



Estudio de los suelos de los alrededores del Balneario de Archena (Murcia)

Study soil around the spa in Archena (Murcia)

Antonio López Lafuente^{1*}, Inmaculada Valverde Asenjo¹, José Ramón Quintana Nieto¹, Juan Pedro Martín Sanz¹, Ana Diéguez Antón¹, Concepción González Huecas¹

¹Unidad Docente de Edafología, Departamento de Química en Ciencias Farmacéuticas, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid. Plza. Ramón y Cajal s/n. 28040 Madrid, España.

*e-mail: alopezla@ucm.es

PALABRAS CLAVE

caracterización de suelos
propiedades físicas de suelos
aguas subterráneas

RESUMEN

Los procesos de infiltración y percolación a través del suelo son decisivos para la composición química de las aguas subterráneas. La presencia de CO₂, además del contenido en materia orgánica, hace que la solución del suelo tenga generalmente pH_s ácidos, lo que favorece procesos de disolución e hidrólisis. En este sentido, tanto la composición de las aguas, como el riesgo potencial de que estén contaminadas están estrechamente relacionados con la movilidad y disponibilidad de los diferentes compuestos, con las propiedades físico-químicas de los suelos sobreyacentes, y con los factores ambientales de la zona. En este trabajo hemos descrito los suelos más importantes en la zona, y hemos analizado las propiedades físicas más representativas de cuatro suelos tomados en los alrededores del Balneario de Archena. Se describen dos tipos de paisaje, uno integrado por suelos situados en las zonas altas y de ladera, que están poco evolucionados, con bajo contenido en materia orgánica y arcilla, con una textura arenosa y estructura débil, presentan un alto grado de porosidad, por lo que la capacidad natural de retener compuestos es pequeña. Por el contrario, los suelos situados en las zonas bajas se caracterizan unos, por la presencia de sales, y otros, por su alto grado de fertilidad, en ambos caso presentan baja permeabilidad.

KEYWORDS

soil
characterization
physical properties of soils
groundwater

ABSTRACT

Water infiltration and percolation processes through the soil are decisive for the chemical composition of the groundwater. Soil carbon dioxide, but also the organic matter content, causes the soil solution to have generally acidic pHs enhancing the dissolution and hydrolysis processes. Accordingly, both the composition of the waters and the potential risk of being contaminated are closely related to the mobility and availability of the different compounds in the soil, the physical and chemical



properties of the overlying soils, and the environmental factors of the zone. In this work we have described the most important soils in the area, and we have analyzed the most representative physical properties of four soils taken in the surroundings of the thermal station of Archena. Two types of landscape are described, one of them is composed of soils located in the high and hillside areas. These are little evolved soils, with low organic matter and clay contents, a sandy texture and weak structure, and a high degree of porosity, so that the natural ability to retain compounds remains small. On the other hand, some of the soils located in the low areas are characterized by the presence of salts, and others by their high degree of fertility, but in both cases they have low permeability.

1. INTRODUCCIÓN

El agua con fines terapéuticos ha sido utilizada desde época romana. En la Península Ibérica hay constancia de 52 yacimientos arqueológicos relacionados con aguas mineromedicinales (1). Uno de ellos es el de Archena que se conoce desde la Edad de Bronce, aunque la primera gran transformación del lugar se lleva a cabo por los romanos de la colonia de *Carthago Noua* en la segunda mitad del siglo I a.C. (2).

A orillas del río Segura y a los pies del Cerro de los Baños, en las proximidades del Cabecico del Tío Pío (asentamiento de época ibérica) (3), formando parte del Valle de Ricote, se localiza el municipio de Archena, situado a 25 kilómetros al norte de la ciudad de Murcia. Una serie de factores geográficos, junto a la abundancia de agua, la fertilidad de sus tierras, y el hecho de ser un nudo donde confluyen tres caminos: hacia la Meseta, hacia el interior del Valle de Ricote y hacia el mar Mediterráneo, hizo de este lugar un territorio privilegiado para la vida humana desde la prehistoria (4).

