

ESTUDIO VI

Geología e hidrología

■ Jesús M. Rosino

Agua y Medioambiente Asesoría Industrial SL (AGMA) Asociación Termalismo de Andalucía. Observatorio Nacional del Termalismo, España. edicion@ranf.com

RESUMEN

Las aguas minero-medicinales del balneario El Raposo surgen a través de una galería de 51 metros de longitud, de 2,10 metros de anchura y 2,70 metros de altura, revestida de ladrillos, excavada superficialmente en cuarcitas y pizarras cámbricas con estructura subvertical que se sitúan bajo un recubrimiento detrítico pliocuaternario de muy poco espesor (1-2 m). El acuífero está formado por una zona superficial detrítica, compuesta de materiales aluviales y pliocuaternarios constituidos por arcillas, arenas, cantos y costras calcáreas, de hasta 3 metros de espesor, y por una zona inferior fisurada formada por discontinuidades (planos de estratificación, fisuras y fracturas) que afectan a los materiales paleozoicos hasta unos 40-50 metros de profundidad. Se trata de un acuífero libre que se alimenta por infiltración del agua de lluvia, cuyo nivel viene impuesto por los arroyos de Matasanos y Raposo que constituyen sus ejes de descarga natural. El balneario es famoso por sus peloides, obtenidos de los sedimentos del arroyo del Raposo y macerados al sol en tanques durante un periodo de 5 a 8 meses, que se utilizan mediante envolturas para el tratamiento de afecciones reumáticas y problemas osteo-articulares.

GEOLOGÍA

1. Características Generales

El balneario El Raposo se localiza en el tercio meridional de la provincia de Badajoz, en una zona de escaso relieve situada dentro de la cuenca hidrográfica del Guadiana, a orillas del arroyo del Raposo, en un área situada a unos 15 kilómetros al norte de la divisoria con la cuenca del Guadalquivir.

El área se sitúa geológicamente en la zona de Ossa Morena de Lotze (1945), dentro del Dominio Zafra-Monesterio, donde aforan fundamentalmente materiales paleozoicos intensamente afectados por la orogenia Hercínica, responsable de las estructuras presentes con dirección NNO-SSE entre las que se encuentra el denominado anticlinorio Monesterio-Olivenza en cuyo flanco oriental se sitúa el balneario, y el sinclinorio Zafra-Llerena, adosado al anterior por el noreste.

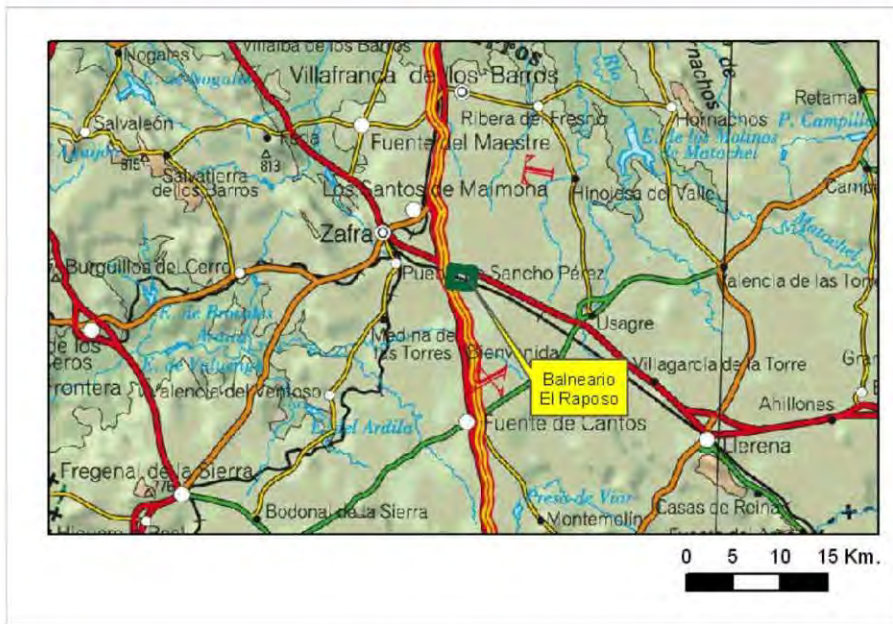


Figura 1.- Situación geográfica.

Los materiales paleozoicos corresponden a sedimentos precámbricos y cámbricos, en los que se distinguen dos unidades tectosedimentarias, separadas por una zona de fractura de dirección NNO-SSE en la que afloran materiales devónicos pertenecientes a la cuenca de los Santos de Maimona: la Unidad de Zafra al oeste y la Unidad de Usagre al Este. Este tipo fractura ha debido condicionar la paleogeografía de la zona desde el Precámbrico, y sus importante salto ha contribuido al acercamiento de dominios y unidades, en principio necesariamente separados por sus diferencias estratigráficas, sedimentológicas, paleontológicas, metamórficas y tectónicas.

Los materiales paleozoicos, sobre todo los de la Unidad de Zafra aparecen en gran parte recubiertos por materiales pliocuaternarios de escaso espesor.

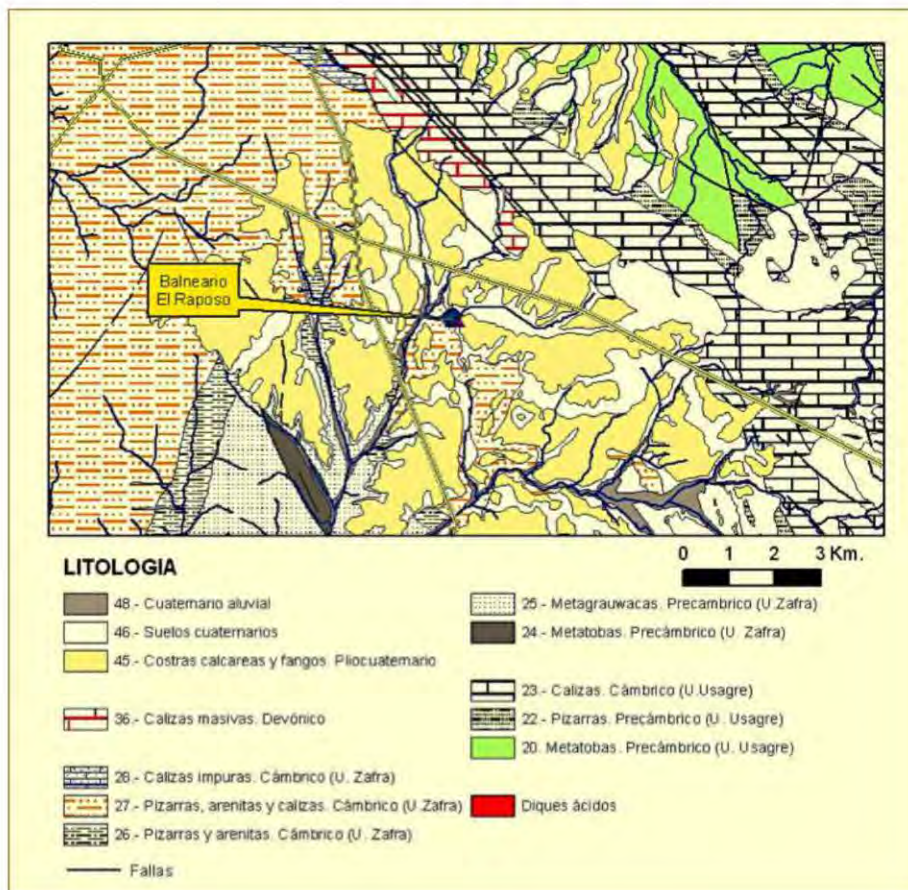


Figura 2.- Encuadre geológico.

2. Litoestratigrafía

Los principales conjuntos estratigráficos presentes en la zona son los pertenecientes al Precámbrico, Cámbrico, Devónico y sedimentos pliocuaternarios posttectónicos.

En el Precámbrico de la zona, de muro a techo se distinguen la formación Tentudía y la formación Malcocinado; no pudiendo individualizarse suficientemente la formación superior Torreárboles.

- **La formación Tentudía** aflora al norte la Sierra de los Santos y al suroeste de la zona, en la margen derecha del arroyo de Matasanos; está constituida por una sucesión monótona de metagrauvas-metatobas y niveles esquistosos. Toda la formación presenta un color grisáceo y claras evidencias de su naturaleza vulcanosedimentaria. Los paquetes areníticos corresponden a metagrauvas y metatobas con texturas esquistosas y clastos de cuarzo, plagioclasa, sericita y cantidades menores de biotita verdosa. Los niveles esquistosos corresponden a esquistos sericíticos, con porfiroblastos de cuarzo y plagioclasa. Algunos de estos niveles pueden corresponder a cineritas retrabajadas. Su espesor puede alcanzar los 1.500 metros.
- **La formación Malcocinado** es también de naturaleza vulcanosedimentaria con metamorfismo de grado muy bajo esencialmente sintectónico, con una esquistosidad desigualmente penetrativa y otra fase con micropliegues. En la Unidad de Zafra aparecen esquistos constituidos por metaandesitas de color verdoso, metaconglomerados y metaarcosas con cuarzo, plagioclasa y clorita que provienen de tobas y lavas. En la Unidad de Usagre junto con estos esquistos aparecen brechas andesíticas y rocas tobáceas y cineríticas de origen piroclástico con metamorfismo de muy bajo grado. Esta formación tiene una potencia media de 800 metros. Dentro del Cámbrico de la zona, de muro a techo, se distinguen dos formaciones con diferentes características para cada una de las unidades:
- **Formación Torreárboles.** En la Unidad de Zafra esta formación se inicia con conglomerados y lutitas sobre los que aparece una alternancia rítmica de bancos de lutitas violáceas con secuencias granodecrecientes y frecuentes niveles bioturbados que presenta un espesor conjunto de unos 300 metros. En la Unidad de Usagre, está formada esencialmente por arcosas y grauvas con matriz sericítica y niveles intercalados de conglomerados y pizarras.

