

**ESTUDIO DE LA ZONA NO SATURADA EN UNA PARCELA EXPERIMENTAL
EN ARKAUTE (ARABA).
PROBLEMÁTICA Y RESULTADOS PRELIMINARES.**

GONZALO, J.M.⁽¹⁾, ANTIGÜEDAD, I.⁽¹⁾, LUENGO, C.⁽¹⁾, SANCHEZ-PEREZ, J.M.⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo de Hidrogeología. Area de Geodinámica.
Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.
48940 Leioa (Bizkaia).

⁽²⁾ Centre d'Études et de Recherches Eco-Géographiques.
CEREG-URA 95 CNRS.
3 rue de l'Argonne, 67083, Strasbourg Cedex (Francia).

Laburpena

1994.eko Azarotik aurrera kontrolpean dago Arkauten (Araba) alde ez-saturatua ikertzeko den ikergune esperimentala. Bertan burutzen diren ikerlanen helburua lurinketa-ebapotranspirazioa eta iragazketa bide zuzenez determinatzean datza, bai eta beroriek baldintzatzen dituzten faktoreen ezagutzean ere. Hau dela kausa, masa eta ur balantzeak ari gara egiten aldizka, ebapotranspirazioz edota iragazketaz "galdutako" ura zehaztu asmotan. Bestalde, balantzeon bitartez modu zuzenean lortutako datuak ebaporimetroz lortutakoekin eta formulen bidez enpirikoki kalkulatuakoeekin alderatzea ere dugu helburu, datuon balio fisikoa ezagutzeko.

Ikerlan honetan gune esperimentalean orain arte burutua, jarritako ikergailuekin izandako arazoak eta behin-behineko lehendabiziko hainbat datu ere agertzen ditugu, geroago egiteko denaren aurregaia.

Resumen

Desde Noviembre de 1994 se controla una parcela experimental en Arkaute (Araba). El objetivo principal de los trabajos que se realizan es la determinación de la evaporación-
evapotranspiración y de la infiltración por métodos directos, así como el conocimiento de sus factores condicionantes. Para esto se está procediendo a la realización del balance temporal de masas e hídrico para calcular la cantidad de agua "perdida" por evapotranspiración e infiltración. Por otro lado, se trata de contrastar los valores de evaporación medidos en los evaporímetros, los calculados empíricamente y los obtenidos en la parcela experimental mediante balance de humedad y de masa del suelo.

Se describe en el presente trabajo el material utilizado en la parcela experimental para el estudio de la zona no saturada y se expone un avance de los datos recopilados hasta el momento, discutiendo algunos perfiles de humedad obtenidos.

Introducción

La determinación del balance hídrico se realiza generalmente adaptando los términos del balance que presentan mayores problemas. Si las entradas y las

variaciones de reservas son relativamente fáciles de medir, las pérdidas, bien por evapotranspiración o resultantes de la infiltración, son en general estimadas como un término global difícil de separar.

El término evapotranspiración es generalmente calculado a partir de métodos empíricos y representa por tanto una aproximación de la medida. La componente infiltración puede medirse si se realiza un buen seguimiento de las variaciones de reservas en el suelo y del sentido de circulación de los flujos.

El objetivo principal del proyecto y de los trabajos que se realizan en la parcela de Arkaute es la estimación de los términos del balance infiltración y evaporación-evapotranspiración, a partir de la realización de balances temporales de masa e hídrico. Los datos así obtenidos serán comparados con los valores de evaporación medidos en los evaporímetros (Czeratski, Piché y tanque clase A) y con los valores de evapotranspiración calculados empíricamente.

En una etapa posterior se pretende estudiar las posibilidades de extrapolación de los datos obtenidos en la parcela al conjunto de la llanada alavesa.

La parcela experimental se ubica en el lugar de la estación meteorológica de Arkaute (Araba), en terrenos de la Granja Modelo. En esta estación hay un completo equipamiento de dispositivos perteneciente al Servicio Vasco de Meteorología / Meteorologi Euskal Zerbitzua (SVM/MEZ) y algunos al Instituto Nacional de Meteorología (INM). Esta parcela experimental forma parte del Proyecto de Investigación "Estudio de la evapotranspiración mediante métodos directos y empíricos en emplazamientos de la red meteorológica", realizado por el Grupo de Hidrogeología del Departamento de Geodinámica de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea para el SVM/MEZ.

Características geológicas del emplazamiento

La parcela experimental se sitúa en el Sector Oriental del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (Sánchez-Pérez *et al.*, 1994). Este Sector tiene una superficie aproximada de 50 km² y potencias comprendidas entre 2 y 10 m de gravas heterométricas englobadas en una matriz arcillo-arenosa. El sustrato lo componen margas del Campaniense prácticamente impermeables.

La columna litológica en la parcela es la siguiente: de 0 a 40 cm un nivel de arcillas y limos, de 40 a 70-80 cm un nivel de arenas debajo de las cuales se encuentran las gravas heterométricas.