Conforma, por tanto, el Valle de Ricote un enclave natural que es el resultado de la evolución de la naturaleza desde hace millones de años y de la actividad humana desde el Neolítico. Cerros con laderas de fuertes pendientes surcadas por ramblas que terminan en el fondo de valle, forman parte de este enclave, constituyen estas incisiones el camino por el que discurren las aguas superficiales generadas por las precipitaciones y que transportan los materiales de las zonas altas a las zonas bajas en las proximidades del cauce del río Segura. Este proceso, junto a la litología y el clima, condicionan un paisaje caracterizado por laderas sin vegetación, suelos de escaso desarrollo, y aguas ricas en minerales (Foto 1).

La composición química de las aguas está directamente relacionada con dos factores. Un factor está controlado con la naturaleza mineralógica de donde se encuentre, con la composición de cuantos sólidos y gases estén en disolución, con el tiempo de contacto, y en su caso, con la velocidad del flujo (5). El otro factor que incide en la composición de estas aguas, dependiendo de su profundidad, es el posible aporte de compuestos lixiviados desde la superficie. En este caso, tanto la composición de las aguas, como el riesgo potencial de que se produzca una



contaminación están directamente relacionados con la movilidad y disponibilidad de los diferentes compuestos, con las propiedades físico-químicas de los suelos sobreyacentes, y con los factores ambientales de la zona (6,7).

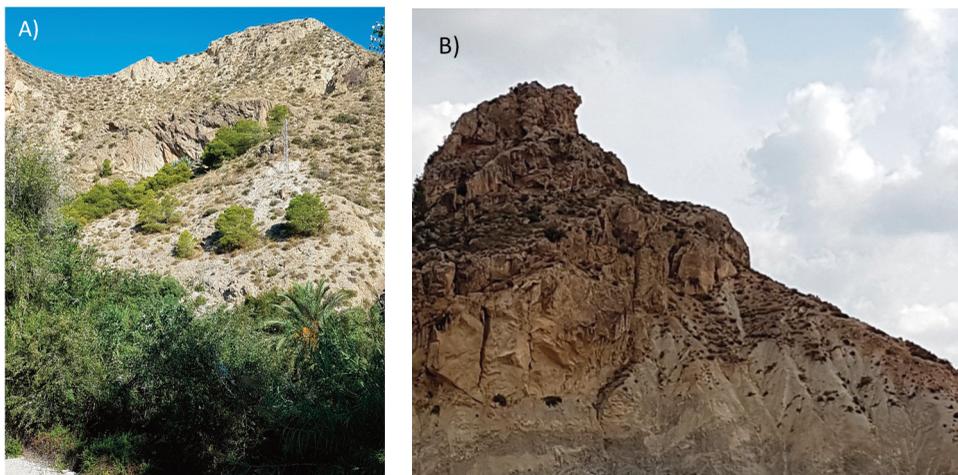


Foto 1. Vista general de paisaje Valle de Ricote. [A) Dr. Sánchez Mata, B) Dr. López Lafuente]

Este segundo factor incide en mayor medida, en el fondo del valle, más próximo a las aguas circundantes, ya que la composición de los suelos está influenciada por los grandes cambios climáticos ocurridos en el transcurso del Cuaternario, donde se produjeron depósitos escalonados de materiales aluviales, ligados a la dinámica del río Segura, y coluviales, procedentes de los cerros circundantes. Se trata de terrazas constituidas por material heterométrico de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas que forman suelos de vega, donde se ubican huertas y otras tierras de labor (4) (Foto 2).



Foto 2. Vista general de paisaje de laderas y terrazas del Valle de Ricote

Son pues los suelos, tanto por su composición como por su uso, sistemas naturales que inciden en la vulnerabilidad de las aguas subterráneas. Componentes y propiedades, tanto químicas como físicas, son determinantes para analizar la circulación del agua y la movilidad de los compuestos en el interior del perfil.



Los objetivos de este trabajo son describir los suelos característicos de las proximidades del Balneario de Archena, y analizar aquellas propiedades físicas que más influyen en la vulnerabilidad de las aguas subsuperficiales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio y características de los suelos

La zona de estudio está situada en los alrededores de la localidad de Archena, en el dominio subbético de las Cordilleras Béticas. Litológicamente está enclavado sobre materiales formados por: calizas, dolomías y margocalizas del Jurásico; calizas, margas y areniscas del Cretácico; margas rojas yesíferas y yesos del Keuper. El Cuaternario está formado por los depósitos aluviales y coluviales, que procedentes de las zonas altas y del río, conforman las terrazas (8) (Figura 1).

