

Experiencia de trazado con bromuro potásico en una parcela piloto de la ZNS del acuífero de la Vega de Granada

A.Castillo¹, K. El Mabrouki², y P. Álvarez³

1. CSIC e Insto. del Agua (Univ. Granada). C/ Rector López Argüeta, s/n. 18071 Granada.
2. Insto. del Agua (Univ. Granada).
3. Dpto.Geodinámica(Univ.Granada).

RESUMEN. Se expone una experiencia de trazado de la ZNS del acuífero de la Vega de Granada, hasta 1,5 m de profundidad, realizada con bromuro potásico. La dosis de ión bromuro aplicada fue de 10 g/m². Para la recogida del agua intersticial se utilizaron tomamuestras cerámicos de succión, situados a 25, 75 y 150 cm de profundidad. En un primer momento se aplicó un riego por aspersión de 75 mm/24 horas; transcurridos 10 días, se dió otro riego, esta vez por inundación, de 175 mm/2 horas. Durante el desarrollo de la experiencia se midieron la temperatura y humedad del suelo, precipitación, temperatura, humedad, y evaporación ambiente, y velocidad y dirección del viento. Los resultados obtenidos no fueron satisfactorios en lo referente a la experiencia de trazado químico, especialmente en las muestras de agua intersticial, debido al insuficiente riego aplicado y a un mal comportamiento de las cápsulas de succión. Mayor información dió la analítica de bromuro en suelo. Las evoluciones y medidas de humedad y temperatura del suelo aportaron información de interés, poniendo de manifiesto que la recarga fue nula y el flujo poco penetrativo y escaso, todo ello en las condiciones de subsaturación ensayadas.

ABSTRACT. We describe a tracer test in the unsaturated zone in the Vega de Granada aquifer, carried out to a depth of 1.5m and using potassium bromide. The quantity of bromide ion applied was 10g/m². Interstitial water was collected by means of ceramic suction samples, located at depths of 25, 75 and 150 cm. Initially, sprinkler irrigation was applied at a rate of 75 mm/24 hours. After 10 days, the test area was again irrigated, but this time by inundation, at 175 mm/24 hours. During the course of the experiment, we recorded soil temperature and moisture, rainfall, air temperature, moisture and evaporation, and wind speed and direction. The results obtained were not satisfactory with respect to the chemical tracer experiment, particularly concerning the samples of interstitial water, due to the insufficient irrigation applied and to a deficient functioning of the suction cups. Better data were obtained from analysis of bromide levels in the soil. The variations in soil moisture and temperature provided useful information, revealing that recharge was non-existent and that the flow was scarce and weak under the unsaturated conditions examined.

1.- Introducción.

La Vega de Granada es uno de los acuíferos detríticos más importantes de Andalucía (Castillo, 1986 y 1995). En él se dispone de una parcela experimental de 2.500 m², destinada principalmente a estudios de movilidad de plaguicidas dentro de la ZNS (Sánchez Moreno *et al.*, 1999). Con dicha finalidad, están acondicionadas 9 subparcelas de 25 m², dotadas de hidrocaptos a 25, 75 y 150 cm de profundidad.

Desde noviembre de 1998 se vienen realizando ensayos de movilidad de plaguicidas con diferentes enmendantes y dotaciones de riego, siempre por aspersión. En un primer ensayo se pretendió estudiar la movilidad en situaciones de "riego moderado o localizado", aplicando una dotación total de agua de 380 mm en 60 días. Los resultados obtenidos, aunque representativos de esa situación concreta, pusieron en relativo riesgo la experimentación, al obtenerse un bajo nivel de éxito en la toma de agua intersticial, especialmente en los tomamuestras situados a 75 y 150 cm de profundidad. En un segundo ensayo, se simuló, por el contrario, una situación de "riego sin restricción", con la aplicación de 927 mm en sólo 30 días. En este caso, el éxito en la toma de agua intersticial fue prácticamente completo, pero a costa de restar representatividad (realismo) a la experimentación ensayada.

