

## Investigación

### *La sequía edáfica en la cuenca del Duero*

*Las sequías, y sobre todo las más prolongadas, tienen su incidencia más directa en los recursos hídricos, ya que la precipitación es la fuente de las entradas en el sistema hidrológico. Uno de los subsistemas más sensibles a dicha incidencia es el suelo, o dicho de manera más precisa, el continuum suelo-agua-planta-atmósfera. Los autores repasan la disponibilidad de agua en los distintos tipos de suelo de la Cuenca del Duero y el contraste entre la sequía climática y edáfica. De los resultados obtenidos concluyen que el aumento de aridez previsto en Europa meridional implicará un déficit hídrico más acusado.*

**José Martínez Fernández, Antonio Ceballos Barbancho y Miguel Angel Luengo Ugidos**

**Departamento de Geografía de la Universidad de Salamanca**

*Los autores repasan la disponibilidad de agua en los distintos tipos de suelo de la Cuenca del Duero y el contraste entre la sequía climática y edáfica. De los resultados obtenidos concluyen que el aumento de aridez previsto en Europa meridional implicará un déficit hídrico más acusado.*

#### Introducción

No es frecuente encontrar análisis conjuntos de las perspectivas climática y edáfica de la sequía. Esto resulta llamativo, máxime si consideramos que la primera conduce ineludiblemente a la segunda. Es habitual hacer referencia directa a la sequía en relación con las reservas de los embalses, la sobre-explotación de acuíferos, el abastecimiento urbano y las pérdidas de las cosechas agrícolas, siendo esto último, paradójicamente, consecuencia inmediata de la sequía edáfica.



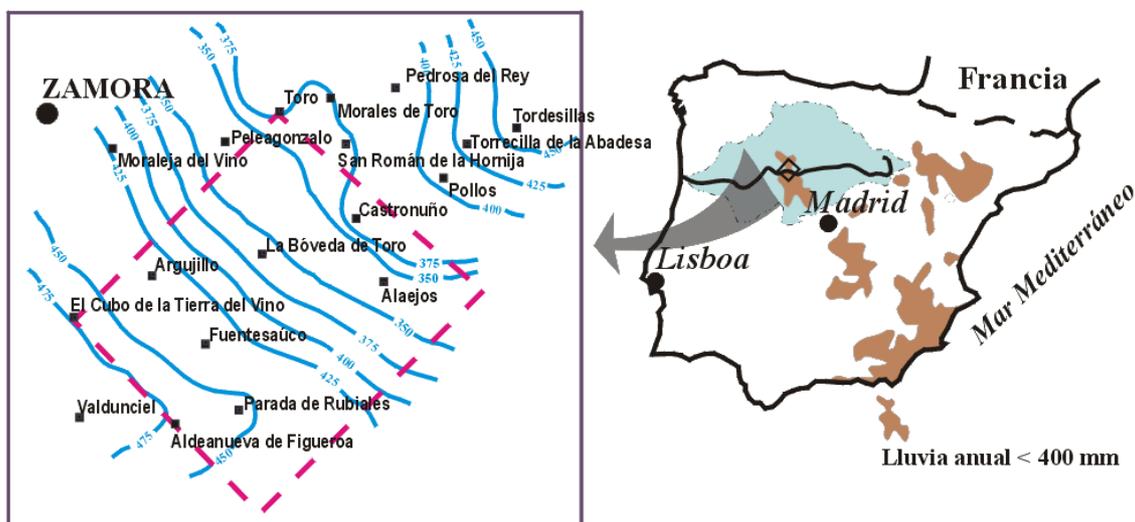
**Foto 1:** Secuencia metodológica de la instalación y el seguimiento de las estaciones de control de la humedad del suelo en REMEDHUS.