- **Sucesión Carbonatada.** En la Unidad de Zafra se distingue una formación inferior denominada Formación Capas de Zafra que constituye un conjunto rítmico terrígeno-carbonatado caracterizado por la presencia de bancos calcáreos con abundante materia orgánica y estructuras estromatolíticas en su base, y materiales detríticos y ferruginosos hacia techo. Hacia la base de la formación predominan pizarras y lutitas, de colores amarillos y verdosos, con intercalaciones lentejonares de calizas grisáceas o blanquecinas; mientras que hacia techo predominan los niveles carbonatados. Sobre esta formación aparece una alternancia rítmica de bancos calcáreos laminados, más detríticos y ferruginosos que los anteriores, con niveles de lutitas violáceas decimétricos y centimétricos. Su espesor es del orden de 800-850 metros. En la Unidad de Usagre, esta sucesión está constituida por bancos decimétricos de calizas marmóreas, que contienen cuarzo, moscovita y sericita, con intercalaciones de esquistos verdosos o violáceos.

Los materiales devónicos ocupan una franja estrecha, hundida entre dos fallas, situada al sur de la sierra de Los Santos. Se trata de calizas masivas recristalizadas de color gris, de unos 200 metros de potencia, que parecen pertenecer a la cuenca de los Santos de Maimona y que presentan evidencias de una cierta karstificación.

Gran parte de los materiales paleozoicos del área, sobre todo los pertenecientes a la Unidad de Zafra, están recubiertos por materiales pliocuaternarios y cuaternarios con espesores inferiores a 2.5 metros.

Los materiales pliocuaternarios están constituidos por fangos rojos con cantos y costras carbonatadas que se desarrollan sobre un sustrato paleozoico muy alterado, materiales que se relacionan con superficies de erosión en clima árido estacional, con el nivel freático muy próximo a la superficie.

En algunas zonas están constituidos por una débil cobertera de suelos preferentemente arcillosos, pardo-rojizos como consecuencia de la alteración de la roca infrayacente, presentando un aspecto bandeado por la presencia de láminas más duras de carbonato.

El cuaternario está representado por depósitos aluviales de escasa entidad relacionados con los arroyos de Matasanos y del Raposo, y por materiales coluviales, igualmente de escaso espesor. Están constituidos por cantos subangulosos de las formaciones próximas, junto con arenas, limos y arcillas de alteración de las pizarras.

Localmente, tanto el balneario el Raposo y sus captaciones, se localizan sobre una débil cobertera pliocuaternaria o aluvial bajo la que se encuentran materiales cámbricos de la Formación Torreárboles que conforman el flanco oriental del anticlinorio Monasterio-Olivenza.

Estos materiales paleozoicos están constituidos por filitas y cuarcitas rojizas y amarillentas con algunos niveles carbonatados intercalados; se presentan en dirección NNO-SSE, con un fuerte buzamiento de 70 ° hacia el Este.

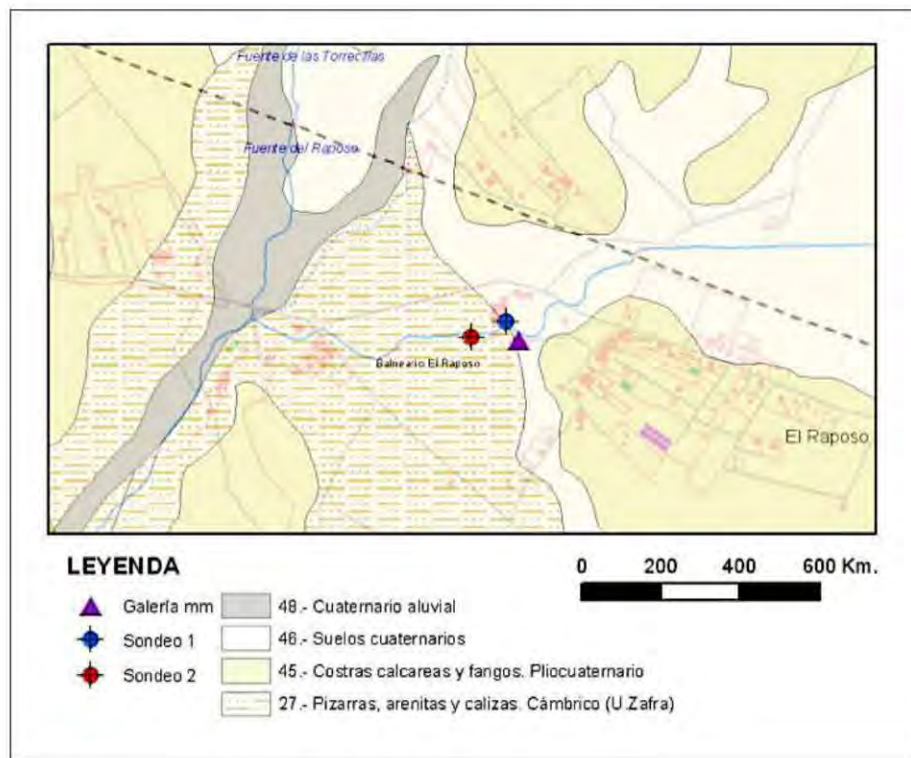


Figura 3.- Geología del detalle.

1. Encuadre hidrogeológico

El balneario El Raposo no se encuentra incluido dentro de ninguna de las unidades hidrogeológicas administrativamente definidas. Aunque se encuentra próximo, a una distancia de un kilómetro al suroeste, de un sector perteneciente a la Unidad Hidrogeológica 04.11 Zafra-Olivenza. Más hacia el norte, a unos 13 kilómetros se encuentra la Unidad Hidrogeológica 04.10 Tierra de Barros.

El acuífero de la Unidad Hidrogeológica 04.11 Zafra-Olivenza, está constituido por las calizas cámbricas del Sinclinorio Zafra-Llerena y por las calizas devónicas tectónicamente en contacto con ellas. Estos materiales presentan una elevada permeabilidad por fisuración y karstificación, a los que se encuentran asociados manantiales significativos, con caudales que en ocasiones llegan a superar los 5 l/s.

2. Hidrogeología local

Los materiales cámbricos del entorno del balneario se caracterizan por presentar muy baja permeabilidad que está asociada a las discontinuidades localmente abiertas existentes en los niveles rocosos más frágiles: niveles cuarcíticos y carbonatados (fisuras, fracturas y planos de estratificación, fundamentalmente).

La zona más superficial de estos materiales paleozoicos se encuentra muy alterada, y junto con los depósitos detríticos pliocuaternarios que los tapizan, con espesores que no llegan a superar los 3 metros, constituyen un acuífero libre de cierta extensión, dotado de permeabilidad media a baja por porosidad en su zona superficial y baja por fisuración en la zona más profunda; permitiendo una cierta circulación hídrica subterránea, que se hace menos intensa, con mayor recorrido y menor velocidad de circulación a medida que se alcanza mayor profundidad.

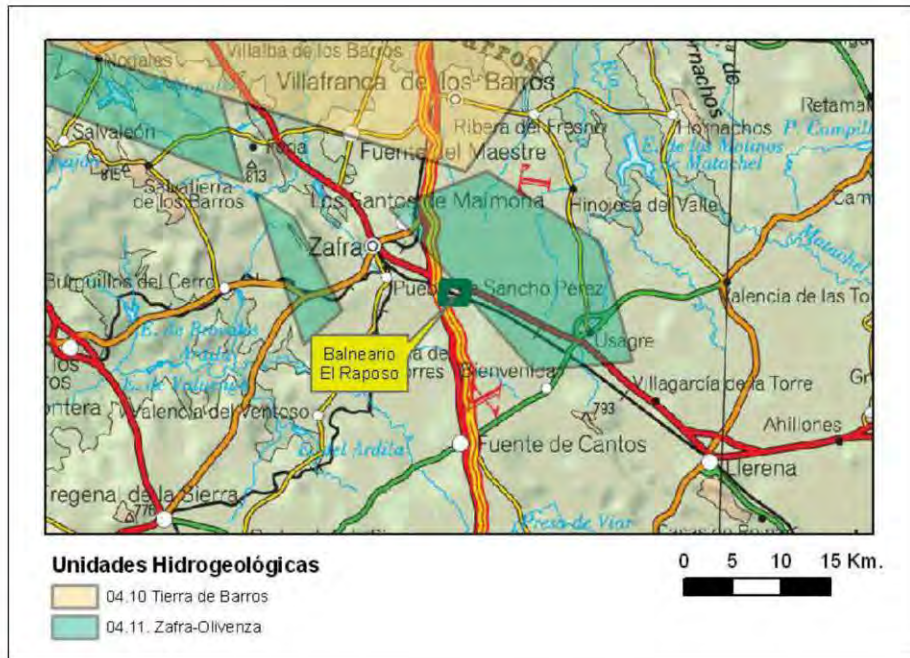


Figura 4.- Unidades hidrogeológicas.

