

Estudio de los suelos de los alrededores del Balneario de Paracuellos de Jiloca (Zaragoza)

Title in English: *Study soil around the spa in Paracuellos de Jiloca (Zaragoza)*

Antonio López Lafuente^{1*}, Inmaculada Valverde Asenjo¹, José Ramón Quintana Nieto¹, Juan Pedro Martín Sanz¹, Ana de Santiago Martín², Concepción González Huecas¹

¹Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Plza. Ramón y Cajal s/n. 28040 Madrid, España. ²Instituto IMDEA Agua. Avenida Punto Com, 2. 28805 Alcalá de Henares, Madrid, España. *alopezla@ucm.es

An. Real. Acad. Farm. Vol 84, Special Issue (2018) pp. 132-157.

RESUMEN	ABSTRACT
<p>El aprovechamiento de las aguas mineromedicinales como medio para sanar de forma natural se conoce desde épocas ancestrales. Sus acciones terapéuticas están condicionadas con los gases y las fases sólidas que contengan, y estos dependen del equilibrio y la composición de la atmósfera, los suelos y las rocas. Estos equilibrios están relacionados con la temperatura y la presión del sistema, y cualquier cambio puede producir una variación que afecte a los procesos de disolución y precipitación de los minerales, y por tanto, a la concentración de elementos químicos en las aguas. La composición del suelo juega un papel determinante ya que en su interior se producen reacciones de sorción-desorción, complejación-disociación, disolución-precipitación, que determinan la movilidad de los constituyentes orgánicos e inorgánicos que forman el suelo. En función del resultado de estas reacciones los elementos y compuestos puede quedarse, o alcanzar las aguas subyacentes. En este trabajo analizamos las características edáficas de cuatro suelos muy representativos de los alrededores de la localidad de Paracuellos de Jiloca, localidad donde se encuentra la casa balneario. Pertenece la zona al Sistema Ibérico, en el Valle del Jiloca, situado a una altitud de 586 msnm y se encuentra a 4,6 km de Calatayud. Son suelos con escaso desarrollo, tipo AC, formados a partir de materiales sedimentarios constituidos por conglomerados, calizas margosas y yesos. Presentan pHs básicos, poca materia orgánica, texturas gruesas, son carbonatados y están saturados, siendo el calcio el catión mayoritario.</p>	<p>The use of medicinal mineral waters as a means to heal naturally has been known since ancient times. The gases and solid phases they contain determine their therapeutic actions, and those depend on the balance and composition of the atmosphere, the soils and the rocks. These balances relate to the temperature and pressure of the system, and any change can produce a variation that affects the processes of dissolution and precipitation of the minerals, and therefore, the concentration of chemical elements in the waters. The composition of the soil plays a decisive role in reactions of sorption-desorption, complexation-dissociation, dissolution-precipitation, which in turn determine the mobility of the organic and inorganic constituents of soil. Depending on such reactions, the elements and compounds remain in soils, or can reach the groundwater. In this work, the edaphic characteristics of four highly representative soils located in the thermal environment of Paracuellos de Jiloca were analyzed. The area belonging to the Iberian Mountain Range, in the Jiloca Valley and 4.6 km from Calatayud, is located at an altitude of 586 meters above sea level. They are poorly developed soils, typically AC profiles, formed on sedimentary materials consisting of conglomerates, marly limestones, and gypsum. They are carbonated soils with basic pH values, scarce organic matter content, coarse textures and saturated, being calcium the major cation. The high stoniness, the predominance of coarse textures, and a weak structure determine a high porosity governing the high degree of</p>

La alta pedregosidad, el predominio de las texturas gruesas, y estructuras débiles, condiciona una porosidad elevada lo que hace que estos suelos tengan un alto grado de infiltración.

Palabras clave: suelos poco desarrollados; propiedades hidráulicas; zonas semiáridas; Alhama de Almería.

infiltration of these soils.

Keywords: soils poorly developed; hydraulic properties; semi-arid environment; Alhama de Almería

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas se definen en la Directiva 2000/60/CE (1) como “todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo”. Representan un porcentaje, entre las aguas dulces no heladas, de alrededor del 4 %, lo que significa que son mucho más abundantes que las aguas superficiales (2).

Su composición química está en equilibrio químico-físico con el contenido de gases y de las fases sólidas disueltas (suelo y rocas). Estos equilibrios están relacionados con la temperatura y la presión del sistema, y cualquier cambio puede producir una variación que afecte a los procesos de disolución y precipitación de los minerales, y por tanto, a la concentración de elementos químicos en las aguas (3). Cuando la concentración de minerales disueltos es superior a 1 g/L, la OMS (2006) (4) establece que es agua natural mineral, y si además, tiene propiedades curativas la clasifica como mineromedicinal (5).

El aprovechamiento de las aguas mineromedicinales como medio para sanar de forma natural se conoce desde épocas ancestrales, todavía hoy se conservan en muchas zonas de la Península Ibérica restos de edificaciones realizadas por los romanos en los siglos I y II d C, como Archena en Murcia o Baños de Fitero en Navarra, que están vinculados al uso de esta agua (6). Su utilidad en el tratamiento de determinadas patologías lo pone de manifiesto la Sociedad Española de Hidrología Médica donde las definen como aquellas aguas que, por su composición química, física y físico-química, tienen propiedades terapéuticas (7). Son aguas de origen natural que presentan caudales prácticamente invariables, además de mantener la temperatura, la composición química y bacteriológica sin notables diferencias a lo largo del año.

La clasificación que más cita la bibliografía (8, 9), de estas aguas es la basada en su composición mineralógica, es decir, el contenido de aniones y cationes, así como la cantidad y tipo de gases que la forman. Es por tanto, el material litológico con el que está en contacto, junto a los tipos de suelos que forman la zona no saturada, quien condiciona su composición.

Procesos como la disolución, la hidratación o la carbonatación sobre todo en el caso de materiales sedimentarios: calizas, dolomías o yesos, o procesos que afectan a materiales ácidos como es hidrólisis, u óxido-reducción, son los responsables de alterar las rocas y condicionar la composición de las aguas circundantes. Por otro lado, los procesos de lavado y lixiviación de las aguas superficiales a través de la zona no saturada y la composición de la zona saturada, donde se almacena, también son los responsables de la composición química de las aguas subyacentes.

En estos procesos de infiltración, la composición del suelo juega un papel determinante ya que en su interior se producen reacciones de sorción-desorción, complejación-disociación, disolución-precipitación, que determinan la movilidad de los constituyentes orgánicos e inorgánicos que forman el suelo. En función del resultado de estas reacciones los elementos y compuestos puede quedarse, o alcanzar las aguas subyacentes. Propiedades como textura, estructura, pH, conductividad, complejo de cambio, son parámetros edáficos que se deben conocer ya que determinan la capacidad de penetración en el perfil (10, 11). Otro factor a tener en cuenta es la recarga del acuífero, depende de: la precipitación y su distribución a nivel diario, de la temperatura, de la geomorfología, de la vegetación, y además, de las características edáficas de los suelos sobreyacentes (12, 13).

