

ENSAYOS DE FLUJO EN LISÍMETROS CON TRAZADORES QUÍMICOS Y RADIATIVOS

LÓPEZ-VERA, F. y MAHMOUD, M.

Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias C-VI.
Universidad Autónoma de Madrid.

Resumen

Con el fin de investigar las condiciones de flujo en la ZNS y los mecanismos de recarga del acuífero del Terciario detrítico de Madrid, se realizó una inyección de agua tritiada y otra con cloruro en un lisímetro de 1m³ de capacidad, siendo forzada la circulación mediante riegos periódicos.

La primera salida de agua tritiada se obtuvo un día después de la inyección, el pico de máxima concentración a los 81 días y la última medida detectada de la cola a los 228 días, lo que muestra la existencia de una intensa mezcla de agua.

Utilizando Cl⁻ como trazador, se recuperó el 89,2 %. El 50 % había pasado a los 68 días y el pico de máxima concentración se detectó a los 79 días. Se calcula la dispersividad intrínseca que es de 0,17 m, mucho menor que los obtenidos en ensayos de campo en pozos.

Abstract

In order to research the conditions of flow in the non saturated zone (NSZ) and the recharge mechanisms of the tertiary detritic aquifer of Madrid, tritiated water and water with chloride was injected into a 1 m³ capacity lisimeter. This water was periodically circulated.

The first outlet of tritiated water was obtained a day after injection, the peak of maximum concentration after 81 days and the last measurement detected after 228 days, which attests to an intense mix of water.

Using Cl⁻ as a tracer, 89.2 % was recuperated. 50% had passed after 68 days and the peak of maximum concentration was detected after 79 days. The intrinsic dispersivity was calculated as 0.17 m; much less than that obtained from field tests in wells.

Introducción

Los trazadores gozan de una tradición muy antigua en el estudio del agua subterránea ya que permiten una comprobación directa de su movimiento en el subsuelo. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones de épocas pasadas corresponden al estudio de fuentes en sistemas cársticos y a lo más en formaciones aluviales groseras. Los primeros trabajos científicos en medios porosos naturales, corresponden a finales del siglo pasado y principios del actual (Slichler, Thiem, etc.), pero su pleno valor no se ha desarrollado hasta después de 1950, cuando se empezaron a conocer con detalle los fenómenos de dispersión y reacción

con el terreno. Y como ya es sabido, el uso de ciertos isótopos naturales en el ciclo del agua nos aporta información sobre los distintos mecanismos y etapas que componen el mencionado ciclo.

Con el objeto de tener un mejor conocimiento del flujo de agua en la ZNS y de los mecanismos de recarga del Terciario detrítico de Madrid (cuya problemática general fue expuesta por López-Vera, F., 1977), se realizaron diversas experiencias en condiciones controladas mediante lisímetros. Los lisímetros se instalaron en la estación Hidro-climatológica de la U.A.M., en ellos se realizaron diversas experiencias de cálculo de balance de agua y balances químicos (Mahmoud, M. 1986) objetos de otros trabajos. En el que aquí se presenta se realizaron inyecciones de agua trazada con tritio y posteriormente con una alta concentración de cloruros al objeto de conocer la velocidad de tránsito y la dispersión que sufría el flujo en el interior del lisímetro.

Condiciones experimentales

La toma de datos climáticos y las experiencias lisimétricas se realizaron en la Estación Hidro-Climatológica de la UAM, que es una estación meteorológica completa, situada en Lat. 40° 32' 52" y Log. 3° 41' 27" (Datum internacional) y altitud de 713m.

En relación a la cuenca, el lugar se encuentra en el interfluvio entre los ríos Jarama y Manzanares y en una posición intermedia entre Madrid y el borde de la Sierra del Guadarrama, por lo que se considera la ubicación óptima y representativa, al estar casi en el centro de la porción de acuífero del Terciario detrítico de la Comunidad de Madrid.

El lisímetro en el que se realizó la experiencia está cubierto, figura 1, al fin de controlar las entradas. Tiene un metro cúbico de capacidad y posee un sistema de drenaje. Las entradas de agua están controladas por la aplicación de una dotación de riego periódico, siendo natural la evapotranspiración y el resto de los parámetros ambientales, de acuerdo con la metodología de Siwertz, E. (1973).

Las experiencias con este lisímetro se iniciaron con su saturación mediante un riego de 315 litros de agua. De este volumen de agua introducido artificialmente, obtuvimos al cabo de 36 horas, como agua de salida del lisímetro, unos 3 litros; es decir, fueron necesarios unos 312 litros para saturar un volumen de terreno de 1m³. En consecuencia, podemos calcular una porosidad total teórica del orden de 38,4% para dicho terreno.

En este lisímetro se realizaron dos tipos de experiencia: el cálculo de la evapotranspiración lisimétrica objeto del trabajo "Estudio experimental del flujo en lisímetros en la región de Madrid". Y el ensayo con trazadores radiactivos (tritio) y químicos (cloruro) con objeto de analizar el flujo a través de la zona no saturada, cuyos resultados se presentan aquí.

