

Estudio de los suelos de los alrededores del Balneario de Villavieja de Nules (Castellón de la Plana)

Title in English: *Study soil around the spa in Villavieja de Nules (Castellón de la Plana)*

Antonio López Lafuente^{1*}, Inmaculada Valverde Asenjo¹, José Ramón Quintana Nieto¹, 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. ²Department of Civil Engineering and Water Engineering, Faculty of Science and Engineering, Laval University, G1K 7P4 Quebec, Canada.

An. Real. Acad. Farm. Vol 82, Special Issue (2016) pp. 127-141.

RESUMEN	ABSTRACT
<p>El suelo es la primera barrera natural que han de atravesar los compuestos depositados en la superficie terrestre para llegar a los acuíferos. Conocer las propiedades fisicoquímicas que intervienen en los procesos de infiltración, así como saber el tipo de suelo, son parámetros esenciales que nos permite analizar el riesgo de contaminación que afecta la composición del agua subterránea. En este trabajo se describen los factores ambientales de la zona, y se analizan algunas de las propiedades químicas, físicas y mineralógicas de cuatro suelos característicos de los alrededores del Balneario de Villavieja de Nules (Castellón de la Plana). Para ello se ha obtenido el contenido en: C, N, pH, CE, CIC y CO₃²⁻, así como se ha determinado: textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, parámetros hidráulicos y la mineralogía de la fracción arcilla. De los resultados se desprende que las características ambientales de la zona, junto a los tipos de suelos analizados ralentizan los procesos de flujos descendentes.</p>	<p>Soil is the first natural barrier that has to be crossed by the compounds deposited on the Earth's surface to reach aquifers. Knowing about the physicochemical properties involved in the infiltration processes, as well as the soil type, are essential parameters which allows us to analyze the risk of contamination affecting the composition of groundwater. In this work, the environmental factors of the area around the Balneario de Villavieja Nules (Castellón de la Plana) are described, and some of the chemical, physical, and mineralogical characteristics of four soils are analyzed. Most particularly C, N, pH, CE, CIC y CO₃²⁻, as well as texture, bulk density, particle density, porosity, hydraulic parameters and clay fraction mineralogy were determined. The results showed that the environmental characteristics of the area, together with the types of soil analyzed slow down the water flow processes.</p>
<p>Palabras clave: Propiedades del suelo; suelos contaminados; Agua subterránea; Balnearios.</p>	<p>Keywords: Soil properties; Contaminated Soils; Groundwater; Spas.</p>

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es la primera barrera natural que han de atravesar los compuestos depositados en la superficie terrestre para llegar a las aguas subterráneas. La forma de depositarse, el tiempo de penetrabilidad y su naturaleza, están relacionadas con la composición química de las aguas. Por otro lado, la presión antropogénica debida fundamentalmente a la agricultura, la industria y el urbanismo, está causando irreversibles degradaciones en la composición de las aguas (1). Por ello, conocer los factores ambientales, los suelos y la zona no saturada, así como el uso del territorio, son parámetros esenciales para estudiar la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación de agua subterránea, lo que es imprescindible para su gestión y protección (2).

El concepto de vulnerabilidad está basado en el hecho de que el entorno natural proporciona una protección a las aguas subterráneas frente a los impactos antrópicos, especialmente con respecto a los contaminantes que se depositan en la parte superficial del ecosistema (3).

En la actualidad, hay gran variedad de métodos utilizados para estudiar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas. El método GOD, desarrollado en 1987 (4) establece la vulnerabilidad del acuífero, como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico, a la penetración de contaminantes y a la capacidad de atenuación de las capas superficiales. El índice DRASTIC (5), es un sistema diseñado para elaborar cartografías de vulnerabilidad frente a la contaminación por plaguicidas utilizados en la agricultura. El método AVI (6), se utiliza para cuantificar la vulnerabilidad natural de un acuífero por medio de la resistencia hidráulica vertical (CT) al pasar los flujos de agua por diferentes estratos de suelos que sobreyacen al acuífero. En todos ellos las características y propiedades de la zona no saturada juega un papel importante para determinar la afección del contaminante.