En este trabajo estudiamos las características morfológicas, físico-químicas y mineralógicas de los suelos desarrollados en las proximidades del Balneario de Paracuellos de Jiloca (Zaragoza), así como las propiedades edáficas que condicionan los flujos de agua a lo largo del perfil, ya que pueden condicionar la composición química de las aguas subterráneas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Características del área de estudio

El Balneario se encuentra en la población de Paracuellos de Jiloca, localidad de 600 habitantes, situada en el Sistema Ibérico, en el Valle del Jiloca, a 4,6 km de Calatayud en la carretera N-234 en dirección a Teruel. Está a una altitud de 576 msnm y sus alrededores presentan un paisaje caracterizado por pequeñas elevaciones de pendientes suaves, de cerros y antecerros, con laderas en ocasiones cubiertas por material heterométrico de origen coluvial. Cuando la pendiente es mayor se han desarrollado incisiones y regueros que se distribuyen de forma irregular a lo largo de la zona (Figura 1).



Figura 1. Paisaje de las proximidades de Paracuellos de Jiloca.

La vegetación actual en la zona está formada por pino carrasco de repoblación (*Pinus halepensis*), y coscoja (*Quercus coccifera*) como masa arbórea más común. Herbazales como esparto o atocha (*Macrochloa tenacissima*), matorrales como romero (*Rosmarinus officinalis*) y espliego (*Lavandula latifolia*), además del matorral gipsícola, como jarillas (*Helianthemum squamatum*) y bojás (*Lepidium subulatum*). En las terrazas del Jiloca, y próximos al río, además de cultivos de huerta, hay árboles frutales (manzano, peral, albaricoque, etc.), y en la orilla chopos (*Populus alba*) y olmos (*Ulmus minor*) (14).

Los alrededores del Balneario tienen una litología muy variada con materiales pertenecientes al Terciario, y la zona de terrazas, al Cuaternario (15). El perfil PJ-I se desarrolla a partir de materiales carbonatados formados por calizas, margas y arcillas lignitíferas. La litología es fundamentalmente carbonatada con niveles de calizas de base irregular y de margas blancas que se apoyan en unidades yesíferas que afloran a pocos metros. El perfil PJ-II, próximo al anterior, se forma a partir de yesos y arcillas grises, litológicamente consiste en capas de yeso de 15 a 20 cm de potencia separada por material arcilloso de colores verdosos, en capas horizontales e irregulares. El perfil PJ-III, se desarrolla a partir de conglomerados silíceos rojos cementados con arenas y limos, pertenecientes a finales del Terciario. El perfil PJ-IV situado en zona de terrazas, próximas al cauce del río Jiloca, está formado por materiales aluviales constituidos por gravas cuarcíticas, arenas y arcillas.

El clima de la zona según los datos de la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet) (16) es mediterráneo semiárido con una temperatura media de 12,5 °C y una precipitación de 383 mm. Como vemos en el Gráfico 1, los meses de mayor temperatura son julio y agosto donde la evapotranspiración potencial alcanza los máximos valores. Destacamos las precipitaciones de primavera, los meses más lluviosos es mayo y junio. La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 36 mm y las diferencia de temperatura entre las medias es de 18 °C.

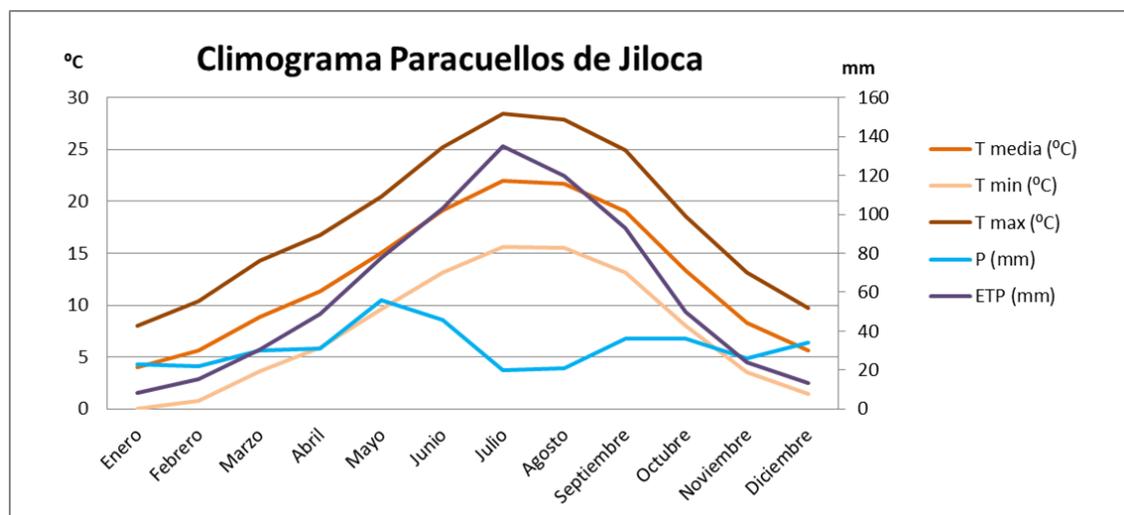


Gráfico 1. Climograma del entorno del balneario de Paracuellos de Jiloca.

2.2. Métodos analíticos

Todas las suspensiones y disoluciones se prepararon con agua purificada Milli-Q (>18MΩcm) 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 HNO₃ 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).

Los análisis se realizaron en la fracción fina del suelo (< 2 mm), de acuerdo con los métodos propuestos por ISRIC (17) y se determinaron los siguientes parámetros: 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. El contenido de nitrógeno total se midió por análisis elemental en un analizador (LECO CNS 2000). El carbono orgánico total (COT) se cuantificó por oxidación húmeda de acuerdo con Walkley-Black (18), empleando un valorador automático 665 Dosimal (Metrohm). La capacidad de cambio catiónico se extrajo con una solución de 1M NH₄OAc a pH 7,0. La concentración de Ca y Mg, 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. Se realizaron dos réplicas de cada uno de los análisis y los valores medios obtenidos fueron empleados para los cálculos. El pH se determinó en una suspensión suelo:agua con una relación 1:2,5 (p/v), medido en un pH metro Crison GPL21. La conductividad eléctrica se midió en una suspensión agua:suelo con una relación 1:5 (p/v), medida en un conducti vómetro modelo Crison micro CM 2200. El CaCO₃ se determinó por el método de neutralización ácida. Se siguió el procedimiento de USDA (19) 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 (20). La determinación de la curva de retención de agua del suelo (pF-curva) se realizó en muestras alteradas (21).