El nivel freático en el periodo de control de la parcela experimental ha fluctuado entre 20 y 130 cm de profundidad (figura 1). Este nivel además de por las lluvias se ha visto afectado por riegos en terrenos cercanos así como por bombeos en una balsa situada a unos 125 m de la parcela.

Dispositivos instalados en la parcela

Tomamuestras de succión

Entre los métodos de extracción de la solución intersticial del suelo los tomamuestras de succión presentan la ventaja de perturbar relativamente poco el medio. Se han instalado cinco tomamuestras de succión (Prenart super quartz) en la parcela de Arkaute. Están constituidos por una cápsula o célula de teflón y vidrio. Esta tiene una altura total de 90 mm y un diámetro exterior de 21 mm. y su superficie efectiva es de 17 cm² para una altura de 50 mm. El diámetro de los poros es de 3 micrones, dando una conductividad hidráulica de $1,9 \times 10^{-7}$ cm/sg. Los cinco tomamuestras de succión se colocaron verticalmente a unas profundidades de 15, 35, 55, 75 y 95 cm., separados entre ellos 40 cm. en línea recta.

El tiempo de extracción de cada tomamuestras de succión ha sido de una semana durante el tiempo que lleva instalada la parcela. Los tomamuestras más profundos han mantenido durante la semana el vacío, de hasta 0.3 bar en el momento de la recogida de la muestra. Los dos tomamuestras más superficiales han tenido dificultad en mantener la succión durante toda una semana y durante el verano ha resultado imposible efectuarles el vacío. Los volúmenes de agua recogidos por los tomamuestras de succión en la parcela varían entre 0 (en los dos tomamuestras más cercanos a la superficie y en verano) y 0.4 l.

Tensiómetros

En la parcela de Arkaute se han instalado nueve tensiómetros, cinco tensiómetros con manómetro de mercurio (D.T.M. 5000 de Nardeux) instalados verticalmente a 15, 35, 55, 75 y 95 cm. de profundidad, y cuatro tensiómetros con manómetro de esfera (Soil Moisture) instalados verticalmente a 15, 35, 55 y 75 cm. de profundidad. Los tensiómetros con manómetro de mercurio tienen calibrado el manómetro en milibares, dando una precisión mayor a la hora de la lectura de los datos que los de manómetro de esfera, que están calibrados en centibares.

TDR (Time Domain Reflectometry)

El principio de la determinación del contenido en agua del suelo mediante el método TDR se basa en la determinación de la velocidad de propagación de una onda en un material, en nuestro caso en el suelo. La constante dieléctrica del suelo está relacionada con su humedad. La medida de la constante dieléctrica del suelo depende de la frecuencia de emisión de la señal electromagnética. A 1 GHz de frecuencia, las grandes diferencias entre la constante del agua y del suelo posibilita el establecimiento de una relación entre la medida y el contenido

en agua del suelo sin que en ella intervengan su composición química y su textura (Martínez *et al.*, 1994).

Las medidas de humedad en el campo mediante el sistema TDR se realizan con dos sensores diferentes:

- Un sensor de dos puntas de acero inoxidable de 10 cm. de longitud, separadas 2 cm., unida a un tubo de PVC que lleva en su interior el cable de unión con el aparato de medida de humedad (TRIME FM, Versión P2 de Imko). Este sensor se clava en el terreno a diferentes profundidades. Se han instalado cinco tubos de PVC de acceso al terreno del sensor de humedad a 15, 35, 55, 75 y 95 cm. de profundidad. La medida de humedad se efectúa tres veces en un mismo sitio haciendo posteriormente la media.

- Una sonda de tubo (TUBE PROBE) para el TRIME FM P2. Esta sonda se introduce a lo largo de un tubo de fibra de vidrio instalado verticalmente en el terreno. En Arkaute hay dos tubos de este tipo introducidos hasta una profundidad de 85 cm. Esto permite hacer perfiles de humedad en dos verticales distintas de la parcela experimental. Semanalmente se efectúa una medida de humedad cada 5 cm., desde la superficie hasta los 75 cm. El tubo del Tube Probe denominado TP1 se instaló el 4 de Mayo de 1995 y el TP2 el 1 de Junio de 1995.

La implantación de los sensores Tube Probe permite seguir el frente de humedad en relación con los aportes de agua al suelo (lluvia, riego) para cuantificar así las cantidades de agua que circulan hacia la zona saturada y a la atmósfera. Tiene la desventaja de que no se puede medir en continuo, por lo que los resultados dependen en gran medida del espaciamiento temporal de la toma de medidas.

El sensor de dos puntas fue diseñado para estar fijo en el terreno. En Arkaute, sin embargo, lo hemos utilizado como un sensor móvil, lo que ha dado problemas en la interpretación de los datos, debido probablemente a las perturbaciones creadas por las sucesivas introducciones del sensor. Para éste artículo se ha estimado conveniente tomar sólo las medidas que da la sonda de tubo.