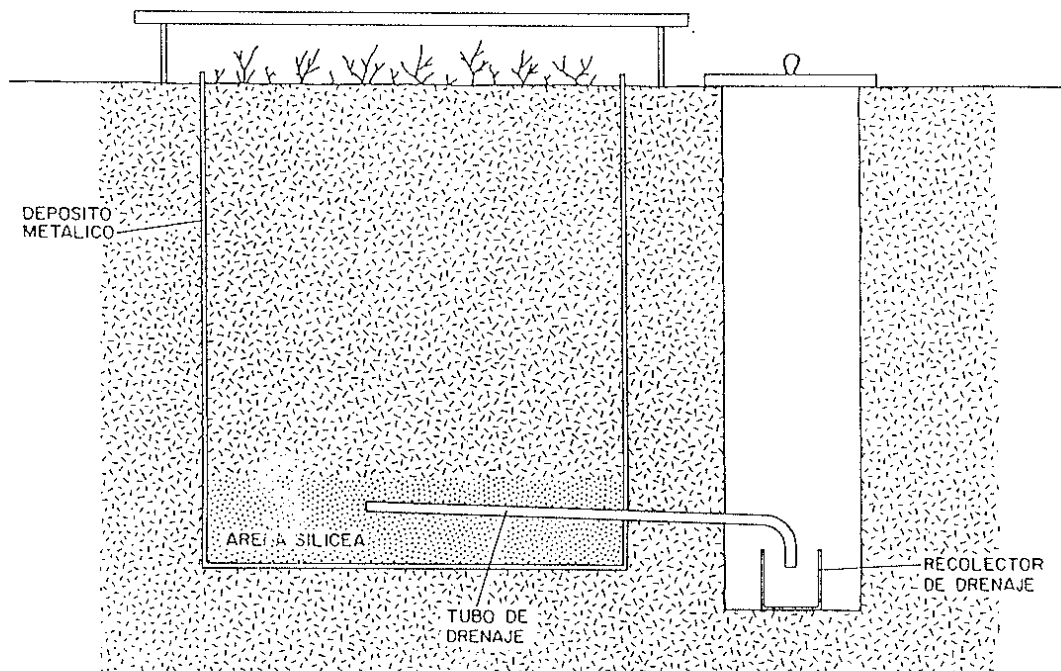


Figura 1: Esquema de la instalación experimental. Lisímetro cubierto.

Ensayo con inyección de Tritio

Por tal motivo, se procedió a una inyección de una elevada cantidad de tritio (^3H) en el agua de riego del lisímetro en el mes de Enero, controlándose a continuación, las distintas concentraciones de dicho elemento en las diversas y subsiguientes salidas. La concentración en tritio de las distintas muestras analizadas del agua de salida, se presentan en la tabla I.

La concentración en tritio del agua de entrada de fecha 4 de Febrero de 1985 fue $5795 \pm$ U.T. si efectuamos la suma de productos de volumen de agua de salida (96.6 litros de agua tritiada); desde que este trazador empezó a encontrarse en ella (5 de Febrero) hasta el día 22 de Noviembre de 1985, y dividimos por el volumen de agua total (912 litros de agua añadidos como entrada al lisímetro para saturarlo), obtenemos un valor de 316,5 U.T. que, a su vez, representa del orden del 10,6% del número de U.T. introducidas artificialmente. Este valor de 10,6% se nos convierte en un 9,8% si volvemos a realizar las mismas operaciones, anteriormente relatadas, suponiendo que cada una de las aguas de salida aporta, debido a la natural concentración de este isótopo en el agua de riego, una concentración mínima de 7 U.T.

Por tanto cabe deducir que sólo unos 2,35 litros de agua tritiada participan en el conjunto de las salidas.

Nº de muestra	Día	Volumen de salida (ml)	U.T.	Nº de muestra	Día	Volumen de salida (ml)	U.T.
1	5-2-1985	594	12±2	26	20-3-	1890	43±3
2	6-2-	645	14±2	27	21-3-	3740	59±3
3	7-2-	678	14±2	28	29-3-	1080	134±3
4	8-2-	773	9±2	29	1-4-	1835	130±3
5	9-2-	875	15±1	30	8-4-	3010	115±3
6	10-2-	850	13±2	31	11-4-	3500	159±3
7	4-2-	750	13±1	32	15-4-	770	199±3
8	12-2-	745	13±1	33	17-4-	2580	212±3
9	13-2-	800	14±2	34	25-4-	3530	204±3
10	14-2-	760	14±2	35	2-5-	3000	229±3
11	15-2-	705	16±2	36	17-5-	1750	177±3
12	16-2-	662	13±2	37	22-6-	315	156±2
13	17-2-	648	16±2	38	26-6-	2870	120±3
14	18-2-	595	16±2	39	3-7-	2140	122±3
15	19-2-	582	17±2	40	16-7-	2250	1001±3
16	22-2-	530	18±1	41	22-7-	2450	81±3
17	23-2-	350	18±1	42	29-7-	1850	75±3
18	24-2-	345	18±1	43	3-9-	2800	49±3
19	25-2-	325	18±1	44	17-9-	2150	49±3
20	26-2-	206	17±1	45	24-9-	1970	40±3
21	27-2-	242	16±1	46	1-10-1985	1630	32±1
22	28-2-	228	25±1	47	8-10-	980	25±1
23	6-3-	3465	24±2	48	15-10-	1100	200±2
24	11-3-1985	1200	26±2	49	22-10-	2300	28±2
25	12-2-	3370	32±3				

Tabla 1. Concentraciones en Tritio (U.T.) de las salidas del lisímetro cubierto.