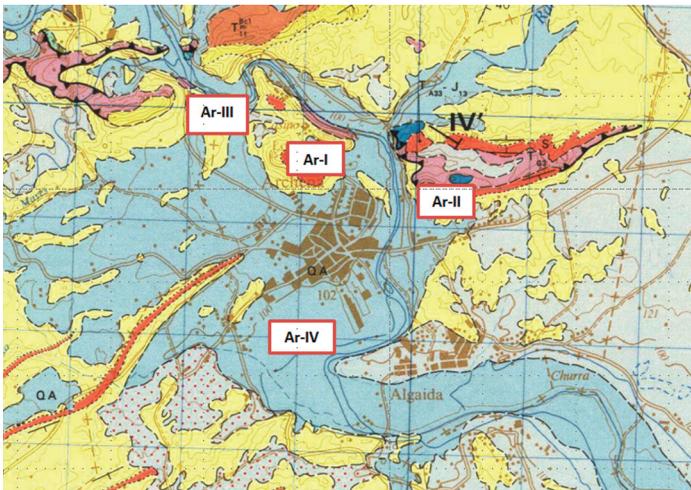


Figura 1. Localización puntos muestreo. IGME Hoja 912

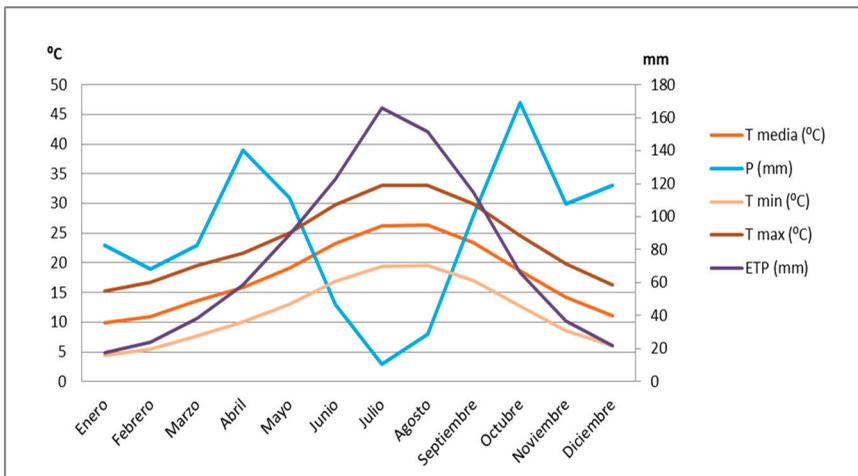


Figura 2. Climograma tipo Archena



El clima de la zona (Figura 2), está próximo a la aridez, las escasas lluvias, aunque torrenciales, y las altas temperaturas, condicionan una máxima evapotranspiración potencial (ETP), en los meses de julio y agosto (9).

Los suelos de la zona han sido ampliamente estudiados por diversos autores, fundamentalmente del Departamento de Edafología de la Universidad de Murcia (10, 11). Para referir lo más significativo de los mismos nos remitimos a la monografía publicada por la RANF en 1987 sobre el Balneario de Archena (12). En ella el Prof. Alias hace un resumen de las propiedades edáficas más importantes que influyen en la formación de los suelos situados en las proximidades del balneario. Se trata en general de suelos con escaso desarrollo, en los que se distingue alguno de los siguientes horizontes: ócrico, cámbico, cálcico, gipsico, sálico. El horizonte superficial de estos suelos (horizonte A), es de tipo ócrico, tienen color claro y unos contenidos en materia orgánica que no superan en ningún caso valores del 2%. El horizonte B cámbico, se encuentra en algunos suelos aunque con escaso desarrollo, al estar limitado por las condiciones climáticas. La acumulación de carbonatos secundarios, horizonte cálcico, lo encontramos en algunos suelos desarrollados a partir de materiales con buen drenaje (areniscas o conglomerados), no es frecuente este proceso y solo aparecen en zonas de pendientes suave. La existencia de horizontes gípsicos, acumulación de yeso, se dan en suelos próximos a los afloramientos de margas del Keuper. El horizonte sálico se da en las zonas bajas, próximas al cauce, debido a la acumulación de sales más solubles que el yeso.

