

EVOLUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO DE UNA MASA ADEHESADA DE ALCORNOQUE (*Quercus suber* L.)

J. Vázquez, R. Tapias, J.A. Serrano, J.A. Raya, M.A. González, M.A. Suarez, E. Torres.
Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva.
Campus de La Rábida, Carretera de Palos de la Frontera s/n, 21819 Palos de la Frontera, Huelva
e-mail: jpique@uhu.es

Resumen

Este trabajo analiza la evolución espacial y temporal del contenido de agua del suelo en una masa adhesada de alcornoque (*Quercus suber* L.) en la provincia de Huelva. Para ello se ha realizado una red de 51 puntos de muestreo de humedad en los vértices de una cuadrícula de 20x20 m en los que se ha introducido un tubo de muestreo de 1 m de profundidad. Mensualmente se registra el contenido de humedad de cada punto a cuatro profundidades (10 a 30 cm, 30 a 50 cm, 50 a 70 cm y de 70 a 90 cm) mediante una sonda TDR. En un punto de la parcela se han instalado sensores de capacitancia (C-Probe) a profundidades de 10, 30, 60, 90 y 120 cm con toma de datos cada 15 min. Los contenidos de humedad en cada época de muestreo y los consumos de agua del ecosistema se representan en un sistema de información geográfica y se relacionan con variables climáticas y selvícolas (densidad puntual).

Palabras clave: humedad de suelo, SIG, TDR, sensores, clima.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es uno de los factores más limitantes para la vegetación en los ecosistemas mediterráneos caracterizados por un marcado desfase entre la época de mayores precipitaciones y el periodo vegetativo. El suelo es un depósito regulador del ciclo hidrológico del que dependen el estado de las plantas que soporta. El agua de lluvia se infiltra en el suelo que la retiene soltándola lentamente, bien por la evaporación en la superficie, bien por percolación hacia horizontes o acuíferos más profundos, de tal manera que las plantas puedan extraerla incluso en los periodos más secos. Para ello, las plantas han ido adoptando una serie de características anatómicas y fisiológicas (EAGLESON, 1982).

El conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de las propiedades del suelo es importante para evaluar la potencialidad productiva de un sitio y para proporcionar herramientas para desarrollar métodos eficientes de gestión. La variación espacial de las propiedades del suelo debe ser tomada en cuenta en el análisis de datos e interpretación de cualquier estudio sobre la vegetación (PRASOLAVA *et al*, 2000). Las propiedades físicas y químicas del suelo pueden variar por cambios en el material parental y por la posición en el territorio (vaguadas, laderas, crestas). En los terrenos forestales, además, la composición de especies y la presencia de árboles individuales pueden afectar a las propiedades del suelo en sus proximidades (BOENER & KOSLOWSKY, 1989). Por otro lado, esta variación espacial y temporal de las propiedades del suelo puede influir en el crecimiento de los árboles por lo que su estudio es necesario para entender mejor las variaciones individuales en el crecimiento y para predecir el crecimiento bajo distintas estrategias de manejo (PRASOLAVA *et al*, 2000).

El conocimiento de la variación espacial y temporal de la humedad del suelo también puede ser útil para la ciencia meteorológica que necesita conocer con suficiente resolución esta variación para la modelización de los procesos de intercambio que tienen lugar entre la superficie del suelo y la atmósfera (RODRIGUEZ *et al*, 2003).

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitio de ensayo

Los datos presentados han sido recogidos de una parcela de investigación situada en los Montes de Propios de Hinojos (Huelva) (UTM: 29S 0728041335). La parcela está situada en una masa de alcornoque (*Quercus suber* L.) con pies dispersos de encina (*Quercus ilex* L.), de 1,89 ha de superficie, densidad de 99,6 pies ha⁻¹ y un área basimétrica de 8,1 m² ha⁻¹. La altitud es de 100 m y la pendiente escasa. La vegetación arbustiva está formada fundamentalmente por *Cistus salvifolius* y *Halimium halimifolium* con presencia más dispersa de *Pistacea lentiscus*, *Phyllirea angustifolia*,

Daphne gnidium y *Chamaerops humilis*. La vegetación arbustiva está sometida a desbroces periódicos con intervalo coincidente normalmente con el turno de descorche. La distribución de los individuos arbóreos en la parcela y la altimetría de la misma se presentan en la Figura 1.