La composición mineralógica de las muestras de suelo fueron examinadas por difracción de rayos X (DRX) utilizando un equipo EQ 0434520 31 02 (X'Pert MPD) (se realizaron análisis continuos de 3-60º y con una velocidad de 0.04º por segundo). La fracción arcilla se examinó en agregados orientados (22).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características morfológica de los suelos

Se han analizado muestras de cuatro perfiles tomados en las proximidades del Balneario de Paracuellos de Jiloca, desarrollados a partir de los materiales litológicos más abundantes en la zona y que tienen mayor influencia en la composición de las aguas subterráneas. Los perfiles PJ-I y PJ-II se han tomado a 2 km del pueblo en dirección a Teruel, desarrollados sobre calizas y margas blancas, el primero, y sobre yesos y arcillas grises, el segundo. El perfil PJ-III se ha tomado en la parte alta del pueblo, desarrollado sobre conglomerados silíceos rojos, areniscas y limos. El perfil PJ-IV está tomado en la zona de terraza dedicada al cultivo de frutales situada frente a la casa del balneario, en las proximidades del río Jiloca, afluente del río Jalón.

Perfil PJ-I

Localidad: Paracuellos del Jiloca

Coordenadas: 41°18'32" N, 1°37'41" O

Altitud: 590 msnm

Posición fisiográfica: Ladera convexa

Topografía circundante: Llana-ligeramente ondulada

Pendiente: 5 %

Vegetación: Esparto (*Macrochloa tenecissima*)

Material original: Calizas, Margas blancas, Arcillas ligníferas

Drenaje: Clase 3. Moderadamente bien drenado

Pedregosidad superficial: Abundante, heterométrica

Uso del suelo: Pastoreo

Clasificación: Calcisol calcárico



Color en húmedo: 10YR4/4, pardo amarillento oscuro

Ah1 **Color en seco:** 10YR5/3, pardo

(0-5 cm) **Elementos gruesos:** Escasos y de pequeño tamaño

Estructura: Granular fina débil

Materia orgánica: Abundancia de raíces de tamaño pequeño

Actividad de fauna: Frecuente (hormigas)

Actividad antrópica: No se observa

Reacción con HCl: Intensa

Límite inferior: Plano y difuso

Ah2

(5-30 cm)

Color en húmedo: 10YR5/4, pardo amarillento

Color en seco: 10YR6/6, amarillo empardecido

Elementos gruesos: Pocos y de pequeño tamaño

Estructura: Granular fina a moderada

Materia orgánica: Escasa presencia de raíces medias y finas

Actividad de fauna: Sin presencia

Actividad antrópica: No se observa

Reacción con HCl: Intensa **Límite inferior:** Plano y difuso

ACk

(30-60 cm)

Color en húmedo: 10YR6/6, amarillo empardecido

Color en seco: 10YR7/6, amarillo

Elementos gruesos: Abundantes, heterométricos y sin forma definida

Estructura: Poliédrica fina moderada

Materia orgánica: Escasa presencia de raíces finas

Actividad de fauna: Sin presencia

Actividad antrópica: No se observa

Reacción con HCl: Intensa

Perfil PJ-II

Localidad: Paracuellos del Jiloca

Coordenadas: 41°19'30" N, 1°37'40" O

Altitud: 590 msnm

Posición fisiográfica: Ladera baja

Topografía circundante: Llana-ligeramente ondulada

Pendiente: 7 %

Vegetación: Matorral gypsícola, jarilla (*Helianthemum squamatum*)

Material original: Yesos, Arcillas grises

Drenaje: Clase 2. Imperfectamente drenado

Pedregosidad superficial: Abundante, heterométrica

Uso del suelo: Pastoreo

Clasificación: Gypsisol cálcico



- Ah** **Color en húmedo:** 10YR5/3, pardo
(0-10 cm) **Color en seco:** 10YR7/2, gris claro
Elementos gruesos: Escasos de pequeño tamaño
Estructura: Granular fina débil
Materia orgánica: Abundancia de raíces de tamaño pequeño
Actividad de fauna: No se observa
Actividad antrópica: No se observa
Reacción con HCl: Fuerte
Reacción con BaCl₂: Fuerte
Límite inferior: Plano y difuso
- ACy** **Color en húmedo:** 10YR6/3, pardo pálido
(10-25 cm) **Color en seco:** 10YR8/4, pardo muy pálido
Elementos gruesos: Escasos
Estructura: Granular fina débil
Materia orgánica: Escasa presencia de raíces muy finas
Actividad de fauna: No se observa
Actividad antrópica: No se observa
Reacción con HCl: Fuerte
Reacción con BaCl₂: Fuerte
Límite inferior: Plano y difuso
- Cy** **Color en húmedo:** 10YR7/3, pardo pálido
Color en seco: 10YR8/2, blanco
(25-65 cm) **Elementos gruesos:** Escasos
Estructura: Sin estructura
Materia orgánica: No se observa
Actividad de fauna: No se observa
Actividad antrópica: No se observa

Reacción con HCl: Fuerte

Reacción con BaCl₂: Fuerte

Perfil PJ-III

Localidad: Paracuellos del Jiloca

Coordenadas: 41°19'40" N, 1°38'10" O

Altitud: 590 msnm

Posición fisiográfica: Media ladera

Topografía circundante: Colinado

Pendiente: 25 %

Vegetación: Pino carrasco (*Pinus halepensis*)

Material original: Conglomerados silíceos rojos, Areniscas y Limos

Drenaje: Clase 4. Bien drenado

Pedregosidad superficial: Abundante, heterométrica

Uso del suelo: Pastoreo

Clasificación: Regosol éutrico



Color en húmedo: 5YR3/3, pardo rojizo oscuro

Ah **Color en seco:** 5YR4/4, pardo rojizo

(0-10 cm) **Elementos gruesos:** Abundantes, heterométricos

Estructura: Granular moderada

Materia orgánica: Abundancia de raíces de distintos tamaños

Actividad de fauna: Frecuente (hormigas)