Se trata de un acuífero libre, cuyo nivel está relacionado o condicionado hidráulicamente por los arroyos Matasanos y Raposo.

Su alimentación proviene de la infiltración directa del agua de lluvia; considerando la precipitación y temperaturas medias de la zona, de 538 mm y 16°C, respectivamente, mediante el método de Turc se estima que la lluvia útil en la zona es del orden de 94 mm. Aplicando una infiltración del 60% de esta lluvia útil, se estima para este acuífero una tasa de infiltración del orden de 1.5 l/s por Km².

La descarga natural de este acuífero debe realizarse hacia los cauces de los arroyos Matasanos y Raposo.

La zona superficial detrítica de este acuífero está en conexión hídrica a través de fisuras y discontinuidades que alcanzan profundidades de hasta 40-50 metros, con la zona fisurada que se desarrolla en los materiales paleozoicos, y a la cual alimenta.

3. Captaciones del balneario El Raposo

Las aguas mineromedicinales del balneario El Raposo proceden de una galería de 51 metros de longitud, que parte de un depósito de 3,2 x 2.97 m. en dirección NE. Se trata de una galería embovedada de ladrillos, de 2,12 de anchura, por 2,67 metros de altura, excavada mediante zanja en cuarcitas y pizarras subverticales, y posteriormente embovedada y tapada.

A lo largo de esta galería aparecen surgencias a diferentes cotas, ligadas a fisuras y fracturas de la roca metamórfica, que proporcionan un caudal de explotación de unos 2,5 l/s. Teniendo en cuenta la tasa de infiltración indicada anteriormente, de 1,5 l/s por Km²; el caudal mineromedicinal que aporta esta captación se justificaría con una superficie de 1,6 Km², que constituiría el área de recarga de las aguas mineromedicinales.



Figura 5.- Captación de aguas minero-medicinales.

El balneario cuenta además con dos sondeos de captación de aguas P1 y P2, ejecutados en 1991 y 1995 para casos de emergencia, con 64 y 58 metros de profundidad, respectivamente, excavados en materiales cámbricos y que proporcionan caudales de

extracción de 0,5 y 1,5 l/s, respectivamente y aguas de similar composición a las mineromedicinales, tal y como se puede observar en el diagrama de Piper.

Las aguas mineromedicinales surgen a una temperatura de 16 °C, se trata de aguas mineralizadas que presentan una conductividad de 948 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según los resultados analíticos realizados por AGMA, en 2008, en el marco del Proyecto “Investigación Hidrogeológica de los Aprovechamientos de Aguas Minerales de Extremadura” realizado por dicha sociedad para la Junta de Extremadura que se resumen en cuadro adjunto, las aguas son de mineralización media, facies bicarbonatada cálcica con un apreciable contenido en cloruros, nitratos y sodio.

Destaca además la presencia de otros componentes minoritarios y oligoelementos, entre los que cabe destacar: níquel (4.69 $\mu\text{g}/\text{l}$), selenio (2.15 $\mu\text{g}/\text{l}$), plomo (0.97 $\mu\text{g}/\text{l}$) y bario (0.42 $\mu\text{g}/\text{l}$).

Tabla 1.- Composición de las aguas minero-medicinales y sondeos de captación.

| FECHA | Galería Aguas mm 9/12/2008 | P1 16/02/2000 | P2 16/02/2000 |
|--|---|--------------------------|--------------------------|
| Conductividad a 20°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 948 | 837 | 784 |
| cloruros (mg/l) | 108 | 89.3 | 65.9 |
| sulfatos (mg/l) | 29.4 | 18.5 | 14.0 |
| bicarbonatos (mg/l) | 386 | 396.6 | 430.8 |
| carbonatos (mg/l) | 0 | 0 | 0 |
| nitratos (mg/l) | 51.30 | 30.3 | 34.6 |
| sodio (mg/l) | 56.2 | 53.4 | 48.8 |
| magnesio (mg/l) | 20.30 | 10.7 | 11.2 |
| calcio (mg/l) | 140 | 126.3 | 129.1 |
| potasio (mg/l) | 0 | 0.0 | 0.2 |

| FECHA | Galería Aguas mm 9/12/2008 | P1 16/02/2000 | P2 16/02/2000 |
|---------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|
| nitritos (mg/l) | 0 | 0 | 0 |
| amonio (mg/l) | 0 | 0.0 | 0.03 |
| boro (mg/l) | 0 | 0.04 | 0.0 |
| anhidrido silícico (mg/l) | 31.60 | 29.41 | 18.85 |
| hierro (mg/l) | 0 | 0.0 | 0.0 |
| manganeso (mg/l) | 0 | 0.11 | 0.13 |

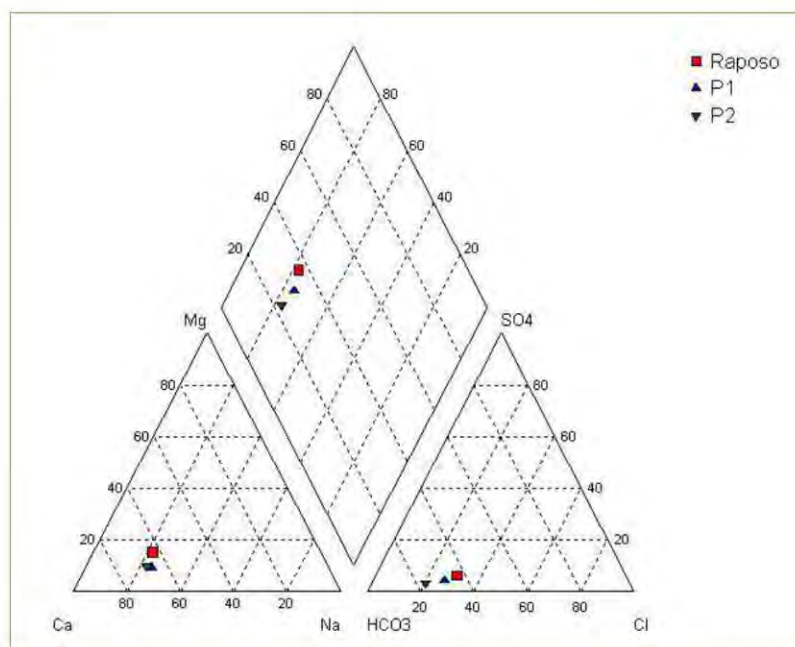


Figura 6.- Diagrama de Piper.

Las aguas mineromedicinales presentan un elevado contenido en nitratos, niveles que según los análisis históricos disponibles se han incrementado en el tiempo (14 mg/l en 1982, 41,2 mg/l en 2000, y 51,30 mg/l en 2008). Estos nitratos proceden de la actividad

agrícola de la zona y llegarían al acuífero por infiltración a través de la cobertera pliocuaternaria y zona de alteración de los materiales paleozoicos.

Es necesario destacar que uno de los principales tratamientos del balneario El Raposo y que le ha dado merecida fama, es la aplicación terapéutica de peloides que se realiza mediante envolturas externas. Se trata de limos, según la clasificación internacional de peloides, que provienen de los sedimentos cuaternarios recientes obtenidos del arroyo Raposo; estos sedimentos se maduran con agua mineral en tanques expuestos al sol, durante 5-8 meses, hasta alcanzar sus características y propiedades.

4. Acuífero y Modelo Hidrogeológico Conceptual

La galería de aguas minero-medicinales, capta un acuífero fisurado constituido por pizarras, calizas y areniscas cámbricas, cuya alimentación procede del agua de lluvia que se infiltra en el acuífero, a través de una zona superficial detrítica de escaso espesor formada por los depósitos pliocuaternarios y zona de alteración más superficial de los propios materiales paleozoicos.

Se trata en todo caso de un acuífero libre, poco permeable, con una circulación más intensa y rápida en la zona superficial porosa, y otra más larga y con mayor tiempo de circulación que se produce a través de fisuras, fracturas y planos de estratificación abiertos que afectan a los materiales más frágiles del Paleozoico. Este acuífero drena de forma natural a los cauces de los arroyos de Matasanos y El Raposo, este último situado en las inmediaciones del Balneario.

Aunque el acuífero está alimentado fundamentalmente por la infiltración del agua de lluvia, tras atravesar un rico horizonte de suelos y depósitos pliocuaternarios de una zona agrícola que aporta nitratos al agua del acuífero, no se descarta que puedan existir además aportes subterráneos laterales procedentes de las calizas devónicas situadas al noroeste.

