

INTERPRETACIÓN Y USO DE LOS ENSAYOS CON TRAZADORES

Marcelo A. Crotti, Inlab S.A. mcrotti@inlab.com.ar; **Walter Daniel Daparo**, CAPSA, walter.daparo@grupocapsa.com.ar; **Gastón Fondevila**, CAPSA, gaston.fondevila@grupocapsa.com.ar; **Norberto Galacho**, Inlab S.A. ngalacho@inlab.com.ar; **Diana Masiero**, Inlab S.A. dmasiero@inlab.com.ar; **Julián Bardelli**, Inlab S.A. jbardelli@inlab.com.ar

Este artículo fue preparado para su presentación en el Congreso de Producción del Bicentenario, efectuado entre el 18 y 21 de Mayo de 2010 en la ciudad de Salta, Provincia de Salta, República Argentina.

Sinopsis

El empleo de trazadores constituye una técnica de amplia aplicación para el estudio, entre otras cosas, de comunicaciones entre pozos y eficiencias de contactado entre fluidos^{1,2,3,4,5}.

Sin embargo, su empleo rutinario está limitado por algunas características que están vinculadas tanto a la formulación de dichos trazadores como a la correcta cuantificación e interpretación de los resultados.

En este trabajo, con ejemplos de campo y con ayuda de modelos geológicos conceptuales, que contemplan la heterogeneidad propia de los reservorios naturales, se analiza en detalle algunas de las preguntas más relevantes vinculadas al empleo de esta herramienta de evaluación de reservorios.

Las preguntas analizadas son las siguientes:

- ¿Por qué, en muchos ensayos de trazadores se recupera un bajo porcentaje del total inyectado?
- ¿Cómo debe interpretarse el ensayo de trazadores cuando se presenta la situación mencionada en la pregunta anterior?

Se presentan resultados en modelos heterogéneos de laboratorio y mediciones en reservorio.

Introducción

Los trazadores se utilizan como herramienta cualitativa y cuantitativa en la descripción de reservorios y sus heterogeneidades. En secundarias avanzadas, uno de sus usos principales es el de identificar canalizaciones y comunicaciones entre inyectores y productores para diseñar tratamientos que permitan optimizar la eficiencia volumétrica de barrido.

Una de las desventajas habituales asociadas al empleo de trazadores se vincula con los tiempos muy prolongados, necesarios para completar una recuperación mayoritaria de los mismos y con la dificultad de realizar interpretaciones parciales mientras se completa dicha recuperación.

Además el empleo de trazadores con baja recuperación final suele generar algunas dudas, tales como la posible pérdida de pulsos “tempranos” o la comunicación del inyector estudiado con pozos más alejados de los incluidos en el muestreo sistemático.

En función de las dificultades mencionadas, los objetivos principales del presente trabajo son los de analizar algunos conceptos básicos relacionados a la utilización de trazadores, discutir las metodologías y criterios de cálculo relacionados a las recuperaciones obtenidas y sugerir algunas prácticas sencillas para minimizar el margen de dudas en la etapa de interpretación.

Desarrollo

Sólo a modo de ejemplo general, a continuación se presentan los resultados experimentales de un estudio de trazadores realizado en el yacimiento Diadema.

Tal como se mencionó en los objetivos de este trabajo, no se hará hincapié en las conclusiones directas de este estudio, sino en las dudas surgidas durante la etapa de interpretación del mismo.

El estudio de trazadores se realizó sobre una malla con tres pozos productores asociados (*Figura 1*). El mismo se realizó mediante la inyección de 740 GBq de tritio en forma de agua tritiada en una única capa del pozo inyector.

Los tres pozos respondieron a la inyección de trazador haciéndolo primero el P2 (a los 43 días), luego el pozo P3 (a los 78 días) y por último el pozo P1 (a los 232 días). Los gráficos de concentración de trazador y porcentaje recuperado en función del tiempo pueden verse en la *Figura 2* y en la *Figura 3* respectivamente.

Como se aprecia en ambos gráficos, el pozo P2 recuperó el 32% de la actividad de trazador inyectada, mientras los pozos P1 y P3 recuperaron, cada uno, menos del 1%. Luego de 280 días, el 65% del trazador inyectado no había sido recuperado.

Ante este resultado surgen las siguientes preguntas:

- ¿Qué sucedió con el porcentaje de trazador no recuperado aún?
- ¿Se debe asignar el trazador no recuperado en la misma proporción a lo recuperado?
- ¿Es correcto considerar que el pozo que recibe mayor caudal es el P2?

Para responder globalmente a los interrogantes planteados, a continuación se analiza el comportamiento de los trazadores en esquemas regulares (patterns) de “inyectores” y “productores” establecidos sobre estructuras heterogéneas de laboratorio.

En particular el estudio a analizar se llevó a cabo en celdas de laboratorio con un “pattern” de inyección del tipo “nine-spot” invertido (*Figura 4*).

