

TRANSPORTE COMPARATIVO DE UN TRAZADOR FBA vs AGUA TRITIADA

EN UN RESERVORIO DEL YACIMIENTO DESFILADERO BAYO ESTE

Delia Diaz **, Marcos Cerroni **, Alejandro Milano ** y Carlos Procak*, Carlos Somaruga*.

**YPF SA, U N Mendoza, Argentina delia.diaz@ypf.com

*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400.
(8300) Neuquén, Argentina. csomarug@neunet.com

SINOPSIS

En los últimos años se ha observado un mayor interés en el uso de trazadores como herramienta de control y diagnóstico de la recuperación secundaria de petróleo. Adicionalmente, debido a la creciente complejidad de los proyectos, que se traduce en mayor densidad y selectividad de los inyectores, resulta imprescindible contar con un mayor número de especies trazadoras. En este sentido han demostrado especial aptitud los trazadores Ácidos Benzoicos Fluorinados (FBAs), debido a que constituyen una numerosa familia de especies diferenciables cromatográficamente. No obstante existen dudas respecto a su transporte en rocas reservorio, siendo además escasa la bibliografía específica al respecto. Todos los trabajos consultados destacan que estos trazadores pueden ser calificados como conservativos (no sufren retención por el medio). Pero hay pocos estudios referidos específicamente al transporte comparativo de estas especies frente al trazador “agua tritiada” (HTO), ampliamente reconocido como el ideal para estas aplicaciones petroleras. Tendiente a dar respuesta a ello, este trabajo presenta resultados de un ensayo conjunto (especie 3,5-DiFBA vs. HTO) realizado en el yacimiento Desfiladero Bayo Este (Fm. Rayoso). La inyección conjunta realizada en el inyector convencional DBE.IA-92, derivó en múltiples irrupciones en varios pozos de la malla (incluido uno de segunda línea). En todos los casos se detectaron ambas especies trazadoras en tiempos y concentraciones relativamente similares. Asimismo, las recuperaciones acumuladas de cada especie fueron muy cercanas. No obstante, se analizan las diferencias observadas a partir de las diferentes naturalezas moleculares de cada trazador.

GENERALIDADES SOBRE TRAZADORES

Clasificación de trazadores

Existen en principio dos categorías (IAEA, 2012; Serres-Piole et. al, 2012):

1. Pasivos o conservativos (también llamados ideales): son aquellos que una vez adicionados a una fase fluida en flujo, son transportados sin experimentar procesos químicos o físicos diferentes de los que experimenta la fase o fracción en la que han sido inyectados. En otras palabras, el trazador no debe perturbar el comportamiento de la fase trazada, ni la fase trazada o sus componentes deben perturbar el comportamiento del trazador.
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 actividad en el proceso de interés, constituye una medida cuantitativa de la propiedad que se desea evaluar.

En la industria petrolera se ha extendido mayormente el uso de trazadores pasivos, particularmente para diagnosticar el alcance de la inyección de agua en los procesos de recuperación secundaria. Sin embargo son también frecuentes las aplicaciones de trazadores activos para determinar (Bjørnstad, 2008; Serres-Piole et. al, 2012):

- Saturación residual de petróleo (Sor): en esta categoría se agrupan los compuestos que particionan en la fase petróleo.
- Capacidad de intercambio iónico de la roca: en esta categoría se agrupan los que

experimentan fenómenos de adsorción reversible o irreversiblemente por la roca reservorio.

- Saturación de agua: en esta categoría se agrupan los que sufren hidrólisis.
- Temperatura del reservorio en la región entre pozos: en esta categoría se agrupan los que sufren degradación térmica.
- Actividad microbiana: en esta categoría se agrupan los que sufren degradación microbiana.

Tipos de trazadores

Una clasificación basada en su forma de producción, tratamiento y análisis conduce a tres tipos de trazadores:

- Isótopos estables de un elemento.
- Especies químicas radiactivas.
- Especies químicas no – radiactivas

Si bien todos los trazadores pueden calificarse como especies químicas, factores tales como existencia natural en el reservorio y detectabilidad por métodos químicos (no radioquímicos) conducen a la necesidad de diferenciarlos ya sea por su relación isotópica o radiactividad (Bjørnstad, 2008; IAEA, 2012).

Requerimientos generales de trazadores para estudios de inter-conectividad de pozos en recuperación secundaria

A fin de seleccionar apropiadamente un trazador pasivo, se debería evaluar los siguientes aspectos (Zemel, 1994; Käss, 1998; Shook et. al, 2004, Bjørnstad, 2008; IAEA, 2012; Serres-Piole et. al, 2012):

a - Su comportamiento debe ser idéntico al del medio a marcar, siendo necesario, por ejemplo que se desplace a la misma velocidad. Cualquier pérdida de trazador producida entre los instantes de inyección y detección alterará en mayor o menor medida los resultados, dando tiempos de tránsito más prolongados. Esto indica que no debe efectuar intercambio iónico ni adsorción química o física. La adsorción física depende, principalmente, de fuerzas del tipo de Van der Waals, produciendo uniones energéticamente débiles entre la roca y el trazador. La absorción química en cambio, genera uniones de valencia que producen una pérdida efectiva del trazador. Estas adsorciones tienen lugar en especial en arcillas, limos y sustancias orgánicas. Estas últimas, debido a su naturaleza, poseen superficies con carga negativa, que fijan cationes quedando estos, por lo tanto, eliminados en principio como trazadores apropiados. Además un trazador no debe alterar las propiedades y condiciones del medio, tales como, densidad, viscosidad y temperatura.

b - Si la sustancia trazadora debe adicionarse artificialmente, el medio no la debe contener naturalmente en cantidades apreciables.

c - Si se aprovecha alguna sustancia existente naturalmente en el reservorio, su concentración natural no debe modificarse durante la realización del ensayo.

d - Es conveniente que sea fácilmente soluble en la fase a marcar (que no precipite) e insoluble en las otras fases eventualmente presentes.

e- debe ser térmicamente, químicamente y microbiológicamente estable, manteniendo su identidad en su viaje por el reservorio.

f- es deseable que posea un bajo límite de detección, permitiendo así marcar grandes cantidades de fluido con una pequeña masa de trazador.

g - No debe contaminar el medio durante períodos prolongados, ni afectar seres vivos.

h - Es deseable que su costo sea reducido.

Solamente un trazador ideal podría cumplir con todas estas condiciones simultáneamente. En la práctica no existe ninguno que las reúna. En consecuencia no es posible obtener un trazador universal que pueda aplicarse a todos los casos. Sin embargo el conocimiento de las propiedades y comportamiento de los trazadores reales, permite efectuar correcciones adecuadas de manera de hacer aprovechable la información que proporcionan. Cada caso puede requerir un trazador diferente en cuya selección no solo juegan principios técnicos sino también económicos, así como la experiencia en casos similares y disponibilidad.