Actividad antrópica: No se observa

Reacción con HCl: Ligera

Límite inferior: Plano y difuso

C **Color en húmedo:** 5YR4/6, rojo amarillento

Color en seco: 5YR5/6, rojo amarillento

(10-50 cm) **Elementos gruesos:** Abundantes, heterométricos

Estructura: Poliédrica subangular débil

Materia orgánica: Escasas raíces de tamaño fino

Actividad de fauna: No se observa

Actividad antrópica: No se observa

Reacción con HCl: Ligera

Perfil PJ-IV

Localidad: Paracuellos del Jiloca

Coordenadas: 41°19'40" N, 1°39'06" O

Altitud: 590 msnm

Posición fisiográfica: Terraza río Jiloca

Topografía circundante: Llana

Pendiente: 0 %

Vegetación: Cultivo hortícola

Material original: Aluvial

Drenaje: Clase 3. Moderadamente bien drenado

Pedregosidad superficial: Escasa

Uso del suelo: Agrícola

Clasificación: Fluvisol calcárico





- Color en húmedo:** 10YR3/4, pardo amarillento oscuro
- Ap1** **Color en seco:** 10YR4/3, de pardo a pardo oscuro
(0-5 cm) **Elementos gruesos:** Escasos y de pequeño tamaño
Estructura: Granular fina débil
Materia orgánica: Abundancia de raíces de diferentes tamaños
Actividad de fauna: Abundante (hormigas, ácaros)
Actividad antrópica: Cultivo
Reacción con HCl: No da
Límite inferior: Plano y difuso
- Ap2** **Color en húmedo:** 10YR3/3, pardo oscuro
(5-25 cm) **Color en seco:** 10YR4/4, pardo amarillento oscuro
Elementos gruesos: Pocos y de pequeño tamaño
Estructura: Granular moderada
Materia orgánica: Abundancia de raíces de diferentes tamaños
Actividad de fauna: Abundante
Actividad antrópica: Cultivo
Reacción con HCl: Ligera
Límite inferior: Difuso

AB	Color en húmedo: 7,5YR4/4, pardo a pardo oscuro
	Color en seco: 10YR5/4, pardo
<i>(25-45 cm)</i>	Elementos gruesos: Escasos y de pequeño tamaño
	Estructura: Poliédrica subangular fuerte
	Materia orgánica: Escasa presencia de raíces diferentes tamaños
	Actividad de fauna: Sin presencia
	Actividad antrópica: Cultivo
	Reacción con HCl: Intensa
Bck	Color en húmedo: 7,5YR4/6, pardo oscuro
	Color en seco: 7,5YR5/6, pardo oscuro
<i>(45-70 cm)</i>	Elementos gruesos: Escasos y de pequeño tamaño
	Estructura: Poliédrica subangular fuerte
	Materia orgánica: Sin restos vegetales
	Actividad de fauna: Sin presencia
	Actividad antrópica: No se observa Reacción con HCl: Fuerte

3.2. Propiedades químicas de los suelos

En las Tablas 1 y 2 se muestran las propiedades químicas estudiadas. El perfil PJ-I se forma a partir de material carbonatado, tiene un pH ligeramente básico con valores entre 7,35 en superficie y 7,80 en el horizonte más profundo, descendiendo ligeramente en todos los casos al medir el pH con una solución de KCl 0,1 N, lo que indica el alto grado de saturación. La conductividad eléctrica, crece al profundizar llegando a valores de 2,66 dSm⁻¹, lo que ponen de manifiesto la presencia de sales solubles, fundamentalmente yeso, ya que es positiva también la reacción con BaCl₂. El carbono orgánico tiene valores moderados, descendiendo al profundizar. Los valores de N siguen patrones similares a los del carbono, con una relación C/N muy elevada, por encima de 17 en el horizonte subsuperficial, lo que da idea de un humus poco evolucionado. El contenido en carbonatos es alto en todo el perfil, con un notable incremento en el horizonte más profundo. La capacidad total de cambio (Tabla 2) presenta valores moderados en el horizonte superficial, disminuyendo en el horizonte subyacente. El Ca es el catión mayoritario, destacando el contenido en el horizonte

Ah2 que triplica su valor respecto al horizonte sobreyacente. El suelo está saturado, como corresponde a los materiales litológicos sobre los que se ha desarrollado.

El perfil PJ-II formado a partir de yesos y margas grises del Aragoniense. Es un suelo poco evolucionado con 25 cm de horizonte superficial, subdividido en dos por la diferencia en el contenido de materia orgánica (Tabla 1). Los pHs son ligeramente básicos, con ligeros aumentos al profundizar, las diferencias con los obtenidos en KCl 0,1N no llegan en ningún caso a la unidad, lo que indica su alto grado de saturación. La conductividad presenta valores altos y similares a lo largo del perfil (2,5 dSm-1), característico de la presencia de sales solubles. Los contenidos de C orgánico y N son muy bajos, así como la capacidad de cambio. El contenido en carbonatos es alto y se mantiene constante en profundidad. Como era de esperar, en función del material de partida, los suelos están saturados y es el calcio el catión mayoritario, que representa más del 85 % de la suma de bases.

El perfil PJ-III está poco desarrollado, con una profundidad máxima de 50 cm, donde aparecen gran cantidad de cantos heterométricos de sílice. Los pHs son moderadamente básicos con valores de 7,89 en superficie y 8,34 en el horizonte subyacente. La conductividad eléctrica es baja, no supera los 0,5 dSm-1, lo que indica la ausencia de sales solubles. El contenido en carbono orgánico es bajo y la cantidad de N, también es baja, por lo que la relación C/N está en torno a 17, que indica bajo grado de humificación en el horizonte superficial. Presenta carbonatos en bajas concentraciones, debido a procesos de contaminación más que a la presencia de rocas carbonatadas. El valor de la capacidad de intercambio catiónico es bajo, y está en consonancia con los valores de materia orgánica y de la arcilla (Tabla 2). Es el Ca el catión mayoritario en el complejo de cambio, y como en los suelos precedentes, está todo él saturado.

El perfil PJ-IV corresponde a la zona de terraza del río Jiloca, desarrollado a partir de materiales aluviales constituidos por gravas y limos. Tiene una profundidad de 70 cm y está formado en superficie por un horizonte antrópico con distintas proporciones de materia orgánica. El horizonte superficial, de apenas 5 cm de espesor, forma una fina capa de acumulación de restos orgánicos poco alterados, a partir del cual, y hasta los 45 cm, presenta altas concentraciones de materia orgánica. El pH es ligeramente básico, disminuyendo menos de una unidad con los obtenidos con KCl. Los valores de conductividad (CE) son ligeramente mayores a los encontrados en los suelos precedentes, lo que indica procesos de contaminación debido a posición fisiográfica. El contenido en carbono orgánico es alto descendiendo progresivamente a partir de los primeros centímetros. El valor del N en superficie es también elevado dando una relación C/N entre 12,7 y 15,05 en los horizontes A, lo que indica un humus evolucionado. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), presentan unos valores elevados en los primeros 25 cm, disminuyendo ligeramente hasta los 45 cm, lo que

pone de manifiesto la influencia de la materia orgánica en el complejo de cambio. Es el Ca el catión mayoritario, aunque destaca la alta proporción de Mg en torno a 5 cmol(+) kg^{-1} (Tabla 2).