Discusión de los resultados de la inyección de Tritio

La figura 2 muestra la variación de concentración del tritio con el tiempo; en ella hay una serie de hechos que merecen una amplia consideración. Podemos destacar la presencia de un elevado pico absoluto dentro de todo el conjunto, de otra, la presencia de un período de agotamiento, si asimilamos la forma de la gráfica o la de un hidrograma producido por un aguacero unitario, distinguimos los tramos:

1º. Caracterizado por aquellas concentraciones de tritio que culminan en torno a un pico máximo; no parecen seguir la ecuación de tipo exponencial. Creemos que esta especial distribución nos indica la existencia de una cierta superposición de aguas correspondientes a distintos momentos de entrada, pero con un amplio grado de mezcla.

2º. Está caracterizado por aquellas concentraciones que se distribuyen siguiendo una ecuación de tipo exponencial, a modo de una típica forma de período de agotamiento de un hidrograma unitario. Lo interpretamos como que tras el paso de un pico máximo de agua tritiada una parte de ella entra a formar parte del conjunto de agua contenido en el lisímetro.

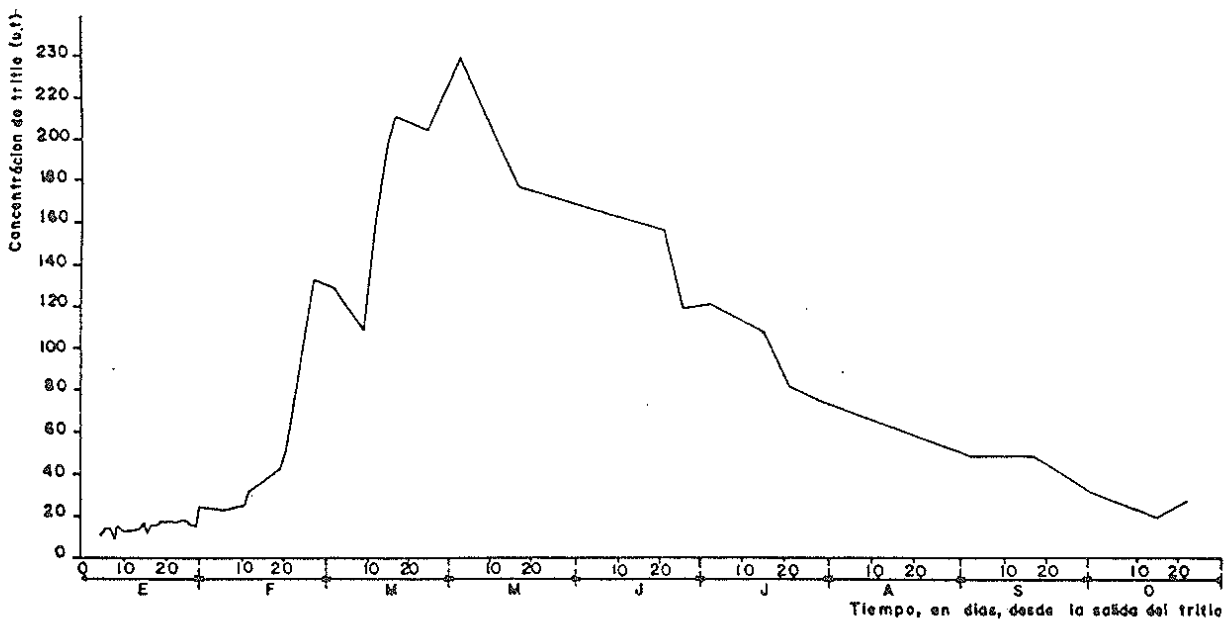


Figura 2.- Variaciones de concentraciones de tritio (U.T.) con el tiempo (días)

Volviendo de nuevo a la figura 2, podemos significar la presencia, a su vez, de dos "subperíodos de agotamiento" separados por un período en el que la concentración de tritio permanece más o menos a lo largo del tiempo. Obsérvese que en ese período, en que la concentración de tritio permanece más o menos constante, existe en su comienzo un número de días a lo largo de los cuales deja de haber salida en el lisímetro. Obviamente ambos subperíodos siguen una ecuación del tipo:

$$M_{CT} = M_0 \lambda^{(-t)}$$

- M_0 = concentración inicial en U.T.
 C.T. = concentración en un tiempo t
 λ = coeficiente en días (-1)
 t = tiempo transcurrido en días

Aplicando la anterior ecuación a cada subperíodo, tenemos unos valores del coeficiente en días (-1). $\lambda = 1.6$ y $\lambda = 1.2$; valores muy similares entre sí.