Caracterización de trazadores

Los estudios que se realizan habitualmente sobre las potenciales especies trazadoras (IAEA, 2012), procuran evaluar los siguientes aspectos:

Estabilidad térmica, química y microbiológica

Se determina en experimentos tipo batch en donde se toman muestras a lo largo del tiempo para ser analizadas y comparadas con una muestra de referencia correspondiente a las condiciones iniciales. La fracción de trazador sobreviviente (Y%) se expresa habitualmente como:

$$Y(\%) = \frac{R(T)_t}{R(T)_0} 100 \quad (1)$$

Adsorción en la roca reservorio

Se determina también en experimentos estáticos (tipo batch) empleándose para su evaluación nuevamente Ec.1. Frecuentemente, se utilizan rocas trituradas (areniscas, carbonatos) para representar la roca reservorio y distintas fracciones de caolinita para considerar los potenciales contenidos de arcillas.

Partición en la fase petróleo

Existen algunos compuestos utilizados como trazadores que son solubles tanto en la fase acuosa como oleosa. Si bien son inyectados en la primera, una fracción de los mismos puede solubilizarse en la otra fase al tomar contacto con ella dentro del reservorio. Es, por ejemplo, el caso que presentan ciertos alcoholes. Esta propiedad, constituye un aspecto positivo de los trazadores que la poseen, ya que permite determinar la saturación residual de petróleo a nivel local o global en el reservorio. No obstante como paso previo, es imprescindible realizar experimentos que permitan cuantificar la distribución del trazador entre las fases. Para ello se debe determinar el grado de partición de un trazador, el cual se expresa como la relación entre las concentraciones del trazador entre dos fases (oil y water):

$$K = \frac{C_o}{C_w} \quad (2)$$

Estudios comparativos a escala de reservorio

Si bien los estudios de adsorción, partición y estabilidad muchas veces permiten calificar un trazador como pasivo (y en consecuencia como apto para su utilización en estudios de interconexión de pozos en recuperación secundaria), ello no significa que todos los trazadores pasivos deban comportarse idénticamente (Bjørnstad, 2008; Serres-Piole et. al, 2012). De hecho está aceptado que el trazador Agua Tritiada, considerado el ideal para estudios en recuperación secundaria, experimenta un pequeño intercambio isotópico y así es susceptible de sufrir algún retardo respecto al agua inyectada. Efectivamente, el Tritio (isótopo del Hidrógeno) que forma parte de la molécula de Agua Tritiada puede ser intercambiado con algún Hidrógeno común del agua. Si este Hidrogeno forma parte del agua inmóvil, se observará el mencionado retardo. En síntesis, por cuestiones de tamaño, forma, estructura, distribución de carga eléctrica, etc., es

esperable que distintos trazadores pasivos experimenten diferencias en cuanto a su transporte en la roca reservorio.

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS TRAZADORES 3,5-DiFBA Y AGUA TRITIADA

Desde hace unos años, el Grupo de Trazadores de la Universidad Nacional del Comahue viene realizando estudios de seguimiento de la inyección de agua en secundaria, a partir del uso de los trazadores de la familia de los ácidos benzoicos fluorinados (o simplemente FBAs: fluorinated benzoic acids) (Gavilán et. al, 2011). Estos trazadores califican como pasivos y se mencionan como especialmente apropiados para este uso petrolero (Serres-Piole et. al, 2012). Asimismo, como ya se ha mencionado, el trazador Agua Tritiada (en adelante abreviado como HTO) ha sido históricamente señalado como el trazador ideal para el seguimiento de la recuperación secundaria, debido a que justamente se trata de una molécula de agua.

De esta manera, se ha planteado como objetivo principal de este trabajo, la caracterización del transporte de un FBA, en contraste con agua tritiada. Para ello se ha realizado la inyección conjunta de ambas especies y luego se registraron las concentraciones de ambos trazadores en los pozos productores alcanzados por la inyección de agua de un inyector del yacimiento Desfiladero Bayo Este (operado por YPF SA en la Cuenca Neuquina). Posteriormente, se analiza las formas de los registros y se evalúa la recuperación acumulada de cada uno de los trazadores.

Zona del ensayo

La estratigrafía tipo en este sector de la cuenca se visualiza en la Figura 1. La roca madre está conformada por la Fm. Vaca Muerta. Los principales niveles portadores de hidrocarburos son la Fm. Rayoso, la Fm. Huitrín (Mb. Troncoso Inferior) y La Fm. Agrio (Mb. Superior).

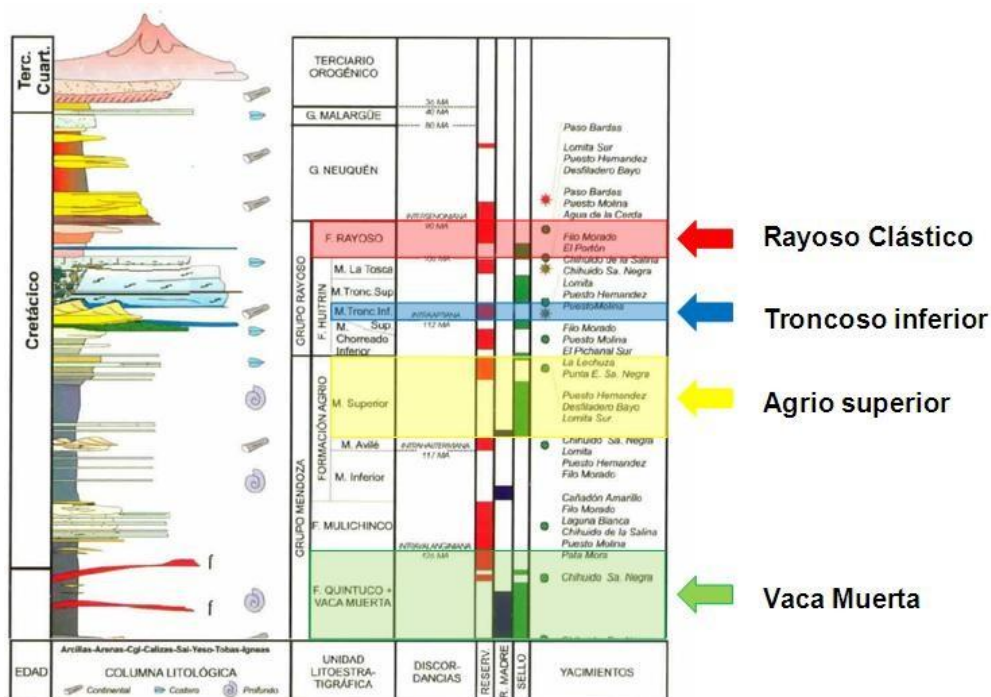


Figura 1 - Estratigrafía del sector noroeste de la cuenca neuquina, junto con información de los distintos elementos de los sistemas petroleros. Los reservorios en el Yacimiento Desfiladero Bayo pertenecen a la Fm. Rayoso, el Mb. Troncoso Inferior de la Fm. Huitrín y el Mb. superior de la Fm. Agrio. La Fm. Mulichinco y el Mb La Tosca constituyen objetivos secundarios. -

La estratigrafía y propiedades petrofísicas de los reservorios son similares en todo el yacimiento.