Otros dispositivos

El nivel freático se controla en un pozo construido a 5 m. de la parcela, capaz de medir hasta un nivel de -126.5 cm. También se controla el nivel mediante un limnógrafo en un pozo de bombeo (pozo huerta) situado a 150 m. de la parcela. Se pretende instalar en breve un piezómetro cercano a la parcela, que profundice más que el actual, con una sonda para medir nivel de agua, conductividad y temperatura en continuo.

Se cuenta además con todos los aparatos de las dos estaciones meteorológicas (una automática del SVM/MEZ y otra manual del INM) situadas a 10 metros de la parcela experimental.

La estación automática del SVM/MEZ consta de: tanque de evaporación clase A, evaporímetro Czeratski a 1.4 m. del suelo, sensores de dirección y velocidad del viento a 2 y a 10 m., 2 pluviómetros de cazoletas a 1.4 m., 5 sondas de T^a del suelo hasta 50 cm. de profundidad, sensor de humedad relativa y T^a a 1.5 m., sensor de humedad relativa y T^a forzada a 2 m/s, sensor de P atmosférica a 1 m., piranoalbedómetro a 1.7 m., piranómetro (radiación solar global de onda corta) a 5 m., pirheliómetro (radiación solar directa).

La estación manual del INM consta de: pluviómetro, evaporímetro Piché, termómetro (máx. y mín.) , sensor de humedad y heliógrafo.

Muestreo y toma de datos

Desde el 10 de Noviembre de 1994 se viene tomando semanalmente una muestra de agua de cada uno de los tomamuestras de succión, del agua de lluvia recogida durante la semana así como del agua del pozo de la parcela. A partir del 22 de Junio de 1995 se han tomado muestras del agua del pozo de bombeo.

De cada muestra se analiza en laboratorio: HCO₃⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁼, NO₃⁻. De todas las muestras de agua se mide in situ temperatura, pH y conductividad. Semanalmente se mide la humedad del terreno a diferentes profundidades con el TDR. Diariamente se hace una lectura de los nueve tensiómetros y se mide el nivel de agua del pozo de la parcela.

Desde el 15-12-94 se recogen muestras de agua de los tomamuestras de succión, de lluvia y del pozo con el fin de efectuar estudios isotópicos (desde el 22-6-95 en el caso del "pozo huerta"). Todavía no se dispone de datos relativos a este tema.

Resultados preliminares

Consideramos aquí, de forma preliminar, los datos analíticos de los bicarbonatos por ser, a la vista de los elementos analizados, los que presentan variaciones más significativas.

En la tabla 1 y en la figura 1 se muestran los resultados en ppm de los análisis del HCO₃⁻ de los cinco tomamuestras de succión de la parcela experimental de Arkaute, así como del agua de lluvia y de los dos pozos controlados. El sombreado indica las cápsulas que han quedado por debajo del nivel piezométrico y que representa una cantidad importante de las muestras obtenidas.

	1 (95 cm.)	2 (75 cm.)	3 (55 cm.)	4 (35 cm.)	5 (15 cm.)	Lluvia	Pozo	Pozo Huerta	pp semanal (mm)
15-12-94	484,76	531,34	640,03			27,6	476,14		5.7
22-12-94	479,59	541,59	660,73				433,01		23.7
29-12-94	370,52	321,9	367,99				309,05		3.2
05-01-95	390,86	367,99	408,53	367,24		15,11	279,59		100
12-01-95	369,86	525,82	592,31	588,12	379,72	39,04	652,09		64.7
19-01-95	644,77		469,09	424,56		31,11	461,77		15
26-01-95	656,36		560,71	462,38		32,94	350,75		9.5
02-02-95	473,66	529,78	576,64			37,53	523,9		3.5
10-02-95	532,73	559,22	685,78			41,2	497,41		18
16-02-95	436,42	488,94	565,23	456,43		22,51	426,42		5
23-02-95	433,92	467,69	605,24	548,97		17,51	449,55		22.5
02-03-95	225,79	171,65	232,4	336,71	198,06	7,92	228,43		44
09-03-95	277,29	344,63	349,01	303,7	464,79	15,84	297,1		60
14-03-95	199,38	345,95	595,51				474,69		1.1
23-03-95	462,15	514,97	580,99	456,87			501,76		0
30-03-95	446,3	456,87	578,35	514,97		47,53	489,88		0
06-04-95	453,66	450,92	482,72	376,2			495,18		0
12-04-95	442,62	442,62	501,4	279,4			485,5		0
20-04-95	410,1	442,62	657				486,88		1.8
27-04-95	435,7	471,66	640,4	637,64		22,12	482,72		27
04-05-95	313,84	273,72	373,68			27,77	235,37		5
11-05-95	355,7	281,65	314,71			29,09	294,35		7
18-05-95	341,15	368,92	396,69			21,15	345,12		26.6
25-05-95	433,72	477,35	522,31			29,09	450,91		2.5
01-06-95	417,85	453,55	517,02			34,38	457,52		2.8
08-06-95	364,56	437,71	486,49				394,07		0
15-06-95	390,22	423,59	445,41				449,27		0.4
22-06-95	356,85	360,7	426,16				415,89		3
29-06-95	322,45	355,4	383,98				300,72	339,24	0
06-07-95	345,46	370,31	434,93			16,15	375,28	316,87	18
13-07-95	339,24	356,64	395,16			24,85	391,43	269,65	44.5
20-07-95	321,99	380,54	435,09				299,37	381,87	0
26-07-95	380,54	399,16	471,01				267,44	373,88	0
01-08-95	339,29	339,29	415,13				360,58	383,86	0
07-08-95	341,95	302,03	388,52				336,63	365,9	0
11-08-95	299,37	319,33	343,95				349,27	367,23	1.9
18-08-95	262,12	341,95	300,7				226,19	363,24	0.7
25-08-95	327,36	374,99	327,36			24,25	235,56	364,6	2.3
31-08-95	261,12	290,12	368,06					356,8	0
11-09-95	299,64	315,23	320,43			31,18		280,59	25.1
15-09-95	297,91	291,85	270,2				287,52	318,7	2.1