La sequía es un atributo inherente a la desertificación, y la escasez de agua edáfica, un factor omnipresente en cualquiera de sus manifestaciones. Las variaciones en el contenido de agua en el suelo reflejan el riesgo de estrés hídrico para la vegetación, en particular, y para los ecosistemas edáfico y supra-edáfico, en general. Este riesgo presenta unos caracteres específicos en las áreas mediterráneas, pues son rasgos definitorios de las mismas la escasez de precipitaciones y su aleatoriedad. El escenario de un cambio climático que conllevara una reducción de la precipitación tendría su

repercusión más inmediata sobre el agua almacenada en el suelo y, a partir de éste, en toda la serie de procesos bióticos y abióticos ligados al medio edáfico.

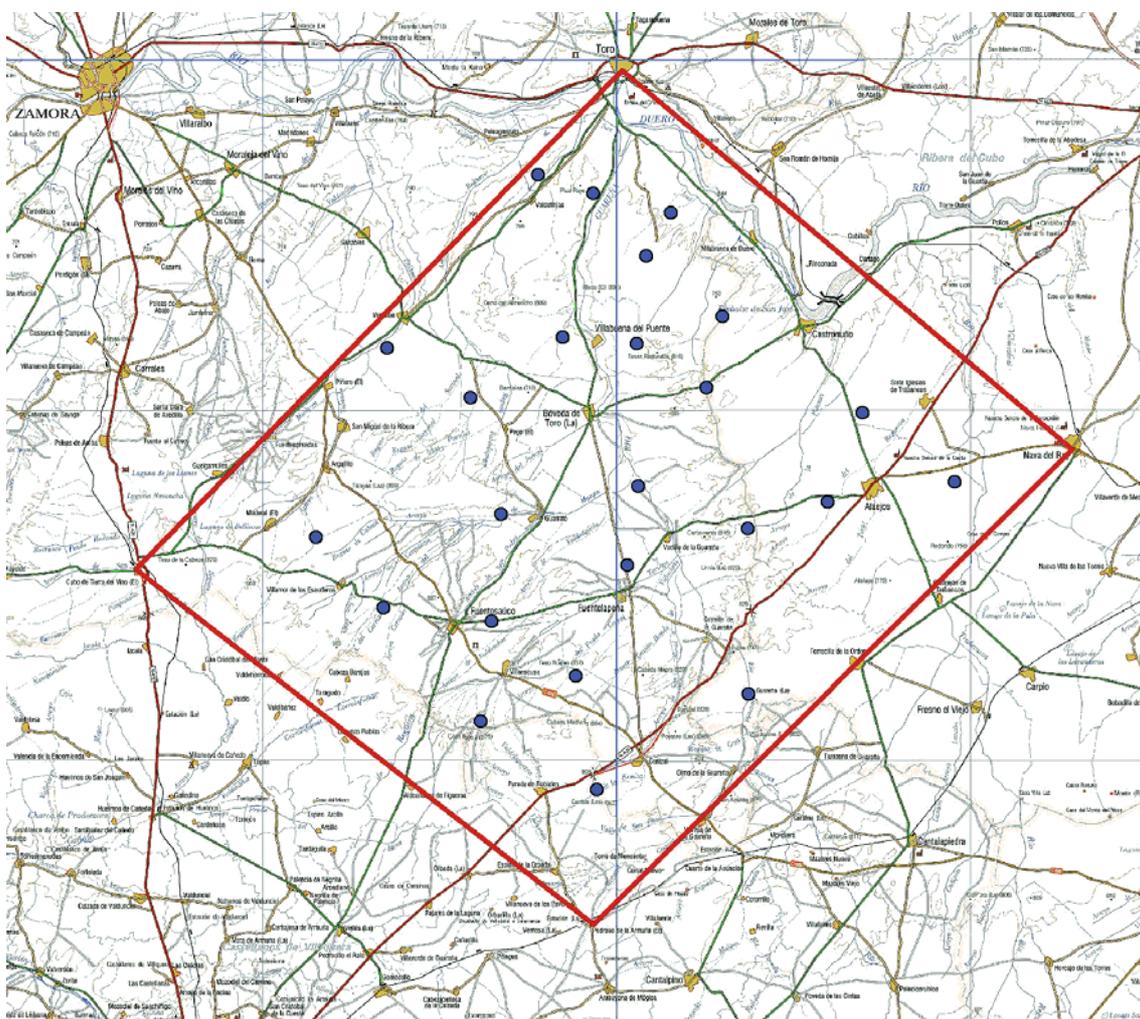
## La disponibilidad de agua

En marzo de 1999 se instaló la Red de Estaciones de Medición de la Humedad del Suelo (REMEDHUS) en el sector central de la Cuenca del Duero (SE de Zamora) (**Figura 1**). Esta Red abarca un territorio de unos 1300 km<sup>2</sup>, englobado por la isoyeta de 400 mm de precipitación media anual. REMEDHUS (**Figura 2**) está compuesta por 25 estaciones (**Figura 3** y **Foto 1**) en las que, a partir de instrumentos TDR (Martínez Fernández & López Bermúdez 1996), se hace un seguimiento quincenal del contenido de humedad edáfica. Con los datos obtenidos en la red y la caracterización hidrodinámica de los suelos es posible conseguir una información precisa del estado del sistema hidro-edáfico en ese territorio y su evolución temporal (Martínez Fernández, 1996).