Para ello se utilizó una celda areal que reproduce un cuarto del “nine-spot” (un inyector y tres productores) por lo que el resultado se puede luego extender al “pattern” completo. Dicha celda representa un cuerpo poroso mayoritariamente “homogéneo” con un canal de alta permeabilidad uniendo el pozo inyector con uno de los pozos productores (*Figura 5*). El canal tenía una permeabilidad del orden de 100 Darcy y el resto del volumen de la celda una permeabilidad cercana a los 10 Darcy.

La celda fue saturada al 100% con agua y se comenzó luego la inyección de este fluido, a presión constante, controlando los caudales de producción.

Un vez que los caudales de producción estuvieron estabilizados, se inyectó una cantidad conocida de una solución de cloruro de sodio (NaCl). Se utilizó cloruro de sodio debido a su facilidad para manipulación y cuantificación en laboratorio.

Una vez inyectado el trazador se comenzó la recolección del agua producida en los tres “productores” y se cuantificó por titulación, la masa de cloruro de sodio recuperada en cada intervalo de tiempo (*Figura 6*).

Luego de un (1) volumen poral inyectado se obtuvieron las recuperaciones instantáneas y acumuladas mostradas en la *Figura 7* y la *Figura 8*. Allí se expresa la recuperación como porcentaje respecto del total del trazador inyectado.

La *Figura 9* y la *Figura 10* muestran la recuperación de trazador en función de los volúmenes porales inyectados (VPI) luego de dos volúmenes porales inyectados. La recuperación total, en los tres “productores”, luego de inyectar dos volúmenes porales, fue de 84% del total de trazador inyectado.

Con el objetivo de visualizar el movimiento del fluido se repitió la experiencia pero con un colorante como trazador, fotografiando en secuencia el avance del trazador dentro de la celda. La secuencia fotográfica se muestra parcialmente en la *Figura 11*.

A efectos de estudiar si lo que se observa en la celda de laboratorio es sólo un fenómeno propio de la escala de laboratorio o puede escalarse a nivel de reservorio, se realizó un modelo de simulación con condiciones similares, pero a escala de campo (300 m x 300 m x 4 m, ancho del canal: 30 m). Los resultados se pueden apreciar en la *Figura 12*.

Análisis de los resultados

El análisis de este experimento de laboratorio muestra la forma correcta de interpretar un ensayo de trazadores.

Típicamente, con resultados parciales, como los incluidos hasta la *Figura 8*, con la inyección acumulada de 1VP, se podría optar por dos formas de computar los resultados:

1) **Cálculo Relativo:** Los porcentajes de cada pozo productor se calculan **respecto al total del trazador recuperado**.

2) **Cálculo Absoluto:** Los porcentajes de cada pozo productor se calculan **respecto al total de trazador inyectado**. La parte del trazador no recuperado, se asume que está aún desplazándose por el reservorio y no fue producida aún por ninguno de los pozos.

En el primer caso se concluiría que el pozo “3” no está recibiendo aporte de agua desde el inyector y se asignarían aportes del 60% y 40% para los pozos “2” y “4” respectivamente.

Como se puede apreciar del diseño del experimento y de los resultados acumulados luego de 2 VPI (*Figura 9* y *Figura 10*), dicha evaluación sería incorrecta.

La única forma adecuada de evaluar los resultados de estos estudios es con un cálculo absoluto. Sin embargo este resultado muestra también la mayor debilidad de estos estudios. Si el empleo de trazadores se diseña para entender la distribución completa de flujo, a partir de un determinado inyector, el análisis de los resultados debería esperar hasta obtener una recuperación casi completa o, en todo caso, no menor al 80%, con el fin de reducir la incertidumbre al 20% del flujo total. Y esta condición suele requerir varios años de seguimiento, en yacimientos que, si son dinámicos, con cambios en caudales, patterns y número de pozos involucrados, tornan obsoleta toda interpretación que involucre períodos muy prolongados.

Más importante aún es la conclusión visual y analítica acerca de que, probablemente, el agua asociada al trazador aún no colectado esté cumpliendo una excelente función de barrido, contactando extensas áreas del reservorio.

Aún luego de 2 VPI, no se ha podido recuperar el 100% del trazador pero se pueden calcular los porcentajes del caudal correspondiente a cada pozo. En la *Tabla 1* se comparan los resultados obtenidos por ambos métodos de cálculo.

Conclusiones y Recomendaciones

El análisis efectuado permite derivar las siguientes conclusiones:

- Se pudo observar mediante una experiencia de laboratorio, los errores que se cometerían al computar los caudales utilizando un método de cálculo relativo al total de trazador recuperado, en lugar de realizarlo respecto del total de trazador inyectado. Adicionalmente, cuanto antes se corta el ensayo y menor es el porcentaje de trazador recuperado, mayor es el error cometido en el cálculo relativo.
- La proporción de trazador recuperado es una medida directa del porcentaje de agua que circula entre pozos. Esta medida es independiente de la medición de otros pozos.