Son muchos los trabajos que relacionan propiedades del suelo y aguas subterráneas. Moreno Merino et al. (7) analizan las características edáficas de suelos carbonatos que influyen en la vulnerabilidad de las aguas subterráneas. Tesoriero y Voss (8) estudian la dinámica de nitratos en aguas que subyacen a suelos con diferentes texturas. Nolan y Hitt (9) investigan la vulnerabilidad de los pozos de agua subterránea y de agua potable poco profunda a la contaminación por nitratos en Estados Unidos. Dusek *et al.* (10) analizan la permeabilidad del suelo, los niveles de oxígeno, y regímenes de flujo, en relación al movimiento descendente de pesticidas y compuestos orgánicos volátiles. Dusek *et al.* (10) y Šimůnek y van Genuchten (11) simulan el flujo de agua y transporte de contaminantes en el subsuelo proporcionado

un enfoque estructurado para analizar el riesgo de contaminación en respuesta a estos factores.

Es pues el suelo uno de los sistemas naturales que, en todos los métodos para evaluar la vulnerabilidad, ha de estudiarse. El análisis de algunas de sus propiedades, en concreto aquellas que determinan la física del mismo, nos permite identificar los regímenes de flujo, lo que resulta de gran utilidad para conocer el grado de protección del suelo sobre las aguas subterráneas.

El objeto de este trabajo es describir los tipos de suelos más representativos de la zona y analizar aquellas propiedades de los suelos que controlan los flujos de agua a lo largo del perfil.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El tipo de paisaje que se encuentra en las inmediaciones del Balneario de Villavieja, situado en el suroeste de la provincia de Castellón, está caracterizado por la presencia de suelos de color rojo intenso que contrastan con el color blanco grisáceo de los materiales litológicos. Localizado en centro urbano de Villavieja, presenta unos alrededores de relieves escarpados en la zona noroeste y llano con cultivo de naranjos y mandarinos en la zona sureste, en dirección al mar.

La litología del terreno circundante está constituida por materiales pertenecientes al Cuaternario, corresponde a la Comarca de La Plana baja, formado por arcillas rojas con cantos y costras zonales; y materiales del Triásico, en las estribaciones de la Sierra de Espadán, formado por argilitas y areniscas del Buntsandstein, margas y yesos del Keuper, junto a calizas dolomíticas (12, 13). Sobre los materiales más recientes se desarrollan suelos arcillosos cuyo uso fundamental es el cultivo de cítricos, y en la zona del glacis, suelos poco desarrollados (14). Sus aguas están clasificadas como sulfatadas cálcicas y cloruradas, de mineralización media: 929 mg/L de residuo seco. Tienen características de aguas mesotermales con una temperatura en el punto de captación de 42 °C (15).

El uso del territorio que rodea al balneario es agrícola con un predominio de cultivos leñosos de regadío que ocupa mayoritariamente el área perteneciente a la Plana. Las labores realizadas para el acondicionamiento de los terrenos a las exigencias agrícolas, junto a la utilización de abonos inorgánicos, modifica las propiedades naturales de los suelos, lo que podría tener influencia en la composición de las aguas subterráneas.

La población de Villavieja se localiza en el sector suroriental de la provincia de Castellón de la Plana, al pie de las estribaciones de Sierra Espadán, a unos 7 km de la costa. En el término municipal se distinguen dos sectores, la zona perteneciente a La Plana, situada al este, dedicada al cultivo de cítricos: naranjos y mandarinos, y la zona situada a la espalda de la población, dirección oeste, donde comienza una brusca elevación que se corresponde con las primeras pendientes de Sierra Espadán. (Foto 1). Encinas (*Quercus rotundifolia* Lam.), alcornoques (*Quercus suber* L.) y melojos (*Quercus pirenaica*, Willd) como autóctonos, y pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) de repoblación, es la población arbórea dominante (16).



Foto 1. Paisaje de Villavieja de Nules.