Además de estos modelos observados, hay otra serie de hechos que merecen destacarse. En primer lugar, el tiempo transcurrido desde la inyección con agua tritiada hasta el momento en que empieza a detectarse un contenido en tritio superior a 7 U.T. (valor del agua de riego sin trazar) ha sido del orden de 1 día, de forma similar, el tiempo transcurrido desde ese riego con agua tritiada hasta alcanzar la máxima concentración, es de 81 días. Finalmente, la influencia de esta inyección se aprecia hasta pasados 228 días.

Siguiendo un razonamiento similar al presentado por Halevy, E (1968) y Olive, P. (1970) con intención de averiguar la participación del agua subterránea en el hidrograma de una avenida producida por un aguacero unitario podemos decir:

- El volumen de agua de una determinada salida (V_s) constará de una parte procedente de aquella agua de riego tritiada (V_t) más el agua suministrada por el conjunto (V_c).

$$V_s = V_t + V_c$$

- La concentración de tritio que interviene en una salida (C_s) será la suma de la parte suministrada por el propio conjunto del lisímetro (C_c) y parte proveniente del riego con agua tritiada (C_t).

Dado que podemos decir que este volumen de tritio es el producto de la concentración por el volumen que interviene, tenemos:

$$C_s V_s = C_t V_t + C_c V_c$$

Si definimos Y como el coeficiente de participación del agua procedente del riego tritiado respecto al volumen de salida:

$$Y = V_t / V_s$$

podemos hacer:

$$\begin{aligned} V_c &= V_s - V_t \\ C_s V_s &= C_t V_t + C_c (V_s - V_t) \\ C_s &= C_t + C_c - C_c \\ Y &= C_s - C_c / C_t - C_c \end{aligned}$$

En nuestro caso: $Y = (C_s - 7) / 5788$

Tras las oportunas operaciones obtenemos la relación de Y (tabla II) y para cada semana (tabla III) en la que se aprecia una cierta participación del agua de riego tritiada. De entre los valores de Y de la tabla II resalta una participación máxima de aquel agua de riego tritiada de fecha 4 de Febrero de 1985, de un 3,83%.

Mediante la utilización del tritio como isótopo natural y con los resultados obtenidos hemos podido hacer una valoración de la participación real de una de las entradas en la serie de salidas correspondientes. Esta participación ha sido valorada en el total en un 9,8% a lo largo del período del experimento.

Quiere esto decir que el resto, el 90,2% de aquella entrada del mes de agosto de 1985, no llega a participar directamente en las salidas. No podemos aseverar si todo el 90,2% pasó totalmente a la atmósfera, como vapor de agua, o puede que una porción haya pasado a formar parte del agua de retención. Si es así, no sabemos qué porcentaje. En cambio, sí es seguro que sólo un 9,8% participa en las salidas, estando el resto excluido de uno y otro modo.

Si suponemos que cualquier riego tiene la misma participación, es decir, sólo con un 9,8% de cada 24 litros introducidos, participan en las salidas, se nos plantea una clara contradicción, pues, por las experiencias realizadas con el lisímetro y analizadas en apartados anteriores, deducíamos que el porcentaje de participación en las salidas es del orden de 23%; hay una diferencia del 13,2%.

De todo esto, puede pensarse en la participación del agua de riego en una temporada invernal debe superar ampliamente el 9,8%. Lo que debe compensar es la diferencia, ya mencionada del 13,2%. De acuerdo con las condiciones de infiltración y almacenamiento, Knapp, B.J. (1978). Sin embargo, consideramos como excesivo una participación de un 36,2% de un riego invernal como necesaria para enjugar el mencionado déficit.

Así en resumen, del uso de isótopos naturales del ciclo del agua en nuestras experiencias, se ha derivado la observación de que el mecanismo del agua en el primer metro de terreno responde a un modelo constituido por una superposición de diversas aguas correspondientes a otras tantas entradas, aunque eso sí, con un importante grado de mezcla.

Otra observación que creemos destacable, corresponde a la larga participación de agua de riego determinado a lo largo de un período de 9 meses, así como tiempo de respuesta necesario de 1 día para obtener las primeras manifestaciones del agua de riego correspondiente, aunque se corresponden en las estimaciones de dispersión de Godfrey, *et al.* (1970) y Precious, D.J. (1969).

Día	(1)	(2)
11-2-1985	0.10	0.005
18-2- "	0.12	0.006
25-2- "	0.18	0.004
4-3- "	0.24	0.003
11-3- "	0.31	0.019
18-3- "	0.43	0.029
25-3- "	0.76	0.07
1-4- "	2.15	0.170
8-4- "	1.86	0.076
15-4- "	2.97	0.150
22-4- "	3.54	0.122
29-4- "	3.40	0.157
6-5- "	3.83	0.115
20-5- "	2.94	0.066
24-6- "	2.26	0.163
8-7- "	1.98	0.042
22-7- "	1.52	0.071
29-7- "	1.17	0.022
2-9- "	0.72	0.018
16-9- "	0.72	0.015
23- 9-1985	0.57	0.017
30-10- "	0.43	0.011
7-10- "	0.31	0.012
14-10- "	0.22	0.009
21-10- "	0.36	0.012