Con esos antecedentes, se realizó una experiencia de trazado químico (ión bromuro) y físico (humedad y temperatura del suelo), con el fin de comprobar el comportamiento hidrodinámico de la ZNS considerada, frente a unas concretas condiciones de ensayo, en gran parte impuestas por la investigación realizada con plaguicidas. Así, el corto tiempo de experimentación (menos de un mes), interesaba a los futuros ensayos con plaguicidas, alguno de muy rápida degradación. Muy numerosos son los estudios que han utilizado la humedad, u otros trazadores físicos o químicos, para el estudio de la hidrodinámica de la ZNS (Topp & Davis, 1982; Allison, 1987; Martínez-Fernández, 1990; Giráldez y Laguna, 1995; López y Giráldez, 1995; Araguas y López-Vera, 1995).

En la Tabla 1 se presentan las principales características de la ZNS estudiada. El ensayo se realizó en ausencia de precipitaciones, con altas temperaturas y baja humedad ambiente. La dotación inicial de agua aplicada fue de 75mm/24 h y, después de 10 días, de 175 mm/2 h. La

dificultad de extraer agua por los hidrocaptadores, a 60 cb de vacío, y el mal comportamiento de estos (flujos preferenciales), restó validez al ensayo químico, si bien se obtuvieron resultados interesantes a partir del análisis de muestras de suelo, así como de la evolución y medidas de humedad.

Tabla 1. Principales características de la ZNS estudiada, a 25, 75 y 150 cm de profundidad.

	25 cm	75 cm	150 cm
PH	8.66	8.67	9.11
% Arcillas	24.66	21.48	24.55
% Limo fino	38.34	32.38	45.22
% Limo grueso	21.13	19.36	9.93
% Arenas	15.86	26.76	20.28
% MO	1.75	1.25	0.68
% Nitrógeno total	0.12	0.089	0.064
% CO ₃ Ca	35.68	32.55	19.61

2.- Material y métodos.

Los tomamuestras de succión utilizados fueron de tipo cerámico (cerámica “industrial” de procedencia valenciana). Las presiones de vacío aplicadas fueron de 45 cb para el tomamuestras situado a 25 cm de profundidad y de 60 cb para los de 75 y 150 cm. Las muestras para determinación de la humedad “in situ” fueron extraídas con barrena manual, y secadas a 105°C, expresando los resultados en porcentaje de peso (g agua/100 g suelo seco). La densidad del suelo no fue medida en campo; la aparente, calculada por la fórmula de Santos (1979), fue de aproximadamente 1,4 g/cm³ para las tres profundidades de ZNS consideradas. Para el seguimiento orientativo de la humedad en semi-continuo se dispuso de tres sensores de tipo resistivo, instalados a 25, 75 y 150 cm de profundidad; previamente, estos habían sido calibrados en laboratorio y campo. También se dispuso de algunos valores de capacidad de retención hídrica a esas mismas profundidades, obtenidos a 1/3 y 15 bars (Richards, 1947).

Para la caracterización del suelo se utilizaron el método de la Pipeta de Robinson para la textura (Robinson, 1922), el de Bouat y Crouzet (1965) para el nitrógeno total, el de Tyurin (1951) para la materia orgánica, el de Barahona para el carbonato cálcico equivalente; el pH se midió con pHmetro, en una dilución de suelo/agua de 1/2,5.

El ión bromuro fue determinado por cromatografía iónica (Dionex 300). Previamente se realizaron las pertinentes pruebas de recuperación en laboratorio, que fueron satisfactorias. Las determinaciones analíticas se realizaron tanto sobre muestras líquidas (agua intersticial), como sólidas; en este último caso, se preparó una pasta saturada del suelo, tal como lo describe Shofield (1942).

La temperatura del suelo fue medida con un termómetro digital dotado con una varilla sensor de 500 mm de longitud. La evaporación se midió en tanque. La precipitación, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento fueron medidas “in situ” con el aparataje correspondiente.

3.- Resultados y discusión.