2.2 Muestro de suelos

Los suelos fueron tomados en un glacis antiguo (12) situado a lo largo del camino en dirección oeste hacia la cumbre del cerro del Castillo, a diferentes altitudes entre 40 y 115 msnm, perfiles I, II y III. El perfil IV se localiza en la zona de La Plana a 2 km del pueblo en dirección al mar. La toma de muestras se realizó teniendo en cuenta la variabilidad litológica, topográfica, de vegetación y de usos del territorio, encontrada.

2.3 Métodos analíticos

Todas las suspensiones y disoluciones se prepararon con agua purificada Milli-Q (>18M Ω cm) 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).

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 conductímetro modelo Crison micro CM 2200. El CaCO₃ se determinó por el método de neutralización ácida. Se siguió el procedimiento de Soil Survey Staff (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 (17).

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 3-60° y con una velocidad de 0.04° por segundo). La fracción arcilla se examinó en muestras secadas al aire, calcinadas a 550°C y solvatadas con etilén glicol (21). Los análisis semicuantitativos fueron realizados según la metodología propuesta por Tributh (22).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción morfológica de los suelos

El perfil I se localiza a la salida del pueblo, en dirección a la Sierra del Espadán, a 150 m de las últimas casas, formado a partir de depósitos de pie de monte, constituido por areniscas y argelitas con cantos encostrados superficiales (12). Presenta este suelo un escaso desarrollo, con un horizonte Ah superficial de 5 cm, de

color pardo rojizo, estructura granular. Está muy enraizado con predominado de raíces grandes. Alta proporción de trozos de roca incluida no alterada de pequeño tamaño. El horizonte subyacente (AC), hasta los 45 cm de profundidad, es de color pardo rojizo oscuro y estructura en bloques subangulares, gran cantidad de raíces de tamaño medio y fino. Muy pedregoso con trozos de roca incluida de tamaño medio y grande (Tabla 1).

El perfil P II, localizado a 100 m del anterior siguiendo el camino ascendente del cerro del Castillo. Desarrollado a partir de argelitas y areniscas (12), tiene una profundidad de 40 cm sobre la roca compacta. Presenta un horizonte Ah superficial de 10 cm de color rojo fuerte y estructura granular, gran proporción de raíces de pequeño tamaño, límite difuso con horizonte subyacente. El horizonte Bt tiene color rojo, estructura en bloques subangulares. La cantidad de raíces respecto al horizonte suprayacente es menor, predominando las de tamaño medio. Contacto lítico (Tabla 1).

El perfil P III, se localiza en la parte alta del cerro del Castillo, a una altitud de 110 msnm. Suelo tomado entre las grietas que dejan las argilitas y areniscas (12), presenta un color rojo amarillento y estructura en bloques subangulares. Presencia de raíces de pequeño tamaño. Gran inclusión de rocas de tamaño medio y grande las no alteradas, y de pequeño tamaño las alteradas (Tabla 1).

El perfil P-IV se localiza en el sector La Plana, a 2 km del pueblo en dirección al mar, desarrollado a partir de material del cuaternario, constituido por cantos englobados en una matriz arcillosa rojiza con cemento calcáreo (12). Presenta un horizonte superficial de 30 cm (Ap), de color pardo oscuro. Estructura en bloques subangulares. Muy enraizado, con raíces de tamaño medio y fino. Da ligera reacción con HCl, lo que indica la presencia de Ca CO_3 . Hay trozos de roca incluidos no alterados con gran variedad de tamaño, su límite es difuso con el horizonte subyacente. A partir de los 30 cm de profundidad, aparece un horizonte AC, con gran cantidad de trozos de roca incluida no alterada. Color pardo. Estructura en bloque subangulares. Da reacción con HCl (Tabla 1).

Tabla 1. Características morfológicas de los suelos.