Tabla 1. Parámetros físico-químicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Paracuellos de Jiloca.

Horz.	Prf. cm	pH H ₂ O	pH KCl	CE dS m ⁻¹	Materia orgánica			M.O. g kg ⁻¹	Carb. g kg ⁻¹
					C g kg ⁻¹	N	C/N		
<u>Perfil PJ-I</u>									
Ah1	0-5	7,35	6,91	0,97	89,8	3,0	29,93	154,45	46,31
Ah2	5-30	7,65	7,10	2,65	48,1	2,8	17,17	82,73	51,70
ACk	30-60	7,80	7,35	2,66	-	-	-	-	62,83
<u>Perfil PJ-II</u>									
Ah	0-10	7,36	6,84	2,64	39,8	2,5	15,92	68,45	34,22
ACy	10-25	7,78	7,01	2,66	10,1	1,0	10,11	17,37	38,15
Cy	25-65	7,92	7,08	2,60	-	-	-	-	-
<u>Perfil PJ-III</u>									
Ah	0-10	7,89	7,15	0,31	25,5	1,5	17,00	43,86	8,34
C	10-50	8,34	7,96	0,18	8,3	0,8	10,37	14,27	10,83
<u>Perfil PJ-IV</u>									
Ap1	0-5	7,17	6,80	1,02	102,2	8,0	12,77	175,78	-
Ap2	5-25	7,42	6,91	0,80	81,1	6,1	13,29	139,49	6,27
AB	25-45	7,82	7,12	0,57	52,7	3,5	15,05	90,64	12,38
BCK	45-70	7,88	7,24	1,30	40,7	2,7	15,07	70,00	21,15

Tabla 2. Complejo de cambio catiónico de los suelos del entorno del balneario de Paracuellos de Jiloca.

Horz.	Prf. cm	CIC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ¹⁺	K ¹⁺	Saturación
<u>Perfil PJ-I</u>							
Ah1	0-5	20,78	88,12	1,56	3,26	0,84	Saturado
Ah2	5-30	13,98	285,37	1,02	0,70	0,53	Saturado
ACk	30-60	-	-	-	-	-	-
<u>Perfil PJ-II</u>							
Ah	0-10	13,14	52,63	1,74	4,46	0,33	Saturado
ACy	10-25	4,26	45,59	1,61	0,61	0,14	Saturado
Cy	25-65	-	-	-	-	-	-
<u>Perfil PJ-III</u>							
Ah	0-10	10,95	53,49	1,96	3,43	0,55	Saturado
C	10-50	7,85	75,06	2,63	0,73	0,28	Saturado
<u>Perfil PJ-IV</u>							
Ap1	0-5	39,75	70,93	6,48	4,84	0,41	Saturado
Ap2	5-25	29,25	91,37	4,83	0,91	0,45	Saturado
AB	25-45	20,81	74,15	5,01	0,38	0,40	Saturado
Bck	45-70	-	-	-	-	-	-

En la Tabla 3 se muestra el contenido en cationes y aniones solubles. Es el catión Ca el más abundante, fundamentalmente en los dos primeros suelos, donde en todas las muestras, menos los cinco primeros centímetros del PJ-I, están próximas, o sobrepasan, los 3 g.kg-1. Ambos suelos desarrollados sobre materiales sedimentarios de naturaleza caliza y yesífera. El resto de cationes presentan concentraciones muy similares sin que aparezca una secuencia significativa, a excepción del K en el perfil PJ-IV donde las concentraciones son muy superiores a los demás suelos. Su alto contenido se explica por ser un suelo de huerta donde se cultivan distintos productos de temporada y hay una utilización permanente de abonos.

En relación a los aniones destaca el alto contenido de sulfatos en los dos primeros suelos, con cantidades por encima de 4 g.kg-1, lo cual se debe, como indicamos más arriba, al material litológico que originó los suelos. Las altas concentraciones de sulfatos y nitratos en el perfil PJ-IV, se debe a las actividades antrópicas ligadas al laboreo. Es de destacar también las proporciones elevadas de cloruros, sobre todo en los horizontes más profundos del perfil PJ-II y en todo el suelo situado en las terrazas. Estas altas concentraciones están ligadas en el primer caso a los materiales margosos evaporíticos, y en el segundo a las aguas de riego con alto grado de salinidad.

Tabla 3. Cationes y aniones solubles de los suelos del entorno del Balneario de Paracuellos de Jiloca.

Horz.	Prf. cm	Cationes solubles				Aniones solubles			
		Ca	Mg	Na	K	SO ₄	NO ₃	NO ₂	Cl
		mg kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
<u>Perfil PJ -I</u>									
Ah1	0-5	831,88	23,20	22,60	110,96	2096,94	29,66	12,24	49,33
Ah2	5-30	2.978,75	13,55	31,85	43,63	4712,29	19,50	16,74	43,28
ACk	30-60	2.983,75	46,75	47,67	14,42	4573,31	18,60	14,83	75,24
<u>Perfil PJ -II</u>									
Ah	0-10	3.113,75	7,75	21,42	34,13	4712,93	20,02	15,79	83,20
ACy	10-25	3.046,25	7,79	16,71	17,98	4793,12	13,32	12,01	207,72
Cy	25-65	2.953,75	11,88	12,96	27,72	4642,66	17,52	10,11	181,75
<u>Perfil PJ -III</u>									
Ah	0-10	173,63	13,31	17,65	49,57	7,28	3,80	3,57	11,04
C	10-50	59,02	9,89	16,48	7,53	167,86	10,72	4,17	99,25
<u>Perfil PJ -IV</u>									
Ap1	0-5	660,00	75,04	37,34	419,71	-	-	-	-
Ap2	5-25	337,75	64,90	41,65	327,09	355,11	657,74	32,70	232,31
AB	25-45	231,50	44,86	46,95	210,71	231,54	348,43	13,42	177,01
BCK	45-70	649,88	123,89	124,14	191,71	810,55	979,01	5,33	432,67

3.3. Propiedades físicas de los suelos

El conocimiento de los parámetros físicos de los suelos ayuda a determinar su capacidad para regular la circulación de los fluidos y la movilidad de constituyentes y organismos, lo que permite explicar problemas relacionados con la recarga de los acuíferos y el establecimiento del balance hídrico (23). Los valores de las propiedades físicas de los suelos están reflejados en las Tablas 4, 5 y 6.