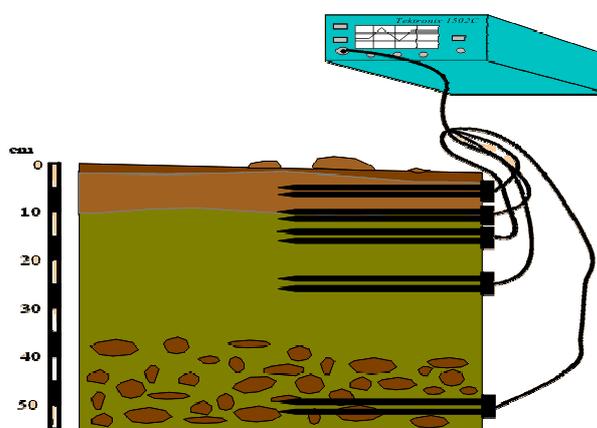
**Figura 1.** Localización de la zona de estudio en el contexto de la Cuenca del Duero y de los sectores semiáridos de la Península Ibérica

A partir del análisis de la curva de retención hídrica se determina el agua disponible en el suelo. Esta curva relaciona el agua edáfica con la energía con que está retenida, es decir, con la que es necesario aplicar para extraerla. Se entiende por agua disponible la diferencia entre el contenido de humedad a capacidad de campo y el de punto de marchitamiento (Cassel & Nielsen 1986). El primero de ellos se estima a partir del punto de inflexión de la curva de retención, y corresponde al contenido de humedad que tiene un suelo, previamente saturado, una vez que el drenaje es imperceptible. El segundo es el valor de humedad a partir del cual la vegetación sufre daños fisiológicos irreversibles y es incapaz de recuperar su turgencia. Esta variable se mide en el laboratorio y equivale a la cantidad de agua retenida por el suelo a 15 atmósferas de presión. El valor de agua disponible se ha estimado para una profundidad de 1 m o, en su defecto, hasta la base del perfil. Así calculado, el valor medio de agua disponible en los suelos de la zona es de 60.3 mm. Utilizando como referencia el mapa de agua disponible elaborado a partir de la Base de Datos de Propiedades Hidráulicas de Suelos Europeos (Wösten et al. 1999), el dato medio obtenido habría que tipificarlo como bajo.