El clima es de tipo mediterráneo genuino IV₂ (ALLUÉ, 1990). La distribución de las precipitaciones y temperaturas se indica en el climodiagrama correspondiente a la estación de Pilas (Sevilla), cercana a la zona de estudio y que se presenta en la Figura 2. La caracterización edáfica se ha realizado mediante la elaboración de dos calicatas en la parcela cuya localización se indica en la Figura 1. Los datos analíticos principales se indican en la Tabla 1. Se trata de perfiles complejos en los que la parte superior, hasta los 25-40 cm, está formada por una capa de textura arenoso-franca a franco-arenosa formada por depósitos eólicos que conforman un perfil A C. La parte inferior tiene textura más pesada (texturas franco-arcillosas, franco-arcillosa-arenosa o arcillosa) en la que se diferencia un horizonte argílico de color abigarrado por la hidromorfía que su presencia provoca. Son suelos de reacción ácida, libres de carbonatos y caliza activa y con escasez de materia orgánica por la elevada tasa de mineralización. La capacidad de intercambio catiónica es baja en los horizontes arenosos, son suelos muy deficientes en fósforo y con un contenido en potasio de normal a bien provisto. El conjunto se clasifica como un Thapto Alfic Xerorthent.

Instalación del dispositivo experimental y mediciones

Para analizar la evolución espacial y temporal del contenido de humedad de suelo se instalaron dos dispositivos. Por un lado se introdujo, en cada uno de los vértices de una malla de 20x20 m, un tubo de PVC de 1 m de longitud y 50 mm de diámetro. El replanteo de los 51 puntos se realizó con estación total topográfica y su situación se indica en la Figura 1. En estos tubos se realizó con periodicidad aproximadamente mensual desde Junio de 2004 hasta Febrero de 2005 (8 ocasiones) la medición del contenido en humedad de suelo (en porcentaje de volumen de agua) a cuatro profundidades (10-30, 30-50, 50-70, 70-90 cm) mediante una sonda TDR. En un punto de la parcela cercano a su límite sur (ver Figura 1) se instaló un sensor C-Probe para la medición de la humedad de suelo a 10, 30, 60, 90 y 120 cm de profundidad con una periodicidad de 15 min. El dispositivo experimental se completó con la instalación de una estación meteorológica en la parcela con recogida con periodicidad de 15 min de datos de precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, temperatura del suelo (a 30 cm de profundidad), radiación PAR y velocidad y dirección de viento.

Para analizar la relación entre la densidad puntual de la masa arbórea y las variaciones de humedad del suelo se realizó un levantamiento topográfico con estación total de los individuos de la parcela y se tomaron de cada individuo los datos correspondientes a circunferencia normal, altura total y de la ramificación y 4 radios de copa.

Tratamiento de la información

La información relacionada con los contenidos de humedad de suelo a las distintas profundidades en los distintos meses se introdujo en un sistema de información geográfica (Arcview) y se generaron planos de distribución de humedad total y a distintas profundidades de suelo en los distintos meses. Se utilizó en método de la inversa de las distancias ponderadas (IDW) con potencia 2 y con la intervención de los 12 puntos más próximos al punto considerado. El tamaño de píxel considerado fue de 1 m de lado. Con la información proporcionada por todos los píxel se calculó la evolución de los contenidos medios de humedad total y a las distintas profundidades, así como las reducciones o recargas mensuales de agua.

Para conocer la relación entre la humedad de suelo y la densidad puntual se calculó en cada punto de la malla de 20x20 m en el que se midió la humedad el “Índice de densidad puntual” (SPURR, 1962):

$$IDP = \frac{2500}{n} \left[\sum_{j=1}^n \left(j - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{d_j}{D_{ij}} \right)^2 \right]$$

siendo D_{ij} la distancia entre el punto de medición i y el árbol competidor j ; d_j es el diámetro del árbol competidor j y n el número de competidores. La selección de los competidores se realizó utilizando distintos factores de área basimétrica (BAF) (de 1 a 4) obteniéndose 4 índices de densidad puntual. Este índice no puede ser calculado si la distancia entre el punto de muestreo y el competidor más alejado es mayor que la del punto de muestreo al límite de la parcela. Se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson para la cuantificación de la relación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la variación con sensores de medición continua

El estudio se inició en un año con una primavera muy lluviosa que se prolongó hasta mediados de mayo con el suelo prácticamente a capacidad de campo (Figura 3). Tras tres periodos de lluvias intensas separados prácticamente un mes (mediados de febrero, finales de marzo y principios de mayo) los horizontes superiores (10 y 30 cm) con una textura arenosa alcanzaron la capacidad de campo con contenidos de humedad de 7% y 13% respectivamente. Tras los aguaceros más intensos (55, 28 y 43 mm/día) estas capas se saturan de agua hasta valores del 18% durante unos pocos días posiblemente a causa de la menor conductividad hidráulica de los horizontes subyacentes.