La utilización de modelos que relacionan distintas variables edáficas con la humedad del suelo a potenciales de agua seleccionados, se las denominan funciones de pedo-transferencia (FPT) (23). Las predicciones pueden ser mejoradas usando propiedades físicas del suelo como información adicional tales como la densidad aparente, porosidad o contenido de materia orgánica (24, 25).

El tamaño de las partículas minerales que forman los suelos es, por tanto, un parámetro fundamental para analizar la capacidad de retención y de infiltración del agua. Como se puede ver en la Tabla 4, presentan los suelos unas texturas muy variadas aunque hay un predominio de la fracción arena fina lo que imprime a los suelos unas características particulares en relación a su grado de porosidad, facilitando procesos de infiltración. Por otro lado, también es de destacar que entre las fracciones finas es el tamaño arcilla quien predomina en los perfiles PJ-I y PJ-IV, siendo el limo la fracción mayor en el perfil PJ-III. En general presentan estos suelos unas texturas equilibradas sin diferencias significativas a lo largo del perfil. Destacar en este apartado que el perfil PJ-II, con altas cantidades de yesos, es la suma de las fracciones arenas, la predominante, lo que puede favorecer los procesos de lavado.

Los valores observados en el estudio de la densidad aparente y la densidad real muestran cantidades consideradas como habituales en suelos con predominio de fracción mineral sobre la fracción orgánica (Tabla 5). En relación a la porosidad significar que varía en cada suelo: los perfiles PJ-I y PJ-IV presentan valores de porosidad que oscila entre el 55 % y 44 %, son, por tanto, cantidades relativamente elevadas, muy homogéneas y sin diferencias notables a lo largo del perfil, aunque se aprecia un ligero descenso al profundizar, debido fundamentalmente al ligero incremento en la fracción arcilla que se produce. El perfil PJ-II tiene una porosidad del 65 % en todo el perfil, valores muy altos que favorecen los procesos de infiltración. La menor proporción de porosidad se produce en el horizonte C del perfil PJ-III, donde es muy bajo el contenido en materia orgánica (14,27 g.Kg-1), por lo que la porosidad está ligada al alto contenido en la fracción limo que rellena los espacios vacíos e impide el paso de la solución del suelo.

Tabla 4. Distribución del tamaño de partícula de los suelos del entorno del balneario de Paracuellos de Jiloca.

Horz.	Prof. Cm	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Textura
		%				
<u>Perfil PJ-I</u>						
Ah1	0-5	-	-	-	-	-
Ah2	5-30	15,27	25,14	28,41	31,18	Franco-arcillosa
ACk	30-60	12,83	25,60	17,14	34,43	Franco-arcillosa
<u>Perfil PJ-II</u>						
Ah	0-10	-	-	-	-	-
ACy	10-25	19,71	32,04	-	-	-
Cy	25-65	21,15	38,17	-	-	-
<u>Perfil PJ-III</u>						
Ah	0-10	22,21	29,69	32,30	15,80	Franco-arenosa
C	10-50	24,74	22,67	38,14	14,45	Franco-arenoso
<u>Perfil PJ-IV</u>						
Ap1	0-5	-	-	-	-	-
Ap2	5-25	20,41	32,79	21,27	25,53	Franco-arcillo-arenosa
AB	25-45	17,02	24,18	28,68	30,12	Franco-arcillosa
BCK	45-70	12,73	24,91	30,21	32,15	Franco-arcillosa

Tabla 5. Parámetros físicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Paracuellos del Jiloca.

Horz.	Prof. cm	Densidad aparente	Densidad real	Porosidad
		g/cm ³		%
<u>Perfil PJ-I</u>				
Ah1	0-5	-	-	-
Ah2	5-30	1,24	2,56	51,00
ACk	30-60	1,31	2,65	49,00
<u>Perfil PJ-II</u>				
Ah1	0-10	-	-	-
Cy1	10-25	0,86	2,48	65,00
Cy2	25-65	0,89	2,59	65,00
<u>Perfil PJ-III</u>				
Ah	0-5	-	-	-
C	5-35	1,76	2,73	35,00
<u>Perfil PJ-IV</u>				
Ap1	0-5	-	-	-
Ap2	5-25	1,04	2,36	55,00
AB	25-45	1,37	2,48	44,00
BCK	45-70	1,40	2,66	47,00

En la Tabla 6 se muestran los parámetros hidráulicos que nos permiten analizar la retención de agua en los suelos. Como se puede ver los valores de los suelos PJ-I y PJ-IV son muy similares entre sí, con pequeñas diferencias que les hace tener unas propiedades hidráulicas similares. Solo se aprecia diferencias significativas en los datos del perfil PJ-III, donde la conductividad del agua expresada en cm/h es muy superior a los anteriores. Esto se explica, tanto por la textura: franco-arenosa: predominio de fracciones groseras y medias, por tanto aumento de la porosidad, como por la gran heterómera de los trozos de roca incluida, como se decía en la descripción morfológica, que facilita los procesos de lavado.

Tabla 6. Parámetros hidráulicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Paracuellos de Jiloca.

Horz	Prof. cm	Punto marchitamiento	Capacidad campo cm ³ agua/cm ³ suelo	Agua saturación	Agua disponible	Conductividad hidráulica cm/h
<u>Perfil PJ-I</u>						
Ah1	0-5					
Ah2	5-30	0,17	0,30	0,49	0,12	0,31
ACk	30-60	0,19	0,32	0,50	0,13	0,25
<u>Perfil PJ-II</u>						
Ah	0-10	-	-	-	-	-
ACy	10-25	-	-	-	-	-
Cy	25-65	-	-	-	-	-
<u>Perfil PJ-III</u>						
AC	0-10	0,11	0,23	0,45	0,12	1,27
C	10-50	0,10	0,24	0,44	0,13	1,54
<u>Perfil PJ-IV</u>						
Ap1	0-5	-	-	-	-	-
Ap2	5-25	0,15	0,26	0,47	0,11	0,42
AC	25-45	0,17	0,29	0,49	0,12	0,33
BCK	45-70	0,18	0,31	0,50	0,13	0,31

3.4. Mineralogía de la fracción menor de 2 mm.

Hemos realizado difracción de RX en muestras de arcilla, en agregados orientados, pertenecientes a los horizontes subsuperficiales de los cuatro suelos estudiados (26). Los difractogramas se muestran en la Figura 1.

En la muestra del perfil PJ-I correspondiente al horizonte Ah2, aparecen como minerales laminares filosilicatos 2:1, que por sus reflexiones a 0,99 nm y 0,5 nm posiblemente se trate de biotitas. Las reflexiones a 0,75 nm y 0,42 nm indican la presencia de yeso. Los minerales carbonatados como la calcita, se ponen de manifiesto por las reflexiones a 0,30 nm (máxima intensidad), 0,22 nm y 0,18 nm. El principal

mineral no laminar es el cuarzo, por sus reflexiones a 0,42nm, 0,33nm (máxima intensidad) y 0,18 nm.