Por otro lado, teniendo en cuenta la duración de este tipo de ensayos y el costo de recolección y análisis de muestras, así como el distanciamiento de los puntos de muestreo, que dificultan la colección de muestras simultáneas, consideramos adecuado señalar algunas prácticas destinadas a facilitar la interpretación de los resultados:

- Deben utilizarse trazadores cuyo factor de recuperación sea conocido. La fracción no detectada, a un determinado tiempo de medición, se debe asumir que sigue trasladándose por el reservorio. Para garantizar que ésa es la situación, se recomienda fuertemente hacer al menos un ensayo conjunto de agua tritiada y los otros potenciales trazadores a emplear para comparar tiempos de retención en reservorio y recuperaciones absolutas de los otros trazadores. El agua tritiada puede usarse como patrón de referencia para mediciones comparativas pues su distribución volumétrica y temporal es idéntica a la que sufre el resto del agua de inyección.
- Se recomienda, para la utilización en campo, inyectar el trazador empleando un “pulso” de no menos de 12 horas de duración. Esta práctica ayudaría a evitar la posible pérdida de “picos tempranos” en los pozos productores.
- Además de los pozos asociados por cercanía al inyector, se debe incluir en los muestreos tempranos todos los pozos que hayan mostrado alguna respuesta de niveles respecto a cambios en dicho inyector.

- Más adelante, el muestreo de los pozos más alejados puede hacerse con un espaciamiento temporal mucho mayor que el definido para los pozos de muestreo rutinario. Esta muestra periódica tendría fines sólo cualitativos hasta que se detecte (si fuera el caso) una señal positiva. A partir de ese momento, el estudio pasaría a cuantitativo para los pozos en los que se detecte el trazador.

Referencias

- 1- Experimental Study of Waterflood Tracers, GREENKORN, ROBERT A., JERSEY PRODUCTION RESEARCH CO (SPE 169-PA)
- 2- Field Evalution of Waterflood Tracers in a Five Spot, D. H. SMITH, CONTINENTAL OIL CO.; W. E. BRIGHAM, CONTINENTAL OIL CO (SPE 65-108)
- 3- Tracers in the Oil field, B. ZEMEL (Elsevier)
- 4- Evaluación de la Eficiencia Volumétrica de Barrido mediante Trazadores en un Proyecto Maduro de Recuperación Secundaria del Yacimiento Chihuidos de la Sierra Negra. CLAUDIO FONSECA, NÉSTOR BARROS (REPSOL YPF) Y CARLOS SOMARUGA (UNCOMAHUE) 2das. Jornadas Nacionales de Recuperación Secundaria y Asistida IAPG 2005
- 5- Use of Radioactive Iodine as a Tracer in Water-Flooding Operations, J. WADE WATKINS, BUREAU OF MINES, AND E.S. MARDOCK, WELL SURVEYS INC. (SPE 349-G)

TABLAS

Pozo	Caudal medido	% Q real	% Recup @ 1 VPI cálculo abs.	% Qrel @ 1 VPI
	[ml/min]	[% Qi]	[% Qi]	[% Qi]
2	14.4	37	33	59
3	8.1	29	No asignable	0
4	10.2	34	23	41

Tabla 1: Caudales estabilizados en los pozos productores.

Se observa la diferencia entre el cálculo absoluto y relativo

FIGURAS

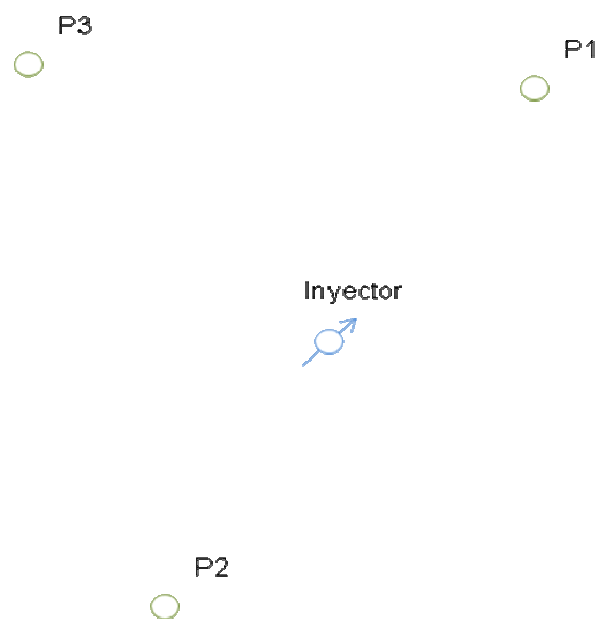


Figura 1 Esquema de inyección donde se realizó el estudio con tritio como trazador