Tabla 1.- Concentraciones (ppm) en HCO_3^- en las cápsulas de la zona no saturada, en los pozos y en las lluvias. Las zonas sombreadas indican que las cápsulas han quedado por debajo del nivel piezométrico.

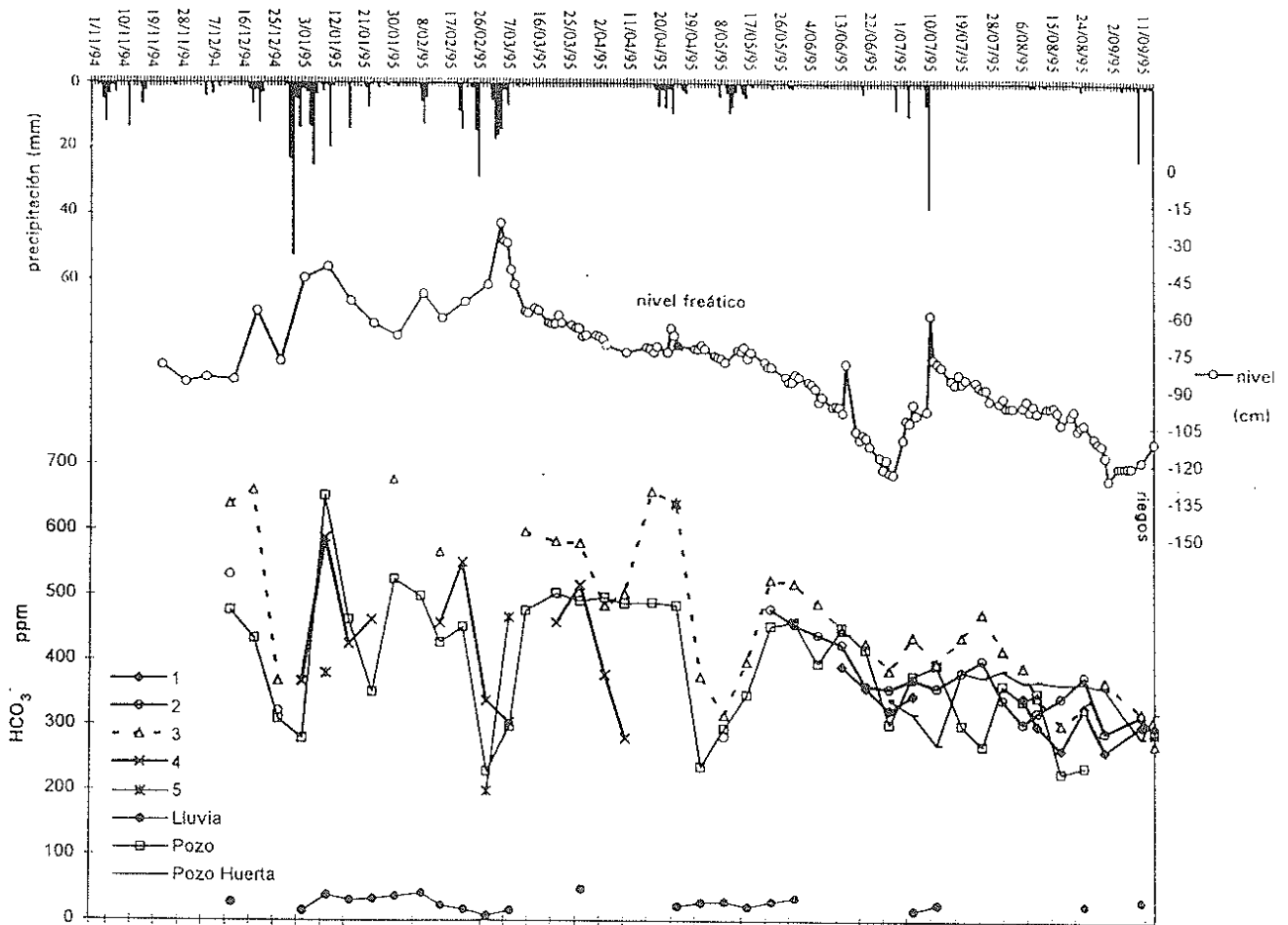


Figura 1. Variaciones del HCO_3^- del agua recogida por los tomamuestras de succión en zona no saturada (no se consideran los datos de las cápsulas "inundadas"), precipitaciones y variaciones del nivel freático.

A la hora de hacer un balance para estimar infiltración y evaporación hay que tener en cuenta el siguiente aspecto. Debido a que el tiempo de extracción de cada tomamuestras es generalmente de una semana y que la extracción del líquido se realiza principalmente durante los primeros días, se puede dar el caso de que una dilución producida por unas lluvias importantes no sea detectada en toda su magnitud. Tal es el caso de la muestra de agua recogida el 11-09-95. Durante el periodo de extracción ha llovido 25.1 mm de los cuales 23.2 fueron recogidos el día anterior al de la toma de la muestra. Las condiciones de vacío en las cápsulas en esos momentos no permitían la extracción de solución intersticial del suelo, de ahí que el agua muestreada no refleje la influencia de las lluvias. En consecuencia, el periodo de muestreo debería adecuarse en mayor medida a la meteorología, cuestión que en este momento está siendo corregida.

En la figura 1 se puede ver que las lluvias de invierno y primavera provocan diluciones generalizadas en el pozo y en las cápsulas que están en zona no saturada lo que se atribuye a un tránsito eficaz de agua precipitada a través de esa zona; se produce recarga. En verano, las lluvias de la segunda semana de julio provocan una subida del nivel freático, por efecto regional del acuífero, produciendo dilución en la concentración de HCO_3^- en el pozo pero no en las cápsulas 1 y 2, en las que se da un ligero aumento de la concentración. Esto implica un distinto comportamiento en las lluvias de verano. Parece que hay un empuje hacia el acuífero de aguas que han estado sometidas a evaporación (mayor mineralización) y que son las que se recogen en las cápsulas. La dilución progresiva viene en los días posteriores. De todas maneras, el seguimiento hasta ahora realizado es demasiado corto para poder evidenciar más en detalle estos aspectos.