Tabla II.- Participación del agua de riego tritiada (Y) en las salidas del lisímetro . (1) Valores de Y en % . (2) Valores que representa en litros

Fecha	Volumen de salida en ml	U.T
11-2	5165	12.9±2
18-2	4915	14.5±2
25-2	2132	17.7±1
4-3	1141	21.2±2
11-3	6290	25.5±2
18-3	6895	32.0±3
25-3	9690	51.0±3
1-4	7805	132.0±3
8-4	4060	115.0±3
15-4	5130	179.0±2
12-4	3470	212.0±2
29-4	4615	204.0±3
6-5	3000	229.0±3
20-5	2250	177.0±3
24-6	7210	138.0±3
8-7	2140	122.0±3
22-7	4700	95.0±2
29-7	1850	75.0±2
2-9	2600	49.0±2
16-9	2150	49.0±2
30-10	2630	32.0±2
7-10	3980	25.0±2
14-10	4100	20.0±2
21-10	330	28.0±2

Tabla III.- Concentraciones de tritio (U.T.) semanal y las salidas (ml) semanales.

Ensayos con cloruros

En el lisímetro cubierto de la anterior experiencia se realizó la inyección de una cierta cantidad de trazador con el agua de entrada del lisímetro (24 litros semanales). Se espera algún tiempo y a continuación se coge el agua de salida. Con los datos procedentes de los análisis de las muestras tomadas (entrada y salida) se calcularán los coeficientes de dispersión y la dispersividad intrínseca.

Las características del entorno del lisímetro son las que se presentan en el capítulo anterior y del lisímetro son los siguientes:

- Volumen del lisímetro : 1m³
- Porosidad : 38,4%
- Tipo de suelo : Franco arenoso
- Velocidad de Darcy : 9*10⁻⁴ m/día
- Velocidad real de flujo (VD/m) : 2,54x10⁻³ m²/día
- Filtro : en toda su longitud
- Capacidad de saturación (lisímetro): 24 litros.

Se inyectó un volumen de 24 litros de agua con concentración C_0 de trazador (CINa). El tiempo transcurrido desde la inyección del trazador hasta la toma de la primera salida es de 5 días. Para provocar el desplazamiento del trazador se procede a inyectar 24 litros semanales de agua sin trazador.

Mostrera	C_0 (mg/L)	C_0 (mg/L)	C (Meq/L)	T	$\frac{C-C_n}{C_0-C_n}$	Mostrera	C_0 (mg/L)	C_0 (mg/L)	C (Meq/L)	T	$\frac{C-C_n}{C_0-C_n}$
1	14.3	0.42	0.02	5	0.0009	25	45.5	1.28	0.88	74	0.043
2	14.6	0.43	0.03	6	0.001	26	49.5	1.40	1.0	79	0.049
3	15.0	0.43	0.03	7	0.001	27	57.2	1.39	0.99	81	0.048
4	17.5	0.49	0.09	8	0.004	28	47.8	1.25	0.85	84	0.041
5	17.0	0.48	0.08	13	0.003	29	41.1	1.15	0.75	87	0.036
6	17.6	0.50	0.1	14	0.005	30	37.0	1.04	0.66	91	0.032
7	19.0	0.54	0.14	15	0.007	31	35.7	1.0	0.73	98	0.035
8	18.5	0.52	0.12	18	0.006	32	36.4	1.02	0.66	105	0.032
9	20.5	0.58	0.18	19	0.009	33	35.7	1.00	0.60	112	0.029
10	23.5	0.66	0.26	20	0.013	34	32.5	0.90	0.57	119	0.028
11	26.0	0.73	0.33	21	0.016	35	30.4	0.85	0.47	126	0.023
12	26.5	0.75	0.35	22	0.017	36	26.8	0.75	0.4	133	0.019
13	27.0	0.76	0.36	25	0.018	37	25.5	0.72	0.32	140	0.016
14	27.0	0.76	0.36	27	0.018	38	23.2	0.65	0.28	147	0.014
15	26.5	0.75	0.35	32	0.017	39	23.5	0.66	0.26	154	0.012
16	28.5	0.80	0.4	35	0.019	40	19.5	0.55	0.15	161	0.007
17	29.0	0.82	0.42	39	0.020	41	17.0	0.50	0.08	168	0.004
18	30.5	0.85	0.45	41	0.022	42	15.5	0.48	0.08	175	0.004
19	31.5	0.89	0.49	43	0.023	43	15.0	0.46	0.06	182	0.003
20	35.70	1.0	0.60	44	0.029	44	15.5	0.47	0.07	189	0.003
21	38.0	1.07	0.67	47	0.032	45	15.25	0.48	0.08	196	0.004
22	39.5	1.10	0.70	51	0.034	46	14.75	0.47	0.07	203	0.003
23	43.5	1.23	0.83	54	0.040	47	15	0.46	0.06	210	0.003
24	44.5	1.25	0.85	66	0.041						

Tabla IV.- Variaciones de concentración del trazador con el tiempo. Siendo:
 C_0 = concentración inicial del trazador = 20,5(Meq/L)
 C_n = Concentración del trazador en el agua natural
 C = Concentración final del trazador
 Σ = fracción del agua añadida si el agua natural lleva trazador
 T = tiempo desde la inyección del trazador

Hemos calculado la velocidad real del flujo a partir de la media del caudal durante un tiempo de 2 años, como salidas semanales.