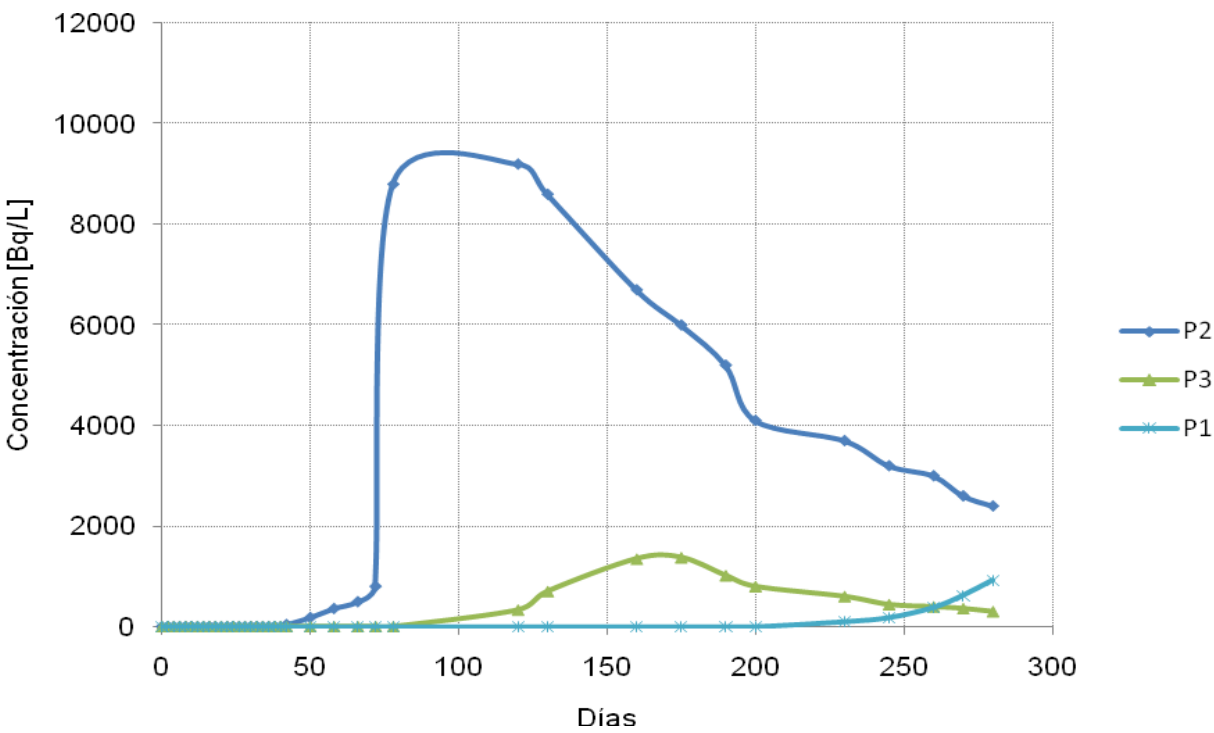


Figura 2 Concentración de trazador en función del tiempo

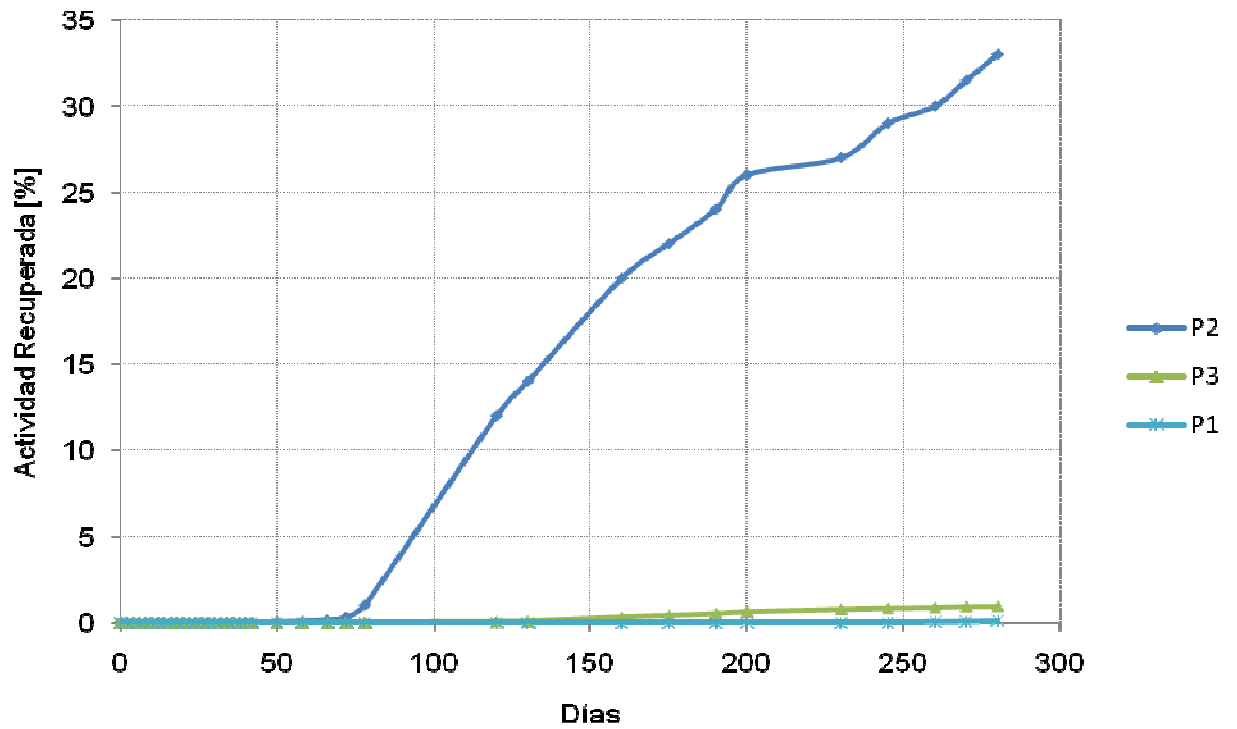


Figura 3 Recuperación del trazador en función del tiempo

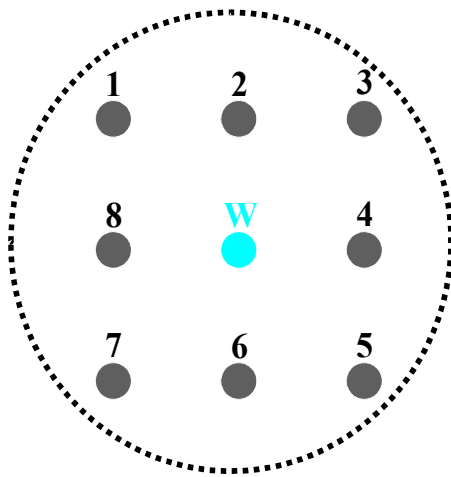


Figura 4 “Pattern” seleccionado para el estudio de laboratorio

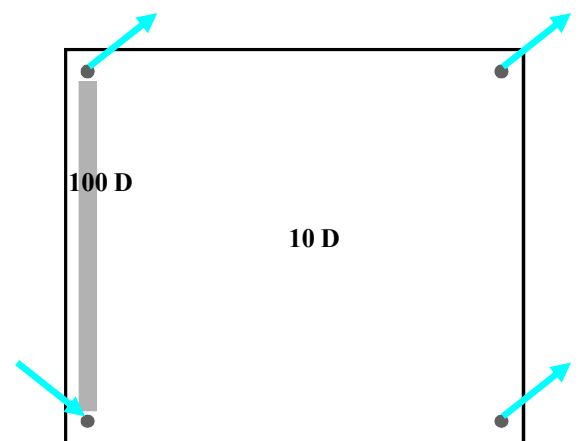


