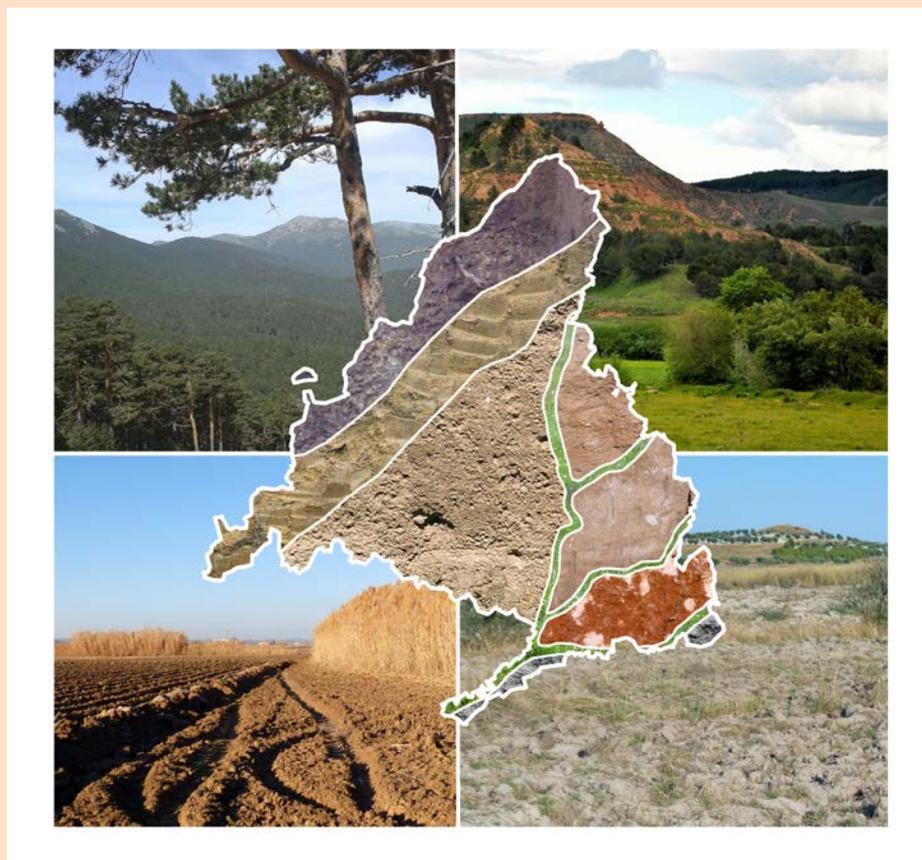




# XXXI Reunión Nacional de Suelos

Madrid, del 6 al 9 de junio de 2017

## Guía de campo





# XXXI Reunión Nacional de Suelos

Madrid, del 6 al 9 de junio de 2017

## Guía de campo



**XXXI Reunión Nacional de Suelos  
Madrid, del 6 al 9 de junio de 2017  
Guía de campo**

**ISBN**

978-84-697-3840-5

**Depósito legal:**

M-16885-2017

**Coordinación editorial y diseño**

M.T. Cruz Caravaca, C. Hontoria Fernández, I. Mariscal Sancho, M.J. Marqués Pérez.

**Diseño de la portada**

J. Cámara Gajate y C. Hontoria Fernández

**Maquetación**

I. García González

**Impresión**

Universidad Politécnica de Madrid

## Comité organizador

### Presidente

Ana Moliner Aramendía

### Vicepresidentes

Ramón Bienes Allas

Pilar Carral González

M<sup>a</sup> Teresa de la Cruz Caravaca

### Secretaría

Chiquinquirá Hontoria Fernández

M<sup>a</sup> José Marqués Pérez

### Vocales

Saturnino de Alba Alonso

Javier Almorox Alonso

Ana Álvarez González

Marta Benito Capa

Joaquín Cámara Gajate

Miguel Ángel Casermeiro Martínez

Juan Centeno Carrillo

Carmen Diéguez Martínez

Rafael Espejo Serrano

Andrés García Díaz

Irene García González

Vicente Gómez Miguel

Concepción González Huecas

Zulimar Hernández Hernández

Raimundo Jiménez Ballesta

Carlos Lacasta Dutoit

Alberto Lázaro Domingo

Antonio López Lafuente

Ignacio Mariscal Sancho

Juan Pedro Martín Sanz

Alberto Masaguer Rodríguez

José Antonio Molina Abril

Mariela Navas Vásquez

Juana Pérez Arias

Javier Pérez Esteban

José Ramón Quintana Nieto

Manuel Rasero de la Fuente

Jesús Santano Arias

Inmaculada Valverde Asenjo



## Agradecimientos

*A los responsables y personal del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama en la Comunidad de Madrid y en la Comunidad de Castilla y León por la colaboración ofrecida. Al Ejército del Aire por las facilidades prestadas para la utilización de sus instalaciones. Al Ayuntamiento de Rascafría por acogernos y facilitarnos el trabajo.*

*A los responsables y personal de la Finca La Chimenea y del Centro de Transferencia Tecnológica Vitivinícola El Socorro, pertenecientes al Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA), por su contribución a la organización de las visitas de campo. A Pablo Martínez por su apoyo y por cedernos su finca para mostrar un perfil de suelo.*

*A los responsables de la Finca Experimental La Higuera por su colaboración en la organización de esta Reunión. Al Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. A la red RESEL del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino por la financiación de diversos proyectos, particularmente los relativos al campo experimental sobre erosión que se instaló en 1992 y que ha funcionado ininterrumpidamente hasta la fecha.*

*A Daniel Martín de la unidad de Programas Especiales de la UPM por su asesoría y apoyo gráfico. A Alfredo Martínez y Silvia Gómez Parra por su colaboración en el diseño del logo RENS2017.*

*A nuestros patrocinadores IMIDRA, Fertiberia y John Deere por su apoyo.*

*Y a todas aquellas personas que, de un modo u otro, han colaborado en la preparación y gestión de esta Reunión.*



## Índice

Introducción .....	9
ITINERARIO 1. Suelos forestales de la Sierra de Guadarrama .....	13
Descripción general de la zona .....	14
Perfil PN-I: Suelo forestal bajo robledal .....	28
Perfil PN-II: Suelo forestal bajo pinar .....	34
Bibliografía .....	39
ITINERARIO 2. Suelos agrícolas de la comarca de Las Vegas .....	43
Descripción general de la zona .....	44
PARADA 1: COLMENAR DE OREJA	
Perfil 1. Terraza del Valle del Tajo.....	67
Perfil 2. Yesos del Mioceno .....	72
PARADA 2: BELMONTE DEL TAJO	
Perfil 3. Páramo de Chinchón.....	77
PARADA 3: CIEMPOZUELOS	
Perfil 4. Vega del Jarama .....	81
Bibliografía .....	85
ITINERARIO 3. Suelos sobre arcosas de la Fosa del Tajo .....	87
Descripción general de la zona .....	88
Perfil 1: Suelo evolucionado sobre arcosa recarbonatado .....	98
Perfil 2: Suelo evolucionado sobre arcosa .....	103
Campo experimental para el estudio de la erosión en campos agrícolas .....	108
Bibliografía .....	113



## Introducción

Celebramos la XXXI Reunión Nacional de Suelos en la Comunidad de Madrid y alrededores con el concurso de tres universidades madrileñas, la Universidad Politécnica, la Universidad Autónoma y la Universidad Complutense, además de dos organismos públicos de investigación, el Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA), y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Cinco instituciones que han estrechado lazos gracias a esta Reunión.

Con ello, se ha cumplido ya uno de los objetivos de las Reuniones que se vienen celebrando desde 1973 con el auspicio de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, y confiamos alcanzar con esta Reunión de 2017 el resto de objetivos. Así, esperamos despertar en los participantes más jóvenes el interés por el estudio del suelo en el campo, aprender de las controvertidas discusiones científicas sobre clasificación, dar a conocer nuestras investigaciones, intercambiar opiniones y establecer nuevas relaciones de colaboración.

Para esta Reunión hemos seleccionado tres itinerarios muy diversos que nos permitirán conocer los paisajes y los suelos presentes en esta zona central de la península (Fig. 1). El primer itinerario nos llevará al norte para conocer los suelos forestales de la Sierra de Guadarrama, en un paraje natural de gran belleza. En el segundo, nos dirigiremos al sur, al territorio de las vegas (Tajo y Jarama) y el páramo, donde recorreremos una variedad de suelos agrícolas representativos de la comarca de mayor vocación agrícola de la región. El tercer itinerario nos trasladará al suroeste, adentrándonos en la denominada facies Madrid, donde conoceremos suelos agrícolas desarrollados sobre arcasas y tendremos la oportunidad de conocer un campo experimental dedicado al estudio de la erosión del suelo.

En el primer itinerario realizamos un recorrido por la Sierra de Guadarrama, un conjunto montañoso perteneciente al Sistema Central que posee valores ambientales muy destacables que hacen de esta Sierra un privilegiado refugio natural, lo que ha propiciado que en 2013 el Congreso de los Diputados aprobara el Proyecto de Ley de declaración del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

El uso forestal ha sido un motor económico importante en esta zona pero, desde la constitución del Parque Nacional, las actuaciones sobre las masas forestales van encaminadas a la conservación, restauración y mejora de los bosques. Se presentan suelos forestales bajo dos de los hábitats forestales más notables de la sierra por su valor biogeográfico y ecológico, los bosques de *Quercus pyrenaica* y los bosques de *Pinus sylvestris* L.