Desde la última precipitación importante del 14 de mayo de 2004, el contenido de humedad de los primeros horizontes disminuye rápidamente coincidiendo con el aumento de las temperaturas y una actividad vegetativa intensa. En poco más un mes el horizonte superior prácticamente alcanza sus niveles más bajos de contenido de humedad en torno al 3,5 % a partir de este valor el descenso es casi inapreciable hasta el inicio de las lluvias de otoño (10 de octubre). A 30 cm de profundidad el consumo del agua disponible se prolonga durante mes y medio hasta alcanzar en la primera quincena de julio valores próximos a la capa superior (3,7%). Al final del periodo seco, primeros de octubre, ambas capas tenían el mismo contenido de humedad 3,1%.

Las capas inferiores, con una textura más fina, parten, al final del periodo húmedo, con contenidos de humedad más altos (17,5, 23 y 21% a 60, 90 y 120 cm respectivamente). El descenso del contenido de humedad en estas capas se inicia, siguiendo el orden de profundidad, los días 1, 10 y 13 de junio. El consumo de agua es muy rápido a 60 cm de profundidad durante el mes de junio y más lento para las últimas capas (90-120 cm) que se prolonga hasta finales de julio. A partir de esta fecha, el descenso es más lento para las capas situadas a más de 90 cm de profundidad. Estas alcanzan los valores más bajos a finales de octubre (11%) y primeros de febrero (13%). En las tres últimas capas apenas se aprecia el efecto de recarga por las escasas lluvias del otoño-invierno-primavera del 2004-05 que sólo llegan a recuperar temporalmente los niveles de capacidad de campo a la profundidad del primer sensor (10 cm) en tres ocasiones.

Variación espacial y temporal con mediciones mensuales

El contenido de humedad medio de la capa 10-90 cm y de las capas de 10-30, 30-50, 50-70 y 70-90 en el periodo de estudio se representan en la Figura 4. El suelo sufre una importante pérdida de humedad en el período Junio-Octubre, en el que la precipitación es de únicamente 5,4 mm. El descenso sigue una clásica exponencial negativa, con un descenso muy reducido en el mes de Octubre debido a las ya escasas reservas existentes en ese mes y a la reducción consiguiente de la actividad vegetativa por motivo de estrés hídrico. En el periodo Octubre-Noviembre se produce una recarga debido a las precipitaciones de 112 mm de ese periodo. A partir de la medición de Noviembre se produce un descenso continuado por las escasas precipitaciones existentes (36 mm en el periodo entre la medición de Noviembre y Diciembre, 0,6 mm entre la de Diciembre y Enero y 5,8 mm entre la de Enero y Febrero). Las variaciones afectan de manera más intensa a las capas superficiales, de textura más arenosa, más próximas a la atmósfera exterior y con un mayor contenido en raíces.

Se aprecia igualmente una marcada heterogeneidad en la distribución espacial de la humedad (ver Figura 5, en la que se presenta la distribución espacial en el mes con más humedad –Junio- y con menos humedad –Octubre- del periodo de medición). Las diferencias son apreciables tanto en el periodo de disminución de humedad (Figura 5) como en el periodo de recarga (Figura 6): en el periodo Junio-Julio la reducción de humedad varía en la capa de 10 a 90 cm entre 16 mm y 76 mm mientras que la recarga que se produce en el periodo Octubre-Noviembre varía entre 17 y 158 mm (ver Figura 6). La variabilidad espacial también es manifiesta si analizamos la humedad a distintas profundidades (Figura 7). En el caso de la capa entre 70 y 90 cm la recarga del periodo Octubre-Noviembre es casi nula en toda la mitad sur de la parcela mientras que alcanza valores próximos a 80 mm en algunos puntos del norte de la parcela.

Uno de los factores que podrían incidir en la heterogeneidad espacial de la humedad del suelo es la irregularidad en la distribución de la vegetación, fundamentalmente arbórea, que origine irregularidades espaciales en el consumo y recarga de agua. La correlación entre el índice de densidad puntual y los valores de humedad del suelo es significativa para la reducción de humedad