La génesis de los suelos está condicionada por los materiales litológicos: altas proporciones de CaCO_3 , yesos y otras sales más solubles y el clima semiárido, que ralentiza la meteorización química. Como consecuencia, los suelos situados en las partes altas y laderas, son generalmente carbonatados, con presencia de suelos yesíferos y en ocasiones otras sales más solubles. Tienen baja proporción de materia orgánica, texturas gruesas, pH básicos, baja capacidad de cambio, lo que condiciona en gran medida su permeabilidad y susceptibilidad a la erosión, son suelos de escaso desarrollo tipo AC.

Otro factor importante que condiciona la formación de los suelos es la topografía, sobre todo los situados en el fondo de valle, ya que se produce una acumulación de materiales coluviales, en muchos casos con altas proporciones de yesos y otras sales más solubles, que hacen estar algunos suelos en fase salina (conductividad eléctrica en extracto de saturación $> 4 \text{ dsm}^{-1}$). Por otro lado, y junto a los estos suelos halomorfos, también en las zonas bajas, y como consecuencia de la acumulación de materiales aluviales recientes, procedentes del río, se forman unos suelos que mayoritariamente se dedican al cultivo, son los Fluvisoles.

De acuerdo con todo lo anterior, se identifican en las inmediaciones del Balneario, las siguientes unidades taxonómicas: Litosoles, Regosoles, Fluvisoles, Gleysoles, Solonchacks y Xerosoles, que con la clasificación FAO (13), corresponderían a: Leptosoles, Regosoles, Fluvisoles, Gleysoles, Solonchacks, Gipsisoles, Calcisoles.

Los dos primeros se asocian a posiciones topográficas altas, Leptosoles y



Regosoles. Son suelos poco desarrollados con espesores que no sobrepasan los 10 cm. Los Leptosoles están poco representados en la zona ya que no abundan los afloramientos de roca dura (calizas, dolomías, areniscas). Por otro lado, los Regosoles, mucho más extendidos ya que las margas son más abundantes, se forman a partir de este material no consolidado, con horizonte A ócrico sobreyacente sobre el horizonte C o material litológico suelto. En todos los casos el contenido en carbonato cálcico es muy alto.

En las zonas situadas en las proximidades del cauce, por influencia del agua y acumulación de sedimentos, se encuentran tres tipos diferenciados de suelos. Fluvisoles, que tienen un horizonte A ócrico o úmbrico en superficie al que siguen las diferentes capas de materiales sedimentarios procedentes, en su mayor parte, de las deposiciones del río Segura; ocupan la mayor extensión en ambos márgenes del río. Asociados a este tipo de suelo, en la zona de las ramblas, donde el proceso de salinización es alto, se describen los Solonchacks, cuando el contenido en sales es alto. En aquellos casos en que aparecen propiedades hidromórficas (horizontes afectados por aguas subterráneas) en los 50 primeros centímetros, al suelo se le clasifica dentro de los Gleysoles. Están poco representados y generalmente en zonas asociadas a los Solonchacks.

La asociación Gipsisoles, Calcisoles, se refiere a suelos poco evolucionados formados a partir, en el primer caso, de margas del Keuper con gran cantidad de yeso, y en el segundo de calizas. Los primeros son escasos en las inmediaciones del Balneario, mientras que los Calcisoles están mucho más representado, de hecho son los suelos más significativos en toda la zona, bien de forma independiente, o formando asociación con otras unidades taxonómicas, sobre todo con Regosoles calcáricos.

2.2 Métodos analíticos

Hemos analizado las características de cuatro perfiles representativos de los diferentes tipos de suelo en las proximidades del Balneario de Archena. La toma de muestras se realizó siguiendo tres criterios: a) suelos situados en las proximidades de la población de Archena, b) suelos representativos de la zona, c) suelos ya descritos y cartografiados (10,11,12)

Los Perfiles Ar-I y Ar-II, se han tomado a la salida de la población de Archena, en dirección a Baños, en ambos márgenes del río Segura. Corresponden a la asociación Regosol calcárico y Calcisol gypico, incluidos en los puntos 2 y 7 del esquema publicado en la monografía (12). El perfil Ar-III se ha tomado en el margen derecho del río, en dirección a Villanueva del río Segura, y corresponde a los puntos 6 y 9 de la citada monografía, en este caso clasificado como un Regosol gypirico. El perfil Ar-IV se ha tomado a la salida de la población de Archena en dirección a Molina de Segura, en la zona de cultivo, y que corresponde al punto 3 de la monografía, clasificado como Fluvisol calcárico.