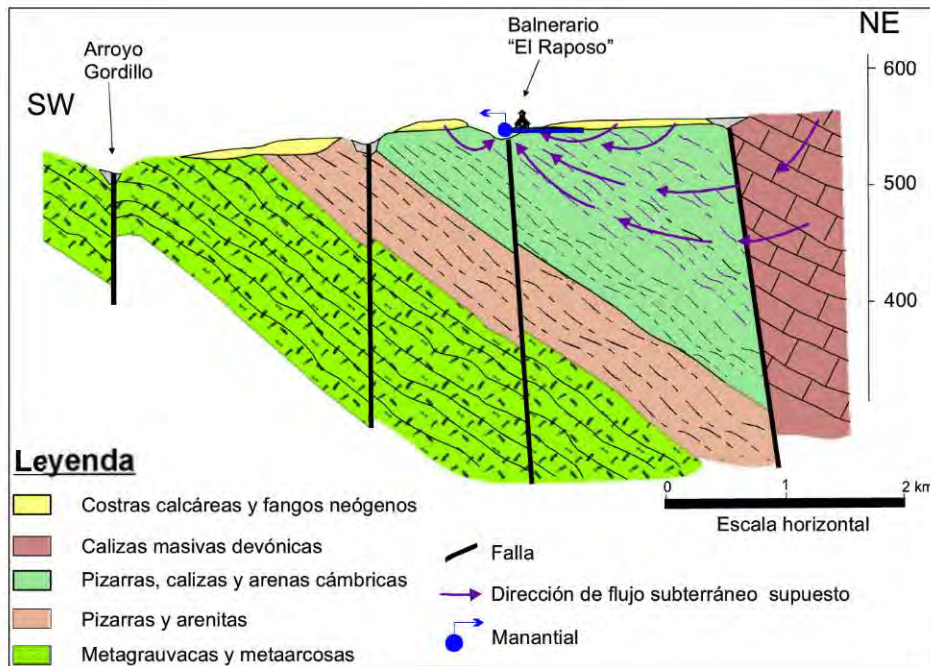


Figura 7.- Esquema hidrogeológico conceptual.

La composición fundamentalmente bicarbonatada cálcica de sus aguas, parece indicar que la circulación preferencial podría producirse a en buena parte a través de los niveles carbonatados intercalados en la serie Cámbrica.

El nivel piezométrico se encuentra muy próximo a la superficie y dada la escasa permeabilidad de los materiales acuíferos, en condiciones naturales (sin explotación) debe mantenerse aproximadamente paralelo a la superficie topográfica, descargando hacia los cauces de los arroyos Matasanos y El Raposo que constituyen sus ejes de drenaje.

Los valores de transmisividad del acuífero, según las pruebas de bombeo realizadas en los sondeos durante el estudio para la definición del perímetro de protección del balneario, se encuentran comprendidos entre 1-2 m²/día y 25 m²/día, con valores de permeabilidad del orden de 4-5 x 10⁻⁶ m/s.

5. Perímetro de Protección

Las aguas mineromedicinales del balneario El Raposo y el acuífero que las sustenta son muy vulnerables frente a la contaminación, debido a que se alimentan fundamentalmente por agua de lluvia tras su infiltración en suelos y otros materiales cuaternarios porosos de escaso espesor.

El riesgo de contaminación que presentan sus aguas es debida casi exclusivamente a la actividad agrícola que se desarrolla en la zona, cultivos de olivar, viña y cereales de secano, que han generado una débil contaminación difusa por nitratos, al igual que sucede en la mayor parte de los acuíferos situados en zonas agrícolas.

Las aguas mineromedicinales del balneario El Raposo, se encuentran protegidas mediante un Perímetro de Protección, otorgado el 14 de junio de 2002, que ocupa una superficie de 449.28 has y afecta a los términos municipales de Puebla de Sancho Pérez y Usagre. El perímetro se encuentra definido por la superficie delimitada por los siguientes vértices:

Tabla 2.- Vértices que delimitan el Perímetro de Protección de El Raposo.

| Vértice | Coordenada X (UTM) | Coordenada Y (UTM) | Huso |
|---------|-----------------------|-----------------------|------|
| 1 | 735.322,88 | 4.253.089,83 | 29 |
| 2 | 735.376,94 | 4.251.239,98 | 29 |
| 3 | 732.949,96 | 4.251.169,44 | 29 |
| 4 | 732.896,46 | 4.253.019,27 | 29 |

Este perímetro de protección se definió aplicando el radio de influencia (295 m) para protección en cantidad, y una combinación de los métodos de Jacobbs & Bear y Albinet para protección a la calidad.

Dentro del perímetro de protección y siguiendo la nomenclatura habitual se distinguen dos zonas:

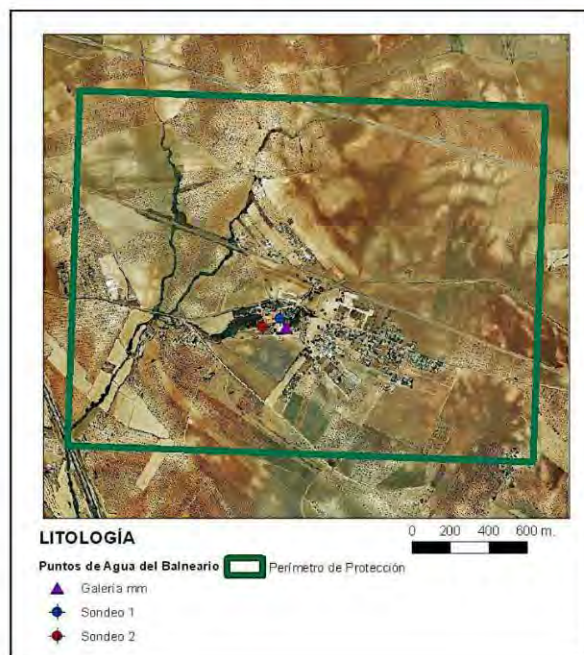


Figura 8.- Perímetro de protección.

1. La zona inmediata de protección que comprende las captaciones actualmente aprovechadas y un entorno inmediato de 10-20 m donde se aplican restricciones absolutas, impidiendo cualquier tipo de actividad.
2. La segunda zona, denominada zona próxima, está constituida por el resto del perímetro de protección solicitado y comprende un área de extensión suficiente que asegura la protección de las aguas del balneario, en la que se impiden actividades que puedan dar lugar a una alteración de la calidad de las aguas y en la que se realiza una labor periódica de vigilancia.

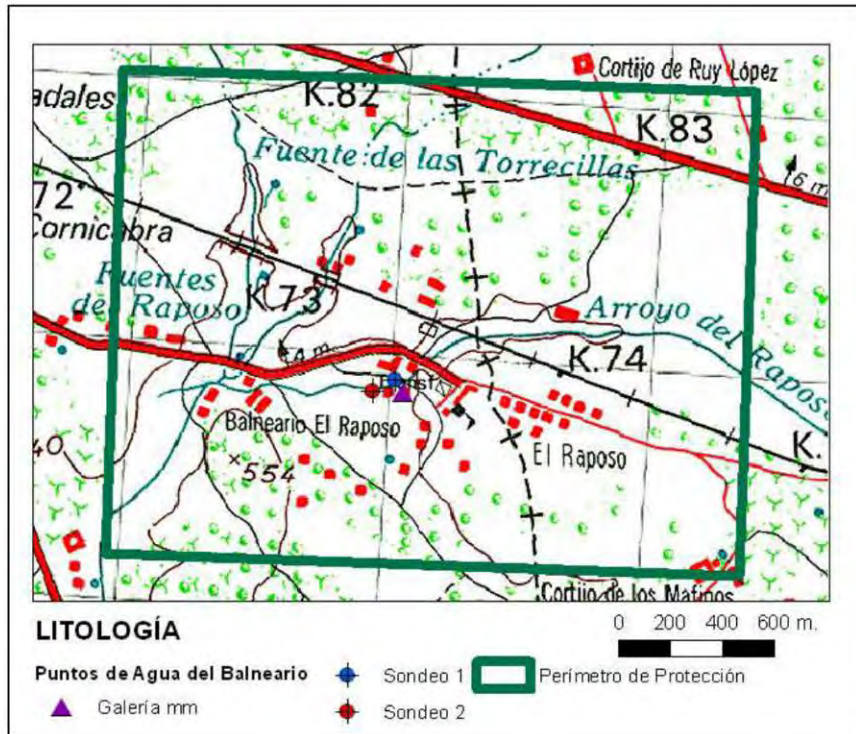


Figura 9.- Perímetro de protección.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agua y medioambiente asesoria industrial, sl (agma) (2008). Investigación hidrogeológica de los aprovechamientos de aguas minerales de Extremadura (inédito).
2. Alcalde, C (1998). Las aguas minerales de Extremadura. Publicaciones Museo de Geología de Mérida, nº 5, pág. 17-26.
3. Consejería de Economía, Industria y Comercio de la Junta de Extremadura (2003). Recursos mineros de Extremadura. Las aguas minerales.
4. Consejería de Industria y Turismo de la Junta de Extremadura (1992). Investigación e Inventario de manifestaciones geotérmicas en Extremadura (Cáceres y Badajoz).
5. Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Memoria de las Hojas geológicas nº 854 “Zafra” y 876 “Fuente de Cantos”.
6. TRT (2000). Estudio para la definición del perímetro de protección del balneario El Raposo (inédito).