Figura 5 Diagrama de la celda utilizada y su esquema de inyección-producción

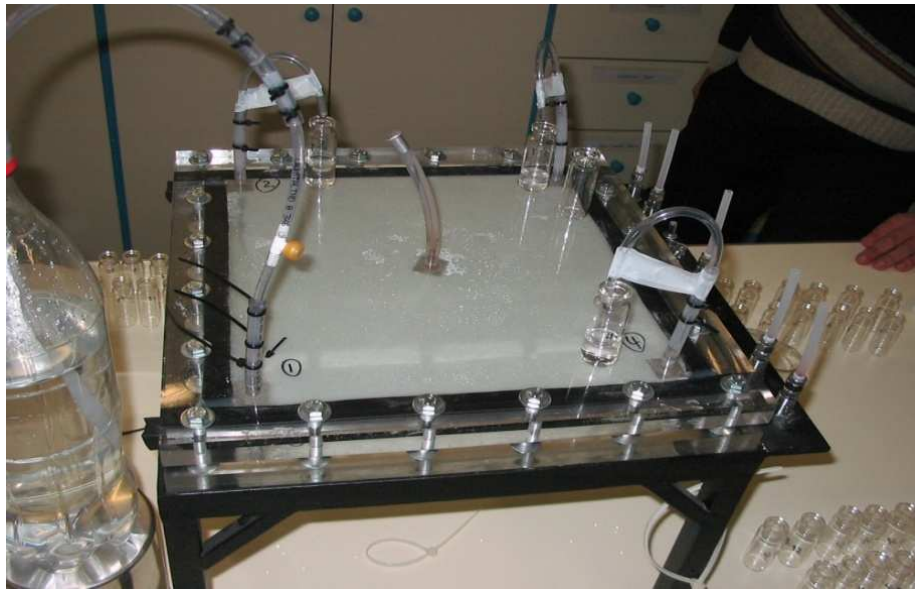


Figura 6 Celda utilizada en la experiencia

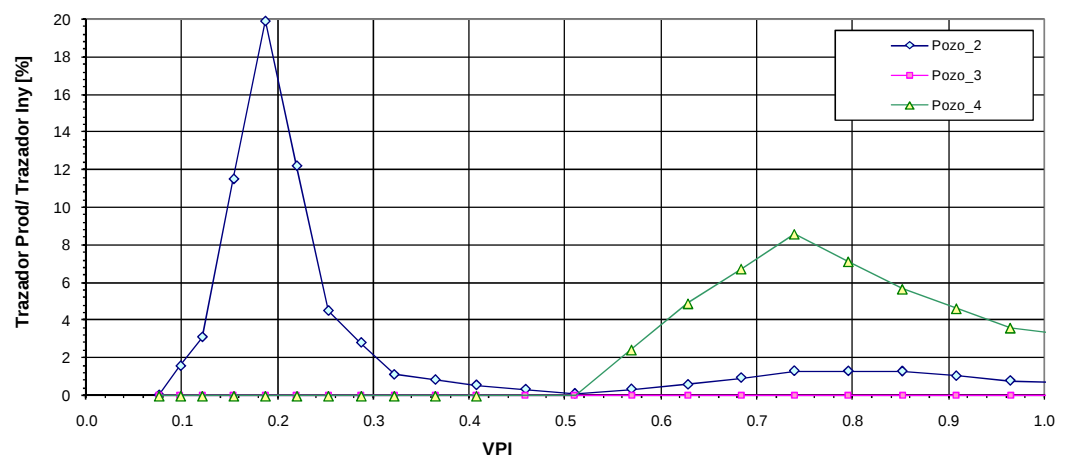


Figura 7 Porcentaje de trazador recuperado en cada intervalo, en función de los volúmenes porales inyectados (VPI), luego de un (1) volumen poral inyectado