El trazador utilizado CINa tiene una ventaja doble: en primer lugar, a partir de las concentraciones de Cl^- se intenta estudiar los fenómenos de dispersión, ya que este elemento no sufre fenómeno de adsorción; por otra parte, las concentraciones de Na^+ nos permiten analizar cambios de bases y retención por el terreno, que aquí no se recogen por no ser de interés para este informe. Tiene el inconveniente de las altas concentraciones de inyección que se necesitan (hay que tener en cuenta la concentración inicial del agua añadida), pero la aportación de terreno es

despreciable de acuerdo con López-Vera *et al.* (1981).

El método de análisis utilizado para medir la concentración de Cl^- en las muestras de drenaje del lisímetro ha sido mediante volumetría.

Se inyectaron 24 litros de agua con 30 gr. de $ClNa$ de 96,6% de pureza (es decir unos 728 mg/L de Cl^-).

Para calcular la dispersión se ha analizado el contenido en Cl^- de las muestras en las salidas. Los datos obtenidos se han representado en la tabla IV y su correspondiente representación gráfica en la figura 4, se observó una curva de campana de pico de máxima concentración (para $T = 72$ días).

Nº Muestra	C acumulada	% Recuperación	Tiempo desde In yecc. trazador	Nº Muestra	C acumulada	% Recuperación	Tiempo desde In yecc. trazador
1	0.02	0.1	5	25	9.09	49.7	74
2	0.05	0.3	6	26	10.09	55.1	79
3	0.08	0.4	7	27	11.08	60.5	81
4	0.17	0.9	8	28	11.93	65.5	84
5	0.25	1.4	13	29	12.08	66.0	87
6	0.35	1.9	14	30	13.34	72.9	91
7	0.49	2.7	15	31	14.07	76.9	98
8	0.61	3.3	18	32	14.73	80.5	105
9	0.79	4.3	19	33	15.33	83.8	112
10	1.05	5.7	20	34	15.90	86	119
11	1.38	7.5	21	35	16.37	89.5	126
12	1.73	9.5	22	36	16.77	91.6	133
13	2.09	11.4	25	37	17.09	93.4	140
14	2.45	13.4	27	38	17.37	94.9	147
15	2.8	15.3	32	39	17.63	96.3	154
16	3.2	17.5	35	40	17.78	97.1	161
17	3.62	19.8	39	41	17.86	97.6	168
18	4.07	22.2	41	42	17.94	98.0	175
19	4.56	24.9	43	43	18.00	98.4	182
20	5.16	28.2	44	44	18.07	98.7	189
21	5.83	31.9	47	45	18.15	99.2	196
22	6.53	35.7	51	46	18.22	99.6	203
23	7.36	40.2	54	47	18.28	100	210
24	8.21	44.9	66				

Tabla V. % de recuperación del trazador con el tiempo.

Discusión de los resultados de los ensayos con cloruros

La figura 3 muestra el % de recuperación obtenida en función del tiempo. La recuperación total ha sido de 89,2%, pensamos que el resto del trazador no se ha recuperado, quedando en el suelo. En esta figura se observa que el 50 % de trazador recuperado se ha obtenido a $t_0 = 68$ días de iniciarse la salida; en cambio, de la curva de recuperación de la figura 4. se deduciría que el tiempo de llegada del trazador es de 79 días.

Los tiempos correspondientes al 15,9% y 84,1% de recuperación son respectivamente de $t_1 = 33$ días y $t_2 = 114$ días.

A partir de estos valores y utilizando la ecuación dada por Josselin De Jony, se puede deducir el coeficiente de dispersión y la dispersividad intrínseca.

$$\Theta_1 = t_0 - t_1 = 68 - 33 = 35 \text{ días}$$

$$\Theta_2 = t_2 - t_1 = 114 - 68 = 46 \text{ días}$$

Aproximadamente puede tomarse 40 días

$$\Theta = \sqrt{2 \times D t_0 / V^2} ; \quad V = x/t$$

x = distancia (metros), $V = 1/68 = 0,0147 \text{ m/día}$ y t = tiempo (días).

el coeficiente de dispersión $D = \Theta^2 x^2 / 2 t_0^3 = 2,54 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{día}$