Las humedades obtenidas antes del inicio de la experiencia, a 25, 75 y 150 cm de profundidad, fueron del 4,19, 10,10 y 15,98 % (en peso), respectivamente. La humedad determinada en laboratorio para muestras de suelo obtenidas a esas tres profundidades y 1/3 bar, a través de las placas de Richards, fueron aproximadamente del 26, 26 y 28 %; a 15 bars fueron del 7,9, 7 y 8,3 %. Con los datos obtenidos, las condiciones de salida indicaban unos porcentajes de capacidad de campo cubierta del 16, 39 y 57 %, para el suelo situado a 25, 75 y 150 cm de profundidad, respectivamente.

Durante 19 días se controlaron todos los parámetros ambientales comentados anteriormente. En la Figura 1 se muestra la evolución de la humedad (orientativa) de la ZNS a 25, 75 y 150 cm de profundidad, junto a los riegos y dosis de agua aplicadas. La evolución de la humedad a 25 cm de profundidad reflejó bien los dos riegos dados, que apenas se dejaron notar en los sensores situados a 75 y 150 cm de profundidad. Los controles de humedad en laboratorio y campo realizados con anterioridad a este trabajo, como calibración de los sensores, habían mostrado un aceptable comportamiento de éstos en los periodos de humedecimiento, pero no así en los de secado; en éstos se evidenció una mayor inercia en la pérdida de humedad de la porcelana porosa de los sensores frente a la del suelo; este efecto también se puso de manifiesto en esta experiencia, y en especial en la segunda curva de secado detectada por el sensor de 25 cm de profundidad.

Las humedades medidas al final de la experiencia (una vez transcurridos 19 días), a 25, 75 y 150 cm de profundidad fueron del 4,44, 10,91 y 15,37 %, respectivamente, muy similares, como se recordará, a las expuestas anteriormente, obtenidas antes del inicio del ensayo.

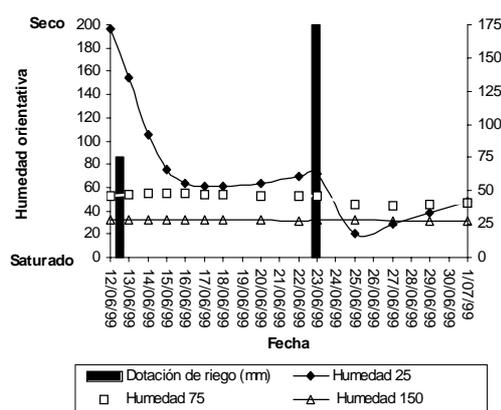


Fig. 1. Evolución de la humedad de la ZNS estudiada, a 25, 75 y 150 cm de profundidad y dosis de agua aplicadas. Los sensores de humedad fueron de tipo resistivo, por lo que la escala de valores es sólo orientativa (200=seco, 80= casi seco, 0=saturado).

Como trazador físico de apoyo a las medidas de humedad, se controló la temperatura del suelo en superficie, a 20 y a

34 cm de profundidad; lamentablemente no se dispuso de sensores para cubrir mayores profundidades. En la Figura 2 se muestran las evoluciones de temperatura obtenidas. Como es normal, la referida a la superficie del suelo mostró gran variabilidad, en directa dependencia con la temperatura ambiente. Por el contrario, las evoluciones obtenidas para 20 y 34 cm de profundidad, muy similares entre sí, reflejaron una relativa homotermia, en cuyas variaciones se detectaron bien los procesos de infiltración de las aguas de riego aplicadas. Con una temperatura de base del suelo a esas profundidades de unos 24 a 25 °C, los episodios de recarga hicieron descender a esta hasta los 20-21 °C, al poseer las aguas de riego una temperatura inferior, del orden de 16,5 °C.

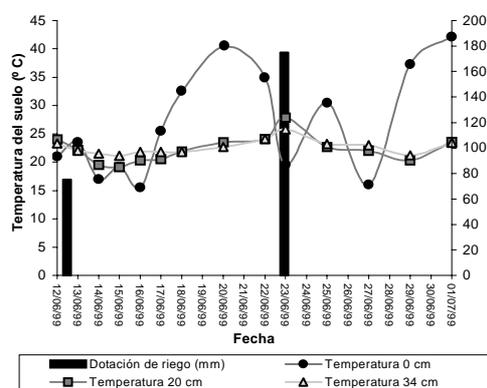


Fig. 2. Evolución de la temperatura de la ZNS en superficie, a 20 y 34 cm de profundidad (medidas a la misma hora del día) y dosis de agua aplicadas.