Perfiles de humedad

El contenido en agua en volumen q se determina en el campo con una sonda de tubo (TUBE PROBE) conectada al TRIME FM P2. Se realizan en la parcela 2 perfiles de humedad en dos verticales separadas 4 m. Se toman los valores de humedad cada 5 cm desde una profundidad de 10 a una de 75 cm. En la tabla 2 se muestran los datos y en la figura 2 los perfiles obtenidos en el tubo denominado TP2 desde el 1/6/95 hasta el 5/10/95. Se aprecia el rango en el que varían los valores de humedad en el suelo. Las mayores variaciones se producen en la parte superior del suelo en el que por el momento se han producido variaciones de hasta 20%. A una profundidad en torno a 35-45 cm no se producen apenas variaciones en q . Por debajo vuelven a aumentar las variaciones de q (10-12 %).

En la figura 3 se pueden ver los perfiles de humedad obtenidos en la vertical de la parcela experimental, en la que además se integran los datos de precipitación, el nivel freático en la parcela y la columna litológica del suelo de la parcela.

Se han podido observar diferentes respuestas en la variación del perfil de humedad del suelo dependiendo de la meteorología. Después de una lluvia fuerte (18 mm, 6/7/95) se produce un aumento inmediato de la humedad en la zona superior del terreno (hasta 25-30 cm) notándose en el siguiente perfil, una semana más tarde, el incremento de la humedad en niveles más profundos, habiéndose producido, por tanto, infiltración.

En periodos en los que no hay lluvias la humedad en la zona no saturada, como era de esperar, desciende incluso si durante la semana ha habido alguna lluvia débil (2 mm).

Tal como se puede ver en la tabla 2, las lluvias que se producen en el mes de agosto solo aumentan la humedad del suelo en su parte superior sin producirse variaciones por debajo de los 25-30 cm. Todo este volumen de agua se pierde por efecto de la evaporación.