Horz.	Prof. cm	Munsell Color (seco)	Munsell Color (húmedo)	Text.†	Estruct.¶	Resistencia ruptura (húmedo)#	Fragmentos rocosos ††	Límites §
<u>Perfil P-I</u>								
Ah	0-5	5YR5/4	5YR4/4	fa	1mgr	mfr	3G	go
AC	5-45	5YR3/4	5YR5/4	fa	2m bs	mfr	3P	go
<u>Perfil P-II</u>								
Ah	0-10	2,5YR3/6	2,5YR5/6	fra	3m gr	mfr	2GP	go
Bt	10-40	2,5YR4/6	2,5YR5/6	r	2m bs	fi	1G	cl
<u>Perfil P-III</u>								
Bt	35-60	5YR4/6	5YR5/6	ra	1mbs	fi	2G	cl
<u>Perfil P-IV</u>								
Ap	0-30	7,5YR3/4	7,5YR5/4	fra	1m sb	fr	2GP	d
AC	30-55	7,5YR5/4	7,5YR6/4	fra	2m sb	fr	2GP	d

† Textura: fa, franco-arenosa; fra, franco-arcillo-arenosa; r, arcillosa; ra, arcillo-arenosa.

¶ Estructura: 1, débil; 2, media; 3, fuerte; f, fina; m, mediano.

gr, granular; sb, bloque subangular.

Resistencia a la ruptura: mfr, muy friable; fr, friable; fi, firme.

†† Fragmentos rocosos: cantidad 1, 2 y 3 corresponde a < 5%, 5-15% y 15-50%, respectivamente, G, grava; GS, mezcla de grava y piedra; P, piedra.

§ Límite: go, gradual ondulado; d, difuso; cl, contacto lítico.

3.2. Propiedades químicas de los suelos

El perfil P-I tiene un escaso desarrollo edáfico de tipo A/C, con profundidades que no superan los 50 cm a lo largo del transepto. El pH está próximo a la neutralidad, sin variaciones destacables entre ambos horizontes. Los valores de conductividad eléctrica ponen de manifiesto la ausencia de sales solubles. El carbono orgánico está presente en cantidades moderadas en ambos horizontes, esto mismo sucede con el contenido de N. La capacidad total de cambio presenta valores moderados en el horizonte superficial disminuyendo, marcadamente, en el horizonte subyacente. El Ca es el catión mayoritario y el complejo de cambio está saturado (Tabla 2).

En el perfil P-II el contenido en carbono orgánico es bajo en el horizonte superficial disminuyendo notablemente en el horizonte subyacente. El N total sigue la misma evolución. Los valores de pH, ligeramente básicos, aumentan en el horizonte más profundo. La capacidad de cambio presenta unos valores bajos a lo largo de todo el perfil, siendo el Ca el catión mayoritario. El perfil P-III (Foto 2), presenta unas características similares al anterior. Tomado entre las grietas de la roca, solo aparece el horizonte Bt con propiedades similares en toda la zona. (Tabla 2).

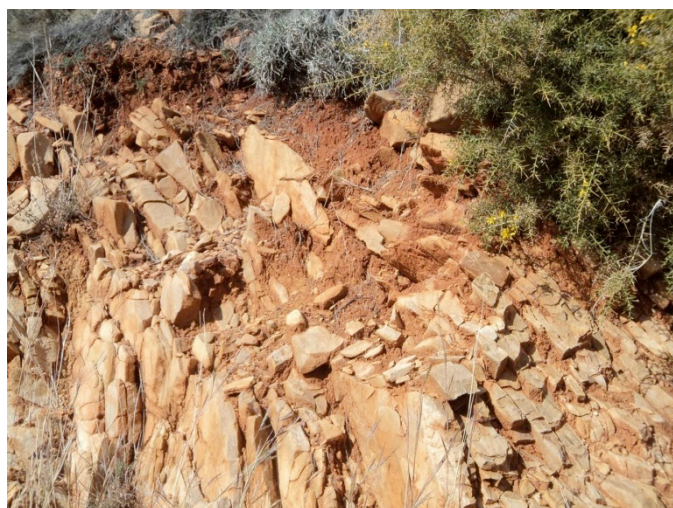


Foto 2. Suelo representativo de la zona.

El perfil P-IV tiene unos valores de pH moderadamente básicos que están en consonancia con los contenidos de Ca CO_3 , que aunque no muy altos si aparecen en proporciones significativas. El complejo de intercambio iónico muestra valores moderados debidos, probablemente, a la composición mineralógica de la fracción arcilla. Está saturado, y es el Ca el catión predominante. La presencia de raíces de diverso tamaño en todo el perfil, junto al bajo contenido de carbono orgánico, nos indica actividad antrópica producto del laboreo que se hacen para el mantenimiento de los árboles frutales (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros físico-químicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Villavieja.