En la Figura 3 se muestra la evolución de la evaporación diaria y acumulada, medida en tanque. Como puede observarse, la evaporación total fue muy elevada, de 140 mm en 19 días, equivalente a una tasa media de 7 mm/día. Durante ese periodo, al principio del verano de 1999, las condiciones de temperatura y humedad ambiente fueron muy proclives a una alta evaporación, con valores medios diarios en torno a 26 °C y 36%, respectivamente. No obstante, durante los días de control no se registraron eventos de viento acusado, sólo episodios de brisas de unos 5 m/s de velocidad y dirección principal N140.

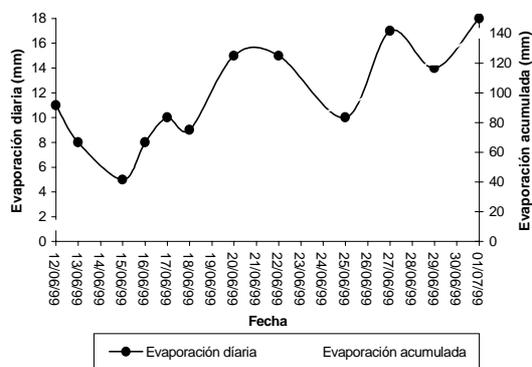


Fig. 3. Evolución de la evaporación diaria y acumulada, medida en tanque.

En la Figura 4 se muestra la evolución de la temperatura y humedad del aire medidas.

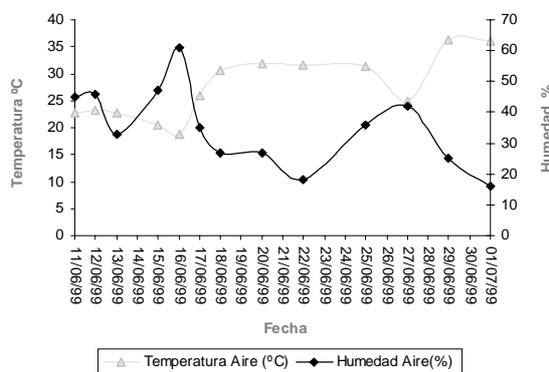


Fig. 4. Evolución de la temperatura y humedad del aire.

Por lo que respecta a la experiencia de trazado con ión bromuro, antes del inicio de la experiencia se realizaron los pertinentes estudios de retención-liberación en laboratorio, que fueron plenamente satisfactorios para las cápsulas de cerámica “industrial” de procedencia valenciana utilizadas, según se muestra en la Figura 5.

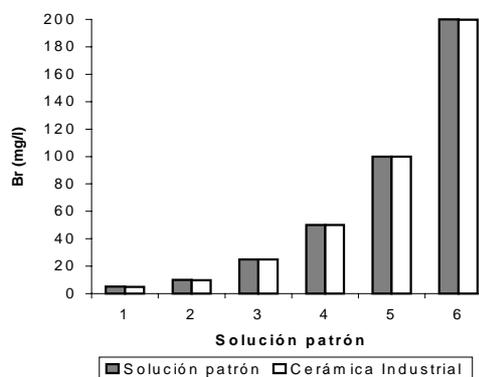


Fig. 5. Análisis de distintas concentraciones patrón de ión bromuro del exterior e interior de una cápsula de cerámica “industrial” de procedencia valenciana.