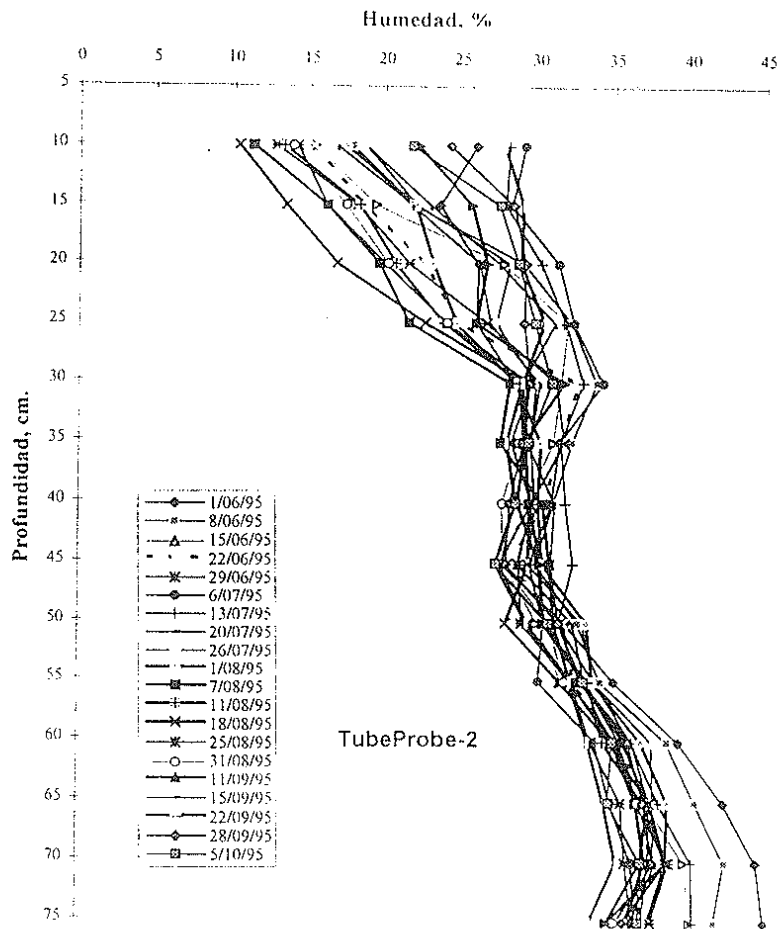


Figura 2. Perfiles de humedad obtenidos en el Tube Probe 2, entre el 1/6/95 y el 5/10/95.

Variación del Stock de agua en el suelo

Si el reparto es unidimensional, es decir, si el perfil hídrico es independiente de la vertical elegida, el volumen de agua dV_e contenido en un cilindro vertical de sección ds y limitado por los planos de cota z_1 y z_2 es proporcional a la superficie ds

$$dV(z_1, z_2) = ds \int_{z_1}^{z_2} \theta dz$$

Se denomina Stock de agua (S) a la integral $\int_{z_1}^{z_2} \theta dz$. Representa la cantidad de agua contenida en una sección de suelo. Tiene la dimensión de una longitud lo que permite compararlo directamente con las lluvias.

Si se consideran dos perfiles hídricos elaborados en los instantes t y $t+Dt$. Podemos calcular $S(z_1, z_2)$ en los dos instantes. Se puede conocer entonces la variación de Stock DS (z_1, z_2) durante Dt .