ESTUDIO VII

Suelos del entorno del Balneario

- Antonio López Lafuente^{1*}, M^a Isabel Hernando Masanet¹, Concepción González Huecas¹, Ana de Santiago Martín¹ y Francisco Monturiol Rodríguez²

¹Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Plza. Ramón y Cajal s/n. 28040 Madrid. ²Instituto de Ciencias Ambientales CSIC. España. lopezlafuente@farm.ucm.es

RESUMEN

Se presenta el estudio de tres suelos desarrollados a partir de diferentes materiales pertenecientes al Cámbrico y al Cuaternario, en los alrededores del balneario “El Raposo”, provincia de Badajoz. Dos de ellos (perfil P-I y P-II) formados sobre pizarras, arenitas y calizas, y perfil P-III formado sobre sobre costras calizas altamente degradadas, bajo clima Mediterráneo. Se evaluaron las propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de los suelos. Los perfiles derivados de pizarras y arenitas presentaron horizontes superficiales influenciados por la actividad agraria que en ellos se desarrollan (cultivo de cereal y olivo), con estructura de granular a poliédrica y bajo contenido en C orgánico, texturas medias-finas, elevados contenidos en carbonato cálcico equivalente y saturados. El perfil P-III, dedicado al cultivo de viñedo, presenta color rojo con textura arcillosa, está descarbonatado y con un grado de saturación en bases >50%.



1. INTRODUCCIÓN

Describir los suelos mas significativos que forman parte del paisaje que rodean los balnearios es otro de los capítulos que constituye la monografía que desde hace años realiza la Real Academia Nacional de Farmacia sobre Balnearios Españoles. Para llevarlo a cabo, en el caso del Balneario de “El Raposo”, hemos realizado el estudio en las proximidades del recinto, de forma que se pueda analizar algunos aspectos morfológicos de los suelos circundantes, y describir la percepción que el visitante tiene cuando llega a la zona.

Una de las muchas definiciones de paisaje que se puede encontrar en la literatura especializada la proporciona González Bernáldez en su libro *Ecología y Paisaje* (1) donde se define como: “porción de la superficie terrestre, provista de límites naturales, en los cuales los componentes naturales (roca, relieve, clima, aguas, suelos, vegetación, mundo animal) forman un conjunto de interrelación e interdependencia”. A esta definición hay que añadir el concepto de imagen y percepción sensorial (2), para entender que el paisaje no solo es el conjunto de elementos que constituyen un ecosistema, sino también, la sensación que percibimos cuando se contempla.

El Balneario de “El Raposo” está rodeado de terrenos llanos con escasas formaciones onduladas, constituidas por pequeñas colinas y ligeras depresiones que hacen de la zona un lugar donde las modificaciones topográficas se realizan por intervención del hombre. Muy estudiados estos suelos desde el punto de vista de su uso (3), se centra este trabajo en el análisis de su genesis, para lo cual, se determinan las propiedades que mas intervienen en su formación.

Este trabajo tiene, por tanto, un doble objetivo, por un lado, analizar las características generales de los suelos más representativos que se encuentran en el termino municipal de Sancho Pérez, y de otro, describir los perfiles que rodean el Balneario.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Balneario “El Raposo” se localiza en el término municipal de Puebla de Sancho Pérez del partido judicial de Zafra del que se encuentra a tan solo 8 Kms. Es un término de 5.606 hectáreas, es decir, más bien pequeño y cuya superficie tiene forma trapezoidal lindando al norte con el municipio de Santos de Maimona, al este con el de Usagre, al sur con el de Medina de las Torres y al oeste con el de Zafra. Su población en el año 2011 era de 2.878 habitantes.

Sintetizando mucho los factores que confluyen en la formación de los suelos en este término, se puede decir que morfológicamente se distinguen tres paisajes distintos. Por un lado lo que se denomina “Sierras” y que en este municipio se sitúan en muy pequeña extensión en el extremo nordeste del mismo. Forman parte de ellas, la llamada Sierra de los Santos y cuyo pico más alto tiene 643 metros de altitud. Esta sierra está formada por materiales duros, como son las calizas masivas devónicas y las calizas marmóreas del Cámbrico. Al oeste, fuera del municipio, se encuentra Sierra de Castellar, constituida por restos de la antigua penillanura post-oligocénica que desmantelada dio lugar a una nueva llanura a unos 100 ó 200 metros por debajo de la anterior, y que constituye el paisaje que podríamos llamar “los llanos”. Están formados estos, por materiales diversos como pizarras, arenitas e intercalaciones de calizas grisáceas y blancas, pertenecientes al Cámbrico.

Posteriormente y ya en época pliocuaternaria nuevos procesos erosivos conducen al tercer espacio que llamamos “colinas”, paisajes ondulados con colinas y depresiones, territorio formados principalmente por materiales sedimentarios a veces carbonatados, que en su masa muchas veces incluyen costras calizas, con potencia media entre los 50 y 100 centímetros. Por lo general estas costras hacia abajo pierden contenido en carbonato y muchos investigadores, como los que elaboraron la hoja 854 “Zafra” del mapa geológico de España E.1:50.000 (4), creen que se formaron en un clima árido estacional con un nivel piezométrico muy próximo a la superficie.

Respecto a otros factores como el clima y la vegetación, los auténticos especialistas ya lo tratan en otros capítulos de esta monografía sobre el Balneario de El Raposo. De todas formas, y haciendo referencia al trabajo realizado hace tiempo por un equipo del extinto Instituto de Edafología y Biología Vegetal del C.S.I.C., titulado “Estudio de los suelos de la Tierra de Barros” (5), indicaremos que el clima de la zona de la Puebla de Sancho Pérez, se puede englobar en el área de climas mediterráneos con un grado de continentalidad atenuado por la influencia atlántica, y como dice Rivas Godoy (6), al estudiar las comunidades vegetales en Extremadura, a pesar de tener Badajoz 20°C como índice de higr continentalidad, el índice de aridez (P/T +10) modifica el carácter oceánico.

Aplicando la clasificación agroecológica de Papadakis (7), para conocer el desarrollo de los distintos cultivos, se definen los tipos de verano e invierno, que para esta zona de Badajoz, es de inviernos tipo Avena y veranos tipo Arroz. También en estos trabajos se ha empleado el índice de Turc (1955) (8) que indica la potencialidad agroclimática de una región, con unos valores para el término de Puebla de Sancho Pérez de 10 a 20 para el secano que equivale entre 6 y 12 toneladas de materia seca por hectárea y año. Y para terminar con estas consideraciones sobre el clima, decir que si importante es el clima atmosférico en la formación y desarrollo posterior de los suelos, igualmente importantes son los regímenes de humedad y temperatura del suelo hasta el punto que algunas clasificaciones como la Soil Taxonomy (9) ya lo contempla incluso al nivel de Orden. Y en este sentido Lázaro y colaboradores (10), siguiendo las ideas de Newhall (11) y de Tavernier y Van Wambekr (12), elaboraron para España un mapa en el que los suelos de esta región de Zafra poseen un régimen de humedad “xérico” y un régimen de humedad “mésico”.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Características de los suelos y muestreo

Las muestras se recogieron en suelos con características diferentes, siendo el criterio de muestreo las variaciones encontradas en el material litológico y la vegetación introducida. Se han abierto tres perfiles en cada una de las parcelas seleccionadas y se analizaron, en función de su uso, los horizontes superficiales y subsuperficiales. Para efectuar los análisis hemos elegido el suelo más representativo de cada una de las parcelas. Los tres suelos descritos están situados a altitudes entorno a los 380 m y en posiciones fisiográficas de llanura (Tabla 1).

Tabla 1.- Descripción del entorno físico en el que se localizan los suelos.

| Perfil | Material original | Coordenadas | Altitud (m) snm† | Fisiografía | Pendiente (%) | Orientación | Vegetación | Uso |
|--------|--|---------------------------|---------------------|-------------|------------------|-------------|------------|---------------------|
| I | Pizarras Calizas Arenitas cámbricas | 38°23'15''N 6°19'12''W | 415 | Planicie | Plano (1%) | NE | gramíneas | Cereal de secano |
| II | Pizarras Calizas cámbricas | 38°23'03''N 6°19'02''W | 420 | Planicie | Plano (3%) | NW | herbáceas | Olivar |
| III | Calizas cámbricas | 38°23'22''N 3°19'12''W | 435 | Planicie | Plano (2%) | N | herbáceas | Viñedo |

† snm, sobre el nivel del mar

El Perfil I, se tomó frente a la entrada principal del Balneario en una finca dedicada al cultivo del cereal, se desarrolla sobre materiales Paleozoicos formados por pizarras, calizas y arenitas (Foto 1). El Perfil II corresponde a la zona de vaguada a 500 m del edificio



del Balneario, junto a la vía del tren, suelo dedicado al cultivo del olivar y desarrollado sobre calizas y pizarras (Foto 2). El perfil III situado en zona de viñedo a 2 km del Balneario junto a la carretera nacional 432, desarrollado sobre calizas (Foto 3). En el momento de la toma de muestras los suelos se presentan bien drenados, húmedos en su totalidad y todos ellos labrados.



Foto 1.-Entorno del Perfil I.



Foto 2.- Entorno del Perfil II.



Foto 3.- Entorno del Perfil III.

3.2. Análisis de suelos

Las muestras, de acuerdo con los métodos para análisis de suelos propuestos por International Soil Reference and Information Center (13), se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron a través de una malla de 2 mm para separar la “tierra fina”. Sobre ésta fracción se realizaron los diferentes análisis para su caracterización edáfica, escogiéndose las técnicas instrumentales más adecuadas en cada caso.