Hemos analizado: propiedades físicas, conductividad eléctrica, contenido en carbonato cálcico, yeso y en sales más solubles. Todo ello se ha realizado en la fracción fina del suelo (< 2 mm), de acuerdo con los métodos propuestos por ISRIC (14).



El análisis granulométrico se llevó a cabo previa oxidación de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno, la dispersión de las muestras se realizó con hexametáfosfato de sodio y agitación durante 8 h. La fracción arena se separó por tamizado, las fracciones limo y arcilla se determinaron utilizando el método de la pipeta de Robinson. Se siguió el procedimiento de Soil Survey Staff (15) para la determinación de la densidad aparente, de la densidad real y de la humedad del suelo a capacidad de campo. La porosidad se obtuvo indirectamente, por cálculo, a partir de los valores de las densidades real y aparente. La conductividad eléctrica se midió en una suspensión agua:suelo con una relación 1:5 (p/v), medida en un conductímetro modelo Crison micro CM 2200. Las sales solubles fueron extraídas a partir de una suspensión suelo:agua 1:5 (p:v); la concentración de cloruros (Cl^-), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}) y sulfatos (SO_4^{2-}) se determinó mediante un cromatógrafo iónico “Metrohm 761 COMPACT IC” con carrusel automático “Metrohm 838 ADVANCED SAMPLE PROCESSOR”. El contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} , se cuantificó por espectroscopía de absorción atómica (AAS) (Analytikjena NovAA 300) y, por espectroscopía de emisión de llama, utilizando un Sherwood 410, la concentración de Na^+ y K^+ .

Todas las suspensiones y disoluciones se prepararon con agua purificada Milli-Q (>18Mwcm) y con reactivos de alta pureza de Merck (Alemania) y Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE.UU.). El material de vidrio empleado fue lavado con una solución acuosa de HNO_3 0,1% durante 24 h y se aclaró con agua desionizada tipo I agua (Sistema de Purificación de Agua, Younglin, Aqua MAX-Basic serie 360).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades físicas de los suelos, son determinantes para analizar el comportamiento de los fluidos a lo largo del perfil, el hecho de ser un medio poroso, formado por tres fases: sólida (componentes orgánico e inorgánico), líquida (solución del suelo), y gaseosa (atmósfera del suelo) que interactúan entre ellas, condicionan el movimiento de sus constituyentes, ya que regula procesos como: sorción-desorción, precipitación-disolución, o complejación-disociación. El análisis de la propiedades físicas, nos permite explicar problemas relacionados con la recarga de los acuíferos y el establecimiento del balance hídrico (16).

Hemos analizado: textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, retención de agua e conductividad hidráulica, de cuatro suelos representativos de la zona, con objeto de determinar el grado de movilidad de los componentes.

La textura se define como la distribución porcentual de las distintas fracciones minerales que tiene un suelo. El tamaño de las partículas minerales que forman los suelos es un parámetro fundamental para analizar la capacidad de retención y de infiltración del agua. Como se puede ver en la Tabla 1, presentan los suelos unas texturas homogéneas con un predominio de las fracciones arenas y menores proporciones de las fracciones más finas, lo que imprime a los suelos unas características particulares en relación a sus propiedades hidráulicas. Cabe destacar que, en el perfil Ar-III, la baja proporción obtenida de la fracción arcilla puede deberse a la presencia de yeso que provocaría la floculación de la fracción más fina.



La densidad real se refiere a la densidad media de las partículas sólidas del suelo y la densidad aparente representa la relación entre sólidos y espacio poroso (17). La densidad aparente es un indicador de compactación del suelo, depende de la textura y de las densidades de las partículas de materia mineral (arena, limo y arcilla), además también está relacionada con la materia orgánica, así como de su disposición de empaquetamiento. Como regla general, aumenta al profundizar, los suelos de texturas medias y ricos en materia orgánica, presentan densidades en torno a 1,35 g/cm³. En nuestro caso, todos los suelos tienen densidades por encima de esos valores, con ligeros aumentos al profundizar, como se ve en la Tabla 2, lo que se corresponde a las texturas arenosas y franco-arenosas de las muestras estudiadas.