La edafogénesis de estos suelos está marcada por intensos procesos de alteración física y por procesos de alteración bioquímica debidos a la incorporación y naturaleza de la materia orgánica, cuya intensidad viene modulada por las características climáticas. Los suelos que veremos en esta excursión presentan potentes horizontes A, pH ácido, están fuertemente desaturados, con texturas dominadas por la fracción arena y con minerales de la fracción arcilla condicionados por la naturaleza de los materiales de origen (gneis y granito).

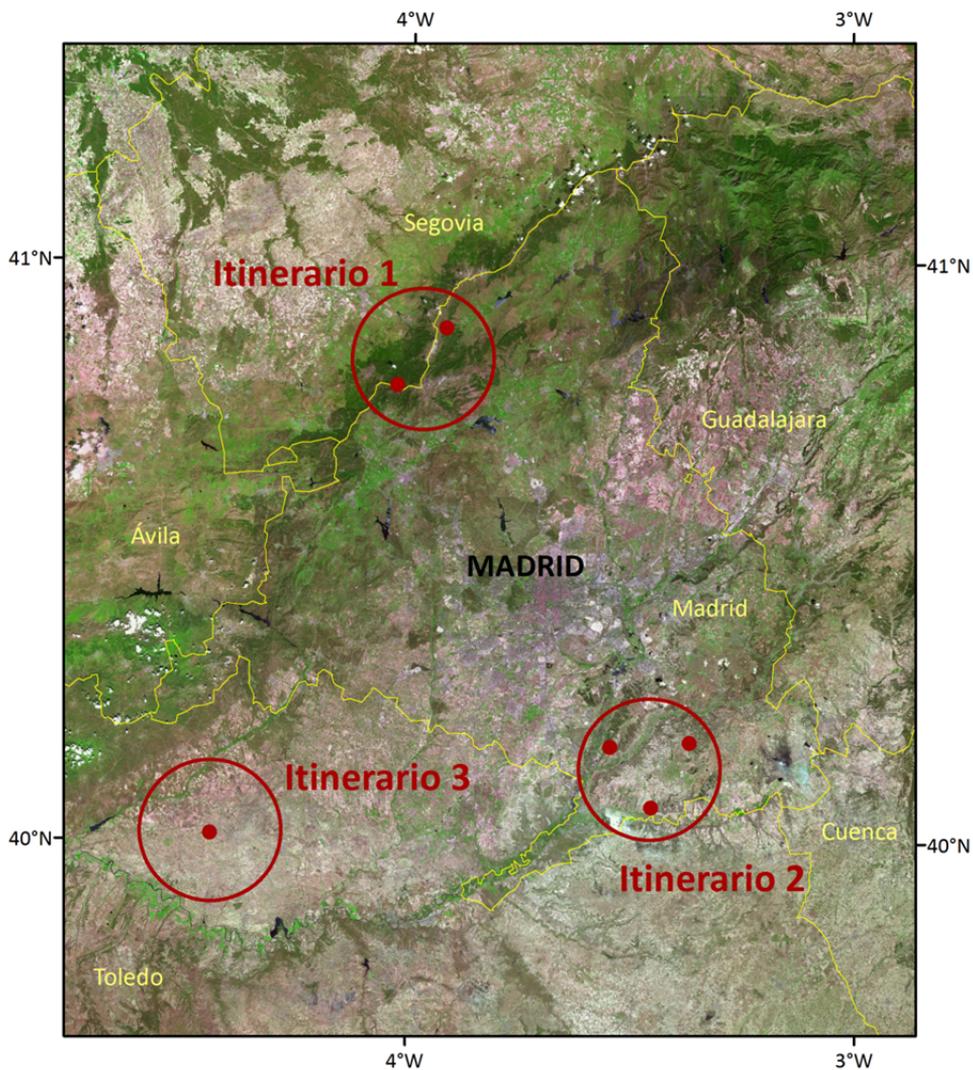


Fig. 1. Localización de los itinerarios en la Comunidad de Madrid y alrededores.

Los suelos mostrados en el segundo itinerario son representativos de la zona este y sureste de la Comunidad de Madrid, en la denominada comarca agrícola de Las Vegas, la cual se halla sobre materiales sedimentarios del Mioceno y del Cuaternario. Se trata de una comarca muy antropizada, donde las actividades humanas han eliminado la vegetación potencial hace siglos para dedicar el suelo a usos agrícolas. El laboreo y la erosión han alterado el paisaje, marcando diferencias de color en superficie que evidencian la redistribución del suelo y han dado lugar a suelos truncados.

La primera parada de este itinerario tendrá lugar en la Finca La Chimenea perteneciente al IMIDRA, donde se han abierto dos perfiles de suelo (Perfil 1 y Perfil 2). El primero se sitúa en una terraza baja del río Tajo y el segundo en una ladera próxima donde afloran materiales yesíferos del Terciario. En esta finca se han llevado a cabo numerosos proyectos de investigación desde hace décadas, encaminados al estudio de los procesos erosivos y manejo sostenible de este tipo de suelos. La segunda parada tendrá lugar en el Centro de Transferencia Tecnológica Vitivinícola de El Socorro, también del IMIDRA, en donde visitaremos el Perfil 3 del itinerario. Por último, en la tercera parada visitaremos el Perfil 4 situado en la vega del río Jarama, en una finca de explotación agrícola ecológica.

Desde el punto de vista edafológico, la presencia de horizontes enriquecidos en carbonato cálcico constituye el rasgo edáfico más característico del conjunto de la zona este de esta comarca. La litología y la geomorfología son los principales factores formadores de los suelos. Así, en las superficies de mayor cota, correspondientes a las calizas del páramo y de mayor estabilidad geomorfológica, ha tenido lugar la descarbonatación de los horizontes superiores seguida de la iluviación de la arcilla. En consecuencia, es frecuente la presencia de horizontes argílicos, con notable contraste con otros horizontes, y que definen suelos de alto grado relativo de evolución. El movimiento de carbonatos es generalizado en toda la comarca, y especialmente en los suelos del páramo, glacis y terrazas altas del río Jarama.

Conforme descendemos de cota y abandonamos el páramo, entramos en el dominio de los yesos sacaroideos alternantes con margas grises yesíferas. El relieve de esta formación geológica es ondulado y los suelos presentan espesores muy variables en función de la intensidad con la que han actuado los procesos erosivos. En un nivel inferior encontramos suelos desarrollados sobre las terrazas del Jarama y laderas coluvionadas en la base del páramo. Son suelos poco evolucionados y profundos, dedicados al olivo (terrazas y glacis) o a cultivos hortícolas (vega), estos últimos en su mayoría de regadío.

Por tanto, la variedad de los suelos en esta comarca de Las Vegas es grande y hemos creído de sumo interés mostrar este tipo de suelos, especialmente los destinados a uso agrícola.

Los suelos presentados en el itinerario 3 son representativos de la facies Madrid, formada por arcosas del Mioceno. Se ubican en una zona de tradición agrícola secular. Como en todos los paisajes de tierras de labor, el suelo desnudo muestra marcadas diferencias de color que evidencian los procesos erosivos y la diversidad de sus características físicas o químicas. Como consecuencia de ello, se ha producido una mezcla de los horizontes superficiales y una disminución notoria de su contenido de materia orgánica.

Una de las características más llamativas de los suelos de esta zona es que sus perfiles presentan un acusado contraste textural entre sus horizontes. Los horizontes superficiales, hasta los 20-30 cm de profundidad, suelen tener texturas franco arenosas mientras que los horizontes sub-superficiales, que suelen estar presentes entre los 30 y los 80 cm de profundidad, presentan acumulación de arcillas. Los horizontes más profundos, a su vez, muestran una acumulación de carbonato cálcico hasta el límite con las arcosas, que es el material originario sobre el que se han formado los suelos.

Los perfiles mostrados en este itinerario se encuentran en la Finca Experimental de la Higuera, en la cual se han sucedido numerosos proyectos de investigación desde 1973, encaminados al estudio y manejo sostenible de este tipo de suelos. A pesar de que parte de estos suelos ya han sido mostrados en algunas reuniones edafológicas previas, pensamos que tanto los suelos como el campo experimental dedicado al estudio de la erosión son de un interés indudable para los asistentes a esta Reunión.

Además de la selección de suelos que hemos preparado, confiamos que los componentes paisajísticos, históricos y gastronómicos y, por supuesto, la compañía, contribuyan a un mayor disfrute de estas jornadas de campo.



## ITINERARIO 1

# Suelos forestales de la Sierra de Guadarrama

De la Cruz Caravaca, M.T.<sup>1</sup>, Casermeiro Martínez, M.A.<sup>1</sup>, Molina Abril, J.A.<sup>2</sup>, Centeno Carrillo, J.<sup>3</sup>, González Huecas, C.<sup>1</sup>, López Lafuente, A.<sup>1</sup>, Quintana Nieto, J.R.<sup>1</sup> y Valverde Asenjo, I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. UCM

<sup>2</sup>Departamento de Biología Vegetal II. Facultad de Farmacia. UCM

<sup>3</sup>Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. UCM

# Sierra de Guadarrama

## Descripción general de la zona

La Sierra de Guadarrama es un conjunto montañoso perteneciente al Sistema Central, de 500 kilómetros de longitud, que cruza de oeste a este el centro de la península ibérica, supone la división natural entre las dos mesetas, norte y sur (Fig. 1a). Su extensión se reparte por las provincias de Ávila, Madrid y Segovia (Fig.1b).