Una vez dado el primer riego, se aplicó vacío, obteniéndose a los dos días muestras de agua intersticial de 25 y 150 cm de profundidad, con ausencia a 75 cm de profundidad. Las concentraciones medidas fueron de 0,94 y 1,84 mg/l, respectivamente. Las bajas concentraciones obtenidas y el rápido flujo hasta 150 cm de profundidad evidencian que existió flujo preferencial rápido, a través de grietas de desecación existentes, posiblemente, entre el “encofrado” arcilloso de los tubos de PVC y el suelo; éste estaba extremadamente seco al inicio de la experiencia, y no fue humedecido con el propósito de no alterar las condiciones de salida del ensayo. A los 6 días volvió a recolectarse agua a 25 y 150 cm de profundidad,

obteniéndose valores de 0 y 5,73 mg/l, respectivamente, que interpretamos respondieron nuevamente a flujos preferenciales, única posibilidad de interpretar, además, la ausencia de ión bromuro a 25 cm de profundidad; volvió a no haber agua, ni pérdida de vacío, a 75 cm de profundidad.

A los 13 días del primer riego, y 2 del segundo (recordemos que éste fue de 175 mm/2 horas), sólo se pudo obtener agua de la cápsula de 25 cm, que dió, en esta ocasión, una concentración de ión bromuro de 21,32 mg/l, indicando que la mayor parte del trazador estaba aún contenida en el horizonte más superficial del suelo. Este mayor valor de concentración y la ausencia de muestra, sin pérdida de vacío, a 150 cm de profundidad posiblemente fueron indicativas del cierre de las grietas de desecación utilizadas como vías de circulación preferencial. Recordemos que ni los sensores de humedad, ni las determinaciones de humedad realizadas detectaron apenas incremento de la humedad a esa profundidad.

Para confirmar el avance del ión bromuro en la ZNS, a los 19 días del comienzo de la experiencia (9 días después del segundo riego), una vez comprobada la estabilización o descenso de las humedades del perfil, se tomaron muestras de suelo a 25, 75 y 150 cm de profundidad, obteniéndose las siguientes concentraciones: 3,56, 0,83 y 0,09 mg/100 g de suelo seco, respectivamente. En la Figura 6 se presentan los resultados obtenidos. La curva exponencial decreciente de concentración-profundidad obtenida confirmaría el mínimo flujo producido, con ausencia de recarga, aspecto ya evidenciado por los perfiles y medidas de humedad realizadas. El cálculo del bromuro contenido en el suelo hasta 150 cm de profundidad arrojó un valor sensiblemente similar al aplicado en el ensayo de trazado; según la curva obtenida, aproximadamente el 50 % del bromuro aportado, estaría contenido en los primeros 30 cm del suelo.

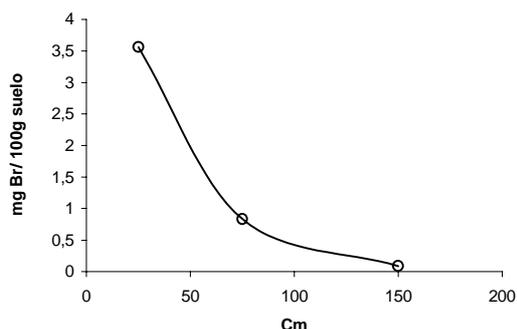


Fig. 6. Concentración de ión bromuro en muestras de suelo, a 25, 75 y 150 cm de profundidad, a los 19 días de la aplicación.

4.- Conclusiones.

Los ensayos de recuperación de ión bromuro realizados en laboratorio con cápsulas cerámicas “industriales” de procedencia valenciana dieron resultados excelentes, incluso a muy diferentes concentraciones patrón.

Sin embargo, la experiencia de trazado en campo no dió

resultados satisfactorios, fundamentalmente por el número no representativo de muestras de agua intersticial obtenidas; ello se debió, fundamentalmente, a una insuficiente rehumidificación del suelo con las dotaciones de riego aplicadas. Mejor y mayor información ofrecieron los análisis de ión bromuro en muestras de suelo, que mostraron una curva exponencial decreciente con la profundidad, con ligerísimo avance del ión bromuro hasta 150 cm de profundidad, confirmando así una mínima progresión del frente de infiltración. El bromuro contenido en el suelo hasta 150 cm de profundidad fue prácticamente equivalente al aplicado al principio de la experiencia de trazado.

Se detectaron flujos preferenciales en los tomamuestras instalados, posiblemente a través de grietas de desecación entre el “encofrado” arcilloso y el suelo, ya que este estaba muy seco y no se humedeció con anterioridad al ensayo de trazado.