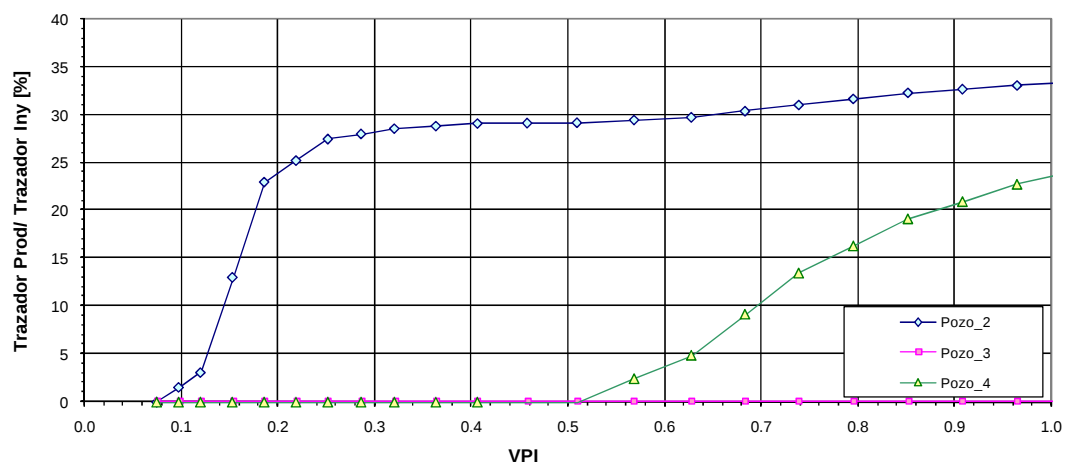


Figura 8 Trazador recuperado acumulado, en función de los volúmenes porales inyectados (VPI)

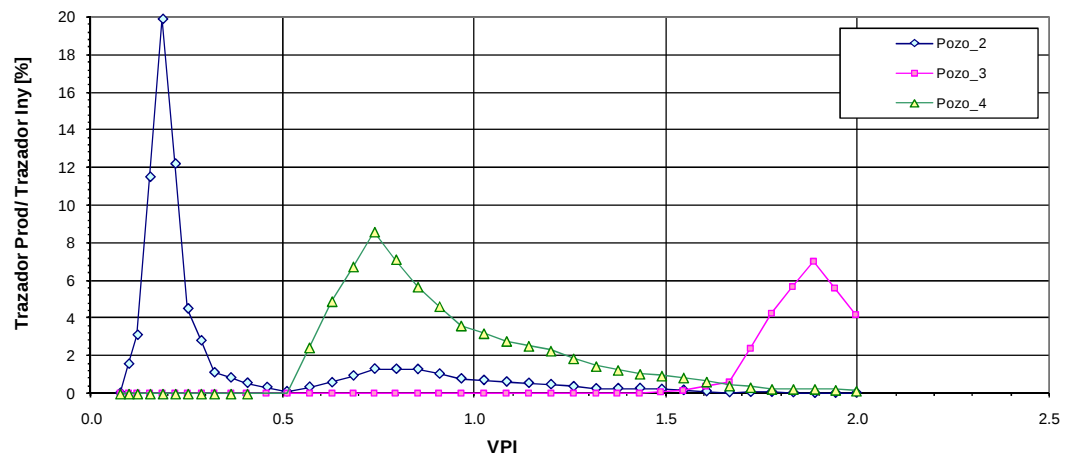


Figura 9 Porcentaje de trazador recuperado en cada intervalo, en función de los volúmenes porales inyectados (VPI), luego de dos (2) volúmenes porales inyectados