luego la dispersividad intrínseca es: $D_0 = D / V = 0,17 \text{ metros}$

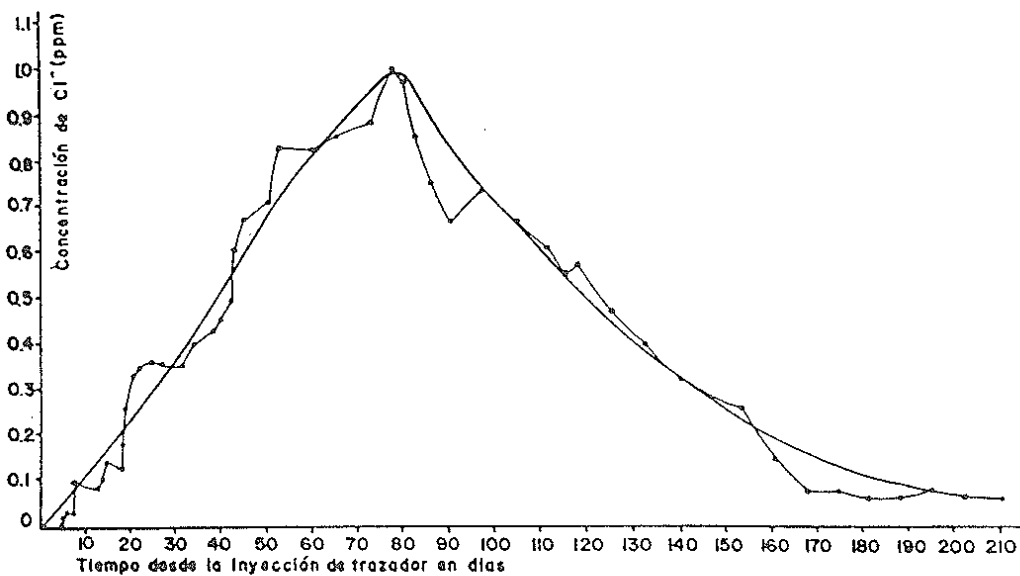


Figura 3. Recuperación del trazador en del función del tiempo.

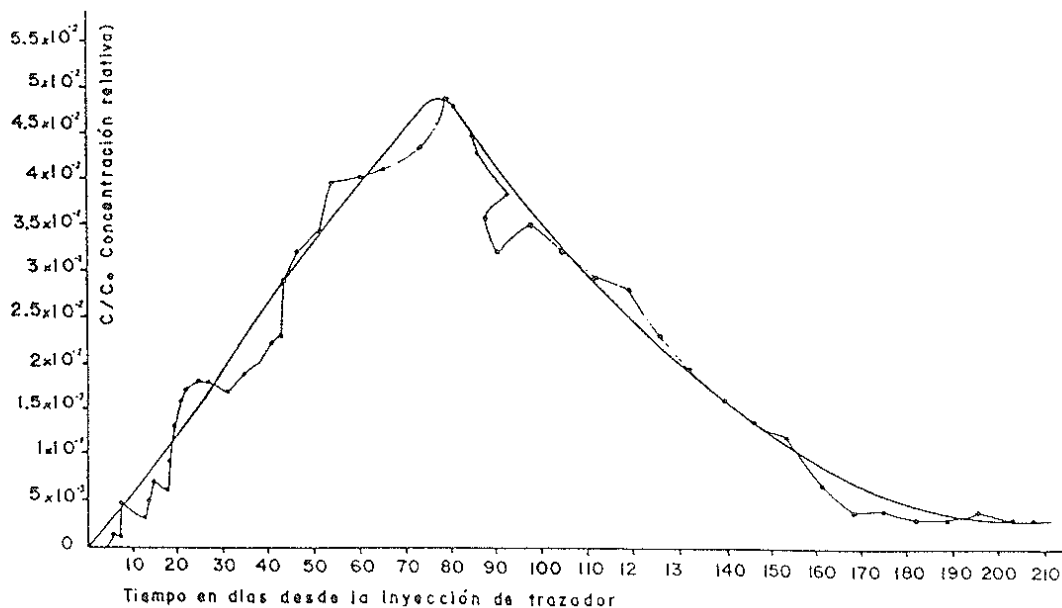


Figura 4.- Concentración relativa del trazador recuperado en función del tiempo.