Tabla 1. Distribución del tamaño de partícula de los suelos del entorno del Balneario de Archena

Horz.	Prof. cm	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Textura
Perfil Ar-I						
Ah	0-20	35,8	37,1	10,9	16,2	Arenoso-franca
Ck	20-60	7,8	60,2	17,1	14,9	Franco-arenosa
Perfil Ar-II						
Ah	0-5	-	-	-	-	-
C	5-35	20,6	43,1	19,5	16,7	Franco-arenosa
Perfil Ar-III						
Ah	0-5	-	-	-	-	-
Cy	5-20	33,4	31,5	29,8	5,1	Franco-arenosa
Perfil Ar -IV						
Ap1	0-10	-	-	-	-	-
Ap2	10-40	33,5	23,6	13,8	29,1	Franco-arcillosa

La porosidad se define como el espacio del suelo que no está ocupado por material sólido y se suele expresar en porcentaje. Determina, en gran medida, los procesos de infiltración y escorrentía del agua que influyen en la erosión hídrica y en el transporte de agua a través del suelo (18), es por tanto, un indicador de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (19, 20). Para ello, es conveniente que la porosidad se sitúe entre el 40 % y el 60 %. Valores menores pueden crear condiciones de asfixia en las raíces y valores superiores al límite máximo puede suponer una mayor vulnerabilidad a las aguas subyacentes. En los suelos estudiados los valores de porosidad no superan el 50% en ninguno de los



casos analizados (Tabla 2). La presencia de sales, en algunos casos, sales más solubles que el yeso, sobre todo en los suelos de valle, hace que la porosidad se vea reducida, ralentizando los procesos de movimiento del agua dentro del suelo.

Tabla 2. Parámetros físicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Archena

Horz.	Prof.	Densidad aparente	Densidad real	Porosidad
	cm	g/cm ³	%	
<u>Perfil Ar-I</u>				
Ah	0-20	1,35	2,60	48
Ck	20-60	1,44	2,65	45
<u>Perfil Ar -II</u>				
Ah	0-5	-	-	-
C	5-35	1,53	2,63	41
<u>Perfil Ar -III</u>				
Ah	0-5	-	-	-
Cy	5-20	1,40	2,60	46
<u>Perfil Ar -IV</u>				
Ap1	0-10	-	-	-
Ap2	10-40	1,42	2,61	45

La capacidad de agua disponible es un indicador de la capacidad del suelo para retener el agua y hacer que esté suficientemente disponible para el uso de la planta. Entendemos por capacidad de agua disponible a la cantidad de agua contenida en el suelo entre su capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente. Capacidad de campo se define como la cantidad de agua retenida en el suelo después de que el exceso de agua haya drenado y después de que el ritmo de movimiento descendente del agua se ha reducido sustancialmente. El punto de marchitez permanente es el contenido de humedad de un suelo en el que las plantas se marchitan y no se recuperan al suministrar nuevamente agua. La capacidad de agua disponible está determinada por la textura, la proporción de fragmentos de roca, y el espesor de la lámina de agua (21, 22).

En la Tabla 3 se muestran los valores de los parámetros hidráulicos. Como se puede ver los valores de los suelos Ar-I y Ar-II están próximos entre sí, con velocidades de conductividad hidráulica moderadamente elevadas, como corresponde a suelos con texturas gruesas que favorecen los procesos de infiltración. El perfil Ar-III, como consecuencia de la presencia de yeso, retiene mayor cantidad de agua. Los procesos de encharcamiento temporal impidieron determinar la conductividad hidráulica. Cabe destacar la baja conductividad hidráulica que se observa en los perfiles de fondo de valle (Ar-IV), debido, unas veces a la acumulación de sales y otras por la elevada proporción de arcilla.



Tabla 3. Parámetros hidráulicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Archena.

Horz.	Prof. cm	Punto marchitamiento g/cm ³	Capacidad campo %	Agua disponible	Conductividad hidráulica mm/h
<u>Perfil Ar-I</u>					
Ah	0-20	8,18	20,91	12,70	11,10
Ck	20-60	6,87	17,58	10,70	13,42
<u>Perfil Ar -II</u>					
Ah	0-5	-	-	-	-
C	5-35	4,73	16,56	11,82	10,61
<u>Perfil Ar -III</u>					
Ah	0-5	-	-	-	-
Cy	5-20	31,55	52,59	21,03	-
<u>Perfil Ar -IV</u>					
Ap1	0-10	-	-	-	-
Ap2	10-40	17,74	33,28	15,53	2,83

El incremento de sales en el suelo se traduce en un deterioro físico que se refleja en la estructura del suelo, la capacidad de infiltración y el decremento de la porosidad e incremento de la densidad aparente. Además se produce un aumento del potencial osmótico, lo que representa un perjuicio para las plantas, ya que éstas deben emplear más energía para reducir el potencial osmótico del agua de la raíz. Consecuencia de esta degradación física es que se dificulta el drenaje del suelo y se produce una rápida saturación de agua (23). Además, el alto contenido de sal podría causar problemas de toxicidad (24).