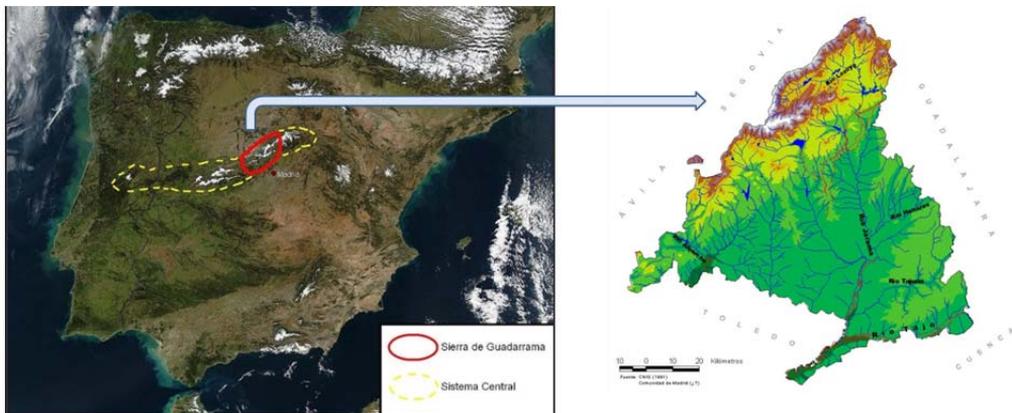


Fig.1. a) Ubicación de la Sierra de Guadarrama. b) Posición dentro del Sistema Central.

Posee valores ambientales muy destacables derivados de sus características paisajísticas, geológicas, geomorfológicas, hidrográficas, botánicas, faunísticas, históricas y culturales, que hacen de esta Sierra un privilegiado refugio natural. Sin embargo, la proximidad a una gran ciudad como Madrid (60 km) ha provocado una gran presión, tanto urbanística como de uso para el esparcimiento de los madrileños, que ha supuesto un enorme riesgo para salvaguardar estos valores. Desde la segunda mitad del siglo XIX proliferaron las iniciativas para proteger estas tierras, pero es en 2013 cuando se constituye el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama que protege unas 33 960 ha por encima de los 1700 m de altitud (21 714 ha en la Comunidad de Madrid y 12 246 ha en la Comunidad de Castilla y León. BOE Núm. 152, junio 2013) (Fig. 2).

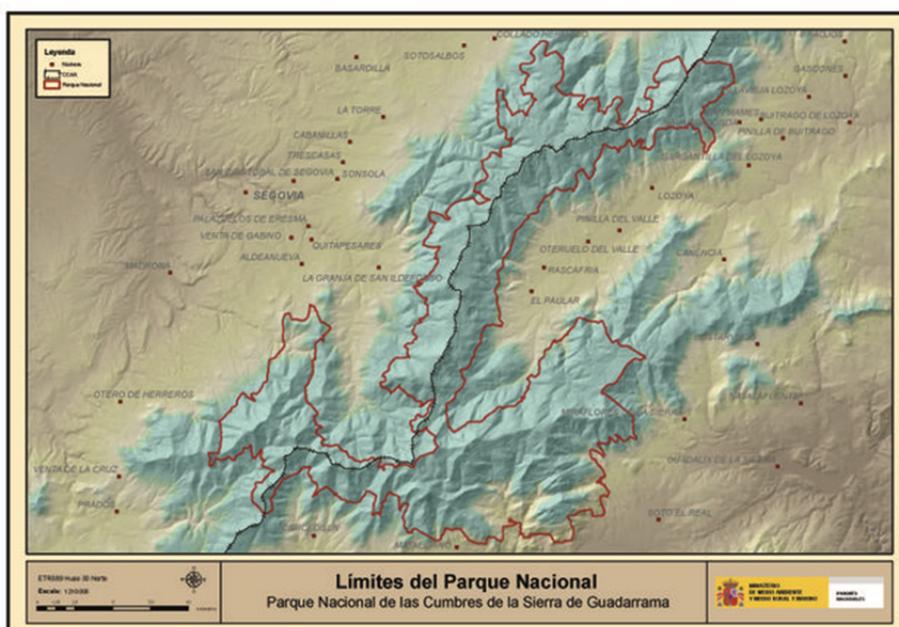


Fig. 2. Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

## Bioclima

La abundancia de ombrotipos presentes en la Sierra de Guadarrama, se relacionan con un importante gradiente altitudinal. Incluyen las siguientes cuatro categorías: seco, subhúmedo, húmedo e hiperhúmedo (Tabla 1). Por otra parte, los termotipos más extendidos en el área son: meso-, supra- y oromediterráneo. Si bien, en las zonas más lluviosas se encuentra el clima submediterráneo templado con sus variantes supra- y orosubmediterráneo, que térmicamente se corresponden a los termotipos supra- y orotemplado. Por tanto, en la Sierra de Guadarrama están presentes los macroclimas Mediterráneo y Templado. El límite entre ambos se halla aproximadamente hacia los 1500 m de altitud, y es la precipitación la que inclina la balanza hacia uno u otro clima.

Tabla 1. Datos climáticos y bioclimáticos y diagnosis bioclimática (ombrotipo y termotipo) de cinco localidades por donde va a transcurrir la excursión.

Localidad	Altitud	tm	P	lo	Ic	Itc	Ombrotipo	Termotipo
Puerto de Navacerrada	1860	6.5	1511	12.77	17.5	42	Hiperhúmedo inferior	Orosubmediterráneo inferior
San Ildefonso	1191	8.8	885	8.38	17.3	109	Húmedo inferior	Supramediterráneo superior
Rascafría	1159	9.9	858	7.22	16.1	159	Húmedo inferior	Supramediterráneo inferior
Colmenar Viejo	879	12.7	725	4.77	20.3	207	Subhúmedo inferior	Supramediterráneo inferior
Madrid	667	13.9	438	2.63	19.3	244	Seco inferior	Mesomediterráneo superior

*tm* = temperatura media anual, *P* = precipitación media anual, *lo* = índice ombrotérmico, *Ic* = índice de continentalidad, *Itc* = índice de termicidad compensado.

## Vegetación

La zonación altitudinal de la vegetación potencial natural en la Sierra de Guadarrama se resume en unos cinturones de vegetación contrastados. Las cotas inferiores son ocupadas por encinares o carrascales que corresponden a bosques esclerófilos mediterráneos de *Quercus rotundifolia* Lam. Aproximadamente entre los 900 y 1400 m de altitud, se sitúa una banda de vegetación caducifolia correspondiente a los melojares o bosques de roble melojo (*Quercus pyrenaica* Willd.). Por encima de esa cota, esta vegetación cede el paso a los bosques aciculifolios de pino albar (*Pinus sylvestris* L.) que se desarrollan aproximadamente entre los 1400 y 2000 m. Por encima del límite forestal, se desarrollan los piornales rastreros de *Juniperus communis* L. *subsp. alpina* (Suter) Čelak. y *Cytisus oromediterraneus* (Rivas Martínez *et al.*, 1999), y los pastos orófilos de *Festuca indigesta* Boiss.

Desde un punto de vista geobotánico, dos de los hábitats forestales más notables de la Sierra de Guadarrama por su valor biogeográfico y ecológico corresponden a los bosques de *Quercus pyrenaica* y los bosques de *Pinus*

*sylvestris* L. Esta excursión se centra precisamente en el estudio de los suelos bajo estos dos hábitats.

Los bosques de *Quercus pyrenaica* son endémicos del occidente europeo. Se distribuyen por el SW de Francia, la península ibérica donde alcanzan importantes extensiones en las montañas silíceas, y en el N de Marruecos. En la Sierra de Guadarrama existe una buena representación de estos bosques subatlánticos de hoja caducifolia ancha (Rivas-Martínez et al., 1987). Los melojares están bien adaptados a climas lluviosos con moderada sequía estival. Se asientan sobre suelos silíceos profundos desarrollados a partir de rocas graníticas o gnéisicas. Los bosques bien conservados son ricos en flora nemoral propia de bosques caducifolios con abundantes hemicriptófitos y geófitos. La primera etapa serial del melojar se encuentra constituida por piornales dominados habitualmente por *Cytisus scoparius* (L.) Link, *Genista florida* L. y *Adenocarpus complicatus* (L.) J. Gay, que actúan como orla arbustiva o primera etapa serial. Otras etapas seriales que se encuentran en el dominio del melojar corresponden al berceal, formación de gramíneas vivaces amacolladas caracterizada por *Stipa gigantea* Link, y en los suelos más degradados el matorral presidido por la jara estepa (*Cistus laurifolius* L.). La representación de los melojares en el territorio corresponde en su mayoría a formaciones jóvenes, resultado de un manejo basado en el sistema de talas y entresacas, frecuentemente adeshadas, y dirigido al pastoreo y carboneado. Por otra parte, grandes áreas de dominio potencial de robledal se han dedicado a plantaciones con pino silvestre.

Los pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*) existentes en la Sierra de Guadarrama corresponden a una de las localidades más meridionales que alcanzan estos bosques, de óptimo boreal, en su rango de distribución. Dentro de la diversidad taxonómica que presenta *Pinus sylvestris* a nivel varietal en la península ibérica, *P. sylvestris* var. *iberica* es la variedad que ocupa las altas montañas centrales. Se han reconocido dos tipos de pinares albares en la Sierra de Guadarrama: el pinar supra (sub) mediterráneo que se desarrolla, aproximadamente, entre los 1400-1700 m de altitud y cuyo tapiz nemoral comparte muchas especies con el de los melojares; y el pinar orosubmediterráneo, localizado fundamentalmente entre los 1700 y 1900 m, y caracterizado por la existencia de taxones orófilos en su sotobosque. Este pinar guadarrámico de alta montaña es el que vamos a estudiar en nuestra excursión. Se trata de un bosque moderadamente denso con estratos arbustivo y herbáceo bien desarrollados entre los que abundan

especies tales como *Juniperus communis* subsp. *alpina*, *Cytisus oromediterraneus*, y *Deschampsia flesuosa* (L.) Trin *iberica* Rivas Mart. El matorral de pino serrano y enebro constituye también la primera etapa serial del pinar.