Mayor (más cómoda y rápida) información dieron los perfiles y medidas de humedad del suelo. La evolución de esta a 25, 75 y 150 cm de profundidad, así como las medidas al inicio y final de la experiencia, indicaron un mínimo avance de la infiltración, con ausencia de recarga efectiva. La mayor parte del agua se evapotranspiró y sólo una mínima parte se infiltró, restituyendo la humedad hasta una profundidad próxima a los 150 cm de profundidad.

Los sensores de humedad, de tipo resistivo, marcaron de forma aceptable la curva de humedecimiento del suelo, pero no así la de secado, debido a la mayor inercia en la pérdida de humedad del material cerámico poroso de los sensores en comparación con la del suelo. La evolución de la temperatura del suelo a 20 y 34 cm.

De profundidad, también aportó información de interés, detectando las dos frentes de infiltración provocados por los riegos a esas profundidades. La disponibilidad de sensores a profundidades más elevadas, y un mayor contraste entre la temperatura de las aguas de riego y la del suelo (de unos 8 °C en el caso estudiado), hubiera aportado mayor información, complementaria a la suministrada por las evoluciones de humedad.

Agradecimientos: Este trabajo se realizó al amparo del Proyecto AMB97-1222, financiado por la CICYT. Se agradece a Esperanza Romero los datos de capacidad de retención de humedad del suelo suministrados

Referencias.

- Allison, G.B. 1987. A review of some of the physical, chemical and isotopic techniques available for estimating groundwater recharge. *Workshop Estimating Nat. Recharge of Groundwater*. Turkey. 43 - 66.
- Araguas, L. y López Vera, F. 1995. Estudio de transferencia de humedad en la ZNS mediante isótopos estables. Primeros resultados en el acuífero detrítico de Madrid. *Avances en la investigación en ZNS*. Vitoria. 181-191.
- Bouat, A. y Couzet, H. 1965. Notes techniques sur un appareil semiautomatique de dosage de l'azote (et de certains composees volatils). *Ann. Agr.* 16.
- Castillo, A. 1986. Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada. *Tesis Doct. Univ. Granada. Serv. Pub.* 658 p.
- Castillo, A. 1995. El acuífero de la Vega de Granada, uno de los más

- importantes de Andalucía. *Tierra y Tecnología*, 9: 37-42.
- Giráldez, J.V. y Laguna, A. 1995. Un modelo analítico para el estudio del flujo de agua en suelos subsaturados. *Avances en la investigación en ZNS*. Vitoria. 237-244.
- López, J.J, y Giráldez, J.V. 1995. Estudio de la evolución del contenido de humedad del suelo en áreas cultivadas. Aplicación a dos zonas climáticas diferentes de Navarra. *Avances en la investigación en ZNS*. Vitoria. 165-180.
- Martínez Fernández, J. 1990. Estudio de las características hidrodinámicas de los suelos: el método del recipiente de tensión hídrica. *I Reunión Nac. de Geomorfología*. Teruel. 699-708.
- Richards, L.A. 1947. Pressure membrane apparatus: construction and use. *Agr. Eng.* 28: 451-454.
- Robinson, G.W. 1922. A new method for mechanical analysis of soil and other dispersion. *J. Agr. Ac.* N° 12. Pp.306-321.
- Sánchez Moreno, L., Romero, E., Sánchez Rasero, F., Dios, G., Castillo, A., Cabrera, J.J. y Peña, A. 1999. Efecto de la adición de materia orgánica y de surfactantes sobre el comportamiento de metidation en suelos de la Vega de Granada. *IV Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo*. Tenerife.
- Santos, F. 1979). Estudio geológico y edafológico del sector Montiel-Alcázar-Bienservida. *Tesis Doctoral*. Univ. Granada.
- Topp, G.C. & Davis, J.L. 1982. Measurement of soil water content using time domain reflectometry. *Canadian Hydrology Symposium*. Ottawa. 269-287.
- Tyurin, I. V. 1951. Analytical procedure for a comparative study of soil humus. *Trudy Pochr. Inst. Dokuchaev*.