La muestra correspondiente al perfil PJ-II, evidencia una clara presencia de yeso por sus reflexiones a 0,75 nm (máxima intensidad), 0,42 nm, y 0,37 nm. De calcita por sus débiles reflexiones a 0,30 nm, 0,28 nm y 0,21 nm. El cuarzo es el mineral silicatado no laminar más abundante (0,33nm y 0,18 nm). Dentro del grupo de minerales filosilicatados, se detecta posible presencia clorita, y por las reflexiones a 0,99 nm 0,33, de micas (illitas).

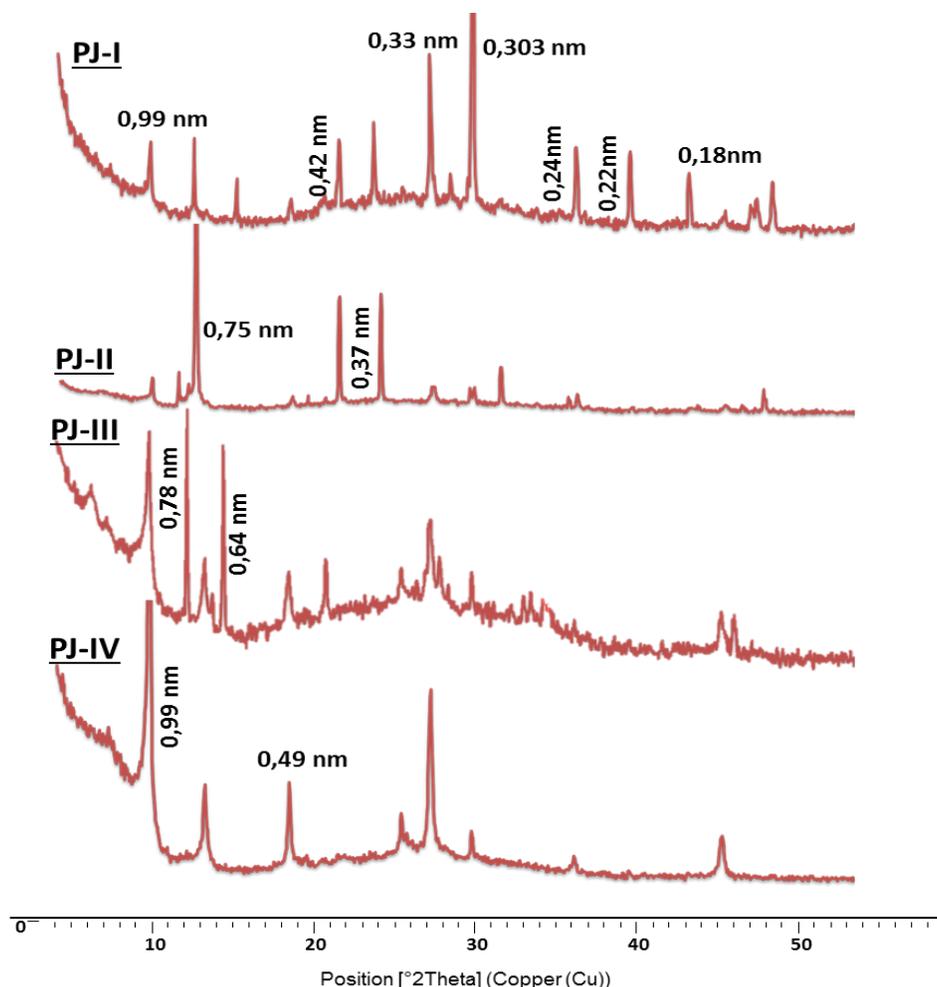


Figura 1. Difractogramas Rayos-X de agregados orientados de la fracción arcilla (Cu α -radiación).

La muestra analizada del perfil PJ-III, refleja la presencia de interestratificados cloritas-smectitas por sus reflexiones a 1,71nm. Biotitas bien cristalizadas por la reflexión a 0,99 nm y 0,49 nm muy simétricas. Presencia de caolinita por las reflexiones a 0,71nm y 0,35nm, todos ellos constituyen el grupo de los filosilicatos. Es el cuarzo por su intensa reflexión a 0,33 nm y sucesivas, el mineral no laminar más significativo, aparece presencia de calcita y trazas de yeso.

La mineralogía de la muestra correspondiente al perfil PJ-IV se caracteriza por la presencia de interstratificados cloritas-vermiculitas por las reflexiones a 1,39 nm y 0,48nm. La biotita se pone de manifiesto por la reflexión de máxima intensidad a 0,99nm. Por las intensas y simétricas reflexiones a 0,71nm y 0,35nm podría tratarse de caolinita. El cuarzo es el mineral no laminar más abundante y la pequeña reflexión a 0,30nm nos indica la presencia de la calcita.

En resumen, la composición mineralógica de los suelos refleja la naturaleza del material original, mayoritariamente formada por minerales heredados con escasos síntomas de alteración. Biotitas sobre todo, y caolinitas, en menor proporción, ambas generalmente bien cristalizadas, son los filosilicatos más abundantes. Carbonatos y yesos, son los minerales, que junto al cuarzo, constituyen la proporción más abundante de la fracción mineral de los suelos. Los ligeros procesos de alteración se ponen de manifiesto por las pequeñas proporciones de interstratificados clorita-vermiculita y clorita-smectita.

4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos más característicos de la zona, que definen el paisaje, y de acuerdo con la clasificación WRB (25), son: Calcisoles, Gypsisoles, Regosoles y Fluvisoles.

PJ-I: *Calcisol calcárico*. Desarrollado a partir de calizas y margas calcáreas se desarrolla en una amplia zona donde los espartales es la vegetación dominante. Son suelos profundos de topografía llana o terrenos ligeramente ondulados, y sin afloramiento rocosos. El suelo tiene un desarrollo AC, con altos contenidos de materia orgánica en superficie, aunque poco evolucionada, lo que origina un horizonte ócrico, presenta altos contenidos en carbonato cálcico que aumenta en profundidad.

PJ-II: *Gypsisol cálcico*. Son los materiales yesíferos y el clima semiárido quienes determinan la génesis de estos suelos. Están muy extendidos por la zona y describen un paisaje de pequeños cerros y laderas de suaves pendientes, por lo general inferiores al 10 %, predominan los colores grisáceos, escasa vegetación, constituida por matorrales gypsícolas, y los afloramientos que entremezclan: margas yesíferas y calizas. El desarrollo del perfil es escaso, presenta en superficie un horizonte orgánico con poca materia orgánica y poco evolucionada, bajo el cual se encuentran distintas capas que constituyen el horizonte C.

