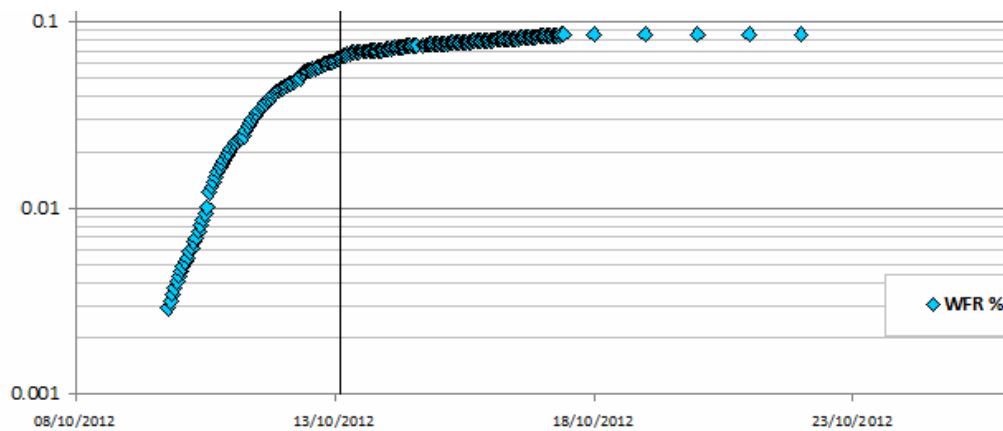


Figura 9 - Fracción de agua recuperada.-

CASO 2: competencia entre dos etapas de fracturación hidráulica

A efectos de evaluar el comportamiento en un nivel de interferencia mínimo, se realizó el trazado de un pozo con dos etapas de fracturamiento en un objetivo tight. En este caso, se evaluó la concentración de trazador medida en relación a la concentración inyectada en el blender (C_{ETAPA}). Resultaron diferentes comportamientos de las dos etapas (**Figura 10**). La primera fue más afín con lo que se esperaba. Si bien durante las primeras 5 horas se observó una concentración inestable (y en aumento), luego sobrevino un pequeño período uniforme y finalmente una etapa de “lavado” del trazador remanente, con una declinación tipo exponencial que continuaría luego de las 48hs. La segunda fractura se comportó muy distinto. Inicialmente, registró una salida del trazador, con relación de concentraciones similar a la de la primera fractura. Pero mientras la primera fractura incrementó su concentración, la segunda la redujo significativamente. Finalmente mostró una declinación en concordancia con la de la primera etapa.

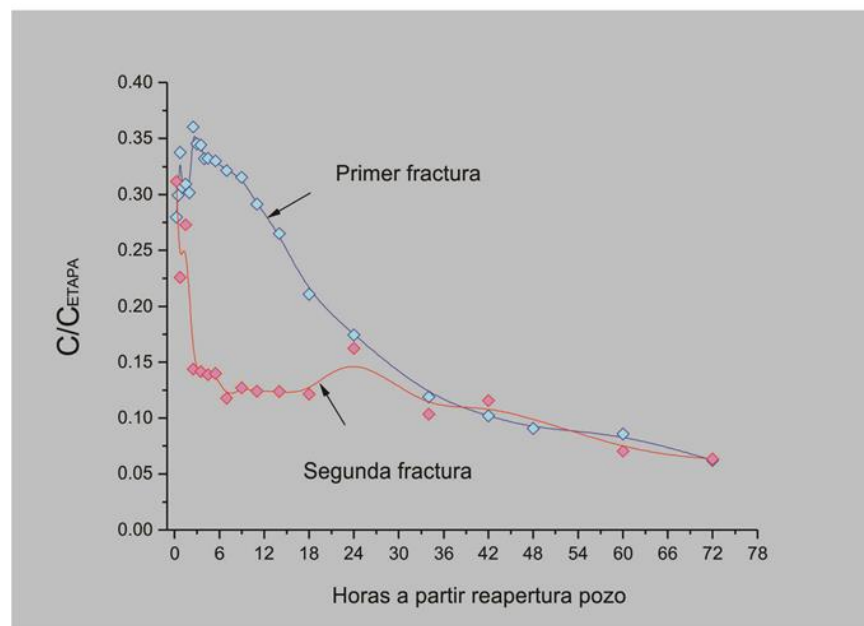


Figura 10 - Concentración de Trazador en el efluente relativa a su concentración en el gel inyectado.-

En relación a lo anterior, se interpreta un periodo inicial dominado por la primera etapa, hasta alcanzarse un equilibrio sobre las 24 hs, luego del cual ambas etapas continuaron aportando al pozo de manera equilibrada. En cuanto a las diluciones iniciales de los trazadores han sido algo superiores a lo esperado. Es importante tener en cuenta que el fluido producido por una fractura diluye al trazador de la otra. Si las fracturas hubiesen sido

idénticas, con producción de agua propia (sin aportes de agua de formación), cada trazador debiera salir con una concentración del 50% respecto a la que presentaba en el blender. Evidentemente, un entorno inicial del reservorio con saturaciones importantes de agua de formación, ha favorecido la dilución de los trazadores.