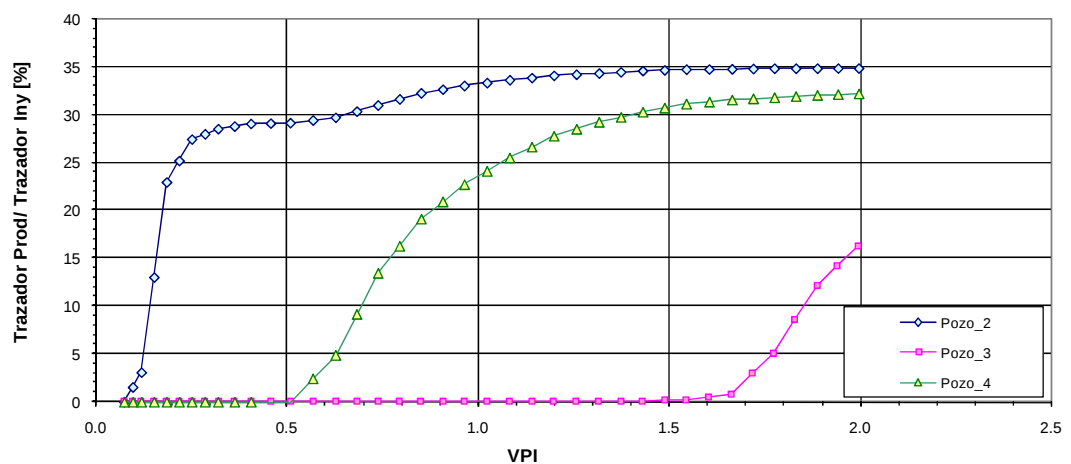


Figura 10 Trazador recuperado acumulado, en función de los volúmenes porales inyectados (VPI)