Horz.	Prf. cm	pH H ₂ O	CE dS m ⁻¹	Materia orgánica		CIC	Complejo de Cambio				Carb. g kg ⁻¹
				C g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹		Ca	Mg	Na	K	
<u>Perfil P-I</u>											
Ah	0-5	7,2	0,07	36,4	3,1	26,3	31,7	3,8	0,5	0,3	16,8
AC	5-45	7,4	0,03	28,5	0,9	17,9	31,3	3,1	0,7	0,3	23,3
<u>Perfi P-II</u>											
Ah	0-10	7,2	0,10	17,3	1,4	21,2	33,0	5,4	2,3	1,1	--
Bt	10-40	7,8	0,07	5,8	0,8	16,7	36,1	8,6	0,4	0,2	--
<u>Perfil P-III</u>											
Bt	35-60	7,1	0,14	13,3	1,8	18,1	30,7	4,5	0,3	0,8	--
<u>Perfil P-IV</u>											
Ap	0-30	8,1	0,13	7,5	1,1	16,7	28,7	3,1	0,3	1,5	80,2
AC	30-55	8,2	0,08	2,3	0,1	11,5	32,2	1,3	0,2	0,5	91,1

CE = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; Carb. = Carbonato cálcico equivalente.

3.3 Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas, Tablas 3, 4 y 5, nos van a indicar la capacidad del suelo para regular la circulación del agua, del aire y la movilidad de los organismos, lo que permitirá analizar la permeabilidad y los procesos de infiltración.

Como se puede ver en la Tabla 3 hay un predominio de los tamaños de partícula más groseros, las fracciones arena gruesa y arena fina suman en todos los casos más del 50%, a excepción del horizonte Bt del Perfil II, donde la proporción mayoritaria es de arcilla, más del 53%. Por otro lado, también es de destacar la igualdad en la proporción de arena fina en todos los suelos, con ligeras oscilaciones a lo largo del perfil. Este hecho, junto a la forma redondeada del grano mineral, tiene una notable influencia en la porosidad, ya que un tamaño homogéneo en una de las fracciones, facilita la penetrabilidad, resultando menos eficaz el empaquetamiento de las partículas (7).

Tabla 3. Distribución del tamaño de partícula de los suelos del entorno del Balneario de Villavieja.

Horz.	Prof. cm	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Textura
		%				
<u>Perfil P-I</u>						
Ah	0-5	51,10	24,48	10,82	13,60	Franco-arenoso
AC	5-45	52,63	24,25	8,72	14,40	Franco-arenoso
<u>Perfil P-II</u>						
Ah	0-10	35,73	26,15	10,70	27,42	Franco-arcillo-arenoso
Bt	10-40	19,67	21,90	5,05	53,38	Arcilloso
<u>Perfil P-III</u>						
Bt	35-60	23,88	30,20	6,20	39,72	Arcillo-arenoso
<u>Perfil P-IV</u>						
Ap	0-30	38,98	22,99	9,25	28,78	Franco-arcillo-arenoso
AC	30-55	40,27	25,32	11,24	23,17	Franco-arcillo-arenoso

En la Tabla 4 se muestran los valores calculados de porosidad, oscilan entre 43% y 57%, son, por tanto, cantidades relativamente elevadas. Dado el tipo de materia orgánica, y la escasa profundidad de los horizontes superficiales, es fundamentalmente la textura quien determina el grado de porosidad. Como se ve en la Tabla 3, es en el Perfil I de textura Franco-arenosa, en ambos horizontes, donde la porosidad es más elevada, 53 y 57% respectivamente. En el Perfil IV con texturas más arcillosas, la porosidad disminuye, y son los Perfiles II y III con texturas arcillosas donde la porosidad es menor.