experimentada en el periodo Diciembre-Enero en la capa 10-90 cm (IDP (BAF=2): $r=0,53$, $p=0,0049$, $n=26$) y para el valor de la humedad total en el mes de Enero (IDP (BAF=2): $r=-0,45$, $p=0,0049$, $n=25$), que podría indicar que en esos meses las diferencias de transpiración entre las especies arbóreas que ocupan la parcela y las arbustivas y herbáceas son mayores que en los otros meses analizados. El resto de los meses las correlaciones no son significativas al 95% de probabilidad. Otros autores han encontrado correlaciones a varias escalas entre el comportamiento del agua en el suelo y diferentes parámetros de la parte aérea (BRUCKNER *et al* 1999, WENDROTH *et al*, 1999). Esta relación se debe a dos fenómenos: el dosel de copas altera tanto la distribución de las precipitaciones como la extracción de agua del suelo condicionado por la diferencias fisiológicas y de la arquitectura de la copa de las distintas especies (especialmente marcado entre coníferas y frondosas). Otros autores remarcan que en los periodos secos, las diferencias espaciales se deben predominantemente a los distintas tasas de transpiración de las especies. Por ejemplo en Austria (850 mm de precipitación anual y 8.4°C de temperatura media) se ha comprobado que el haya tienen un consumo "lujurioso" de agua frente a la *Picea abies* que es más "conservadora" debido a que la transpiración de las primeras es 5 o 6 veces mayor que en las segundas (HIETZ *et al*, 2000). Una relación parecida se ha encontrado entre la transpiración de las hayas, robles y abedules frente a los pinos (SCHUME *et al*, 2003). La persistencia o no de las hojas en la copa también puede provocar diferencias en el comportamiento del agua en el suelo. Por ejemplo especies más xerófitas pero con hojas persistentes como las coníferas (o en nuestro caso las encinas) pueden consumir el agua de las capas superficiales de suelo antes que las frondosas caducas (o semiperennifolias como el alcornoque) hasta que completan la brotación. Las diferencias en la extensión del sistema radical puede permitir a una especie (frondosa) mantener altas tasas de transpiración aún cuando las capas superficiales del suelo están secas y las plantas más xerófitas (coníferas) han iniciado el cierre estomático (HIETZ *et al*, 2000, SCHMID & KAZDA, 2002). Las diferencias en las épocas de recarga se deben principalmente a dos motivos: a las diferencias en los porcentajes de lluvia interceptada por los distintos tipos de copas (SCHUME *et al*, 2003) y a la arquitectura de la copa que puede favorecer la concentración del agua cerca del tronco (como en el caso del haya) o en la periferia de la copa (como la *Picea abies*) (BEIER, 1998). En algunos tipos de suelos, la aparición de grietas en los periodos secos supone otra fuente de variación (horizontal y vertical) en la distribución de agua en el suelo. En el caso de la parcela estudiada, la heterogeneidad de recarga vertical indicada en el periodo Octubre-Noviembre puede deberse también diferencias en la textura de los suelos. En el muestreo de suelo realizado en la parte norte de la parcela (ver Tabla 1) los horizontes superficiales tienen textura más gruesa que en la parte sur lo que favorecería una recarga más rápida de las capas inferiores. Los datos del sensor de medición continua, situado en la parte sur, indica que la recarga no llega siquiera a alcanzar los 60 cm de profundidad en este periodo. Estas diferencias entre la parte norte y sur se pueden corresponder también con una menor densidad de árboles en la parte norte que provoca una menor intercepción de la lluvia que en la parte sur donde los árboles poseen copas más densas y la cobertura de matorral es mucho mayor.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos "SUBERWOOD: Strategy and technology development for a cork+Wood forestry chain" (V Programa Marco UE), "SUBERCRE: Crecimiento diametral del alcornoque" (Ministerio de Educación y Ciencia) y Quercus/sp5.45 (Programa Interreg).

BIBLIOGRAFÍA

- ALLUÉ, J.L.; 1990. Atlas Fitoclimático de España. INIA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- BEIER C.; 1998. Water and element fluxes calculated in a sandy forest soil taking spatial variability into account. *Forest Ecology and Management* 101:269-280.
- BOENER R.E., KOSLOWSKY S.D. 1989. Microsite variations in soil chemistry and nitrogen mineralization in a beech-maple forest. *Soil Biol. Biochem.* 21:795-801.
- BRUCKNER A., KANDELER E., KAMPICHLER c. 1999. Plot-scale spatial pattern of soil water content, pH, substrate-induced respiration and N mineralisation in a temperate coniferous forest. *Geoderma* 93:207-223.
- EAGLESON, P.S.; 1982. Ecological optimality in water limited natural soil-vegetation system I. Theory and hypothesis. *Water Resource. Res.* 18:325-340
- HIETZ P. OFFENTHALER I., SCHUME H. & RICHTER H.; 2000. Transpiration and canopy

conductance in a Spruce stand and spruce-beech stand. *En: Hasenauer, H. (ed) Proc. of an Int. Conference on Forest Ecosystem Restoration*, 10-12 apr.2000. Univ. Agric. Sci. Viena. Austria. pp.126-132.

PRASOLACA N.V., XU Z.H., SAFFIGNA P.G., DIETERS M.J. 2000. Spatial-temporal variability of soil moisture, nitrogen availability indices and other chemical properties in hoop pine (*Araucaria cunninghamii*) plantations of subtropical Australia. *Forest Ecology and Management*. 136:1-10.

RODRÍGUEZ E., NAVASCUÉS, B. AYUSO, J.J. & JARVENOJA, S.; 2003. Analysis of surface variables and parametrization of surface processes in HIRLAM. Part I: Approach and verification by parallel runs. HIRLAM Technical Report No 58, Norrköping, Sweden.