## Geología

Desde el punto de vista geológico, el Sistema Central es una extensión hacia el oeste del Macizo Ibérico, que a su vez es la porción en la península ibérica de la cordillera Varisca o Hercínica, un gran orógeno formado al final del Paleozoico y que puede seguirse por buena parte de Europa occidental y septentrional. Dentro de la península ibérica, se distinguen tres grandes zonas y todo el Sistema Central forma parte de la zona Centro-Ibérica, el núcleo de aquella primitiva cordillera. En esta zona, durante los aproximadamente doscientos millones de años transcurridos desde la formación de la cordillera, se han sucedido varios episodios de modelado y una segunda orogenia, cuyas consecuencias determinan muchos rasgos actuales de la región.

Los procesos erosivos que siguieron a la orogenia Varisca o Hercínica eliminaron buena parte de la cobertera y expusieron en la superficie las rocas metamórficas y plutónicas del núcleo de la cordillera. Para el principio del Cretácico, una extensa superficie de arrasamiento ocupaba la región y, ocupada por el mar Thetis desde el este, fue cubierta por sedimentos marinos. Pero a final del Cretácico, el acercamiento de África a Europa provoca una nueva orogenia con efectos en la región. La orogenia Alpina dio lugar a la formación de los Pirineos o la cordillera Bética, entre otras, y reactivó muchas de las fracturas hercínicas del Sistema Central, levantando algunos bloques respecto a otros y creando así la morfoestructura actual. La dirección de los relieves alpinos y sus estructuras profundas respeta en general las direcciones de la deformación hercínica, ya que aprovecha muchas de sus estructuras. Respecto a la evolución tectónica general, los trabajos de Capote et al. (1981) y Capote (1985) son dos referencias básicas que, junto al trabajo de Pedraza (1994), son un buen punto de partida para entender la historia del Sistema Central.

En concreto, en la Sierra de Guadarrama, entre los puertos de Navacerrada y Somosierra, la región está dominada por dos grandes alineaciones formadas por bloques levantados, los montes Carpetanos al N y el eje Cuerda Larga-Sierra de

la Morcuera-Sierra de la Cabrera, entre las que se encuentra la depresión o fosa del alto Lozoya. Toda la excursión se realiza entre estas dos alineaciones principales, cortando la fosa del Lozoya.

El levantamiento alpino de los relieves provocó una inmediata reactivación de los procesos erosivos. Prueba de este inicio de ciclo erosivo son los sedimentos del Mioceno inferior (conglomerados polimícticos con cantos de calizas cretácicas) que pueden verse en las inmediaciones de Oteruelo del Valle. Como consecuencia del levantamiento, se producen episodios erosivos desde el Mioceno inferior (e incluso el Oligoceno en algunos lugares del Sistema Central) hasta el Pleistoceno, dando lugar a la formación de varias superficies de arrasamiento en la sierra y alimentando el relleno de la cuenca de Madrid (Pedraza, 1978; Centeno, 1987, Centeno et al., 1983). En el Pleistoceno, la apertura de la cuenca del Tajo hacia el Atlántico desencadena una nueva oleada de ciclos erosivos, tanto en la cuenca como en las sierras que, en la zona del alto Lozoya, da lugar a la formación de los valles encajados en los materiales paleozoicos y las terrazas, sedimentarias y erosivas (Theodoros).

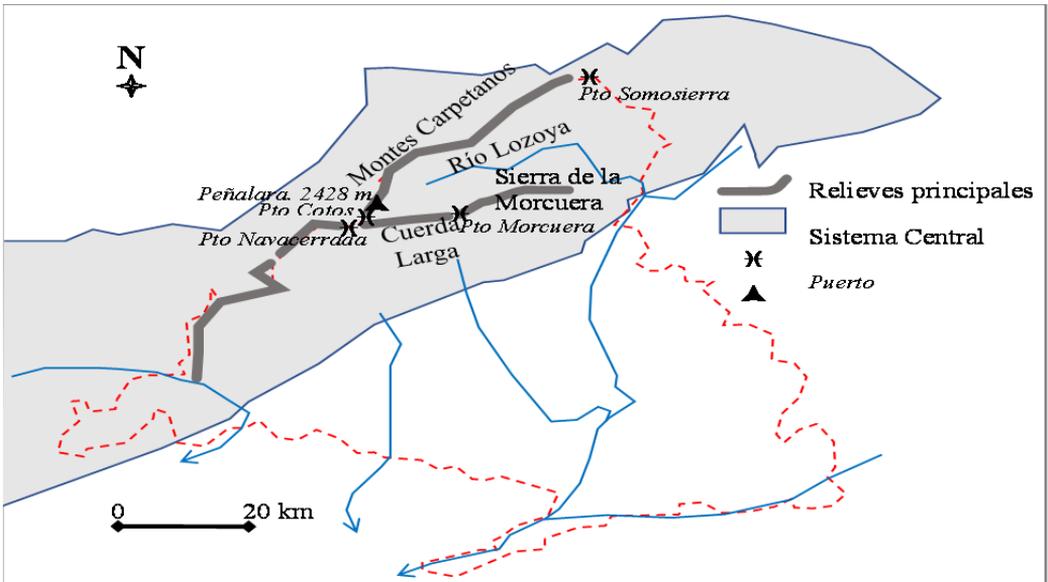


Fig. 3. Situación geográfica y geológica general.

A una altitud de 1740 m, hay una buena panorámica del sector occidental de la fosa del alto Lozoya. Al sur se extienden los relieves de la Cuerdá Larga y hacia el WNW puede verse las cumbres del macizo de Peñalara, que incluyen cinco Lugares de Interés Geológico (LIG), incluidos los circos y las morrenas de los glacia-

res de Peñalara y Pepe Hernando (<http://info.igme.es/ielig/>). Todas las sierras que rodean la fosa del alto Lozoya fueron ocupadas en el Pleistoceno por bastantes glaciares de circo (que pueden verse a lo largo del itinerario), de ladera (el de Peñalara) e incluso del valle (el glaciar de Valhondillo, en la cara norte de Cuerda Larga).

La retirada de los hielos ha dejado un relieve marcado por la erosión y depósitos y grandes superficies con procesos periglaciares que llegan hasta la actualidad. Hasta 1987 hubo hidrolacolitos activos en el valle de Valhondillo (Pedraza et al., 1987) y aún pueden verse fenómenos de geliflujión que conforman, por ejemplo, laderas cubiertas de terasetes.

El perfil PN-I se sitúa a 1350 m, en la vertiente norte de la sierra de Cuerda Larga, en una ladera de la cabecera del arroyo de Santa Ana. Casi toda la zona está formada por ortogneises glandulares feldespáticos (unidad 88 del mapa, de acuerdo con la nomenclatura del visor cartográfico del IGME, <http://info.igme.es/visorweb/>). Sin embargo, el perfil se localiza en un punto en que una compleja estructura hace aflorar dos unidades más. Por un lado, afloran unos ortogneises similares, pero con un mayor grado de bandeado y presencia de dos micas (unidad 87). Además, aparecen unos paragneises, con bandas formadas por silicatos cálcicos, que proceden del metamorfismo de series sedimentarias (unidad 90). En todos los casos, son rocas que sufrieron un intenso metamorfismo regional durante la orogenia Hercínica.

La sierra de Cuerda Larga debe su perfil suave a la superficie de arrasamiento que se conserva parcialmente en sus cumbres, la “Superficie de Cumbres” de Schwenzner (1936) y Pedraza (1976). Además, su vertiente septentrional presenta aquí unos replanos erosivos extensos: un grupo a una altitud próxima a los 1700 m (la superficie de Paramera de Pedraza) y otro grupo en torno a los 1300 m. La cabecera del arroyo de Santa Ana corta estos replanos y el perfil está en una de las laderas de encajamiento, con un regolito muy delgado y al pie de uno de estos replanos.

A pesar de estar en la vertiente septentrional de Cuerda Larga, el perfil está en una ladera orientada al SE, como consecuencia de la geometría del valle. De esta forma, la ladera tiene una buena insolación y está protegida de los vientos del N por el replano que mencionamos.



Morfológicamente, el perfil está en una vertiente bastante regularizada, orientada al NW. En consecuencia, está muy expuesta a los vientos del N y sufrió durante todo el Pleistoceno y Holoceno una intensa actividad periglacial, como prueban los extensos canchales (unidad 182) que cubren buena parte de la superficie.

## Suelos

Los suelos de la Sierra de Guadarrama han sido estudiados por numerosos edafólogos. Los primeros estudios edafológicos se llevaron a cabo por Hoyos de Castro y González Parra (1969 a,b,c,d) que aportaron datos precisos sobre numerosos perfiles de la Sierra, atendiendo a diferentes aspectos como la génesis, el estudio químico, mineralógico o de la materia orgánica, y que marcaron un camino a seguir por otros investigadores (Velasco de Pedro y Lozano-Calle 1972; Gandullo y Sánchez-Palomares 1976; Hoyos de Castro et al., 1979; Benayas, et al., 1981, Aleixandre et al., 1981; Espejo Serrano et al., 1988; Martín de Vidales et al., 1988; Barba A., 1993; González Cascón et al., 1994; Fernández-Getino, 2006, etc.).