**Figura 2.** Ubicación de las estaciones de REMEDHUS

El periodo de observaciones analizado, 18 meses, no es suficientemente amplio como para poder establecer conclusiones definitivas acerca del comportamiento de esta variable en el territorio. Además, durante ese intervalo de tiempo las variables climáticas implicadas en el balance de agua no experimentaron una evolución ajustada a los valores medios de esa zona. Concretamente, la precipitación fue superior a la media y especialmente anómalo resultó el comportamiento durante la época estival. No obstante, se ha



**Figura 3:** Esquema de perfil tipo de una de las estaciones de medición de humedad del suelo en la REMEDHUS.

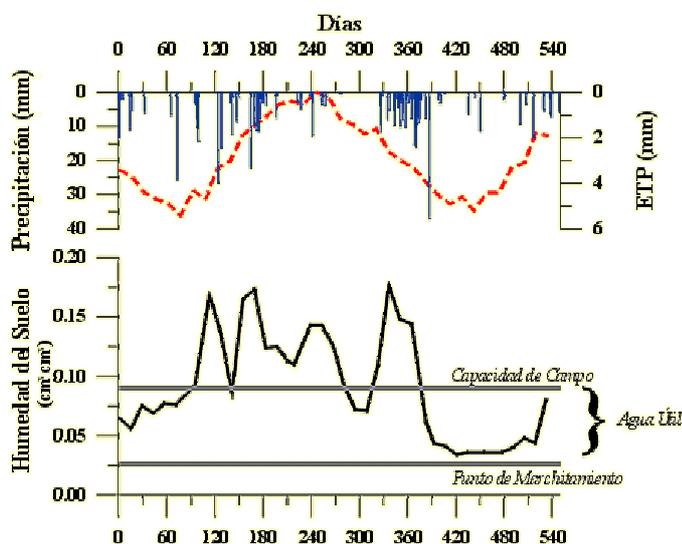
dispuesto de un año y medio de registros, con dos ciclos estivales que han permitido tener una idea aproximada de los umbrales temporales de humedad en cada suelo estudiado. Esta información ha permitido, asimismo, comprobar en que situación se encontraba el suelo en cada época, en términos de disponibilidad hídrica (**Figura 4**).

El comportamiento de los distintos tipos de suelo ha sido bastante diferente en relación con la evolución de la humedad en cada estación. Los suelos desarrollados sobre areniscas (Cambisoles y Luvisoles) se han caracterizado por unas condiciones de almacenamiento y disponibilidad de agua mejores que el resto. La alternancia textural, arena arriba y arcilla abajo, confiere a estos suelos unas buenas características para la infiltración y la retención de humedad. Por término medio, los valores más elevados de humedad se dan en este tipo de suelos.

Los suelos desarrollados sobre terrazas fluviales o depósitos arenosos (Arenosoles y Luvisoles) presentan normalmente valores bajos de humedad, incluso en épocas de abundante precipitación, debido a su menor capacidad de retención. Sin embargo, en la mayor parte de los casos conservan valores de humedad dentro del umbral de agua disponible, aun en los periodos más críticos. Esto se debe a que, si bien tienen una capacidad de retención baja, la poca humedad que queda almacenada es retenida con poca energía y, por tanto, es agua disponible.

Los suelos que aparecen en los fondos de valles (Cambisoles y Fluvisoles), ligados a la acción de la red de drenaje, son los que experimentan las oscilaciones de humedad más extremas. En la estación invernal se saturan y en la estival se desecan casi completamente. Las propiedades de estos suelos son muy buenas en relación con el almacenamiento de humedad por su elevado contenido de materia orgánica y arcilla, alternancia de niveles arenosos, escasa pendiente y dedicación a pastizales, entre otras. Sin embargo, las variaciones de humedad están condicionadas directamente por las oscilaciones del nivel freático y la explotación que se hace del mismo.