SCHMID I. & KAZDA, M.; 2002. Root distribution of Norway spruce in monospecific and in mixed stands on different soils. *Forest Ecology and Management* 159:37-47

SCHUME H., JOST G. & KATZENSTEINER K.; 2003. Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* L: Karst.)- European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. *Geoderma* 112:273-287.

SPURR, S.H.; 1962. A measure of point density. *For. Sci.* 14:314-323.

WENDROTH O., POHL, W., KOSZINSKI S., ROGASIK H., NIELSEN D.R.; 1999. Spatio-temporal patterns and covariance structures of soil water status in two Northeast-German field sites. *Journal of Hydrology* 215:38-58.

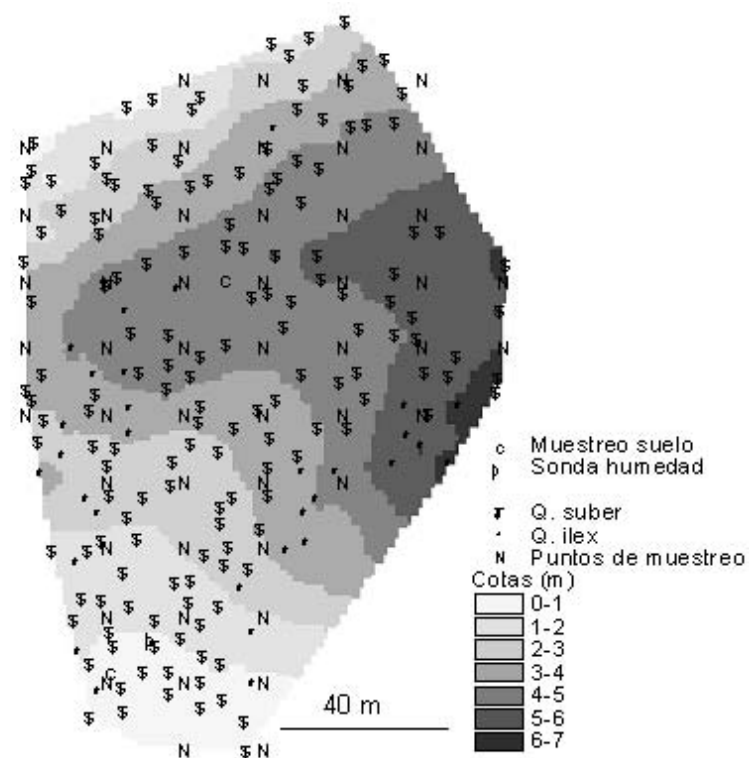


Figura 1. Mapa de la parcela experimental.

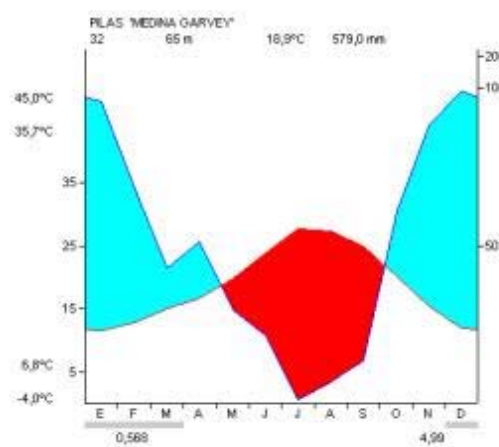


Figura 2. Climodiagrama correspondiente a la estación de Pilas (Sevilla), representativo de la zona de estudio

Hor.	Prof (cm)	Color	%Arcilla	%Arena	pH(H ₂ O)	M.O.(%)	T	V(%)	P (ppm)	K (ppm)
A	0-15	7.5YR/3/1	7	68	5,7	1,8	14,8	29	2	155
AC	15-23	7.5YR/4/2	8	57	5,7	0,8	12,6	26	1	125
2AB	23-48	2.5YR/4/4	16	59	6,0	0,6	18,3	28	1	190
2B _t	48-80	2.5YR/4/6	20	68	5,6	0,3	23,9	27	1	190
2B _{tg}	80-125	10YR/6/1	42	39	5,9	0,2	43,0	33	-	190

Hor.	Prof (cm)	Color	%Arcilla	%Arena	pH(H ₂ O)	M.O.(%)	CIC	V(%)	P (ppm)	K (ppm)
A	0-15	10YR/4/3	6	79	5,1	1,5	12,2	21	2	120
C	15-40	10YR/6/6	6	82	5,6	0,2	5,2	26	2	60
2B _{tg}	40-80	10YR/6/4	29	58	4,9	0,3	28,3	25	1	90

2C	80-125	10YR/5/8	20	61	6,0	0,3	25,6	47	1	70
----	--------	----------	----	----	-----	-----	------	----	---	----

Tabla 1. Resultados de análisis de suelo en la parte sur de la parcela (arriba) y en la parte norte (abajo). CIC: Capacidad de intercambio ($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$); V: % de saturación; P: Fósforo asimilable; K: Potasio asimilable.