La Fm. Rayoso, que es la zona de interés para este estudio, se conforma por una sucesión de areniscas y fangolitas originadas en un ambiente continental, fluvioacustre. Se subdividió en 5 ciclos o secuencias. El ciclo 1 es mayormente arcilloso, carece de interés. Hacia el tope (RY2,

RY3, RY4 y RY5) se encuentran cuerpos canalizados y algunos tabulares de ambiente fluvio-lacustre que alternan con niveles finos formados en planicies de inundación y en lagos.

Dichos cuerpos arenosos poseen excelentes características petrofísicas y una continuidad areal variable. Se trata de areniscas finas, escasas medianas, bien seleccionadas, feldespáticas-líticas con escaso cemento dolomítico (5-10%). La porosidad es primaria, con valores, que van desde un 20% a más de 30%, y permeabilidades muy altas, desde cientos de mD, hasta 1 Darcy. También suelen aparecer canales arenosos de desarrollo local que son registrados en unos pocos pozos o incluso en uno solo. La Fm. Rayoso toma importancia en el sector centro y norte del yacimiento, en grado variable según el ciclo de que se trate.

Con respecto al entrapamiento, el yacimiento Desfiladero Bayo Este muestra, para el Grupo Rayoso, una estructura homoclinal con pendiente hacia el SW, con desarrollo de sinclinales y anticlinales suaves con ejes de dirección noreste. Este plegamiento determina que la intersección entre la superficie de la discordancia Intersenoniana y el tope de la sección clástica de la Fm Rayoso presente una marcada sinuosidad.

El mecanismo de entrapamiento se considera combinado, estructural y estratigráfico, participando tanto la discordancia erosiva como la inclinación de los niveles arenosos de la Fm Rayoso en la formación de la trampa (**Figura 2**).

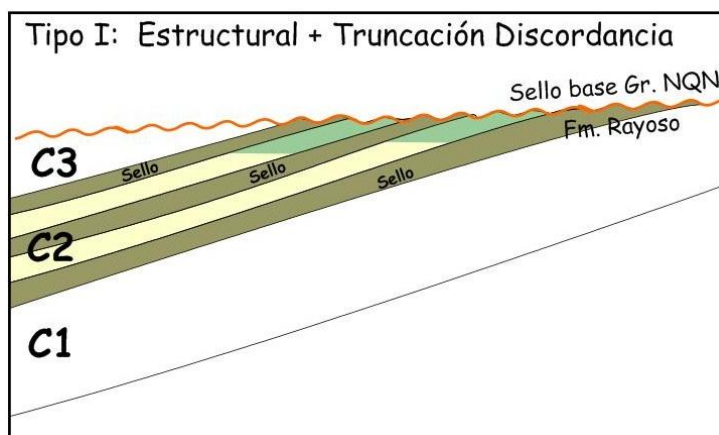


Figura 2 - Esquema del entrapamiento de la zona, producto de la truncación de los reservorios con la discordancia.-

El sello para las acumulaciones de hidrocarburos de la Fm. Rayoso está dado en el ámbito del yacimiento por un paquete de pelitas lacustres pertenecientes al Grupo Neuquén que, junto con a la acción erosiva de la discordancia Intersenoniana, conforman el sello vertical de la trampa. La estructura de esta región está dominada por suaves anticlinales, espolones y sinclinales producto de la inversión tectónica de estructuras extensionales previas.

Ambos trazadores (370 GBq de HTO y 5 Kg. de 3,5-DiFBA) fueron inyectados simultáneamente el día 07-09-2011, en el inyector convencional DBE.IA-92 del yacimiento Desfiladero Bayo Este. Este inyector afecta reservorios de la Fm Rayoso en las capas identificadas como RY4 y RY3 (**Figura 3**).

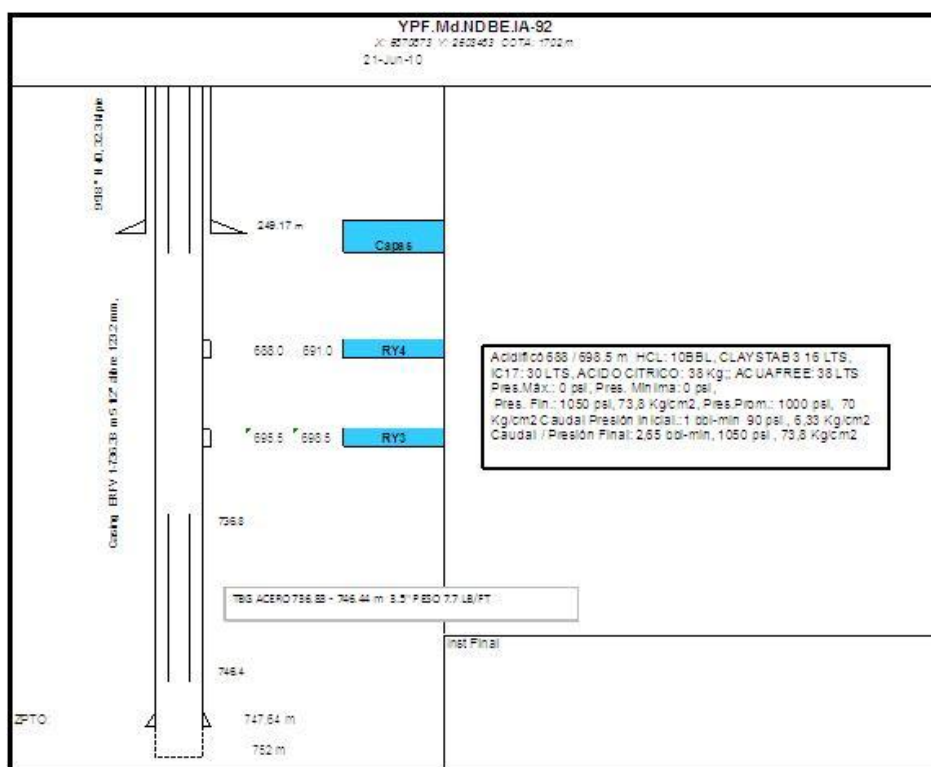


Figura 3 – Instalaciones del Inyector DBE.IA-92.-

El esquema de inyección y el perfil del pozo con sus características petrofísicas se observan en la **Figura 4** y **Figura 5** respectivamente.