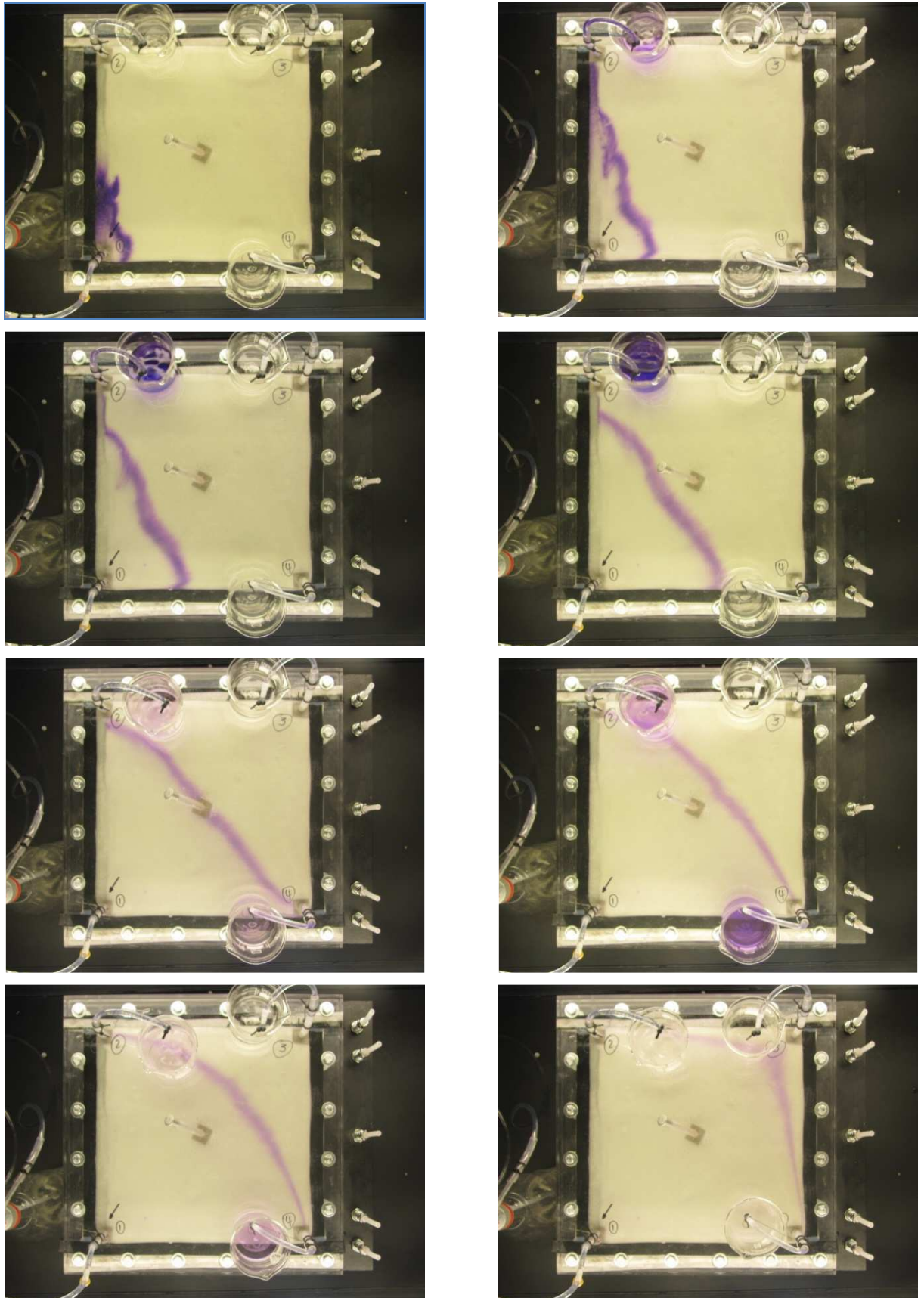


Figura 11 Secuencia fotográfica que muestra el movimiento del trazador (colorante) en el medio poroso

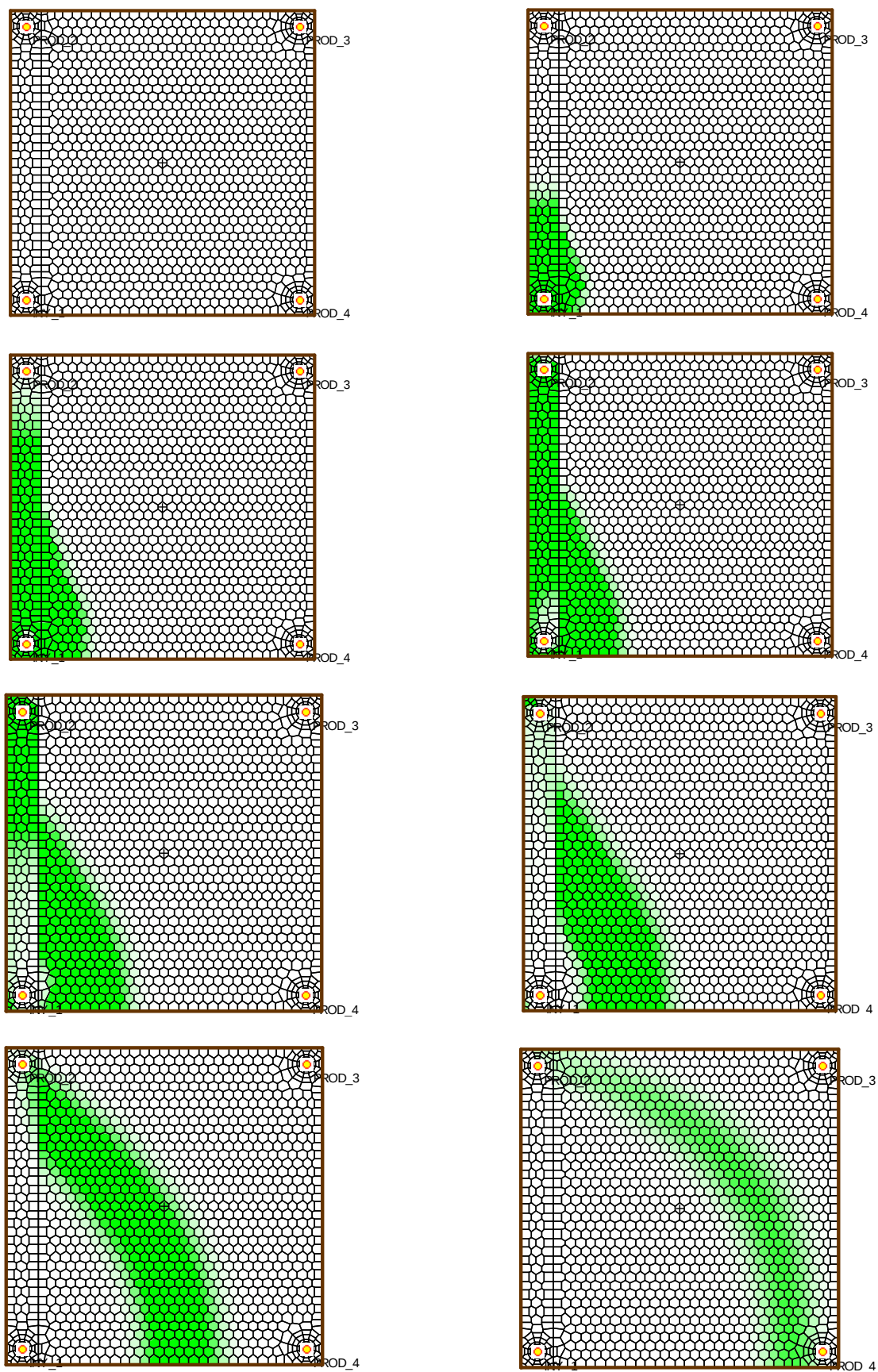


Figura 12 Secuencia del modelo de simulación a escala de campo mostrando el recorrido del trazador