La presencia de sales en los suelos de la zona, incluso sales más solubles que el yeso, se debe a un doble motivo. Los suelos situados en las zona altas y de ladera su origen es litológico, como ya se señaló con anterioridad, las calizas margosas y los materiales yesíferos son la causa de los altos contenidos en carbonatos y sulfatos encontrado tanto en superficie como en profundidad de los perfiles. Respecto a las sales más solubles, es necesario señalar que, aun encontrándose en bajas proporciones, tienden a concentrarse por efecto de la escorrentía en las zonas bajas. Además, es reseñable el aumento de la salinidad en los suelos de vega debido a un mal uso de los fertilizantes, lo que provoca una salinización de origen antrópico que afecta a las propiedades de los suelos (25).

En la Tabla 4 se muestra el contenido en cationes y aniones solubles que presentan las muestras analizadas. El Ca es el catión más abundante en todos los suelos estudiados, lo que se corresponde con los materiales sobre los que se han desarrollado los suelos. El resto de cationes presentan concentraciones que están dentro de la normalidad para este tipo de suelos. Cabe destacar el incremento



que aparece de Na y K en Ar-IV, debido a la utilización de fertilizantes, ya que el suelo está situado en la zona cultivada.

En relación a los aniones, son los sulfatos seguidos de los carbonatos, las sales más abundantes. Destacan los perfiles Ar-I y Ar-III, muestreados en los cerros circundantes, donde la mezcla de materiales margosos (calizas y yesos), condicionan unos suelos poco evolucionados. Las altas concentraciones de sulfatos y nitratos en el perfil Ar-IV, se debe a las actividades antrópicas ligadas al laboreo.

Tabla 4. Cationes y aniones solubles de los suelos del entorno del Balneario de Archena

Horz.	Prf.	Cationes solubles				Aniones solubles				
		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	CO ₃	Cl	CE*
		mg kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
		<u>Perfil Ar-I</u>								
Ah	0-20	715,63	18,11	16,34	18,56	1.986,83	38,04	276,60	39,31	2,40
Ck	20-60	1.941,36	11,41	20,22	11,83	2.350,37	23,88	117,69	63,22	2,88
		<u>Perfil Ar-II</u>								
Ah	0-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	5-35	2.136,15	17,79	15,72	18,03	279,12	33,32	212,01	1197,71	0,18
		<u>Perfil Ar-III</u>								
Ah	0-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cy	5-20	149,02	29,87	15,13	8,04	3.417,75	9,61	28,24	76,26	2,42
		<u>Perfil Ar-IV</u>								
Ap1	0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ap2	10-40	647,70	46,28	81,65	215,08	678,54	856,54	222,52	231,79	1,86

*CE = Conductividad eléctrica

4. CONCLUSIONES

1. En relación a las características de los suelos, primera barrera natural en el control de transporte de elementos químicos y de sustancias a la hidrosfera, hay que reseñar, que los suelos situados en las zonas altas y de ladera, están poco evolucionados, con bajo contenido en materia orgánica y arcilla, con una textura muy arenosa y estructura débil. Presentan un alto grado de porosidad, y por tanto un alto grado de movilidad a su través, por lo que la capacidad natural de retener contaminantes es pequeña. Por el contrario,



los suelos situados en las zonas bajas se caracterizan unos, por la presencia de sales, y otros, por su alto grado de fertilidad, en ambos caso presentan baja permeabilidad.

2. El conocimiento de los suelos que están próximos al Balneario es necesario para la toma de decisiones que contribuyan a proteger y mejorar la calidad de las aguas, ya que estos sirven para captar, almacenar y transportar el agua de lluvia que recibe la cuenca en superficie y profundidad.
3. En las zonas muy antropizadas, como son las próximas al cauce del río, si hubiera malas prácticas en el uso del suelo, o contaminación superficial, se incrementaría la vulnerabilidad de las aguas subyacentes.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y por la Comunidad de Madrid (CAM) a través del Grupo de Investigación 950605 y la Red CARESOIL, Ref. P2018/EMT-4317.