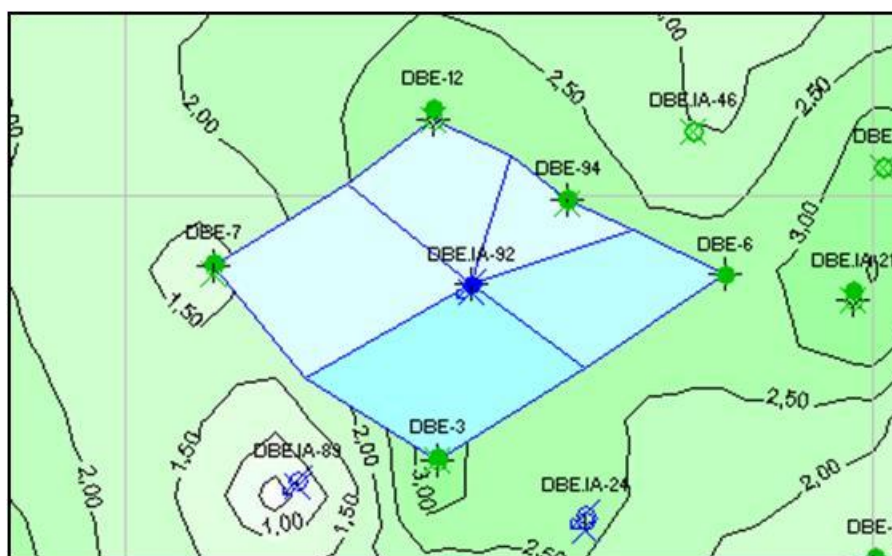


Figura 4 – Esquema de Inyección.-

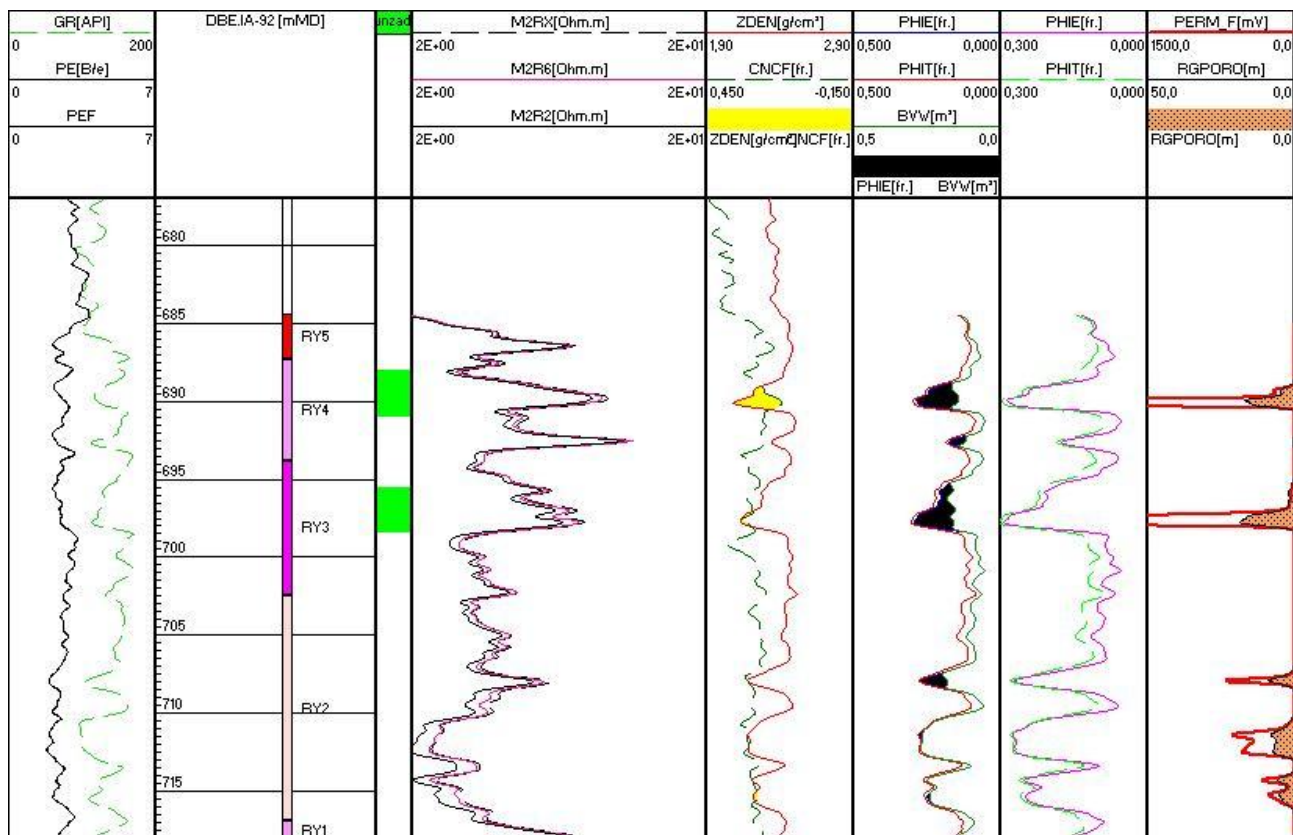


Figura 5 - Características Petrofísicas de DBE.IA-92.-

La conectividad de este inyector con los pozos vecinos se muestra a continuación en la Figura 6 y Figura 7.