Los suelos desarrollados sobre calizas (Leptosoles) se caracterizan por poseer buenas propiedades para la retención de humedad, sobre todo por su elevado contenido de materia orgánica y arcilla. Al tratarse de suelos con menor profundidad (en algún caso inferior a 40 cm), su capacidad de almacenamiento y de disponibilidad de agua se vea mermada y el contenido de humedad presenta grandes oscilaciones en función de la estacionalidad climática. Así, en invierno el contenido de agua es muy elevado, pero en



**Figura 4:** Evolución temporal de la humedad del suelo (con referencia al volumen de agua útil), precipitación y evapotranspiración en la estación K10 de REMEDHUS, desde Mayo de 1999 a Octubre de 2000

el periodo estival o durante intervalos de rachas secas prolongadas los niveles de humedad bajan siempre por debajo del umbral de disponibilidad.

A partir de diversas campañas experimentales se estudió el comportamiento hidrológico de los suelos, con una metodología que supone la utilización conjunta de simulador de lluvia (**Foto 2**), medidor de humedad del suelo TDR e infiltrómetro de tensión. La retención hídrica fue muy diferente una vez finalizada la simulación de lluvia. Mientras que los suelos arenosos pierden en un período de tiempo de 24 horas tras un chaparrón de 40 mm

en 60 minutos más de la mitad del agua almacenada (53 %), los suelos sobre areniscas, algo más arcillosos, no pierden más del 16 %. En el primer caso, el valor medio de humedad del perfil supera en un 10 % el valor correspondiente a su capacidad de campo, mientras que en el segundo caso ese incremento es de un 35 %. Estos resultados ponen de manifiesto la incidencia de las diferencias texturales sobre la capacidad de retención de agua edáfica en los suelos y su almacenamiento posterior.



**Foto 2:** Experimento de simulación de lluvia para el estudio de las características hidrológicas de los suelos.

### Sequía climática *versus* sequía edáfica



**Foto 3.** Dispositivo experimental para el estudio de la evaporación de los suelos.

Para la consideración de las implicaciones que podría tener la sequía climática en la disponibilidad de agua en el suelo, se llevó a cabo un exhaustivo estudio climático de la zona, a partir de las series de registros de seis estaciones del Instituto Nacional de Meteorología situadas en la zona de estudio. Se puso un especial énfasis en el análisis de las rachas secas (periodos de  $n$  días consecutivos sin ninguna precipitación), ya que son los intervalos temporales que coinciden con las fases de desecación del suelo y, por tanto, con los periodos de riesgo de estrés hídrico.

La zona de estudio presenta caracteres bio-climáticos semiáridos. Aunque la escasez de lluvia es el primer dato a reseñar (precipitación media anual de 384 mm), es también muy significativo que el 87% de los días lluviosos registre un valor inferior a 10 mm y que en casi el 30% de los días con lluvia ésta sea inferior a 1 mm. Son, por tanto, condiciones de escasez y poca efectividad pluviométrica, es decir, volumen de agua susceptible de

ser incorporada y almacenada en los suelos.

La probabilidad de día sin precipitación es del 77.4%. La duración media anual de las rachas secas máximas es de 48 días, y se ha estimado que alcanza los 92 días para un periodo de retorno de 50 años. La duración media esperada de una racha seca es de 10 días en todo el año y de 15 en verano. Por tanto, en este sector de la Cuenca del Duero

existe una probabilidad muy alta de que los periodos en los que no llega agua al suelo y éste, por tanto, se seca, duren algo más de una semana, que en verano alcancen las dos semanas y que, al menos, una de esas rachas secas llegue al mes y medio ininterrumpido.

Con el objetivo de conocer mejor la fase de secado del suelo, el periodo crucial en el almacenamiento de agua edáfica y de riesgo de estrés hídrico, se diseñó una metodología y un dispositivo experimental específico (**Foto 3**). Se construyeron las curvas de secado de los principales suelos de la zona de estudio. Esto se hizo mediante el seguimiento, bajo condiciones climáticas y de drenaje controladas, de la evolución de la humedad del suelo en muestras sin alterar, desde la saturación hasta la estabilización del contenido de agua. La experiencia se realizó en condiciones ambientales estivales, pues es el periodo de mayor significación en relación con la disponibilidad de agua de los suelos. Además, se dispuso de los datos de experimentos de simulación de lluvia y de las series de evolución de humedad de la red establecida a tal efecto (Tabla 1).