Los valores observados en el estudio de densidades siguen el patrón habitual en suelos, ya que la densidad real (valores comprendidos entre 2,6 y 2,9 g/cm³)

únicamente depende de la proporción de los componentes del suelo, mientras que la densidad aparente está relacionada con el contenido y naturaleza de la materia orgánica y materia mineral, así como con su forma de estructurarse. En general podemos ver (Tabla 4), valores similares entre ellos a lo largo de los perfiles, lo que indica la mayor influencia de los componentes minerales sobre los componentes orgánicos.

Tabla 4. Parámetros físicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Villavieja.

Horz.	Prof.	Densidad aparente	Densidad real	Porosidad
	cm	g/cm ³		%
<u>Perfil P-I</u>				
Ah	0-5	1,53	2,88	53,33
AC	5-45	1,53	2,68	57,10
<u>Perfil P-II</u>				
Ah	0-10	1,40	2,67	48,24
Bt	10-40	1,27	2,95	43,32
<u>Perfil P-III</u>				
Bt	35-60	1,33	2,73	48,51
<u>Perfil P-IV</u>				
Ap	0-30	1,40	2,70	51,85
AC	30-55	1,43	2,71	52,76

En la Tabla 5 se muestran los parámetros de retención de agua en los suelos, relacionados con la permeabilidad. Como se puede ver los valores en cada uno de los perfiles son muy similares entre sí y a lo largo del perfil. No hay diferencias apreciables en ninguno de los parámetros analizados, no obstante, se distingue un aumento en el contenido de agua retenida a capacidad de campo en aquellas muestras con texturas más finas, lo que impide la pérdida de agua del suelo por drenaje rápido. Derivado de esta situación, son los horizontes más profundos de los Perfiles II y III, ricos en arcilla, los que presentan los menores valores en conductividad hidráulica y, por tanto, dificultan en mayor medida, la movilización de sustancias a lo largo del suelo. Por el contrario, cabe destacar el notable aumento que se observa en los valores de conductividad hidráulica en el Perfil I y la menor cantidad de agua retenida a capacidad de campo, consecuencia del tipo textural que presenta este suelo. El Perfil

IV muestra valores intermedios aunque sus propiedades, sobre todo en superficie, están modificadas como consecuencia de la actividad antrópica.

Tabla 5. Parámetros hidráulicos seleccionados de los suelos del entorno del Balneario de Villavieja.

Horz	Prof.	Punto marchitamiento	Capacidad campo	Agua saturación	Agua disponible	Conductividad hidráulica
	cm	cm ³ agua/cm ³ suelo				cm/h
<u>Perfil P-I</u>						
Ah		0,10	0,19	0,42	0,09	1,61
AC		0,11	0,19	0,42	0,08	1,43
<u>Perfil P-II</u>						
Ah		0,16	0,25	0,47	0,09	0,32
Bt		0,29	0,39	0,52	0,10	0,12
<u>Perfil P-III</u>						
Bt		0,22	0,31	0,50	0,10	0,14
<u>Perfil P-IV</u>						
Ap		0,17	0,26	0,47	0,09	0,28
AC		0,14	0,33	0,46	0,09	0,48

3.4. Mineralogía de la fracción arcilla

Los resultados del análisis mineralógico de la fracción arcilla de los suelos seleccionados se resumen en la Tabla 6. En todas las muestras encontramos como minerales dominantes, presencia de ilitas y de caolinitas. El cuarzo es el mineral no laminar en todos los suelos.

El Perfil I se caracteriza por presentar ilitas como filosilicatos más abundantes de la fracción arcilla, con fuertes reflexiones a 0.98 nm y 0.49 nm en agregados orientados que se intensifican cuando calentamos las muestras a 550°C. La presencia de caolinita se pone de manifiesto por la pequeña reflexión a 0.72 nm en agregados orientados que desaparece cuando sometemos las muestras a tratamiento térmico. En los dos horizontes de este perfil se detecta trazas de esmectitas por el ligero hinchamiento que se produce cuando tratamos las muestras con etilén-glicol. La reflexión a 0.33 nm nos indica la presencia de cuarzo. Esta composición mineralógica pone de manifiesto que el suelo está poco evolucionado dado que son minerales

heredados del material original. Esto junto con las condiciones climáticas de la zona, corrobora que la alteración mineral está limitada.