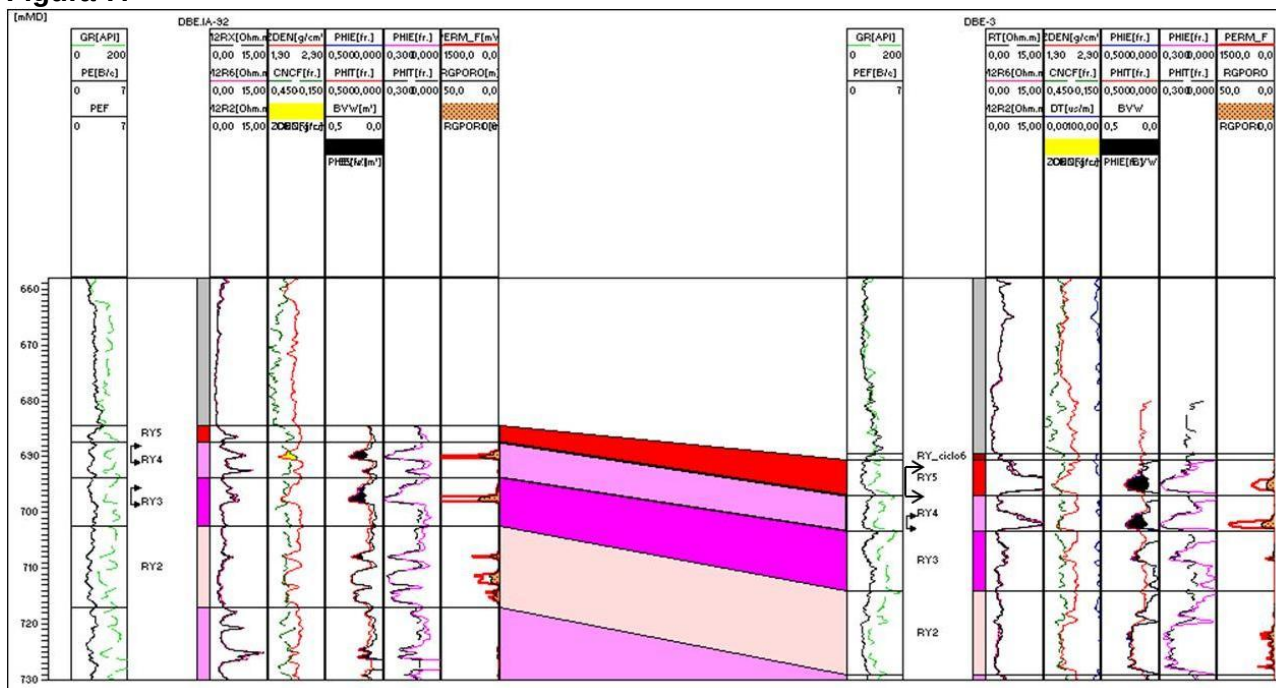


Figura 6 - Corte esquemático de la conectividad entre DBE.IA-92 y DBE-3.-

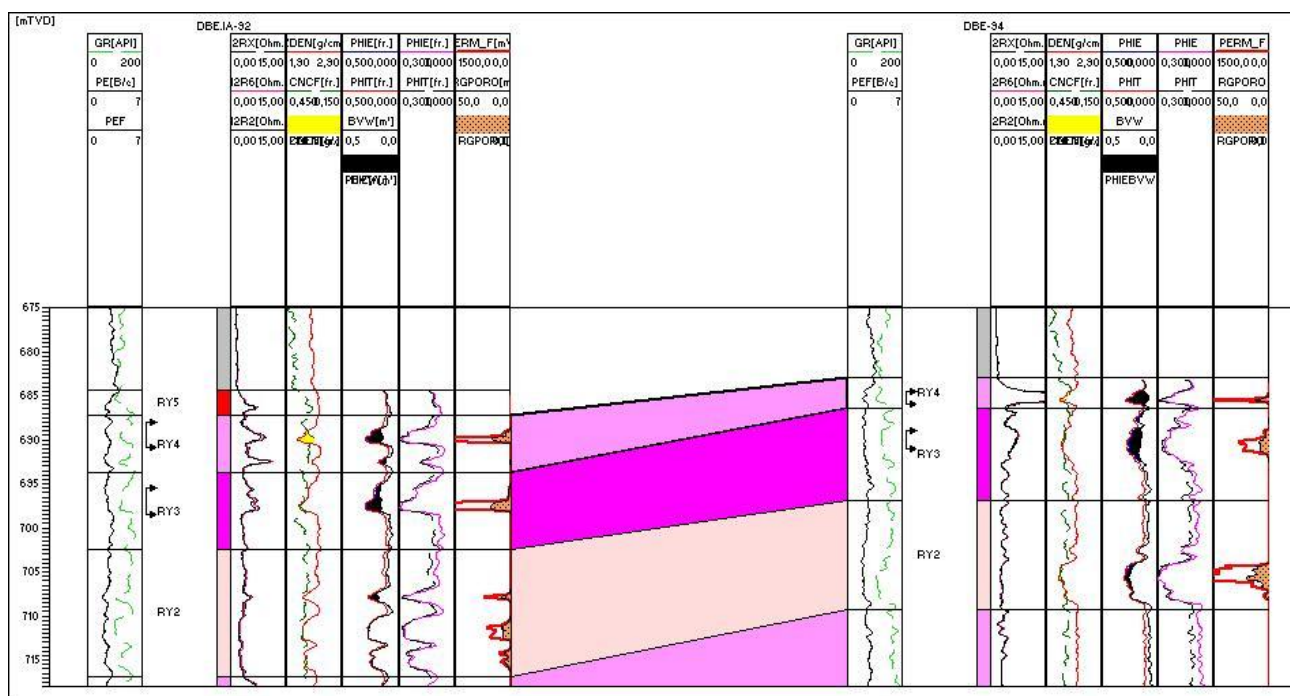


Figura 7 - Corte esquemático de la conectividad entre DBE.IA-92 y DBE-94. -

Resultados

Luego de más de once meses de controles se han observado detecciones importantes de los trazadores sobresaliendo las del pozo DBE-94 (**Figura 8**). Sorprendentemente y en un lapso de tiempo muy acotado luego de la irrupción en el DBE-94, también han aparecido los trazadores en el DBE-46, pozo de segunda línea ubicado detrás del DBE-94 (pozo que rápidamente se cerró). Por último, a partir del día 200, se han comenzado a observar los trazadores de manera muy clara en el pozo DBE-3. En todos los casos fueron detectados ambos trazadores inyectados. Particularmente, el caso del productor DBE-94, por haber tenido la irrupción mas temprana es el que cuenta con el mayor desarrollo del registro. Por este motivo el análisis se focaliza sobre este pozo. En la **Figura 9** se aprecia la evolución de la recuperación fraccional de trazador por metro cúbico de agua producida en el pozo DBE-94, parámetro definido como:

$$f_{rec-m3} = \frac{C_{trazador}}{m_{inyectada}} \quad (3)$$

En la Ec.3, “ $C_{trazador}$ ” es la concentración de trazador (medida) y “ $m_{inyectada}$ ”, la masa de trazador que se ha inyectado en el inyector de la malla.