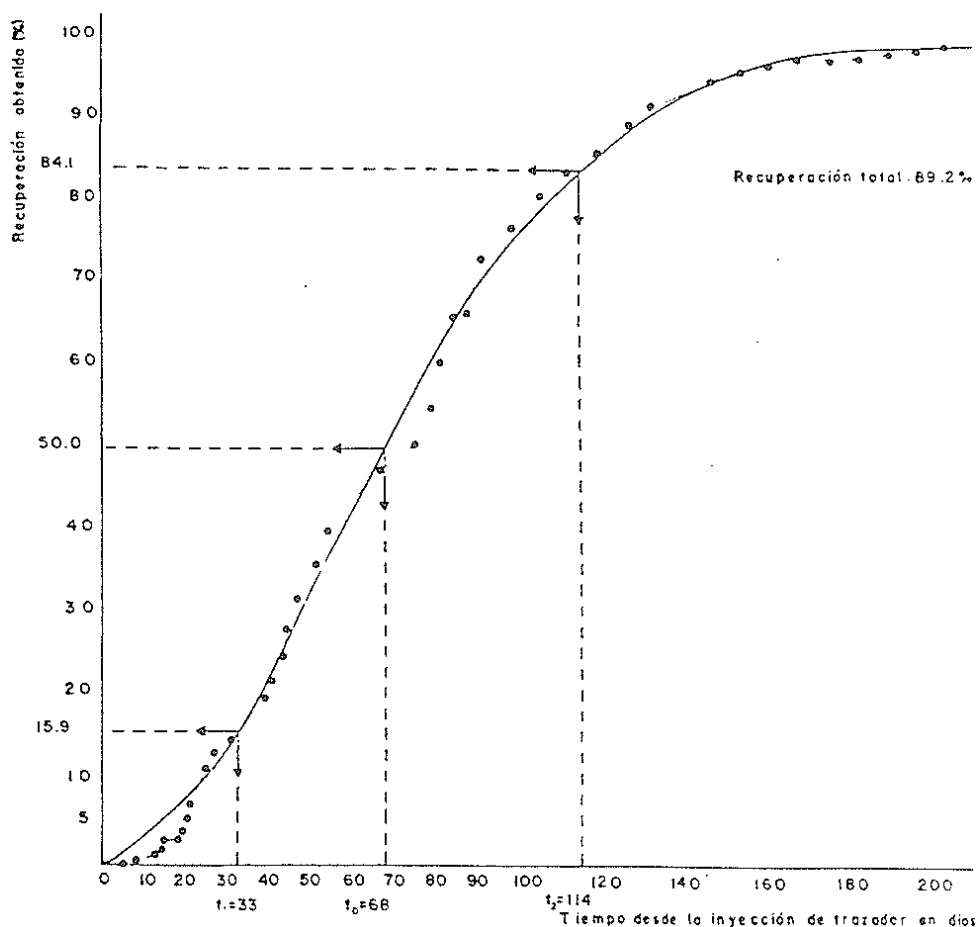


Figura 5. Curva acumulada de recuperación obtenida.

Los valores de dispersividad intrínseca obtenidos para la ZNS en lisímetro es menor que los obtenidos en los mismos materiales en dos ensayos de campo en pozos que fueron respectivamente de $D_0 = 0,69$ m y $D_0 = 1,77$, Rubio, P. y López-Vera, F. (1979), lo que resulta coherente, teniendo en cuenta que D_0 suele ser mayor en condiciones de saturación.

Conclusiones

Las experiencias realizadas en un lisímetro de 1m^3 de capacidad, en el que se ha estimado una porosidad de 38,4%, los resultados de la inyección inicial de agua tritiada se obtuvieron en 24 h, lo que indica la rápida respuesta a un aporte instantáneo grande de agua. El pico de máxima concentración se obtuvo a los 81 días y la última medida de la cola a los 228 días. En total se recupero 2,35 l del agua tritiada inicial, lo que representa el 9,8 %. el 90,2 % restante se evapora o queda retenida a más largo plazo. La forma de la curva muestra que las salidas son mezcla de agua de diversos episodios de riego posteriores con un total de 912 l de agua sin tritiar.

De la experiencia de trazado con Cl^- , se ha recuperado el 89,2 %. el

50 % a los 68 días y el pico a los 79 días. Se ha obtenido un dispersividad intrínseca de 0,17 m, menor que la que presenta la zona saturada del acuífero.

Referencias

- GODFREY, R.G. & FREDERICK, B.J. (1970). "Stream dispersión as selected sites, transport of radionuclides by stream". *Geological survey professional paper*, 433-k.
- HALEVY, E. (1968). "The relationship between isotopic composition of precipitation and lysimeter percolates". interpretación of Environmental isotopes Data in Hydrology, AIEA. Vienne.
- KNAPP, B.J. (1978). "Infiltration and Storage of Soil Water in Hillslope Hydrology, Cap 2. Ed. Kirby. Pergamon Press. Londres.
- LOPEZ-VERA, F. (1977b). "Hidrología regional de la cuenca del Río Jarama en los alrededores de Madrid". *Men. Inst. Geol. Min. Esp. núm. 91* 227 pag + planos.
- LOPEZ-VERA, F. y SPANDRE GUELFY, R. (1981). "Contribución of the soil to the mineralisation of the tertiary detrital aquifer of Madrid." *III Semana Internacional de hidrogeología*. Lisboa. pp:349-368.
- MAHMOUD EL JAMMAL, M. (1986). "Estudio experimental del flujo y características del agua en la zona no saturada" *Tesis doctoral*. Fac. de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
- OLIVE, P. (1970). "Contribution a l'étude Geodynamique de cycle de l'eau dans l'hémisphère Nord par le méthode de tritium". Centre de Recherches Geodynamique. Thonon-Les Bains. France.
- PRECIOUS, D.J. (1969). "Aquifer dispersivity by recharg-discharge of fluorescent dye tracer through a single well". Thesis of master of Science with a major in Hydrology. University of Arizona.
- RUBIO MARTIN, P.L. y LOPEZ-VERA, F. (1983). "Algunos valores de dispersión en los materiales detríticos de la Cuenca de Madrid". II Simposio Nacional de Hidrogeología, Pamplona. Grupo de trabajo de la A.G.E. PP 57-74.
- SCHAWRTZ, F.W. (1977). "Macroscopic dispersión in porous media: the controlling factor". *Water resources Research*, vol 13. nº 4. Agt. pp 743-752.
- SIWERTZ, E. (1973). "Etude experimental par le tritium et l'oxygen-18 de l'infiltration sur les lysimetres et le Bassin de Thonon". Centre de Recherches Geodynamiques. Thonon-Les Bains. France.