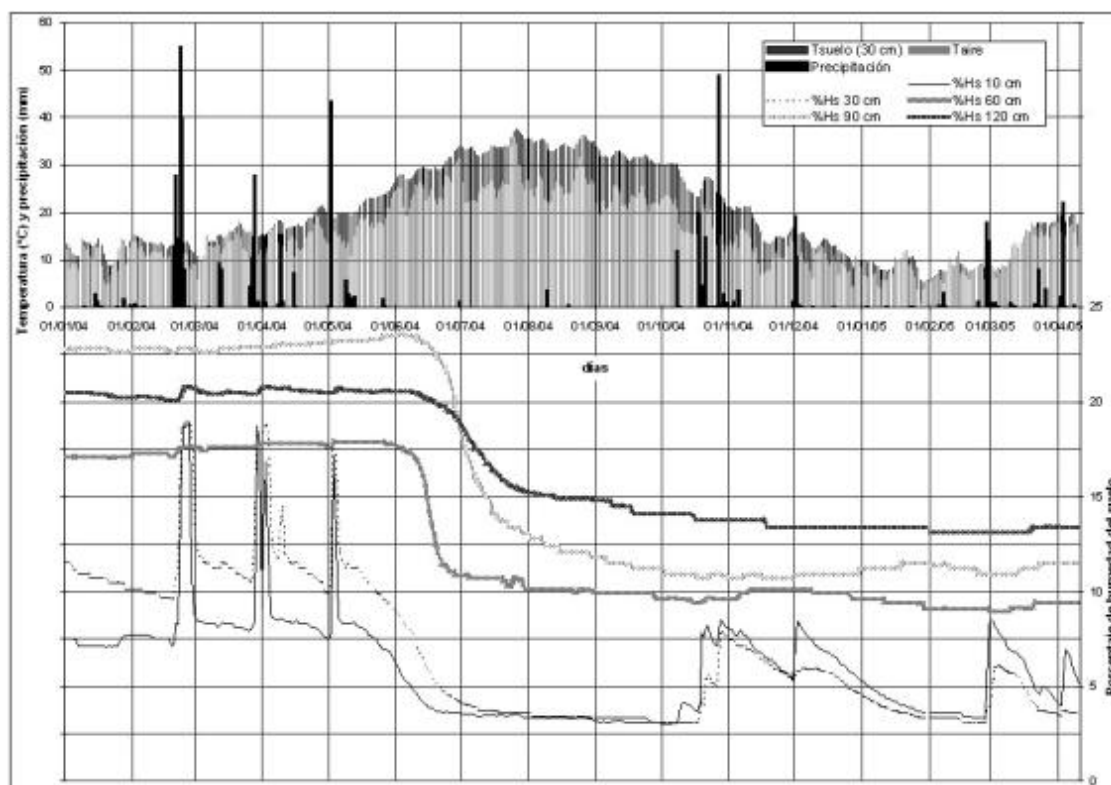


Figura 3. Variaciones del contenido de humedad del suelo en un punto de la parcela con registro continuo a 10, 30, 60, 90 y 120 cm de profundidad. En la parte superior del gráfico se indican la precipitación y los valores de temperatura del suelo (a 30 cm) y del aire