Conclusiones de los ensayos

Los autores coincidieron en que la aplicación de trazadores en fracturación hidráulica permite caracterizar la devolución de agua utilizada en las estimulaciones, así como reconocer la existencia de saturaciones de agua de formación, contactadas y eventualmente movilizadas por el fluido de fractura (de la Fuente & Somaruga, 2009; King, 2011).

Además, recalcan que las recuperaciones de trazador nunca superaron el 20 % por etapa. Al respecto señalan que ensayos realizados en reservorios convencionales mostraron recuperaciones acumuladas de trazadores de entre 90 y 100%. Según King (2012), esto se debe a la mayoría de los shales, son como una “esponja seca” frente al agua. Es decir, atrapan y retienen mediante fuerzas capilares, gran parte de la misma en los poros más pequeños y en las microfracturas de la roca. Allí, al parecer, el agua permanece funcionando como un agente de apuntalamiento. A partir de esto se desprende la importancia que poseen los trazadores en la caracterización y monitoreo del flowback.

NUEVOS HORIZONTES

En las conclusiones de los ensayos en fracturación hidráulica múltiple se destaca la potencialidad de los trazadores frente al monitoreo de agua. A partir de esto, se sugiere la posibilidad de trazar de manera acotada, los acuíferos que se desea preservar con productos FBAs a efectos de controlar que no sean alcanzados por la fracturación hidráulica, tanto en pozos correspondientes a yacimientos convencionales como no convencionales. Para esto deberían punzarse las zonas del pozo que contactan dichos acuíferos, y bombearse con tapón y packer los FBAs hasta que ingrese un “radio de control” (r_c), tal como se observa en la **Figura 11**.

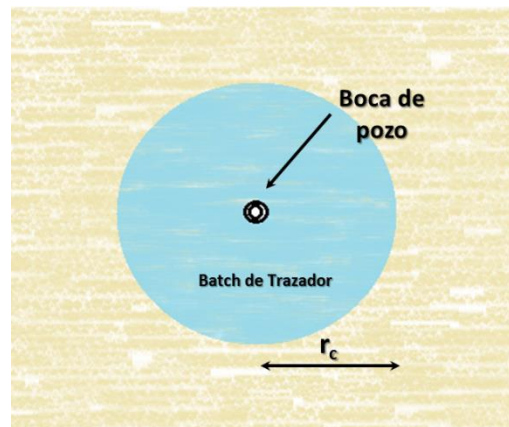


Figura 11 – Vista en planta de boca de pozo y batch de trazador.-

Estos punzados se sellarán y una vez puesto en producción el pozo se deberá controlar la presencia de los trazadores en el agua producida. Está comprobado que los FBAs pueden detectarse en concentraciones traza (del orden de la ppt) mediante GC/MSMS, por lo que el empleo de algunos Kg de trazador sería suficiente para el fin que se propone y de esta manera poder evaluar eficientemente la posible interacción entre redes de fractura y acuíferos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M.C., Moore, J.N., Fabry, L.G. & Ahn, J.-H., 1992.- Thermal stabilities of aromatic acids as geothermal tracers. *Geothermics* 21, 323–339.