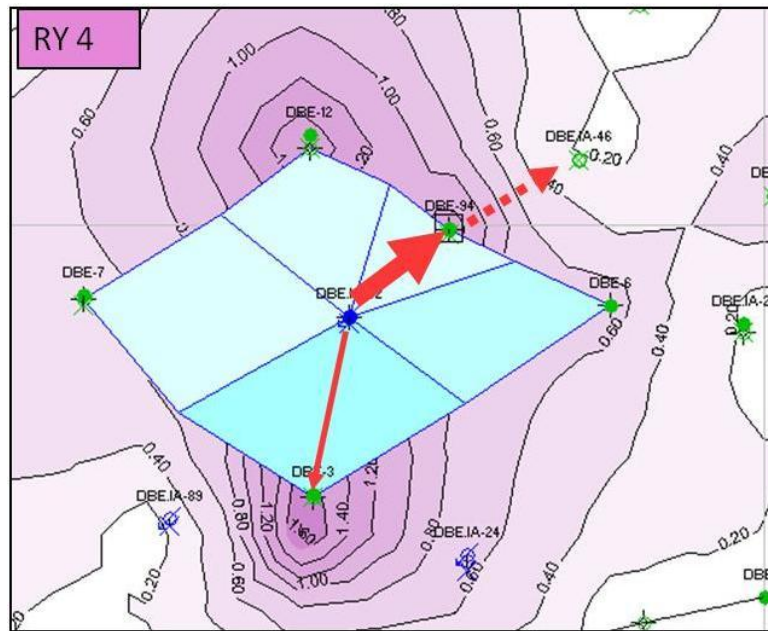


Figura 8 - Pozos con irrupción de trazadores.-

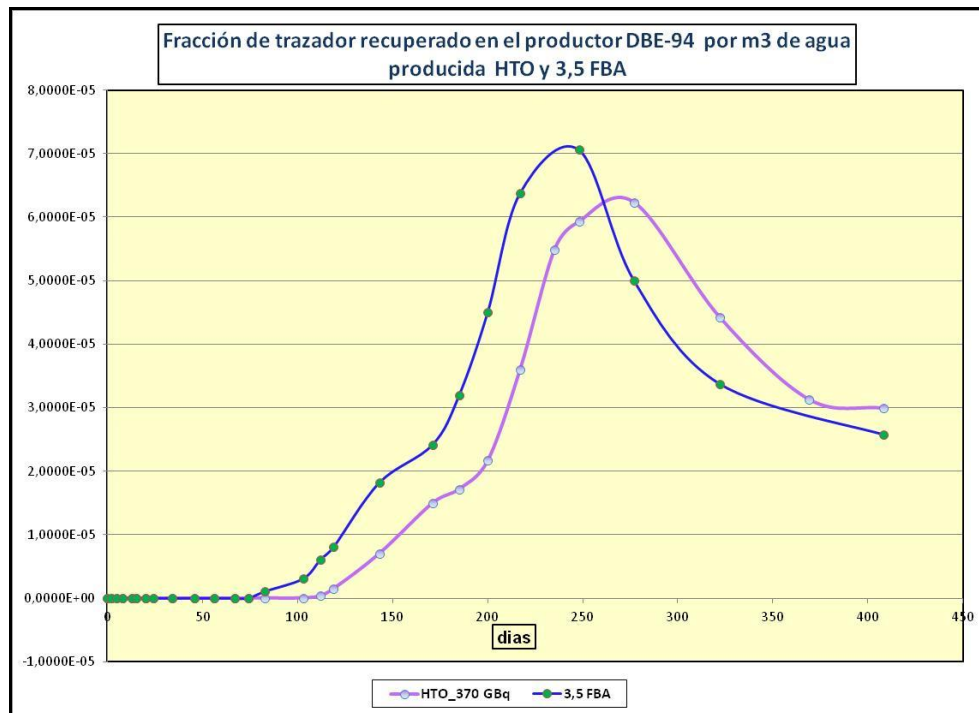


Figura 9 - Registros de recuperación fraccional de trazador por metro cúbico de agua producida. Pozo DBE-94.-

En cuanto al aspecto de los registros, claramente se observa un adelanto del registro del trazador 3,5-DiFBA respecto al de HTO. Esto también fue observado en las irrupciones de los trazadores en el pozo DBE-3, aunque en menor cuantía en términos relativos al tiempo de irrupción (**Figura 10**).

La **Figura 11** expresa que es mayor la recuperación fraccional acumulada del trazador 3,5-DiFBA en el pozo DBE-94 (definida por la Ec.4), pero los valores evolucionan tendiendo a igualarse. Al respecto, la diferencia al día 408 es bastante pequeña: 14.3% (para el 3,5-DiFBA) y 13.0% (para el HTO).

$$f_{rec-acu} = \int_0^t \frac{q_{w_p} C_{trazador}}{m_{inyectada}} dt \quad (4)$$

En la Ec.4, **qwp** es el caudal de agua producida por el pozo.

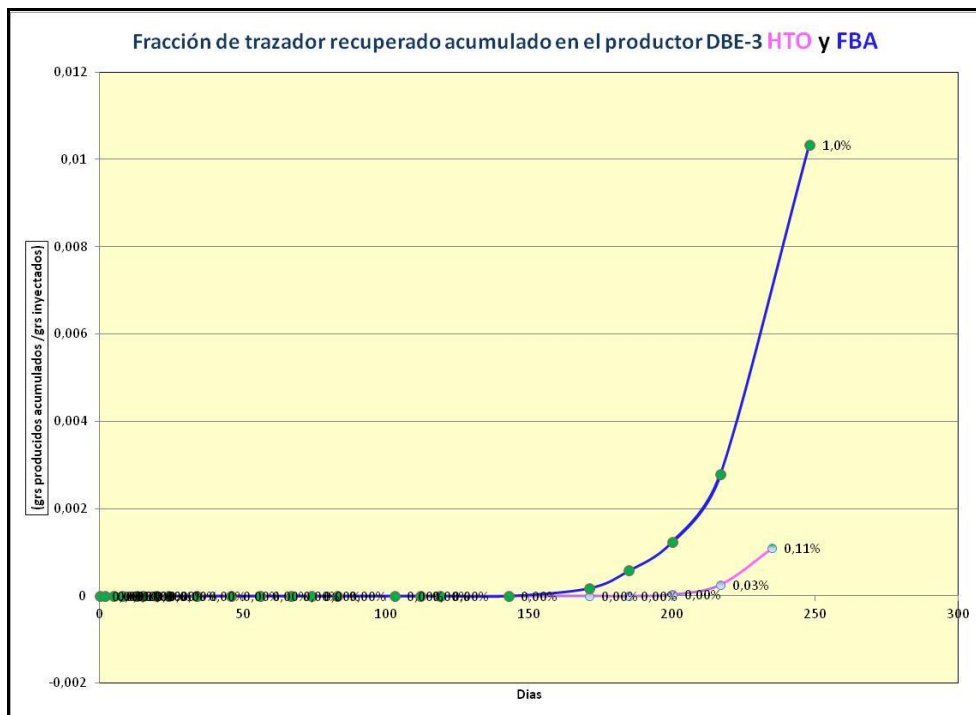


Figura 10 - Registros de recuperación fraccional de trazador por metro cúbico de agua producida. Pozo DBE-3.-