Suelo	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Materia orgánica (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Dcc (*)	Dpm (*)
Luvisol	1.29	0.9	66.8	21.0	12.2	arenoso franco	6	14
Arenosol	1.51	0.4	85.1	9.6	5.3	franco arenoso	4	15
Fluvisol	1.16	12.5	3.6	32.0	64.4	arcilla	5	7
Leptosol	1.38	3.3	46.8	20.8	32.4	areno-arcilloso franco	5	7

**Tabla 1.** Características físicas de diversos suelos estudiados y dinámica de la evaporación.  
(\*) Días transcurridos hasta alcanzar la humedad a capacidad de campo (Dcc) y el punto de marchitamiento (Dpm), partiendo de la saturación.

En la mayor parte de los casos, se pasó del contenido de humedad de saturación al de capacidad de campo en 5 días. Al cabo de 8 días, la duración media esperada de los periodos secos, los suelos habían perdido, por término medio, un 76% del agua en relación con la saturación. En la mayor parte de los casos, antes de las dos semanas - duración media esperada de las rachas secas en verano-, los suelos habían llegado al punto de marchitamiento.

## Conclusiones finales y perspectivas de aumento de la aridez

De los resultados obtenidos se deduce que, bajo las condiciones actuales, los suelos alcanzan en las épocas críticas de evapotranspiración niveles de déficit hídrico acusado. Se limita o desaparece el agua disponible para la vegetación, cultivada o natural, durante periodos que pueden llegar a ser muy prolongados. En tan solo 18 meses de mediciones en la red de humedad, se han registrado periodos sin incorporación de humedad al suelo de hasta 50 días consecutivos.

Los resultados de los estudios del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Hulme & Sheard 1999) sobre cambios climáticos referidos a la Península Ibérica y, más

concretamente, a la cuenca del Duero, señalan un escenario de reducción media de la precipitación en verano entre el 15% (próximos 20 años) y el 25% (próximos 50 años). De cumplirse las previsiones, es presumible que la duración de los periodos secos se incremente por encima de los niveles que hemos encontrado. Actualmente, con el periodo de duración media esperado se agota completamente el agua disponible en estos suelos. De prolongarse su duración, la situación de déficit hídrico se agravaría. Las repercusiones directas para la vegetación y los ecosistemas de este territorio son evidentes. De igual modo, es previsible una incidencia muy negativa sobre el conjunto de recursos hídricos de la zona. Esto sería especialmente preocupante en el caso del agua subterránea (acuífero de Los Arenales), ya que al intensificarse el déficit hídrico del suelo se incrementaría la extracción de agua para riego y, por tanto, el riesgo de sobre-explotación.

**Agradecimientos:** Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto AMB98-0626) y a la Junta de Castilla y León (Proyecto SA55/00A) por la financiación que ha hecho posible este trabajo.

## Referencias

- Cassel, D.K. & Nielsen, D.R. 1986. Field capacity and available water capacity. En *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods* (ed. Klute, A.), pp. 901-926, SSSA Book Series no. 5.
- Hulme, M. & Sheard, N. 1999. *Escenarios de cambio climático para la Península Ibérica*. Unidad de Investigación climática, Norwich, U.K.
- Martínez Fernández, J. 1996. *Variabilidad espacial de las propiedades físicas e hídricas de los suelos en medio semiárido mediterráneo*. Servicio Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Martínez Fernández, J. y López Bermúdez, F. 1996. *Métodos para el estudio de las propiedades hídricas de suelos y formaciones superficiales*. Cuadernos Técnicos de la S.E.G. n° 9, Geofoma, Logroño.
- Wösten, J.H.M.; Lilly, A.; Nemes, A. & Le Bas, C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90: 169-185.