Martín de Vidales et al. (1988), en el estudio de varios perfiles de suelos de la Sierra concluyen: “los suelos van desde típicos Litosuelos hasta incluso Histosoles, pasando por abundantes Rankers y Cambisoles, presentan, fundamentalmente, en los perfiles estudiados una secuencia de horizontes A/B/C o A/C con moderado espesor en algunos casos, siendo el horizonte A típicamente negruzco. Frecuentemente, presentan un horizonte transicional BC desarrollado ampliamente. Los suelos heredan de la roca, la riqueza en cuarzo, textura dominada por la fracción arena, el pH ácido, la escasez en cationes básicos y los minerales que componen las fracciones arena y arcilla. La edafogénesis de la zona se haya dominada por los procesos de alteración física. La alteración química producida durante la edafogénesis es moderada. Según la sistemática americana, los suelos quedan clasificados como Xerumbrept Típicos y Haplumbret Entico”.

Una buena síntesis sobre la tipología de los suelos de la Sierra se recoge en el capítulo 2 del Documento Resumen de la Sierra de Guadarrama elaborado por la Junta de Castilla y León en 2006, donde se expone la gran diferencia entre los suelos de las zonas de las cumbres y los de las laderas. Los primeros se

desarrollan sobre afloramientos de rocas duras, mientras que los segundos lo hacen sobre derrubios (cantos angulosos de granitos y gneises unidos por una matriz arenosa) y por tanto suelen ser más profundos y con mayor espesor de los horizontes superficiales debido a fenómenos de coluvionamiento:

“En las zonas de mayor altitud de la Sierra, con una climatología muy lluviosa y fría, y sobre vegetación natural de pastizales, el horizonte A de los suelos tiene un color muy oscuro y elevado contenido en materia orgánica, lo que convierte al horizonte de diagnóstico "úmbrico" como predominante en esta unidad fisiográfica.



Fig. 6. Regosol sobre gneis "arenizado".

También existen grandes extensiones de afloramientos rocosos a los que se asocian Leptosoles úmbricos y dístricos. En las zonas donde la roca (granitos o neises) está meteorizada o "arenizada" los suelos se denominan Regosoles y en las áreas en donde los suelos poseen un mayor desarrollo, con un horizonte intermedio Bw se han observado Cambisoles húmicos. En zonas de cumbre existen pequeñas depresiones o antiguos circos glaciares en las que se acumula el agua, y donde el ambiente reductor propicia la acumulación de materia orgánica, dando lugar a Histosoles fíbricos y térricos (turberas).

Con una climatología menos lluviosa y menos fría que en la zona de cumbres de la Sierra, los suelos ya no se caracterizan por tener un epipedón úmbrico, excepto en las zonas de umbría, puesto que el color es menos oscuro y tienen menos contenido en materia orgánica. Los suelos más característicos poseen un epipedón ócrico y se han clasificado como Leptosoles, Regosoles y Cambisoles.

Una valoración de conjunto nos lleva a señalar dos hechos contrastados:

- El predominio de relieves con pendientes acusadas en las sierras altas y en las sierras bajas y aisladas que explica la presencia de litosuelos y de suelos

someros o muy poco evolucionados (Entisoles).

- En las depresiones y valles se aprecia la existencia de formaciones edáficas más evolucionadas, asociadas a materiales de origen coluvial y aluvial cuya acumulación a partir de las alteritas es relativamente reciente desde la perspectiva geológica y edáfica y que muestran sobre todo una vocación y unas condiciones para el desarrollo forestal y los pastos, más que para una función agrícola. “

## Usos

El uso forestal es, sin duda alguna, inherente a la actividad humana desde la antigüedad. Este hecho también es relevante en la comunidad de Madrid (Gil et al., 2004).

Los primeros asentamientos arqueológicos en la Comunidad de Madrid, datados antes del Holoceno, en el paleolítico inferior, en zonas próximas a la sierra (Rus, 1987) indican el primer uso de los recursos forestales; estos bosques son posteriormente aclarados por la aparición de la ganadería (Jiménez, 1998) debido al aumento de población que se produjo en el calcolítico y la edad de hierro. La presencia romana ha dejado una clara impronta en el desarrollo de la región condicionando los asentamientos urbanos y algunas de las principales vías de comunicación, en concreto destacan la calzada romana que sube por el puerto de la Fuenfría atravesando el corazón del actual Parque Nacional Sierra de Guadarrama.

Es destacable la polémica sobre el actual nicho ecológico de los pinares de *Pinus sylvestris*, que parece favorecida por la actividad forestal del período romano. La presión sobre los bosques fue proporcional a la población en el período tardo romano y medieval favoreciéndose en muchas ocasiones el aclaramiento de los bosques para aumentar los pastos, el uso de la madera para la construcción y el carboneo que es el uso tradicional de los melojares de *Quercus pyrenaica*. Gil et al. (2004) realizan un pormenorizado análisis de la importancia de Madrid en el libro de la Monterías de Alfonso XI (1340-1350), destacando la aparición de topónimos como Naval Pino, la Acebeda, el encinar de Colmenar, Robredillo, Robregordo,...

Existen numerosos documentos en este período histórico que delimitan la titularidad y usos de los bosques en las zonas de influencia de Segovia y Madrid.

Destacan las relaciones topográficas de Felipe II donde se aprecia una elevada presión sobre los bosques, por el creciente aumento demográfico, como demuestra la ausencia de leña en una gran cantidad de pueblos. En la documentación derivada de la construcción del Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial se detalla los lugares de procedencia, así como la calidad y cantidad de madera utilizada en su construcción. En el período moderno las fuentes documentales y los testimonios de viajeros indican un elevado uso ganadero y de aprovechamiento de leña que supuso un claro detrimento de los bosques. Es en el siglo XIX y XX donde se produce un cambio sustantivo en la gestión y estado de los bosques; la aparición de los primeros inventarios forestales, las normas de utilización de montes, la repoblación forestal y la disminución de la presión sobre los bosques ha supuesto un cambio de tendencia en la sobreexplotación histórica de estos recursos.

La aplicación de la Ley 4/89, sobre conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, ha permitido el desarrollo de un hito de conservación de los bosques del Sistema Central. Particularmente en la Comunidad de Madrid, la declaración de un parque nacional y dos parques naturales, supone una reordenación y racionalización de los usos tradicionales frente a la presión de las áreas urbanas de la Comunidad de Madrid.

En los municipios pertenecientes al Parque Nacional el uso forestal ha sido un motor económico importante. Desde la constitución del Parque, las actuaciones sobre las masas forestales van encaminadas más a la intervención para la conservación, restauración y mejora de los bosques que para su explotación.

En el plan rector de Uso y Gestión del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (2016), se señala que la ausencia de gestión forestal podría implicar el incremento de riesgos graves, como la decrepitud de las masas, el ataque de plagas y enfermedades o incendios forestales, que podrían acabar con estos importantes bosques. La gestión contempla ya desde hace años estos aspectos, como el mantenimiento de "árboles para la biodiversidad" que permiten la instalación de plataformas para nidificación de buitres.

La Ley de Declaración del Parque Nacional contempla en su Anexo II, entre las medidas de corrección y mitigación, la naturalización y restauración ambiental de repoblaciones. Por ello, las actuaciones van dirigidas, como ya se ha indicado, hacia la conservación del paisaje forestal, la ampliación de la superficie ocupada por bosques maduros de pino silvestre y la protección de especies singulares, como tejos y acebos, así como la naturalización de zonas alteradas o

recientemente repobladas mediante la modificación de espesuras, eliminación de especies exóticas y otras actuaciones similares que, en particular favorezcan la dispersión y crecimiento de las especies nativas.

En la vertiente segoviana la gestión de los montes propiedad de la Junta de Castilla y León, las intervenciones para la mejora de las masas forestales, previas a la ordenación, y con vigencia prevista hasta 2015 (iniciadas en 2004), se corresponden en su mayor parte con repoblaciones de unos 40 años de edad. Tal como se indica en el documento de la mesa temática sobre bosques. Las cortas por aclareo sucesivo y uniforme han dado lugar a una regeneración exitosa que ha permitido un incremento de fauna vertebrada e invertebrada, la regulación de escorrentías, etc. (Fig. 7).

En el caso de la Comunidad de Madrid existen importantes superficies ocupadas por masas forestales procedentes de repoblación con edades entre los 40 y los 70 años, en las que se debe intervenir con el objetivo, entre otros, de reducir las elevadas densidades iniciales, abrir la espesura y permitir el soleado del sustrato que favorezca la instalación de otras especies arbustivas y arbóreas que incrementen la biodiversidad. Se han iniciado intervenciones sobre repoblaciones monoespecíficas coetáneas, eliminando parcialmente los ejemplares no nativos, favoreciendo la presencia de pino silvestre y encina y disminuyendo la competencia sobre los árboles preservados. Se trata de una intervención gradual con el fin de no desproteger de forma abrupta el suelo de la cubierta vegetal que lo sostiene y permitir y favorecer la revegetación espontánea de especies autóctonas, si bien en ciertas zonas es posible observar problemas de regeneración.



Fig. 7. Formaciones forestales de *Pinus sylvestris*.



Fig. 8. Formaciones forestales de *Quercus pyrenaica*.

No obstante hay que tener en cuenta que las decisiones que afectan al Parque Nacional deben estar vinculadas a otros espacios protegidos colindantes como el Parque Natural "Sierra Norte de Guadarrama" (Segovia y Ávila) y el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares, así como los espacios incluidos en la Red Natura 2000.