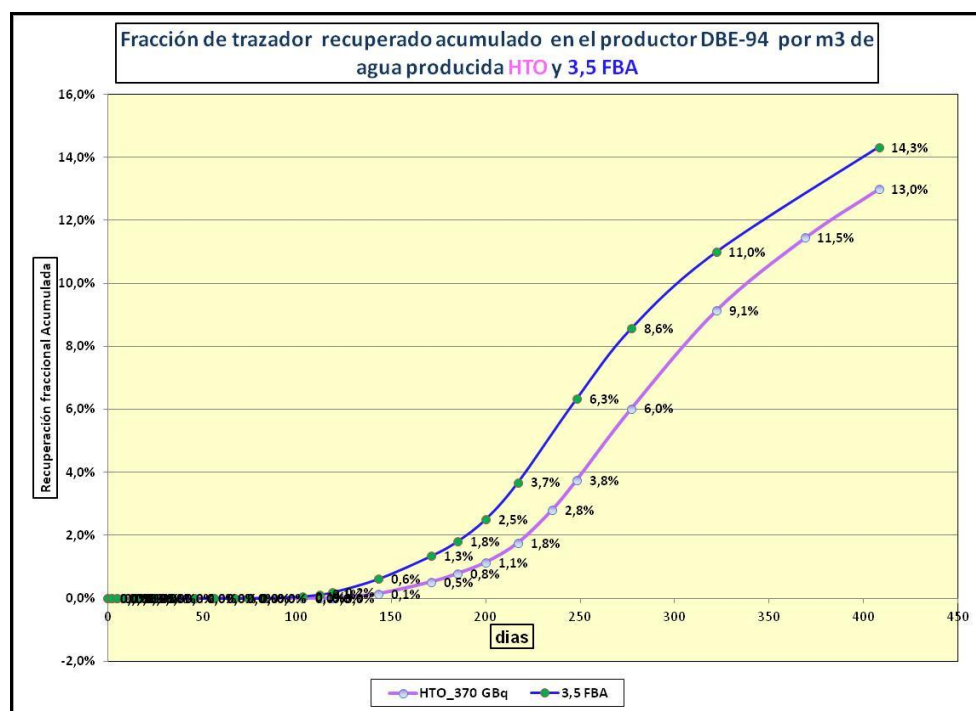


Figura 11 - Registros de recuperación fraccional acumulada de trazado. Pozo DBE-94.-

Con respecto al volumen contactado por ambos trazadores en el pozo **DBE-94**, podemos observar que los valores tienden a alinearse hacia el final de las mediciones actuales. En el día 408 el volumen contactado por el trazador HTO es de **1635.4 m³**, mientras que el contactado por el trazador FBA es de **1620.6 m³**, una diferencia ínfima a los efectos de cálculos para tomar una acción correctiva.

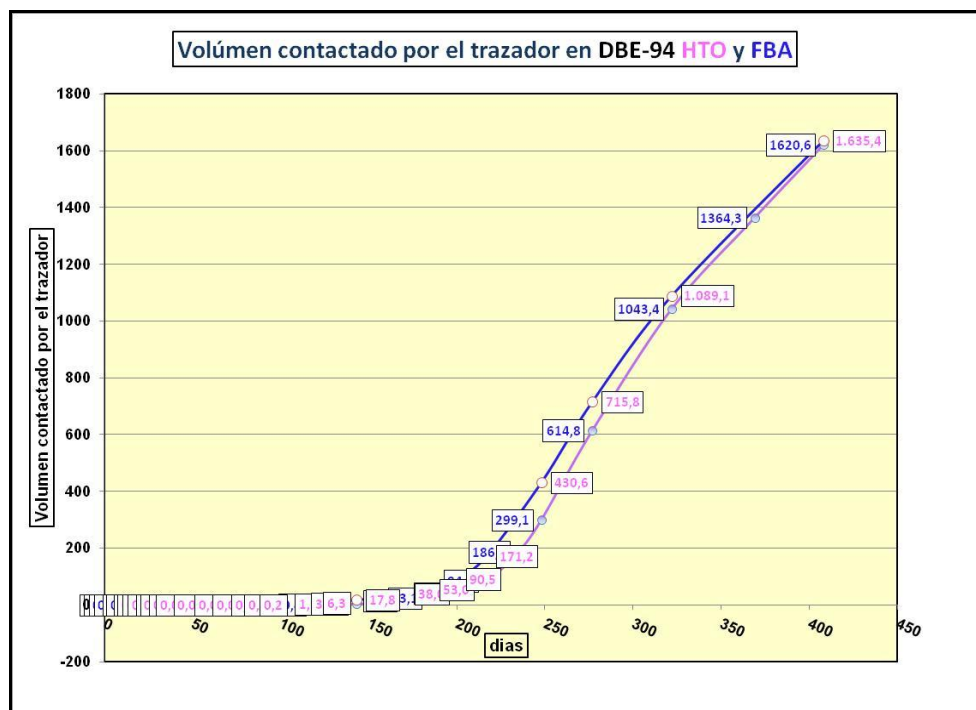


Figura 12 – Volumen contactado por ambas especies en pozo DBE-94.-

COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

Si bien ambos trazadores son considerados pasivos (o conservativos), en esta experiencia el registro del trazador **3,5-DiFBA** experimenta un **adelanto** respecto al del **HTO**. Las **recuperaciones acumuladas** son muy **similares** y la tendencia de los registros es convergente, de manera que la retención en el medio resultaría similar (se considera que la retención del HTO es insignificante).

El **volumen contactado** por ambos trazadores **difieren** al momento en **menos del 1%**, pero la tendencia que muestran los registros anticipa su cruce, por lo cual el trazador HTO pasará a reportar mayor volumen luego del día 400. No obstante las diferencias son pequeñas lo que no afectaría al momento de decidir acciones correctivas, como por ejemplo una inyección de químicos para corregir la recirculación de agua de inyección.