6. REFERENCIAS

1. Moltó L. Tipos de aguas minero-medicinales en yacimientos arqueológicos de la península Ibérica. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie II, Hª Antigua* 1992; V: 211-228.
2. González Fernández R, Matilla Séiquer G. Dos nuevas estelas funerarias con mención de *origo* procedentes del balneario de Archena (Murcia). *Faventia* 2007; 29/2: 21-36.
3. González Soutelo S. ¿De qué hablamos cuando hablamos de balnearios romanos? La arquitectura romana en los edificios de baños con aguas mineromedicinales en Hispania. *CuPAUAM* 2013; 39:123-150.
4. Calvo García-Tornel F, López Bermúdez F. Valle de Ricote, escenario en donde se funden las historias geológica, geomorfológica y humana. *MVRGETANA* 2014; 131: 35-47.
5. Custodio E, Llamas MR. *Hidrología subterránea* (2 Tomos). Omega 1983.
6. Bradl HB. Adsorption of heavy metal ions of soil and soil constituents. *J. Colloid Interface Sci* 2004; 277:1-18.
7. Appelo C, Postman D. *Geochemistry groundwater and pollution*. 2ª Edition. CRC Press 2004.
8. (IGME) Instituto Geológico y Minero de España, Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja nº 912 (Mula) Madrid 1955.
9. (AEMET) Agencia Estatal de Meteorología. Disponible en: <http://www.aemet.es/es/portada> (consultado el 16 de junio de 2019).
10. Alias LJ, Ortiz R, Martínez J, Hernández J, Alcaraz F., López B. Proyecto LUCDEME. Mapa de suelos E 1:100.000. Mula-912. Minist. Agric. Pesca y Alim. ICONA- Universidad de Murcia (ESPAÑA) 1986.
11. Martínez Sánchez MJ, Pérez Sirvent C, Tudela Serrano ML. El suelo en la Región de Murcia, un medio vulnerable. pp 183-216. *El Medio Físico de la Región de Murcia*. Ed. Carmelo Conesa García. Murcia: Universidad de Murcia 2006.



12. Alías Pérez L. Suelos de los alrededores del Balneario de Archena. Monografía XII Balneario de Fortuna. Monografía de Aguas Minero Medicinales. RANF 1987; 47-52.
13. IUSS working Group wRB. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma 2015.
14. ISRIC (International Soil Reference and Information Center). Procedures for Soil Analysis, third ed. International Soil Reference and Information Center, wageningen 2002.
15. Soil Survey Staff. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service 2014.
16. Zimmermann ED, Basile, PA. Uso de funciones de pedotransferencia para la estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos (Llanura Argentina). Boletín Geológico y Minero 2008; 119 (1):71-80.
17. Keller T, Håkansson I. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoderma 2010; 154:398-406.
18. Horowitz AJ, walling DE, Eds. Sediment Budgets. International Association of Hydrological Sciences IAHS Press. Publication No. 292, vol. 2. 2005.
19. Buckman H, Brady N. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Montaner y Simon: Barcelona 1977.
20. González-Barrios J, González-Cervantes G, Chávez-Ramírez E. Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. Tecnología y Ciencias del Agua 2012; III (1): 21-32.
21. Givi J, Prasher SO. Patel Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. Agric. water Manag. 2004; 70 (2): 83-96.
22. Campos I, González-Piqueras J, Carrara A, Villodre A, Calera A. Estimation of total available water in the soil layer by integrating actual evapotranspiration data in a remote sensing-driven soil water balance. Journal of Hydrology 2016; 534: 427-439.
23. Caravaca F, Lax A, Albaladejo J. Soil aggregate stability and organic matter in clay and fine silt fractions in urban refuse amended semiarid soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 2001; 65: 1235-1238.
24. Li Q, Cai S, Mo C, Chu B, Peng L, Yang, F. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2010; 73: 84-88
25. Martínez-Sánchez MJ, Pérez-Sirvent C, Molina-Ruiz M, Tudela ML, García-Lorenzo ML. Monitoring salinization processes in soils by using a chemical degradation indicator. Journal of Geochemical Exploration Volume 109, 2011: 1-7