Las masas forestales de robledal, situadas fuera de los límites del Parque Nacional se localizan en fincas particulares o de titularidad municipal. El uso se ha destinado fundamentalmente al pastoreo (principalmente vacuno) y a "carboneado". La obtención de carbón es una práctica que se ha ido abandonado de forma gradual, provocando una regeneración paulatina de estos bosques, por lo que es común observar masas boscosas de ejemplares jóvenes, sobre todo en las laderas donde el roble va recobrando antiguos dominios (Fig. 8), solo en zonas marginales, lindes de fincas o zonas de difícil acceso se han conservado los ejemplares maduros. No obstante, tanto la carga ganadera como el abandono del uso ganadero deben controlarse, ya que el sobrepastoreo puede tener consecuencias negativas para la flora en determinados hábitats, mientras que el abandono del pastoreo puede ocasionar la expansión de pastizales y matorrales que incrementen los riesgos de incendios.

## PERFIL PN-I: Suelo forestal bajo robleal



Fig. 9. Robledal del perfil PN-I.

### INFORMACIÓN ACERCA DEL SITIO

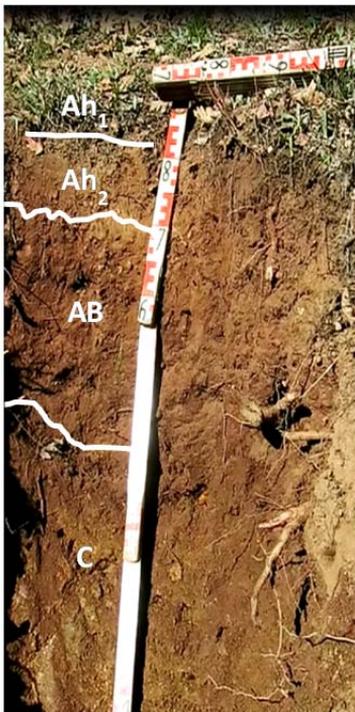


Fig.10. Perfil PN-I.

**Localidad/Localización:** Refugio del Palancar (Rascafría)

**Coordenadas:** 40°52'51,8" N 3°50'41,5" W

**Altitud:** 1357 m

**Posición fisiográfica:** pendiente convexa

**Topografía circundante:** moderadamente ondulado

**Pendiente:** moderadamente escarpado

**Orientación:** S-E

**Vegetación:** bosque de robles (*Quercus pyrenaica*, con *Adenocarpus complicatus*, *Lavándula pedunculata* y *Juniperus communis ssp. hemisphaerica*)

**Material original:** gneis

**Drenaje:** bien drenado

**Pedregosidad superficial:** poca

**Uso del suelo:** forestal

**Clasificación:**

**Umbrisol haplic** (WRB, 2014)

**Entic Humudept** (Soil Survey Staff, 2014)

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof. cm	Descripción
<b>Ah1</b>	0-6	Color en seco, pardo amarillento grisáceo (10YR 4/2) y en húmedo pardo muy oscuro (10YR 2/2); textura franco-arenosa; estructura migajosa y granular fina, agregados bien formados; no adherente, muy friable; poros abundantes finos y muy finos; abundantes raíces finas y muy finas, afieltrado; límite neto y plano con el horizonte subyacente.
<b>Ah2</b>	6-18	Color en seco, pardo (10YR 5/3) y en húmedo, pardo oscuro (10YR 3/3); textura franco-arenosa; estructura granular moderada, con agregados finos, medianos y gruesos; ligeramente adherente, friable. Poros abundantes finos y muy finos; abundantes raíces finas y medianas; 5% de fragmentos rocosos, tamaño grava; límite gradual y difuso con el horizonte subyacente.
<b>AB</b>	18-50	Color en seco, pardo amarillento (10YR 5/4) y en húmedo, pardo amarillento oscuro (10YR 3/4); textura franco-arenosa; estructura moderada con tendencia a subangular, agregados finos, medianos y gruesos; ligeramente adherente, friable; poros abundantes muy finos; abundantes raíces finas, medianas y gruesas; 10% de fragmentos rocosos, tamaño grava y piedra; límite neto y ondulado con el horizonte subyacente.
<b>C</b>	>50	Gneis alterado; color en seco, pardo pálido (10YR 6/3) y en húmedo, pardo amarillento (10YR 5/4); textura franco-arenosa; estructura heredada de la roca madre; no adherente, friable; poros abundantes muy finos, y finos; ascaso contenido en raíces medianas y gruesas; 5% de fragmentos rocosos, tamaño grava.

## DATOS ANALÍTICOS<sup>1</sup>

Tabla 2. Análisis textural, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Hor.	Prof. cm	Arena (%)			Limo (%)		Arcilla (%) <2 µm	Clase Textural USDA	Humedad (%)	
		2000-200 µm	200-50 µm	Grueso 50-20 µm	Fino 20-2 µm	CC 33 kPa			PMP 1500 kPa	
Ah1	0-6	44.4	15.4	15.1	15.7	9.3	Franco-Arenosa	34.4	17.1	
Ah2	6-18	47.7	15.5	6.4	19.0	11.4	Franco-Arenosa	22.9	11.6	
AB	18-50	53.7	9.6	9.6	17.0	10.8	Franco-Arenosa	17.2	9.6	
C	>50	63.7	9.8	6.1	11.6	8.8	Franco-Arenosa	18.1	8.5	

Tabla 3. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), relación C/N y fracciones de la materia orgánica (MO): Lábil Pool-I (LP-I), Lábil Pool-II (LP-II) y Recalcitrante (R).

Hor.	Prof. cm	CE <sub>25°C</sub> 1:5 (dS m <sup>-1</sup> )	pH		CO (%)	N (%)	C/N	Fracciones MO*		
			H <sub>2</sub> O	KCl				LP-I (%)	LP-II (%)	R (%)
Ah1	0-6	0.58	6.4	5.8	6.22	0.61	10.19	19.76	26.15	54.09
Ah2	6-18	0.18	6.2	4.8	1.95	0.26	7.50	21.53	14.74	63.73
AB	18-50	0.04	5.7	4.0	1.22	0.19	6.42	27.24	4.76	68.00
C	>50	0.02	5.8	3.8	0.06	-	-	-	-	-

\* Según Rovira y Vallejo (2002).

<sup>1</sup> Los métodos analíticos empleados aparecen en la bibliografía del cada capítulo.

Tabla 4. Cationes de cambio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y grado de saturación (V).

Hor.	Prof. cm	Cationes de cambio (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )				CIC (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	V (%)
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Ah1	0-6	2.67	2.04	1.71	1.79	35.3	23
Ah2	6-18	1.07	1.24	0.55	0.76	16.3	22
AB	18-50	0.49	0.79	0.32	0.71	12.9	18
C	>50	0.46	0.71	0.40	0.55	10.4	20

Tabla 5. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Libres (L) y Totales (T).

Hor.	Prof. cm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T (%)	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T)x100
Ah1	0-6	1.03	3.87	26.61
Ah2	6-18	0.91	4.63	19.65
AB	18-50	0.99	5.05	19.60
C	>50	0.48	4.96	9.70

## MINERALOGÍA DE ARENAS

Se presenta la mineralogía de arenas de un perfil (P-4) de características similares al perfil PN-I (situado en el Puerto de la Morcuera a 1400 m, bajo robleal) cuyos resultados se exponen en el trabajo de Hernando Massanet et al. (2004).

Según estos autores la asociación de minerales de la **Fracción pesada** es la siguiente:

**P-4:** *Granate - Sillimanita – Circón*

**Gneis descompuesto:** *Circón - Turmalina – Granate*

Los minerales de la **Fracción ligera**:

Fracc. Ligera	P4	Gneis
Micas	+++	+++
Vermiculitas	+	+
IE Clori-Vermi	+	+
Caolinita	++	++
Cuarzo	+++	++++
Feldespato	++	++++

Abundancia estimada de minerales:

- t trazas
- + Muy escasos
- ++ Escasos
- +++ Abundantes
- ++++ Muy abundantes
- IE Interestratificados

## MINERALOGÍA DE ARCILLAS

Tabla 6. Mineralogía de arcillas del perfil PN-I. I-V: Inter-estratificados Illita-Vermiculita; CL-V: Inter-estratificados Clorita-Vermiculita; I: Illita; C: Caolinita; Q: Cuarzo; HB: Hidrobasaluminita.

Hor.	Prof. cm	I - V	CL - V	I	C	Q	HB
Ah1	0-6	++	++	++	+++	++	+++
Ah2	6-18	+++	+++	+++	++++	+++	+
AB	18-50	++	++	++	+++	++	+
C	>50	+++	+++	+++	+++++	+++	+

*El número de + es proporcional a la abundancia: +++++ muy abundante, + poco abundante.*

## PERFIL PN-II: Suelo forestal bajo pinar



Fig.11. Pinar del perfil PN-II.

### INFORMACIÓN A CERCA DEL SITIO

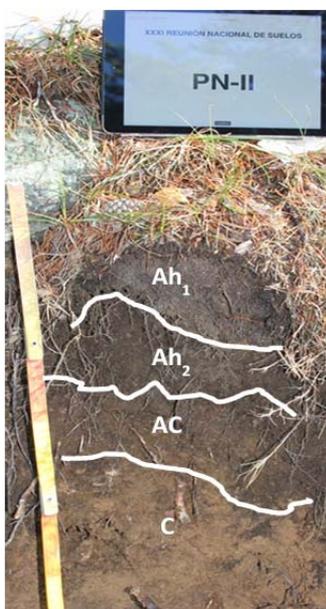


Fig. 12. Perfil PN-II.