- Benson, C.F & Bowman, R.S, 1994.- Tri- and tetrafluorobenzoates as nonreactive tracers in soil and groundwater. *Soil Science Society of America Journal*. 58 (4):1123 – 1129.
- Bjørnstad, T., 2008.- Interwell tracer technology–history, present and future. En: *Tracer 5: 5th International Conference on Tracers and Tracing Methods*. Tiradentes, Brasil, 2008.-
- Bowman, R.S, 1984.- Evaluation of some new tracers for soil water studies. *Soil Science Society of America Journal*. 48 (5): 987 – 993.
- Bowman, R.S. & Gibbens J. F, 1992.- Difluorobenzoates as Nonreactive Tracers in Soils and Groundwater. *Groundwater*. 30 (1): 8-14
- de la Fuente, M.V., Torres, M. & Somaruga, C., 2004.- "Utilización de Tiocianatos y Metanol como Trazadores para Caracterizar la Inyección de Agua en Recuperación Secundaria de Petróleo". En: *1er. Expo-Congreso de Innovación Tecnológica en Energía y Proceso*. IAPG, SPE, 2004.
- de la Fuente, M.V. & Somaruga, C., 2009.- Evaluación del “backflow” en fracturación hidráulica múltiple, mediante trazadores. En: *Taller de Evaluación de Formaciones (SPWLA)*, Comodoro Rivadavia, 2009.-
- Díaz, D., Cerroni, M., Milano, A., Procak, C. & Somaruga, C., 2013.- Transporte Comparativo de un Trazador FBA vs Agua Tritiada en un Reservorio del Yacimiento Desfiladero Bayo Este. En: *5° Congreso de Producción y Desarrollo de Reservas de Hidrocarburos*. IAPG. Rosario, Argentina, 2013.-
- Díaz, D., Saez, N & Somaruga, C., 2010.- Ensayos Multitrazador para Evaluar Eficiencias de Barrido en Recuperación Mejorada con Inyección Selectiva. En: *Congreso de Producción del Bicentenario*. IAPG. Salta, Argentina, 2010.-
- Farnham, I. & Stetzenbach, K., 1996.- Identification and Characterization of Conservative Organic Tracers for Use as Hydrologic Tracers for the Yucca Mountain Site Characterization Study. Final Report. USDOE n° DE-FC 08-90NV10872.
- Gavilán, J., Pubill, M. y Somaruga, C.- 2011. Primera Experiencia con Trazadores FBAs en Reservorios bajo Recuperación Secundaria en el Yacimiento Cerro Dragón. En: *VIII Congreso de Exploración y Producción de Hidrocarburos*. Instituto Argentino del Petróleo y Gas (IAPG). Mar del Plata, Argentina. Noviembre del 2011.
- Gimenez, E., de la Fuente, M., Carbajal, G. & Somaruga, C., 2005.- Alcohols as Tracers for oil Sweep Evaluation in Waterflooding Projects. En: *Enpromer 2005*. Rio de Janeiro, 2005.
- Huseby, O., Valestrand, R., Nævdal, G., Sagen, J., 2009.- Natural and Conventional Tracers for Improving Reservoir Models Using the EnKF Approach. *SPE paper # 121190*.-
- IAEA, 2012.- Application of radiotracer techniques for interwell studies. IAEA, Vienna, Austria. 248pp.
- Jaynes, D.B., 1994.- Evaluation of Fluorobenzoate Tracers in Surface Soils. *Groundwater*. 32 (4): 532 – 538.
- King, G., 2011.- Tracking Fracture Fluid Movement with Chemical and Gamma-Emitting Tracers with Verification by Microseismic Recording. *EPA Hydraulic Fracturing Workshop*, February 24-25, 2011, Workshop 1, Chemicals.-
- King, G. E., 2012.- Hydraulic Fracturing 101: What Every Representative, Environmentalist, Regulator, Reporter, Investor, University Researcher, Neighbor and Engineer Should Know About Estimating Frac Risk and Improving Frac Performance in Unconventional Gas and Oil Wells. *SPE paper # 152596*.-
- Procak, C., Esteves, P., Nuñez, Y., Álvarez, E., de la Fuente, V. & Somaruga, C., 2011.- Presente y future de las técnicas con trazadores en la Producción de Hidrocarburos de Argentina. En: *VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*. IAPG. Mar del Plata, 2011.-
- Procak, C., Nuñez, Y., de la Fuente, V. & Somaruga, C., 2013.- Trazadores en la Fracturación Hidráulica Múltiple: ¿Qué información pueden darnos?. En: *5° Congreso de Producción y desarrollo de reservas de Hidrocarburos*. IAPG. Rosario, 2013.-
- Seaman, J.C., 1998.- Retardation of Fluorobenzoate Tracers in Highly weathered Soil and Groundwater Systems. *Soil Science Society of America Journal*. 62 (2): 354 – 361.
- Seaman, J.C., Bertsch, P.M., Wilson, M., Singer, J., Majs, F. & Aburime, S.A, 2007.- Tracer Migration in a Radially Divergent Flow field: Longitudinal Dispersivity and Anionic Tracer Retardation. *Vadose Zone Journal*. 6 (2): 373 – 386.
- Serres-Piole, C., Preud'homme, H., Moradi-Tehrani, N., Allanic, C., Jullia, H. & Lobinski, R., 2012.- Water tracers in oilfield applications: Guidelines. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 98-99: 22-39.-

- Stetzenbach, K., Jensen, S. & Thompson, G.; 1982.- Trace Enrichment of Fluorinated Organic Acids Used as Ground-Water Tracers by Liquid Chromatography. University of Arizona & Laramie Energy Technology Center. University Station. Arizona – Wyoming, EUA.
- Zemel, B.; 1994.- Tracers in the Oil Field. Elsevier Health Sciences, New York, USA. 571pp.