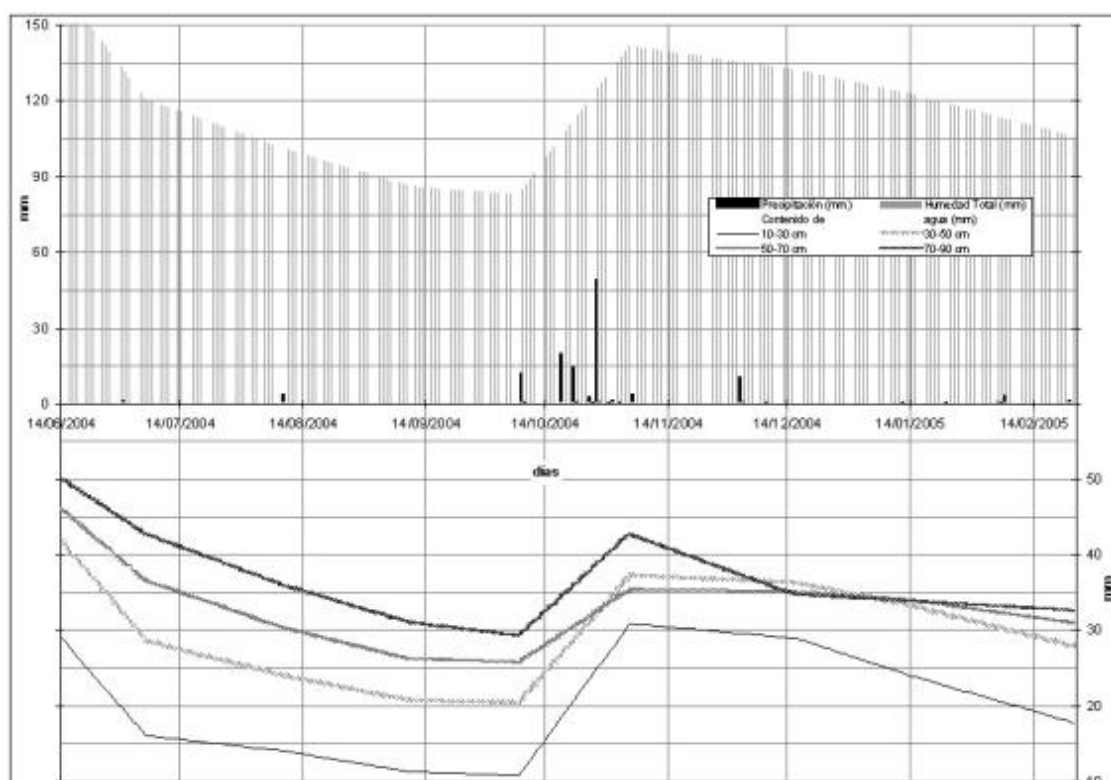


Figura 4. Variaciones del contenido medio de humedad del suelo en la parcela entre los 10 y 90 cm de profundidad (arriba) y a las profundidades de 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 (abajo) mediante mediciones mensuales con TDR En la parte superior del gráfico se indica la precipitación diaria en el

periodo de estudio

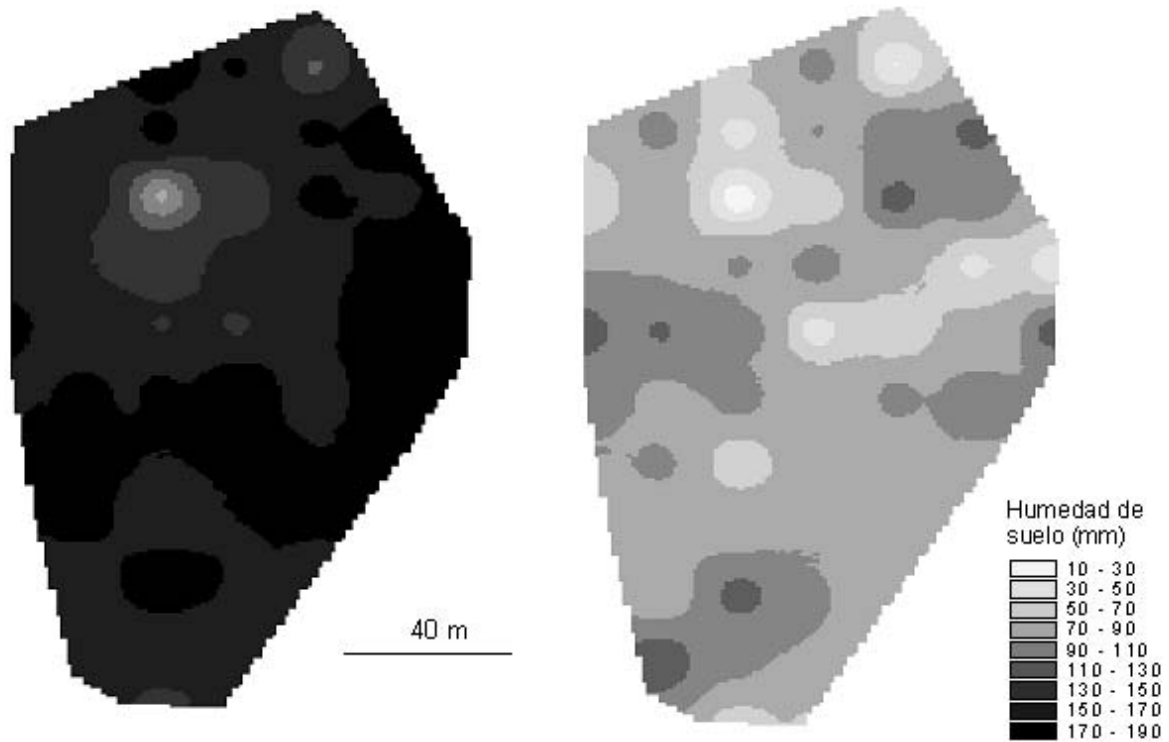


Figura 5. Humedad de suelo (en mm) entre los 10 y 90 cm de profundidad el 14/6/2004 (izquierda) y el 7/10/2004 (derecha).