El análisis del tamaño de partícula 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 (14).

El pH fue medido en una suspensión suelo:agua con una relación 1:2,5 (13). La conductividad eléctrica se midió en una suspensión agua:suelo con una relación 1:5 (13). El CaCO_3 se determinó utilizando el calcímetro de Bernard. El carbono orgánico se cuantificó por oxidación húmeda (15). El nitrógeno total se determinó usando el método Kjeldahl (16). La capacidad de cambio catiónico se extrajo con una solución de 1M NH_4OAc a pH 7.0 (13). Los cationes fueron cuantificados por Espectroscopía de absorción atómica usando un Analytikjena NovAA 300 (Ca y Mg) y por Espectroscopía de emisión de llama utilizando un Sherwood 410 (Na y K). Se realizaron dos réplicas de cada uno de los análisis y los valores medios obtenidos fueron empleados para los cálculos.

La composición mineralógica de las muestras de rocas y las fracciones de arcilla 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). Las rocas fueron estudiadas en polvo orientado azar. Las muestras de la fracción de arcilla se analizaron después de diversos tratamientos: secadas al aire, calcinadas a 550 °C durante dos horas y solvatadas con etilen- glicol (17).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades morfológicas y físicas de los suelos

Tabla 2.- Propiedades morfológicas de los suelos seleccionados.

| Hzt. | Prf. (cm) | Color Munsell (húmedo) | Text.† | Etruct.¶ | Consist. (húmedo) | Fragmts. rocosos†† | Otras propiedades | Límite |
|-------------------|--------------|------------------------------|--------|----------|----------------------|-----------------------|---|-----------------|
| Perfil I | | | | | | | | |
| Apk | 0-15 | 10YR 6/4 | fra | gr | friable | 1G | Abundantes raíces finas y medias. Abundantes nódulos calizos. | Gradual y plano |
| Ak | 15-35 | 10YR 7/3 | fra | psb | friable | 1G | | |
| Perfil II | | | | | | | | |
| Ap | 0-25 | 10YR 4/3 | ar | psb | fuerte | 3GS | Abundantes raíces finas y medias. Escasos nódulos calizos | Difuso y plano |
| Bw | 25-55 | 10YR 5/4 | ar | psb | fuerte | 1G | | |
| Perfil III | | | | | | | | |
| Ap | 0-18 | 5YR 4/4 | ar | pa | fuerte | 2G | Abundantes raíces finas y medias. | Gradual y plano |
| Bt | 18-40 | 5YR 4/6 | ar | pa | fuerte | 1G | | |

† Textura: fra, franco arcillo arenosa; ar. arcillosa.

¶Estructura: gr, granular; psb, poliédrica subangular; pa, poliédrica angular.

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

Los suelos seleccionados presentan, como elemento común, graves problemas de erosión. El hecho de tener un uso mayoritariamente agrícola, ha modificado la topografía y la vegetación, así como los contenidos de materia orgánica en superficie. El problema de la erosión se intensifica en cultivos leñosos como es el caso del viñedo o el olivo, debido a que

los suelos están desprovistos de vegetación durante largo tiempo. El laboreo altera los agregados, y elimina la cubierta vegetal, lo cual termina agravando los procesos de degradación (18).

La morfología del Perfil I (Tabla 2), se caracteriza por presentar unos colores claros que van desde los pardos claros en superficie a los pardos muy claros en el horizonte subyacente, el ligero incremento de materia orgánica en superficie justifica la diferencia de color. La alteración de pizarras, arenitas y caliza, que constituye el material de partida, determina la tonalidad de estos suelos, muy abundantes en la zona de estudio (Foto 1). El Perfil II desarrollado a partir de calizas y pizarras, presenta un color pardo oscuro en superficie que se hace pardo amarillento, cuando profundizamos. La alteración de las pizarras y la presencia de nódulos carbonatados influyen en el cambio de tonalidad (Foto 2). El Perfil III de colores pardo rojizo en superficie, a rojo amarillento en el horizonte Bt, está condicionado por los procesos de descarbonatación, con lavado de arcillas y posterior rubefacción, típico de estos suelos formados a partir de calizas. La tonalidad rojiza, muy extendida en la comarca, imprime al paisaje unas condiciones estéticas que la caracteriza (Foto 3).

Las texturas y estructuras presentan pocas diferencias en los distintos suelos, hay un predominio de las texturas finas con ligeras variaciones al profundizar (Tabla 3). El laboreo al que son sometidos estos suelos condiciona sus propiedades físicas, sobre todo en superficie. El Perfil I tiene una textura homogénea con ligero descenso en el horizonte subyacente, está mejor estructurado en profundidad, poliédrica subangular, y presenta una consistencia friable, el paso gradual entre ambos horizontes refleja la homogeneidad de todo el suelo. Las texturas arcillosas del Perfil II, junto a una estructura poliédrica subangular, son las características físicas de este suelo. El incremento de arcilla al profundizar refleja el mayor grado de alteración con la formación del horizonte Bw. La abundancia de pegregosidad en superficie, de tamaño variable, es debida a la posición fisiográfica en el que se encuentra el perfil, zona de ligera vaguada al final de una pendiente cóncava. El Perfil III de textura arcillosa, con un aumento próximo al 20% en el horizonte Bt, junto a una

estructura poliédrica subangular y una consistencia fuerte, nos indica una fuerte alteración y complejos procesos edáficos para su formación.

4.2. Propiedades Químicas de los Suelos

Tabla 3.- Análisis textural y carbonato cálcico de los suelos seleccionados.

| Hrzt. | Prf. cm | Análisis textural † | | | | CaCO ₃ Eq g kg ⁻¹ |
|-------------------|------------|-------------------------|-------------------|----------|-------------|---|
| | | Aren a grues a | Aren a fina | Lim o | Arcill a | |
| | | % | | | | |
| Perfil I | | | | | | |
| Apk | 0-15 | 31 | 22 | 15 | 32 | 264.3 |
| Ak | 15-35 | 9 | 55 | 11 | 25 | 231.6 |
| Perfil I | | | | | | |
| Ap | 0-25 | 21 | 17 | 15 | 47 | 172.1 |
| Bw | 25-55 | 16 | 19 | 12 | 53 | 164.3 |
| Perfil III | | | | | | |
| Ap | 0-18 | 14 | 20 | 15 | 51 | 9.7 |
| Bt | 18-40 | 11 | 14 | 12 | 63 | 8.5 |

† Análisis textural; arena gruesa <2000-200 μm; arena fina <200-20 μm; limo <20-2 μm, arcilla <2 μm

Los suelos seleccionados presentan unos pH próximos a la neutralidad, con valores que oscilan entre 6.2 y 8.2 (Tabla 4).

En los suelos desarrollados sobre materiales del cámbrico (pizarras, arenitas y caliza), Perfiles I y II, el valor medio de pH está en torno a 8 con ligeros aumentos en profundidad, por lo que se trata de suelos básicos. La influencia de los ácidos orgánicos

procedentes de la alteración que sufre la escasa cubierta vegetal, sobre todo en primavera, provoca el ligero descenso que encontramos en superficie, mientras que los valores por encima de 8 alcanzados en profundidad están asociados a la presencia de materiales básicos procedente de la alteración de las calizas del cámbrico, y la posible contaminación de carbonatos procedentes de las costras calizas del pliocuaternario. El Perfil III, presenta unos pH en torno a 6, lo que les confiere un carácter ácido. Esto es debido, a los procesos de descarbonatación y posterior lavado de arcillas que han tenido lugar para su formación.

El contenido en C orgánico de todos los suelos diferencia los horizontes superficiales, con valores que oscilan entre 15,4 y 11,3 g kg⁻¹, decreciendo notablemente al profundizar. Las variaciones en el N siguen la misma evolución del C orgánico lo que sugiere que las formas orgánicas del N son las que predominan en estos suelos.

Tabla 4.- Algunas propiedades químicas de los suelos seleccionados.

| Horz. | Prof. cm | pH H ₂ O | CE† dS m ⁻¹ | Materia orgánica | | CEC | Bases extraíbles | | | | SATB % |
|-------------------|-------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|-----|------|------------------|-----|-----|-----|-----------|
| | | | | C g kg ⁻¹ | N | | Ca | Mg | Na | K | |
| Perfil I | | | | | | | | | | | |
| Apk | 0-15 | 7.8 | 0.230 | 15.4 | 1.8 | 23.9 | 22.2 | 4.7 | 0.2 | 0.8 | sat. |
| Ak | 15-35 | 8.2 | 0.242 | 12.3 | 0.9 | 28.6 | 22.7 | 3.7 | 0.2 | 0.4 | sat. |
| Perfil II | | | | | | | | | | | |
| Ap | 0-25 | 7.9 | 0.101 | 12.3 | 1.2 | 24.2 | 33.0 | 5.6 | 0.3 | 0.4 | sat |
| Bw | 25-55 | 8.1 | 0.111 | 10.1 | 0.8 | 30.7 | 32.8 | 6.6 | 0.4 | 0.3 | sat |
| Perfil III | | | | | | | | | | | |
| Ap | 0-18 | 6.2 | 0.142 | 11.3 | 1.4 | 22.8 | 9.8 | 1.7 | 0.4 | 0.3 | 53.07 |
| Bt | 18-40 | 6.3 | 0.133 | 5.2 | 0.7 | 18.3 | 11.7 | 1.5 | 0.3 | 0.3 | 75.40 |

†Conductividad eléctrica

¶ Capacidad de cambio catiónico

El valor del CEC está comprendida entre 23,8 y 22,9 $\text{cmol}_e \text{ kg}^{-1}$ en los horizontes superficiales, aumentando al profundizar, en los Perfiles I y II. La acumulación de arcilla determina esta diferencia, lo que indica que es el contenido en los coloides inorgánicos, y no la materia orgánica quien tiene mayor influencia en el complejo de cambio. El grado de saturación en los dos suelos es saturado, con un predominio del calcio entre los cationes de cambio. En el Perfil III, los valores de la capacidad de cambio están próximos en ambos horizontes, con un ligero descenso al profundizar. La presencia de altas proporciones de arcilla pone de manifiesto su mayor influencia en el complejo de cambio. Entre las bases de cambio, predomina el catión calcio; en todos los casos, hay una gran diferencia entre los contenidos de Ca^{2+} y los de Mg^{2+} , esto se explica por la menor retención que tiene, este elemento, para fijarse a la superficie del complejo de adsorción, por lo que resulta fácilmente disponible para las plantas o es lavado por las aguas de lluvia. El grado de saturación es elevado pero sin llegar a la saturación, lo que muestra el proceso de lavado que ha existido en este suelo.