Las observaciones efectuadas en los difractogramas de rayos-X de la fracción arcilla del Perfil II y del Perfil II muestran características similares al Perfil I. Cabe destacar la mayor proporción de ilitas en el horizonte Bt y las elevadas proporciones de esmectitas, perteneciente al grupo de minerales 2:1 hinchables, debido al incremento del espaciado a 1,7 nm cuando las muestras se solvatan con etilenglicol.

La fracción arcilla del Perfil IV, está caracterizada por la presencia de micas-ilitas y caolinita bien cristalizadas por la simetría de las difracciones en los diagramas de DRX. La esmectita aparece en mayores proporciones en el horizonte AC. Como minerales no laminares se observó la presencia de calcita por las reflexiones a 0.22nm y 0.30 nm. Las ligeras reflexiones detectadas a 0,77 nm y 0,42 nm pueden indicar presencia de yeso. Se detectó cuarzo en los dos horizontes. Estos mismos resultados fueron observados por Jiménez Ballesta *et al.* (23) estudiando Inceptisoles sobre materiales carbonatos en Castellón de la Plana.

Tabla 6. Componentes minerales de la fracción arcilla determinados por difracción de rayos-X ^a.

Horizonte	Caolinita	Ilita	Clorita	Esmectitas	Cuarzo	Calcita
<u>Perfil P-I</u>						
Ah	+	++	-	trazas	+	-
AC	+	++	trazas	trazas	++	-
<u>Perfil P-II</u>						
Ah	+	+	-	-	+	-
Bt	+	+++	-	++	+	-
<u>Perfil P-III</u>						
Bt	++	++		+	+	-
<u>Perfil P-IV</u>						
Ap	+	++	-	-	+	trazas
AC	+	++	-	++	+	+

^a La abundancia de los componentes estimados por difracción de rayos-X: +++, 25-50%; ++, 10-25%; +, 2-10%; traza < 2%.

4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

El Perfil I se ha desarrollado a partir de materiales del Triásico sin que se observen diferencias apreciables entre los horizontes. Esto es debido, por una parte, a la naturaleza del material original, areniscas y conglomerados, fácilmente

meteorizables, y por otra, a las condiciones climáticas y de pendiente, mayor del 15% que favorece la erosión superficial. Lo que hace que estén limitados los procesos de alteración química, y que sea la herencia el principal proceso formador. Por las características morfológicas y los datos de las propiedades fisicoquímicas y mineralógicas, este suelo está dentro de los Entisoles. El tipo de régimen climático en el que se ha formado y la condición de “típico” a nivel de subgrupo permite clasificarle como Xerorthent típico (24). En la sistemática FAO (25) quedaría clasificado como Regosol eútrico.

En el Perfil II, la presencia del horizonte Bt producto de la acumulación de arcilla, le encuadra dentro de los Alfisoles y por estar desarrollado bajo clima mediterráneo con un régimen xérico, en el suborden Xeralf. Por tener un hue de 2,5YR, un value en húmedo de 3 o menos y un value en seco no mayor de 1 unidad más alta que el value en húmedo, se clasifica como Typic Rhodoxeralf (24). En la sistemática FAO (25) se incluye entre los Luvisoles crómicos. El perfil P-III, presenta una características similares al anterior, tomado entre las grietas de la roca, solo aparece el horizonte Bt con propiedades similares en toda la zona. Por presentar contacto lítico se le clasifica como Lithic Haploxeralf (24). En la sistemática FAO (25) se incluiría dentro de los Luvisoles crómicos. El horizonte Bt de estos suelos se ha formado por un proceso de argilización tras un proceso de lixiviación de carbonatos, con posterior rubefacción.

En el Perfil IV, la presencia de un horizonte B, los contenido en carbonato cálcico y la presencia de alto proporciones de materia orgánica en superficie, con características de Ap, nos permite clasificar este suelo como Xerocept cálcico (24), o Cambisol cálcico en sistemática FAO (25).

5. CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas de la zona, con escasas precipitaciones y alto grado de evapotranspiración, el material litológico formado por roca consolidada, la topografía escarpada, la abundante vegetación, junto a los tipos de suelos bien estructurados con proporciones elevadas de materia orgánica en horizontes superficiales y texturas arcillosas en los horizontes más profundos, son factores que favorecen la protección de las aguas subterráneas, ya que ralentizan los procesos de lavado y lixiviación de los diferentes tipos de contaminantes, procedentes de las deposiciones superficiales que se puedan producir en la zona.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Comunidad de Madrid (CAM) a través de la Red CARESOIL, Ref. P2013/ MAE-2739.

7. REFERENCIAS

1. 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.
2. Patrikaki O, Kazakis N, Voudouris K. Vulnerability map: a useful tool for groundwater protection: an example from Mouriki Basin, North Greece. *Fresenius Environ Bull* 2012; 21 (8c): 2516-21.
3. Vrba J, Zaporozec A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *Int Contrib Hydrol* 1994.
4. Foster SSD. Vulnerability of soil and groundwater to pollutions. *Hydrol Proc Inf* 1987; 20 (17): 116-21.
5. Aller L, Bennett T, Lehr JH, Petty RJ, Hackett G. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings EPA-600/2-87-035. 1987.
6. Van Stempvoort D, Ewert L, Was-senaar L. AVI: A method for groundwater protection mapping in the prairie provinces of Canada. *Prairie Provinces Water Board Report* 114, Regina, SK. 1992.
7. 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* 1999; 106-2: 149-60.
8. Tesoriero AJ, Voss FD. Predicting the probability of elevated nitrate concentrations in the Puget Sound Basin: implications for aquifer susceptibility and vulnerability. *Ground Water* 1997; 6 (35): 1029-39.
9. Nolan BT, Hitt KJ. Vulnerability of shallow groundwater and drinking-water wells to nitrate in the United States. *Environ Sci Technol* 2006; 40: 7834-40.
10. Dusek, J, Dohnal M, Vogel T, Ray C. Field leaching of pesticides at five test sites in Hawaii: modeling flow and transport. *Pest Manag Sci* 2011; 67: 1571-82.
11. Šimůnek J, Van Genuchten MT. Modeling nonequilibrium flow and transport processes using HYDRUS. *Vadose Zone J* 2008; 7 (2): 782-97.

12. IGME. Instituto Geológico y Minero de España, Mapa geológico de España nº 641-642. Escala 1:50.000, Castellón de la Plana. Islas Columbretes. 1995.
13. IGME. Instituto Geológico y Minero de España, Mapa geológico de España nº 640. Escala 1:50.000 (Segorbe), Castellón de la Plana. 1997.
14. MAGRAMA. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, Mapa de cultivos y aprovechamiento de España nº 641-642. Escala 1:50.000 Castellón de la Plana. Islas Columbretes. 1978.
15. Balneario de Vilavieja de Nules. Disponible en (<http://www.balneariovillavieja.com/>)
16. Rivas-Martínez S. Memoria de series de vegetación de España. 1:400.000. Madrid: ICONA, 1987.
17. ISRIC. Procedures for Soil Analysis, 3th ed. Wageningen: International Soil Reference and Information Center, 2002.
18. Walkley A, Black A. A critical examination of rapid methods for determining organic carbon in soils. *Soil Science* 1974; 62, 251-4.
19. Soil Survey Staff. Procedures for collecting soils samples and methods of analysis for soil survey. USDA-SCS Soils Survey Investigation Rept. Nº1 1984. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1984.
20. Brady NL, Weil RR. The nature and properties of soils. 20th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
21. Brindley GW, Brown G, (Eds). *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*. London: Mineralogical Society, 1980.
22. Tributh H. Qualitative und quantitative Bestimmung der Tonmineral in Bodentone. In: Tributh H., Lagalym G, Eds. *Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe e. V., DTTG* 1991: pp. 37-85.
23. Jiménez Ballesta R, Guerra A. Inceptisoles sobre materiales carbonatados en clima Mediterráneo de la provincia de Castellón de la Plana. *Anales de Edafología y Agrobiología* 1980; XXXIX (12):19-35.
24. Soil Taxonomy. Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 11ª Edición. 2010.
25. FAO. World reference base of soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rep. 106. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.