A fin de caracterizar el transporte de FBAs se han llevado a cabo numerosas experiencias a escala de laboratorio, en freáticas y en acuíferos profundos (Bowman, 1984; Boggs & Adams, 1992; Bowman & Gibbens, 1992; Benson & Bowman, 1994; Jaynes, 1994; Seaman, 1998; Hu, & Moran, 2005; Seaman et. al, 2007), siendo escasa la literatura científica que reporta ensayos en reservorios de petróleo con los mismos objetivos.

Los autores coinciden en resaltar el **transporte conservativo** de los **FBAs**, aunque dependiente de las condiciones del medio:

- **pH:** debido a que los FBA, son ácidos orgánicos, a un pH cercano a su pKa, gran proporción de los compuestos se encontrarían en forma de moléculas neutras. Sin embargo, a pH mayor a 5,8, más del 99% de los FBAs se encuentra en forma ionizada. Sus pKa están en el rango de 2,7 a 3,8, por lo que a pHs mayores a 5,8, más del 99% de los FBAs se encuentran en forma ionizada (Bowman, 1984; Bowman & Gibbens, 1992; Benson & Bowman, 1994).
- **contenido de arcilla:** a pH bajo tanto arcillas como óxidos de Hierro, exhiben cargas positivas debido a la saturación del medio por parte de H^+ (Benson & Bowman, 1994). De esta manera, adsorben aniones reversiblemente, lo que se conoce como **capacidad de intercambio de aniones (CIA)**, que es entre 1-20% la **capacidad de intercambio de cationes (CIC)** (Conti, 2000).
- **contenido de materia orgánica:** las sustancias húmicas, a pH bajo poseen una alta CIA y además por interacciones de Van der Waals captan moléculas orgánicas neutras, lo que también ocurre a pH neutro (Conti, 2000).

La formación Rayoso presentaba pH=7,5-8, nulo contenido de materia orgánica y entre 3-4% de arcillosidad (**Figura 13**). Dentro de este porcentaje existe una gran proporción Caolinita e Illita, las cuales se caracterizan por las CIC más bajas debido a su escasa sustitución isomórfica, con lo que a pH bajo, la CIA será más baja aún (Conti, 2000).

Teniendo en cuenta estas condiciones, se presume que el 3,5-DiFBA se desplazó a través de la formación en forma aniónica. Por lo que:

- **no existiría adsorción** sobre arcillas, debido a la repulsión entre cargas y a la baja CIA.
- la presencia de aniones inorgánicos pequeños (tales como Cl⁻ y Br⁻) debido a la salinidad del agua de formación, generarían exclusión aniónica del trazador FBA (Seaman, 1998; Serres-Piole et. al 2012), lo que produciría que el **trazador** acceda a un **espacio poral más restringido, disminuyendo** hasta un **10%** el volumen poral al que el trazador accede (Shook et. al, 2004). El mismo efecto podría producirse debido al mayor tamaño molecular del 3,5-DiFBA frente al HTO, privilegiándose así su tránsito por las zonas de mayor velocidad. Según (Hoehn & Roberts, 1982; Seaman et. al, 2005) este tipo de procesos en determinadas circunstancias puede derivar en la **llegada anticipada de trazadores aniónicos** en comparación con HTO.

Como conclusión importante, se puede decir, que este estudio permite definir, que los trazadores Acidos Benzoicos Fluorinados son una alternativa aplicable a los estudios de diagnóstico en la Recuperación Secundaria.

ESTUDIO POR DIFRACTOMETRIA DE RAYOS X																																		
Pozo	Muestra	Profundidad (mbbp)	Roca Total (%)																Fracción Arcillas															
			Cuarzo	Feldes-patos		Arcillas	Carbonatos				Ceolitas			Sulfatos		Epita	Baritina	Magnetita	Otros	Esmeclita		Clorita		Interestratificados						Ilita		Caolinita		Impurezas
				K	Pl		Ca	D	S	Dw	A	Cl	L	Y	An					%	Cr	%	Cr	Ilita-esmeclita			Clorita-esmeclita			%	Cr	%	Cr	
																								%	Cr	CE	%	Cr	CE					
YPF.Md.NDBE-30	#1 Box3 Trozo 50	E (689,62)	71	10	9	3	T	2	T							T		5	T		T		10	M	NC				25	B	65	MB	e:Q,F,D,Dw	
YPF.Md.NDBE-57	#1 Box16 Trozo 14	F (812,71)	42	7	19	4	18	5								T		5	65	M	T		5	M	NC	T			5	B	25	B	e:Q,F,Ca,D	
RAYOSO CICLO 2																																		
REFERENCIAS																																		
K: potásicos							Ca: calcita				A: analcima				Y: yeso				CE: capas expansivas				B: buena		abr: abundante		Q: cuarzo							
Pl: plagioclasas							D: dolomita				Cl: clinoptilolita				An: anhidrita				NC: no cuantificables				R: regular		es: escaso		F: feldespatos							
Tr: trazas							S: siderita				L: laumontita				Cr: cristalinidad				MB: muy buena				M: mala											

Figura 13 - Caracterización de la formación por DRX

REFERENCIAS

- 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.-
- Boggs, J.M. & Adams, E.E., 1992.- Field study of dispersión in a heterogeneous aquifer: 4. Investigation of adsorption and sampling bias. Water Resources Research. 28 (12): 3325-3336.
- 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.
- Conti, M.E., 2000.- Principios de la Edafología: énfasis en suelos argentinos. Editorial Facultad de Agronomía – UBA. Buenos Aires, Argentina. 430pp.
- 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.
- Hoehn, E. & Roberts, P.V., 1982.- Advection-dispersion interpretation of tracer observations in an aquifer. Ground Water 20 (4):457–465.

- Hu, Q. & Moran, J.E, 2005.- Simultaneous analyses and applications of multiple fluorobenzoate and halide tracers in hydrologic studies. *Hydrological Processes*. 19: 2671 – 2687.
- IAEA, 2012.- Application of Radiotracer Techniques for Interwell Studies. IAEA Radiation Technology Series Nº 3, 2012, (248 pp).
- Jaynes, D.B., 1994.- Evaluation of Fluorobenzoate Tracers in Surface Soils. *Groundwater*. 32 (4): 532 – 538.
- Käss, W.; 1998.- Tracing Technique in Geohydrology. A. A. Balkema. Rotterdam. 584pp.
- 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.
- Shook, M.G., Ansley, S.L. & Wylie, A., 2004.- Tracers and Tracer Testing: Design, Implementation, and Interpretation Methods. INEEL-IWRRI-USDOE. Idaho Falls, EUA. 36pp.-
- Zemel, B.; 1994.- Tracers in the Oil Field. Elsevier Health Sciences, New York, USA. 571pp.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los directivos de la Regional Mendoza de YPF que nos permitió poder compartir esta experiencia.