4.3. Análisis mineralógico

Tabla 5.- Componentes minerales de las fracciones arcillas determinadas por difracción de rayos-x.^a

| Perfil Horizonte | Mica- ilita | Caolinita | Clorita | Esmectita | Lepidocrocita | Cuarzo | Calcita |
|---------------------------|----------------|-----------|---------|-----------|---------------|--------|---------|
| <i>Perfil P-I</i> Ap | ++++ | traza | nd | nd | nd | ++++ | + |
| <i>Perfil P-II</i> Ap | ++ | + | ++ | ++++ | nd | +++ | ++++ |
| <i>Perfil P-III</i> Ap | ++++ | + | nd | nd | traza | +++ | traza |
| AC | ++++ | + | nd | nd | traza | +++ | nd |

Los resultados del análisis mineralógico de la fracción arcilla de los suelos seleccionados se resumen en la Tabla 5. En todos los suelos encontramos como minerales comunes, presencia de caolinita y de micas-ilitas, con proporciones variables. Como

minerales no filosilicatos aparece calcita en los Perfiles II y III, el cuarzo está presente en los tres suelos.

El Perfil I se caracteriza por presentar micas-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. La reflexión a 0.33 nm nos indica la presencia de cuarzo. La calcita solo aparece en trazas. Esta composición mineralógica pone de manifiesto que el suelo está poco evolucionado dado que son minerales heredados del material original. Este hecho, junto con las condiciones climáticas de la zona, corrobora que la alteración mineral es limitada (Figura 1).

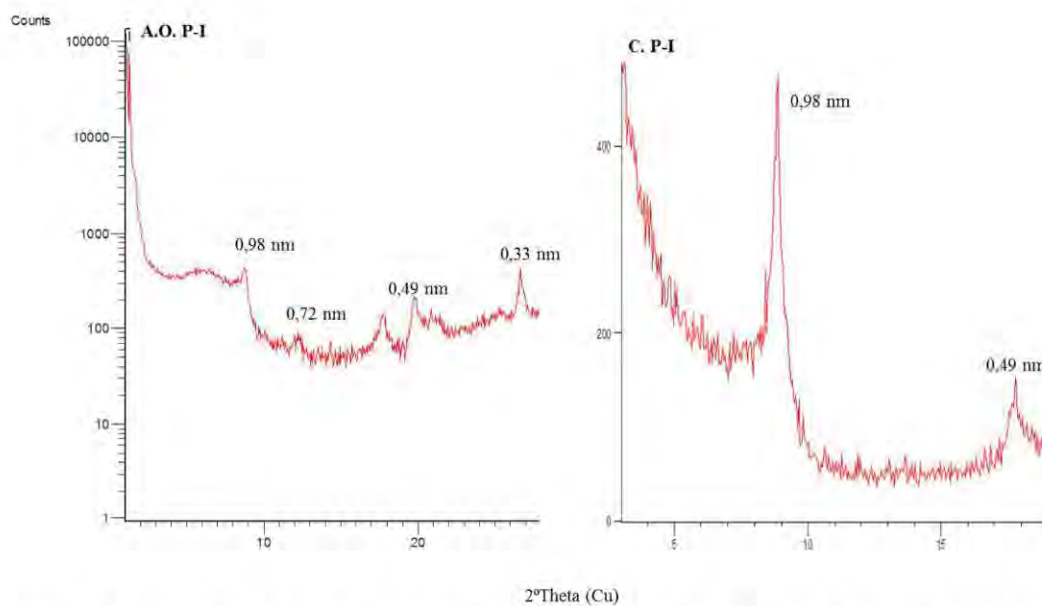


Figura 1.- Difracción de rayos-X en muestras de arcilla orientada y calcinada del perfil P-I (CuK α radiación).

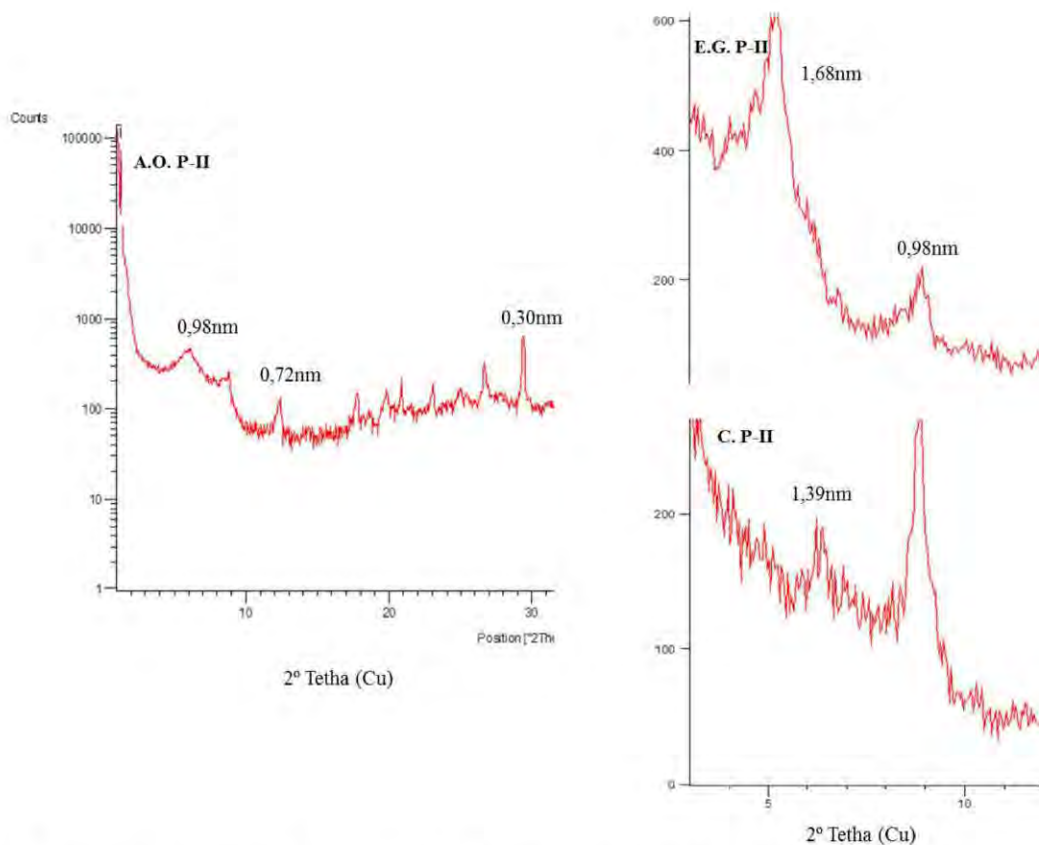


Figura 2.- Difracción de rayos X en muestras de arcilla orientada, calcinada y solvatadas con etilén glicol del perfil P-II (CuK α radiación).

Las observaciones efectuadas en los difractogramas de rayos-X de la fracción arcilla del suelo desarrollado sobre pizarras y calizas cámblicas (Perfil II) ponen de manifiesto que los filosilicatos 2:1 son los minerales de arcilla mayoritarios, con fuertes reflexiones a 0.99 nm y 0.33 nm. Su presencia en roca demuestra que los filosilicatos 2:1 en los suelos estudiados proceden del material original y no son neoformados.

González et al. (19) analizando una cronosecuencia de suelos desarrollados en ambientes diapíricos de España, donde se entremezclan materiales ígenos (ofitas) y sedimentarios y con un clima similar al de la zona de estudio, atribuyeron el origen y la génesis de los filosilicatos 2:1, en la fracción arcilla de los suelos, a la herencia (productos de alteraciones hidrotermales en los minerales primarios de la roca) y no a procesos

pedogénicos *in situ*, puesto que los factores formadores de este suelo y el ambiente alcalino que presenta limita la alteración mineral. Cabe destacar la existencia de minerales a 1.4 nm formados por intergrados vermiculita-clorita junto a presencia de esmectita. Estos minerales se ponen de manifiesto por la aparición de un hombro de difracción entre 1.2 nm y 1.4 nm en agregados orientados que tras el tratamiento térmico (550 °C) disminuye su intensidad remarcando el efecto a 1.4 nm característico de clorita y vermiculita. El fuerte hinchamiento que se produce cuando tratamos las muestras con etilén-glicol indica la que son las esmectitas los minerales más abundantes de los filosilicatos 2:1. Esta asociación es frecuente en ambientes ricos en cationes alcalinotérreos (Figura 2).