**Localización:** Camino Schmidt (Segovia)

**Coordenadas:** 40°47'21,9" N 4°0'34,3" W

**Altitud:** 1877 m

**Posición fisiográfica:** pendiente convexa

**Topografía circundante:** fuertemente ondulado

**Pendiente:** escarpado

**Orientación:** N

**Vegetación:** bosque de Pinos (*Pinus sylvestris*)

**Material original:** granito

**Drenaje:** bien drenado

**Pedregosidad superficial:** pedregoso

**Uso del suelo:** forestal

**Afloramientos rocosos:** comunes

**Clasificación:**

**Umbrisol Haplic Hyperhúmic** (WRB, 2014)

**Udorthent** (Soil Survey Staff, 2014)

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof cm	Descripción
<b>Ah1</b>	0-30	Color en seco pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en húmedo pardo muy oscuro (10YR 2/2); textura franco-arenosa; estructura granular fina, débil; no adherente, muy friable; poros abundantes finos y muy finos; abundantes raíces finas y muy finas, afieltrado; 15% de fragmentos rocosos tamaño gravilla; límite neto y ondulado con el horizonte subyacente.
<b>Ah2</b>	30-50	Color en seco pardo (10YR 5/3) y en húmedo pardo oscuro (10YR 3/3); textura franco-arenosa; estructura granular fina, débil; no adherente y friable; poros abundantes finos y muy finos; abundantes raíces finas y muy finas; 20% de fragmentos rocosos, tamaño grava; límite gradual y difuso con el horizonte subyacente.
<b>AC</b>	50-60	Color en seco, pardo amarillento claro (10YR 6/4) y en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR 4/4); textura franco-arenosa; estructura granular moderada, agregados finos, medianos y gruesos; no adherente, friable; poros abundantes muy finos; abundantes raíces finas, medianas y gruesas; 20% de fragmentos rocosos, tamaño grava y piedra; límite neto y ondulado con el horizonte subyacente.
<b>C</b>	>60	Granito alterado; color en seco pardo pálido (10YR 6/3) y en húmedo pardo amarillento (10YR 6/6); textura arenoso-franca; sin estructura edáfica; no adherente, friable; poros abundantes muy finos, y finos; moderado contenido en raíces medianas y finas; 20% de fragmentos rocosos, tamaño gravilla, grava y piedra.

## DATOS ANALÍTICOS

Tabla 7. Análisis textural, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Hor.	Prof. cm	Arena (%)		Limo (%)		Arcilla (%) <2 µm	Clase Textural USDA	Humedad (%)	
		2000-200 µm	200-50 µm	Grueso 50-20 µm	Fino 20-2 µm			CC 33 kPa	PMP 1500 kPa
Ah1	0-30	49.0	19.9	10.6	12.6	7.8	Franco-Arenosa	26.5	16.2
Ah2	30-50	56.2	14.3	14.7	8.4	6.4	Franco-Arenosa	21.8	12.8
AC	50-60	50.7	14.7	13.4	13.6	7.7	Franco-Arenosa	19.8	10.7
C	>60	72.6	8.5	5.6	7.0	6.3	Arenoso-Franca	16.2	7.7

Tabla 8. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N) y fracciones de la materia orgánica (MO): Lábil Pool-I (LP-I), Lábil Pool-II (LP-II) y Recalcitrante (R).

Hor.	Prof. cm	CE <sub>25°C</sub> 1:5 (dS m <sup>-1</sup> )	pH		CO (%)	N (%)	C/N	Fracciones MO*		
			H <sub>2</sub> O	KCl				LP-I (%)	LP-II (%)	R (%)
Ah1	0-30	0.15	4.5	3.70	15.07	0.79	19.07	21.07	20.23	58.69
Ah2	30-50	0.04	5.3	4.44	3.16	0.44	12.09	24.95	16.76	58.29
AC	50-60	0.03	5.3	4.33	0.98	0.17	5.76	29.19	16.50	54.31
C	>60	0.03	5.3	4.35	0.68	-	-	-	-	-

\* Según Rovira y Vallejo (2002).

Tabla 9. Cationes de cambio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y grado de saturación (V).

Hor.	Prof. cm	Cationes de cambio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	V (%)
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Ah1	0-30	4.55	0.62	0.58	0.47	38.4	16
Ah2	30-50	2.77	0.17	0.60	0.38	21.7	18
AC	50-60	2.91	0.10	0.27	0.25	14.6	24
C	>60	2.13	0.08	0.34	0.25	11.5	24

Tabla 10. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Libres (L) y Totales (T).

Hor.	Prof. cm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> L/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T)x100
Ah1	0-30	0.92	2.22	41.31
Ah2	30-50	0.68	1.82	37.62
AC	50-60	0.58	3.36	17.35
C	>60	0.21	2.92	7.19

## MINERALOGÍA DE ARCILLAS

Tabla 11. Mineralogía de arcillas del perfil PN-II. I-V: Inter-estratificados Illita-Vermiculita; CL-V: Inter-estratificados Clorita-Vermiculita; I: Illita; C: Caolinita; Q: Cuarzo; HB: Hidrobasaluminita.

Hor.	Prof. cm	I - V	CL - V	I	C	Q	HB
Ah1	0-30	++	nd	++	+	++	tr
Ah2	30-50	+++	nd	+++	+++	+++	tr
AC	50-60	++++	nd	+++	++++	+++	tr
C	>60	++++	nd	+++++	+++++	++++	tr

*El número de + es proporcional a la abundancia: +++++ muy abundante, + poco abundante, tr traza, nd no detectado.*

## BIBLIOGRAFÍA

- Aleixandre, T., Pinilla, A., & García-González, M. T. (1981). Procesos de alteración de minerales en suelos caracterizados por fenómenos de empardecimiento (Xerochrept y Xerumbrept). *Anal. Edaf. y Agrobiol.* T XL, Nº 11-12: 1879-1896.
- Barba Carretero, A. (1993). Estudio químico y mineralógico de suelos desarrollados sobre Gneis y migmatitas. Variación en la composición de los minerales de arcilla en los procesos de alteración. Tesis Doctoral. UCM.
- Benayas, J., García-González, M.T. & Guerra, A. (1981). Procesos de Rubefacción en la Sierra de Guadarrama. *Anal. Edaf. y Agrobiol.* TXL, Nº 5-6: 865-878.
- BOE nº 152, Ley 7/2013, de 25 de junio, declaración del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.
- Capote, R. (1981). Historia deformativa en el Sistema Central. Tectónica Prehercínica y Hercínica. *Rev. De la Real Acad. de Ciencias Exac. Fís. y Natu. de Madrid.* LXXIX (4º) 511-522.
- Capote, R., Casquet, C. & Fernández Casals, M.J. (1981). La tectónica hercínica de cabalgamientos en el Sistema Central Español. *Cuad. Geol. Ibérica*, 7, 455-469.
- Centeno, J. D. (1987). Morfología Granítica de un sector del Guadarrama Occidental (Sistema Central Español). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. (Colección Tesis Doctorales UCM) 321pp.
- Centeno, J.D., Pedraza, J. de, & Ortega Ruiz, L.I. (1983). Estudio geomorfológico, clasificación del relieve de la sierra de Guadarrama y nuevas aportaciones sobre su morfología glaciar. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, 1983; 81 (3-4) 153-171. ISSN: 058375101993.
- Espejo Serrano, R., Guerrero López, F., & Saa Requejo, A. (1988). Caracterización de un Podsol ferro-húmico en el Puerto de la Quesera. *Anal. Edaf. y Agrobiol.* Vol. 47, No. 3-4: 609-621.
- Fernández-Getino García, A. P. (2006). Estudio de la materia orgánica de suelos de la Sierra de Guadarrama, el Páramo y la Alcarria. Tesis Doctoral. UPM.
- Gandullo, J. & Sánchez-Palomares, O. (1976). Contribución al estudio ecológico de la Sierra de Guadarrama. III. Los suelos. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie: Recursos Naturales.*
- Gil, L.; Pardo, F., Velasco, A. & López A. (2004). La transformación histórica del

- paisaje forestal en Madrid. Tercer Inventario Forestal Nacional. Ed: Ministerio de Medio Ambiente. 219 pp. Madrid.
- González Cascón, M.R., López Arias, M., Serrano Játiva, M. & Minaya Gallego, M.T. (1994). Balance de entradas/salidas de cationes en una pequeña cuenca forestal de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama. *Ecología*, (8): 157-166.
- Madrazo García de Lomana, G. (2007). La evolución del paisaje forestal en la vertiente segoviana de la Sierra de Guadarrama. Tesis Doctoral. UAM.
- Hernando Massanet, M.I., Barba Carretero, A.M. & Hernando Costa, J. (2004). Mineralogía de suelos de la Sierra de Guadarrama. Madrid. España. *Rev. C&G*, 18 (1-2).
- Hoyos de Castro, A. & González Parra, J. (1969). *Anal. Edaf. y Agrobiol.* Tomo XXVIII.
- (a) nº 1-2: Estudio genético de algunos suelos de la Sierra de Guadarrama I. Tipos de suelos en función de las características geológicas, botánicas y climáticas: 26-47.
  - (b) nº 5-6: Estudio genético de algunos suelos de la Sierra de Guadarrama II: Composición mecánica de los suelos y naturaleza de la materia orgánica: 399-407.
  - (c) nº 9-10: Estudio genético de algunos suelos de la Sierra de Guadarrama III. Comportamiento de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en la génesis de los suelos: 631-641.
  - (d) nº 9-10: Estudio genético de algunos suelos de la Sierra de Guadarrama IV. Arcillas y su génesis: 643-652.
- Hoyos de Castro, A., Palomar G-Villamil, M.L. & Hernando Costa, J. (1979). Estudio genético del suelo tipo del Alto de los Leones (Madrid). *Anal. Edaf. y Agrobiol.* 38: 751-761.
- Martín de Vidales, J. L. Cala Rivero, V., Álvarez González A. M & Jiménez Ballesta R. (1988). Aportación al estudio de los suelos de la Sierra de Guadarrama. *Ecología*, Nº 2: 53-68.
- Pedraza, J. de (1978). Estudio Geomorfológico de la Zona de Enlace entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid. Inédito. 600 pp.
- Pedraza, J. de (1994). Sistema Central. In: Geomorfología de España. Coordinada por M. Gutiérrez Elorza. Ed. Rueda. ISBN: 84-7207-075-1. 63-100.
- Pedraza, J. de, Centeno, J.D., Acaso, E. & Rubio, J.C. (1987) Círculos de piedra e hidrolacólitos actuales en el Sistema Central Español. In VII Reunión sobre