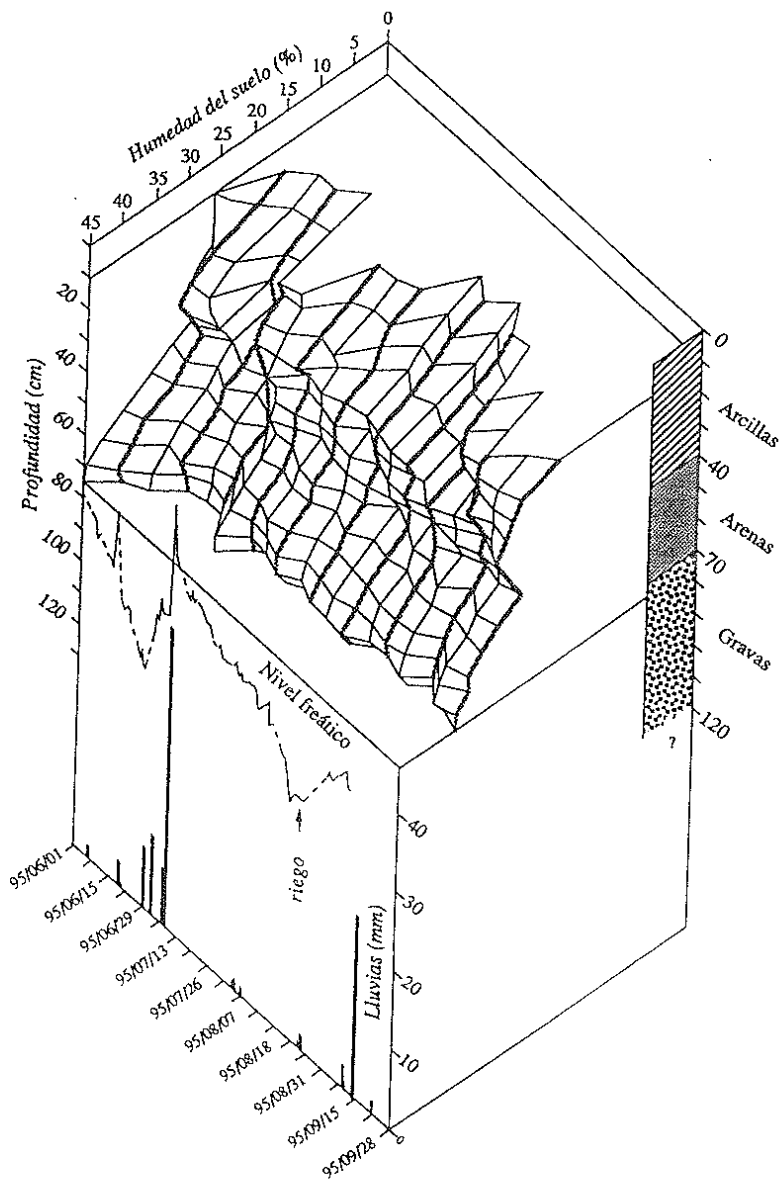


Figura 3. Representación tridimensional de los perfiles de humedad del Tube Probe 2, precipitaciones, nivel del agua en el pozo cercano a la parcela experimental y la columna del terreno donde ésta se encuentra.

A fin de poder determinar la influencia relativa de las pérdidas por evaporación y de la disminución del stock debido a un drenaje profundo (que se traduce finalmente por una circulación hacia el acuífero), es necesario considerar

los perfiles de los potenciales dados por los tensiómetros, determinar la cota de flujo nulo en cada momento.

Prof. Fechas	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	Hum. media	Stock (mm)	ΔS (mm)	pp (mm)
1/06/95	26	23,6	26,1	26	28,6	29,5	28,5	27,7	31,8	35	39,3	42,3	44,5	45	32,42	210,739		2,8
8/06/95	17,8	21,9	29,1	32,2	33,8	32,2	31	29,9	32,6	34,1	38,5	40,4	42,4	41,7	32,69	212,457	1,71786	0
15/06/95	15,3	19,4	27,8	31,9	31,5	31	29,2	27,9	30	31,6	35,3	37,2	39,7	40,1	30,56	198,688	-13,789	0,4
22/06/95	15,2	18,6	22,7	24,8	32,6	31,5	30,4	28,3	31,7	32,4	34,9	37,9	37,1	36,8	29,64	192,632	-6,0357	3
29/06/95	12,7	18,2	21,6	26,7	31,2	31,7	29,6	27,6	29,4	32,3	33,5	35,5	35,8	36,3	28,72	186,689	-5,9429	0
6/07/95	29,1	28,3	31,3	32,3	34,2	31,4	30,9	29,5	30,4	30,1	33,8	34,8	36,2	36,5	32,06	208,371	21,6821	18
13/07/95	28,1	27,9	30,2	31,8	32,9	31,5	31,8	32,3	31,4	33,7	36,2	38	40,2	40,3	33,31	216,496	8,125	44,5
20/07/95	18,7	23	27,5	31,1	29	29,3	31,1	30,9	31,4	33	36,2	37,4	37,3	36,9	30,91	200,943	-15,554	0
26/07/95	18,7	22,1	28,2	27,3	29,9	29,5	29,9	29,4	32,9	33,7	37,5	37,6	37,7	35,2	30,69	199,457	-1,4857	0
1/08/95	17,4	22	23,2	24,7	28,6	30,2	30	30,3	33,2	33,6	36,8	38,6	38,5	37,3	30,31	197,043	-2,4143	0
7/08/95	11,2	16,1	19,6	21,6	28,2	27,6	30,3	30,8	31,1	32,2	34,9	36,5	37,1	35,8	28,07	182,464	-14,579	0
11/08/95	13,2	18,3	20,7	23,9	28,8	29,1	28,7	30,1	30,5	33,3	34,3	37	38,5	35,7	28,72	186,689	4,225	1,9
18/08/95	10,3	13,4	16,8	22,7	29,3	29,2	29,5	29,4	28	31,5	34,8	37,4	38,5	34,6	27,53	178,936	-7,7536	0,7
25/08/95	14,1	16,1	20	24,1	29,5	28,3	29,6	28,8	29	32,2	35,2	36,5	38,7	37,5	28,54	185,529	6,59286	2,3
31/08/95	13,8	17,4	20,2	24,1	29,4	28,8	27,7	27,8	30,8	31,8	35,6	36,6	37	35,1	28,29	183,904	-1,625	0
11/09/95	22,2	25,7	26,7	26	31,7	29,1	29,5	30,2	30,4	33,1	35,7	37,3	36,8	34,6	30,64	199,179	15,275	25,1
15/09/95	16,8	21,8	26,2	26,9	30,1	29,6	29,7	28,7	32,3	33,1	35,4	36,7	37,8	36,2	30,09	195,604	-3,575	2,1
22/09/95	27,8	29	28,9	30,4	29	28	28,6	27,3	29,3	32,1	33,3	34,4	35,2	33,5	30,49	198,157	2,55357	
28/09/95	24,3	28,4	29,2	29,1	29,5	29	28,2	28	31,4	32,8	36	37	37,6	35,7	31,16	202,521	4,36429	
5/10/95	21,8	27,5	28,7	29,8	30,9	29,4	28,6	27,3	30,7	33	34,9	34,7	36,8	36,7	30,77	200,014	-2,5071	