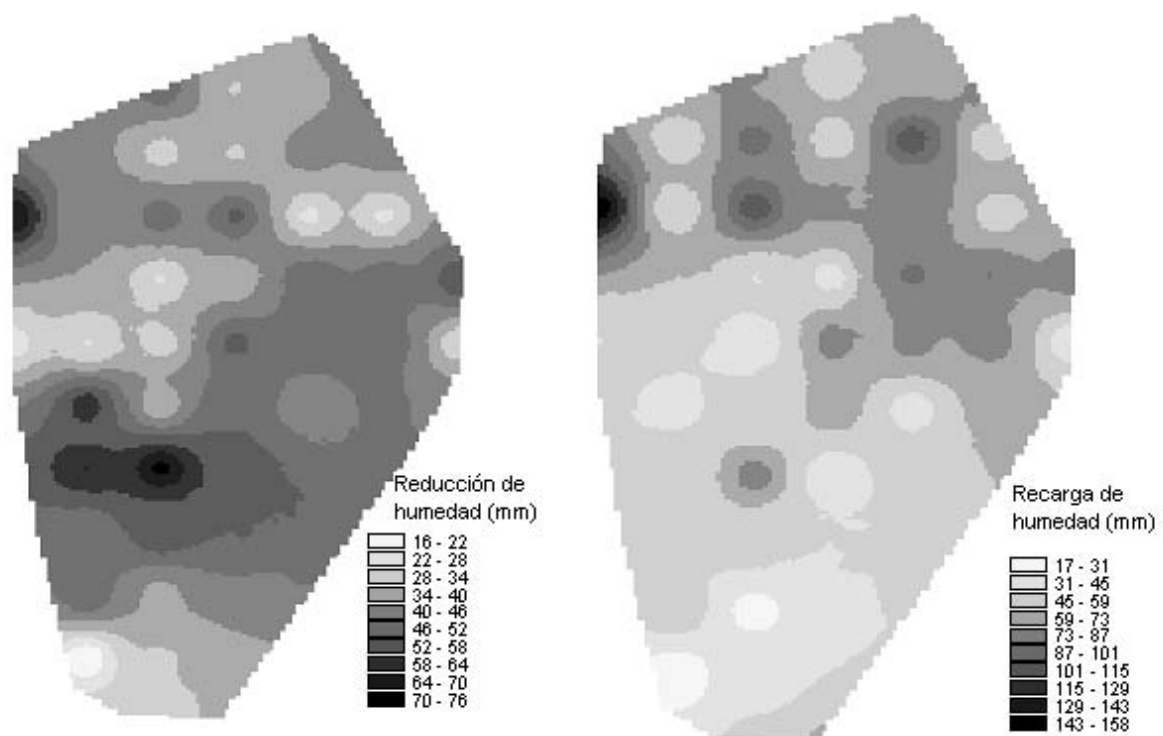


Figura 6. Reducción de la humedad de suelo (en mm) entre el 14/6/2004 y el 5/7/2004 (izquierda) y recarga de humedad (en mm) entre el 7/10/2004 y el 4/11/2004

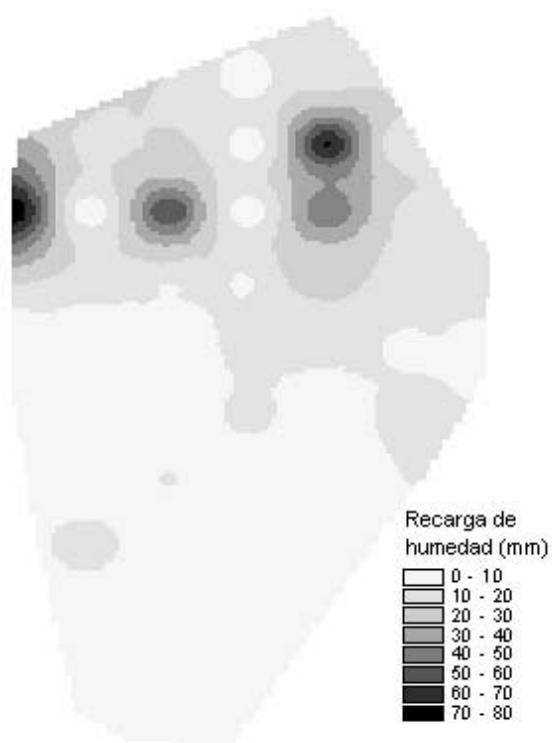


Figura 7. Recarga de humedad entre los 70 y 90 cm (en mm) en el periodo 7/10/2004 4/11/2004