El grupo de minerales 2:1 hinchables no fue detectado en la fracción mas fina del perfil P-III, dentro de los minerales no laminares solo se identificó cuarzo. La presencia en trazas de calcita en el horizonte superficial y su ausencia en horizontes más profundos, mineral principal en el material original, confirma la génesis de este suelo. Como minerales más abundantes se han identificado el grupo mica-ilita. La pequeña simetría de sus reflexiones muestra el moderado grado de cristalinidad de estos minerales. Es de destacar la presencia de lepidocrocita con una clara y simétrica reflexión a 0.618 nm (Figura 3).

4.4. Edafogénesis y clasificación

Los tres perfiles de suelos que se presentan responden en general a los principales aprovechamientos que se dan en el término. Hay muy poco regadío de tal forma que el 98 por ciento de la superficie lo ocupan los cultivos de secano distribuidos aproximadamente entre un 55% para lo que se llaman labores sin arbolado, fundamentalmente cereales de invierno, principalmente trigo y cebada; un 28% dedicado al olivar con las variedades morisca y carrasqueña, ésta para el empleo de las olivas en verde como aderezo y un 15% ocupado por el viñedo principalmente para uva blanca de mesa. El 2% restante se reparte un 0,5% para pastizales y el resto un 1,5% son matorrales o espacios improductivos.

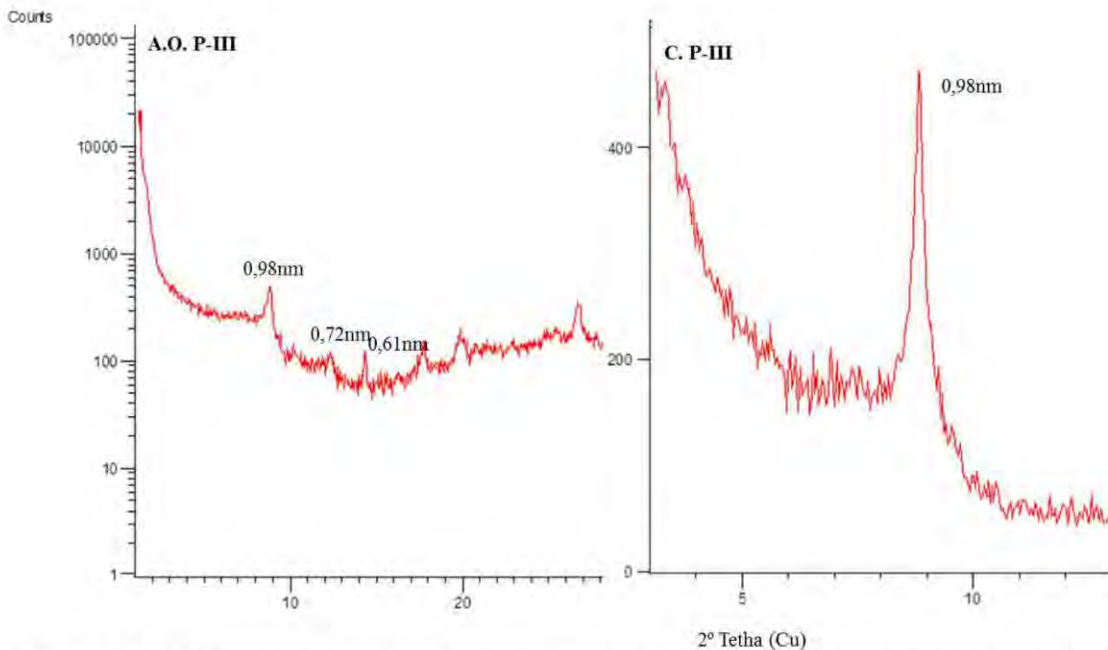


Figura. 3.- Difracción de rayos X en muestras de arcilla orientada y calcinada del perfil P-III (CuK α radiación).

La zona mas extensa del término, como se ha dicho, la ocupan las labores intensivas y se sitúan en la parte occidental que a su vez coincide con la mayor extensión de las pizarras cámbricas y con lo se entiende como depósitos sedimentarios y arrastres de ladera abundante por la zona oriental. Seguramente estos suelos quedarían representados mediante el Perfil I que podríamos clasificar como “Typic xerorthen” según la taxonomía americana o como Regosol calcárico si empleamos la clasificación FAO.(1989) (20).

El olivar coincide con los suelos más profundos y le encontramos en el sur y sureste del término representado por el Perfil II que al presentar un horizonte Bw de tipo cámbico pero al apreciarse un cierto lavado de arcilla y también alguna de las propiedades de los vertisoles quedaría como un “Vertic xerochrept “ en la taxonomía americana o como Cambisol vértico en la FAO. Por último, el viñedo se concentra más hacia el nordeste y muchas veces en posiciones de ladera y sobre materiales pliocuaternarios que incluyen muchas veces costras calizas. Coinciden con el Perfil III, suelos rojizos con emigración y

lavado de la arcilla y descarbonatados. Tienen horizonte Bt y se pueden clasificar según la Taxonomy americana como “Typic rhodoxeralf” y cuando en el subsuelo aparece la costra caliza serían “Petrocalcic rhodoxeralf” En la clasificación FAO quedarían como Luvisoles crómicos o Luvisoles petrocálcicos.

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. P2009/AMB-1648.

BIBLIOGRAFÍA

1. González Bernáldez, F. (1981) *Ecología y Paisaje*. Blume, H., Ed.; Madrid,;p.250.
2. Díaz Pineda, F. (1973) *Terrestrial ecosystems adjacent to large reservoirs. Eco-survey and diagnosis*. International Commission. On large Dans. XI Congress,.
3. Almendro, J.P.; López-Piñeiro, A.; García, A.; Cabrera, J.; Nunes, M.R. (2007) Nivel de fertilidad de los suelos de la Comarca de Tierra de Barros (Extremadura, España). *Edafología* 14, 1-8.
4. Garrote Ruiz, A; Liñán Guijarro, E; Perejón Rincón, A.; Vargas Alonso, I. (1983) *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja nº 854 (Zafra)*. IGME, MIE; Madrid.
5. Hernando, V; Guerra, A. (1980) *Estudio de los suelos de la Tierra de Barros*. Instituto de Edafología y Biología vegetal. C.S.I.C. Madrid.
6. Rivas Goday, S. (1946) *La aridez e higr continentalidad en las provincias de España y su relación con las comunidades vegetales climáticas*. *Anales del Jardín botánico* 7:501-511.
7. Papadakis, J. (1980) *Ecología y manejo de cultivos, pasturas y suelos*. Albatros, Ed.; Buenos Aires.
8. Turc, L. ; (1955) *Le bilan d'eau des sols. Relations entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement*. *Ann.Agron.* 5, 491-495.
9. Soil Survey Staff; *Soil Taxonomy. Handbook nº 436*. (1975) Soil Conservation Service. USDA; Washington D.C.
10. Lázaro, F.; Elias, F.; Nieves, M. (1978) *Régimen de humedad de los suelos de la España peninsular*. I:N:I:A: Ed.; Madrid.
11. Newhall, F. (1976) *Calculation of soil moisture regimes from the climatic record*; Soil Surv. Inv.Rep. Soil Cons. Serv. USDA; Washington, D.C.

12. Tavernier, R y Van Wambeke, A. (1976) Determinación del régimen hídrico de los suelos de España según el modelo matemático de Newhall. *Agroquímica* 20, 406-412.
13. International Soil Reference and Information Center. (1993) *Procedures for Soil Analysis*; 4th. Ed. International Soil Reference and Information Center; Wageningen.
14. International Soil Reference and Information Center; *Procedures for Soil Analysis*. (1984) 3th. Ed. International Soil Reference and Information Center; Wageningen,.
15. Walkley, A., Black, A. (1974) A critical examination of rapid methods for determining organic carbon in soils. *Soil Science* 62: 251–254.
16. Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-total. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2nd. Page, A.L., et al. Eds., *Agronomy Monograph*, vol. 9. ASA; WI, p. 595–624.
17. Tributh, H. (1991). Qualitative und quantitative Bestimmung der Tonminerale in Bodentone. In: *Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe* Tributh, H., Lagalym, G. Eds, e. V., DTTG, p. 37-85.
18. Saavedra, M. (2003) El manejo de la cubierta vegetal en el control de la erosión en el olivar. *Perspectivas de la degradación del suelo*. Bienes, R. Marques, M.J. Eds. I Simposio Nacional de la Erosión y Degradación de Suelos. Madrid; p 43-54.
19. González, C., Valverde, I., López-Lafuente, A. (1999) Chemical and mineralogical characterization of soils derived from ophiolites in Mediterranean climate (North of Spain). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30, 2007–2021.
20. FAO (2006) *World reference base for soil resources A framework for international classification, correlation and communication*. FAO, Roma, p 145.