Tabla 2.- Datos de humedad obtenidos con el Tube Probe 2 a diferentes profundidades, Stock e S entre las cotas 10 y 75 del 1/6/95 al 5/10/95

El caso más frecuente observado sobre la parcela desde Junio permite conocer a un instante dado la sección z_0 en donde el flujo es nulo. Esta sección se ha situado generalmente a unas cotas entre 35 y 55 cm de profundidad. Se puede entonces calcular el volumen circulado durante un intervalo de tiempo Δt a través de toda la sección z , por integración de los perfiles hídricos y se puede calcular el volumen circulado entre t_1 y t_2 ($t_2 - t_1 = \Delta t$) a través de la superficie del suelo por evaporación (esta es la diferencia entre las integrales de los perfiles hídricos entre los tiempos t_1 y t_2 y las cotas z_0 y 0). Todo esto para un Δt conveniente.

También se dan casos en donde el gradiente de potencial es negativo en toda la zona no saturada de la parcela y la circulación es descendente. Esto es lo que se obtiene durante una lluvia importante. La succión en esta zona es entonces constante y la circulación es puramente gravitacional. Cuando la lluvia se interrumpe, la superficie del suelo está sometida a la evaporación. Una circulación ascendente se forma al nivel de la superficie para interesar poco a poco una zona mas y mas profunda. El punto de flujo nulo podría incluso alcanzar la superficie libre y toda la zona no saturada está entonces sometida a un flujo

ascendente que resulta de la evaporación superficial. Ningún método permite entonces determinar el flujo a través de la superficie del suelo, ya que la pérdida en el nivel freático no es conocido. El cálculo del flujo es igualmente imposible cuando θ está próximo a la saturación.

El cálculo del ΔS así como el volumen de agua que se evapora o infiltra depende del espaciamiento temporal de la realización de las medidas (Δt). Para el control de la infiltración y evaporación en la parcela de Arkaute se ha propuesto una frecuencia de toma de medidas semanal. Esto hasta el momento ha dado algunos problemas al no controlar cambios del stock entre semana debidos a lluvias o riegos en zonas adyacentes y subidas puntuales del nivel freático. Todo esto hace que resulte difícil por el momento dar datos fiables de evaporación y de infiltración. En periodos secos parece posible espaciar en el tiempo las medidas sin que esto afecte significativamente los resultados. También aquí como en el caso de la analítica el periodo de muestreo se debe adecuar en mayor medida a la meteorología con el fin de caracterizar mejor el balance hídrico en la zona no saturada de la parcela experimental de Arkaute.

Referencias

- MARTINEZ, J., SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. y CAMMERAAT, L.H. (1994). La medida de la humedad del suelo mediante el método TDR (Time Domain Reflectometry): Estado del arte y ejemplos de aplicación. Investigación en Zona No Saturada, ed. I. Morell, pp: 17-27.
- ROYER, J.M. et VACHAUD, G. (1974). Determination directe de l'evapotranspiration et de l'infiltration par mesure des teneurs en eau et des succions. Hydrological Sciences Bulletin, XIX, 39, pp: 319-335.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. (1994). Metodología de muestreo de agua y suelo en medio no saturado. Investigación en Zona No Saturada, ed. I. Morell, pp: 1-7.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. (1995). Nuevas tecnologías para el control y muestreo de la zona no saturada. Avances en la investigación en zona no saturada. Ed. J.M. Gonzalo, I. Antigüedad.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. y MORELL, I. (1994). Precauciones del uso de tomamuestras de succión equipados con cerámicas porosas. Investigación en Zona No Saturada, ed. I. Morell, pp: 9-15.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M., ANTIGUEDAD, I., ARRATE, I., RUIZ, M y MORELL, I. (1995). Influencia del lavado de nitratos de la zona no saturada sobre la contaminación de las aguas subterráneas del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco). Ed. J.M. Gonzalo, I. Antigüedad.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M., ANTIGUEDAD, I., ARRATE, I., RUIZ, M. y MORELL, I. (1994). La zona no saturada y la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas en el acuífero de Vitoria-Gasteiz (País Vasco) Investigación en Zona No Saturada, ed. I. Morell, pp: 75-88.