PJ-III: *Regosol eútrico*. Aparecen estos suelos en las proximidades de la localidad de Paracuellos de Jiloca, formados a partir de conglomerados silicios rojos, y situados en zona de ladera con fuertes pendientes, entre el 15 % y el 25 %, lo que condiciona su génesis. Presentan gran cantidad de pedregosidad heterométrica y con claros signos de erosión superficial, lo que impide una mayor evolución del horizonte

orgánico. La capacidad de cambio es baja, está saturado, siendo el calcio el catión mayoritario.

PJ-IV: *Fluvisol calcárico*. Se trata de un tipo de suelo con mucha presencia en toda la zona de terrazas del río Jiloca. Zona muy fértil de huerta que caracteriza unos suelos con altos contenidos en materia orgánica de alto grado de humificación que llega, en este suelo, hasta los 45 cm de profundidad. Tiene una textura equilibrada con alto contenido en limo en todos los horizontes, su capacidad de cambio es así mismo, elevada, está saturado y es el calcio el catión predominante. Destaca el alto contenido en nitratos y cloruros, consecuencia de las aguas de riego, con alto grado de salinidad y de la utilización de abonos.

5. CONCLUSIONES

1. La zona está condicionado por la existencia de un clima semiárido, una litología constituida por materiales sedimentarios, un fondo de valle aluvial, sobre el que aparecen cerros de distinta morfología y con escasa cubierta vegetal. En base a estos factores se describen tres tipos de paisaje: el que se aprecia en las terrazas del río Jiloca, fértil, con abundancia de árboles frutales y otros cultivos, el situado sobre la localidad de Paracuellos, formado por laderas escarpadas de colores rojizos, alteradas por la erosión, y el que se encuentra en los alrededores formado por cerros de baja altura y suaves pendientes de colores grises.

2. En relación a los suelos analizados son todos poco evolucionados, con ausencia de horizontes de alteración, y desarrollo AC. Tienen, en general, unos horizontes superficiales poco profundos y con bajo contenido en materia orgánica, mal humificada, salvo los suelos de vega situados en las proximidades del río Jiloca. Presentan texturas con altas proporciones de arenas, estructura débil, baja capacidad de cambio y composición mineralógica heredada del material original. Estas características edáficas determinan que la capacidad de retención sea limitada, por lo que la vulnerabilidad de las capas subyacentes es grande, ya que están favorecidos los procesos de lavado y lixiviación.

6. 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. P2013/MAE-2739.

7. REFERENCIAS

1. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
2. López-Geta Juan Antonio, Fornés Azcoiti Juan María, Ramos González Gerardo, Villarroya Gil Fermín. Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo. 4ª ed. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España 2009; pp. 90.
3. Stephen Foster, Hirata Ricardo, Gomes Daniel, D'Elia Mónica, Paris Marta. Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Groundwater Management Advisory Team (CWeMATE) en colaboración con Global Water Partnership co-auspiciado por WHO-PAHO-CEPIS y UNESCO-ROSTLAC-PHI. 2. 2007; pp. 115.
4. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable 1. Normas sobre el agua potable. 2. Normas sobre el agua. 3. Normas sobre la calidad del agua. 4. Directrices. Organización Mundial de la Salud, 2006.
5. Ley 6/1994, de 24 de noviembre, de Balnearios y de Aguas Minero-Medicinales y/o Termales.
6. González Soutelo Silvia. ¿De qué hablamos cuando hablamos de balnearios romanos? La arquitectura romana en los edificios de baños con aguas mineromedicinales en Hispania. CuPAUAM 2013; 39: pp. 123-150.
7. Sociedad Española de Hidrología Médica. <http://www.hidromed.org/hm/index.php/conceptos-basicos/aguas-minero-medicinales>
8. Brodermann, J. Clasificación de las aguas mineromedicinales analizadas por el Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médica. Archivos del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médica 1948; II, 2.
9. Gramova V, Nelubin V, Yuriev V. Clasificación de las aguas minerales adaptada a Rusia y su estandarización. 32nd World Congress of the ISMH. Bad Wörishofen. 1994 April; 99-192.
10. Kazakis K, Voudouri S. Groundwater vulnerability and pollution risk assessment of porous aquifers to nitrate: Modifying the DRASTIC method using quantitative parameters. Journal Hydrology 2015; 525: 13-25.
11. Moreno Merino L, González Huecas C, López Lafuente A. Características edáficas condicionantes de la vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas situadas bajo Fluvisoles calcáricos. Boletín Geológico y Minero 1995; 106-2: 45-46.

12. Custodio E. Recarga a los acuíferos extensos a partir de la deposición atmosférica de cloruros y de la temperatura del terreno. *Boletín Geológico y Minero* 2009; 120-4: 631-640.
13. Foster SSD. Vulnerability of soil and groundwater to pollutions. *Hydrol Proc Inf* 1987; 20-17: 116-121.
14. Rivas-Martínez S. Memoria de series de vegetación de España. 1:400.000. Madrid: ICONA 1987.
15. (IGME) Instituto Geológico y Minero de España, Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja nº 437 (Ateca). Madrid 1983.
16. (AEMET) Agencia Estatal de Meteorología. Disponible en: (<http://www.aemet.es/es/portada>) (consultado el 18 de abril de 2018).
17. (ISRIC) International Soil Reference and Information Center. Procedures for Soil Analysis; 3th. Ed. International Soil Reference and Information Center; Wageningen, 2002.
18. Walkley A, Black A. A critical examination of rapid methods for determining organic carbon in soils. *Soil Science* 1974; 62: 251-254.
19. USDA. Soil Quality para la evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. 1999; pp. 88.
20. Damiano F, Taboada MA. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 2000; 18 (2): 77-88.
21. Kern JS. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal* 1995; 59: 1134-1141.
22. Bish DL. Qualitative x-ray diffraction analysis of soils. In: amonette J.E. and Zelazny LW (ed.) *Quantitative methods in soil mineralogy*. Madison, WI: SSSA Mis Publ 1994; pp. 267-295.
23. 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.
24. Vereecken HJ, Maes J, Feyen J, Darius P. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. *Soil Sci* 1989; 148: 389-403.
25. Zimmermann E. Estimación de funciones hidráulicas de suelos limosos. Valores de referencia y regresiones con parámetros físicos. *Cuadernos del CURIHAM* 2006; 11(1): 49-66.

26. Dixon JB, Weed SB, editors. Minerals in Soil Environments. SSSA Book Ser. 1. SSSA, Madison, WI. 1989. doi:10.2136/sssabookser1.2ed.frontmatter.