- el Cuaternario (Santander). Resúmenes. Santander: AEQUA, 1987. 187-190.
- Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Nacional Sierra de Guadarrama. (2016). Proceso de participación pública. Mesa temática: Bosques. Mº de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, Comunidad de Madrid, Junta de Castilla y León.
- Rivas Martínez, S., Gandullo Gutiérrez, J.M., Allúe Andrade, J.L., Montero de Burgos, J.L., & González Rebollar, J.L. (1987). Memoria y Mapas de las series de vegetación de España. Edit. ICONA (Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación), Madrid. 268 pp y 30 mapas.
- Rivas-Martínez, S., Cantó Ramos, P., Fernández-González, F., Molina Abril, J. A., Pizarro Domínguez, J.M., & Sánchez-Mata, D. (1999). Synopsis of the Sierra de Guadarrama vegetation. - In S. Rivas-Martínez et al. (eds.) *Ibericum A.D. MIM. Itinera Geobot.* 13: 189-206.
- Rus, I. (1987): El Paleolítico. En 130 años de Arqueología Madrileña. 20-43. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid.
- Rovira, P. & Vallejo, V.R. (2002). Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma* 107: 109-141.
- Schwenzner, J.E. (1936). Zur Morphologie de Zentral spanichen Holchlandes. *Geographische Abdalungen*. Traducción al castellano por C. Vidal Box, en 1943. *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat.*, 41, 121-147.
- Sierra de Guadarrama. (2006). Documento resumen: Bases para la ordenación, el uso y la gestión del espacio natural de la Sierra de Guadarrama. (Segovia y Ávila). Junta de Castilla y León.
- Soil Taxonomy (2014). Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture (USDA) and Natural Resources Conservation Service (NRCS). 12ª edition.
- Velasco de Pedro, F. & Lozano-Calle, J. M. (1972). Procesos de humificación, dinámica microbiana y Catenas de Suelos en la Sierra de Guadarrama. *Anal. Edafol. y Agrobiol.* T XXXI, nº 3-4: 347-358.
- Visor de Cartografía Geológica continua del Instituto Geológico y Minero de España. <http://info.igme.es/visorweb/>. Visitado el 16-03-17.
- WRB (2014). International Soil Classification System for naming soils and creating legends for Soil Maps. World Resources Reports 106. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.





## ITINERARIO 2

# Suelos agrícolas de la comarca de Las Vegas

Almorox Alonso, J.<sup>1</sup>, Bienes Allas, R.<sup>2</sup>, Cámara Gajate, J.<sup>1</sup>, Espejo Serrano, R.<sup>1</sup>, García-Díaz, A.<sup>2</sup>, Hontoria Fernández, C.<sup>1</sup>, Mariscal-Sancho, I.<sup>1</sup>, Moliner Aramendía, A.<sup>1</sup>, Pérez Arias, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Agraria. Unidad de Edafología. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Agroalimentaria y de Biosistemas. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup>Departamento de Investigación Aplicada y Extensión Agraria. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario.

# Comarca de Las Vegas

## Descripción general de la zona

La comarca de Las Vegas es la principal comarca agrícola de la Comunidad de Madrid con una superficie total de 153 060 ha. Se localiza en el sureste y este de Madrid y, pese a su nombre, no se restringe a las vegas de los ríos. El itinerario recorre parte de la comarca, en particular, los municipios de Colmenar de Oreja (Parada 1), Belmonte del Tajo (Parada 2) y Ciempozuelos (Parada 3) con suelos destinados a la explotación agrícola.

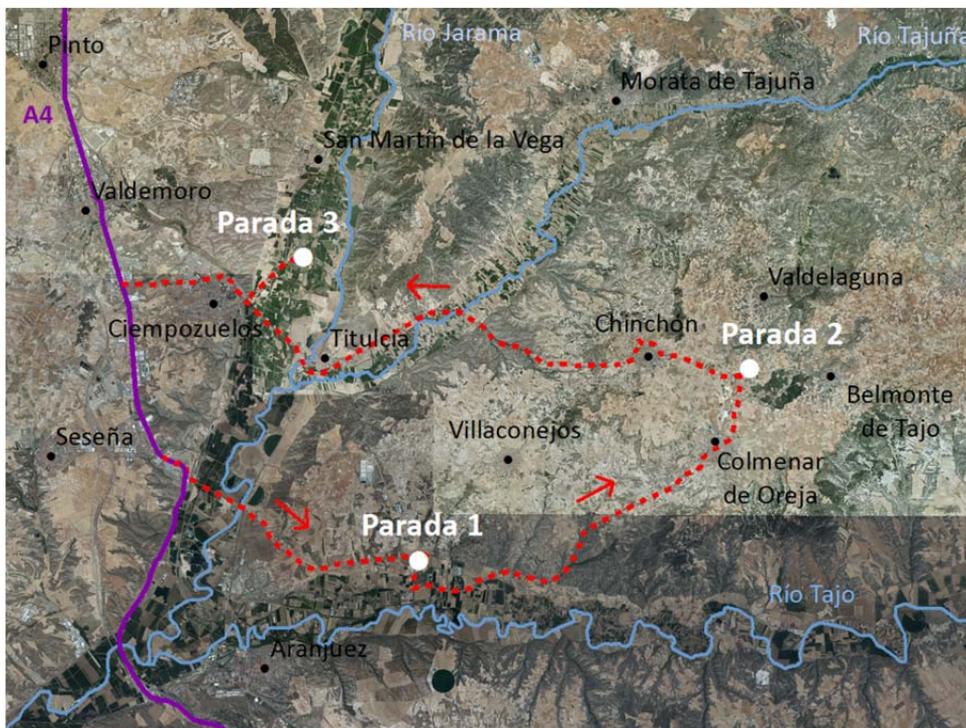


Fig. 1. Imagen general del itinerario 2 con el recorrido programado.

La primera parada del itinerario comienza en la vega del río Tajo al SO del municipio de Colmenar de Oreja en su límite con Aranjuez. La parada se localiza en la Finca La Chimenea (IMIDRA), donde se han abierto dos perfiles de suelo (P1 y P2). El primero se sitúa en una terraza baja del río Tajo y el segundo en una

ladera próxima donde afloran materiales yesíferos del Terciario. En la segunda parada se ubica el tercer perfil (P3) del itinerario, que se localiza en el Centro de Transferencia Tecnológica Vitivinícola “El Socorro” del IMIDRA, situado en el páramo de Chinchón. En la tercera parada visitamos el cuarto perfil de suelo (P4) situado en la vega del río Jarama dentro del municipio de Ciempozuelos.

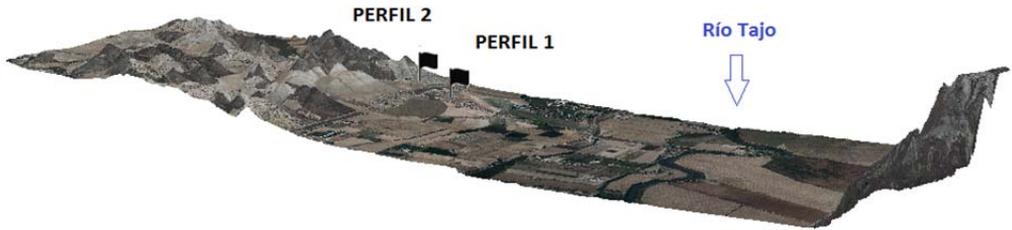


Fig. 2. Localización de la Parada 1 en imagen 3D.

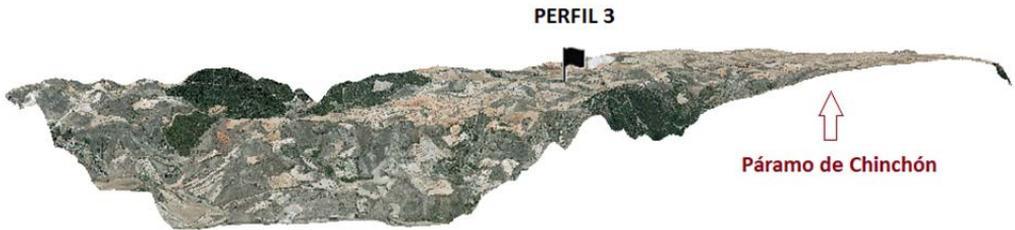


Fig. 3. Localización de la Parada 2 en imagen 3D.

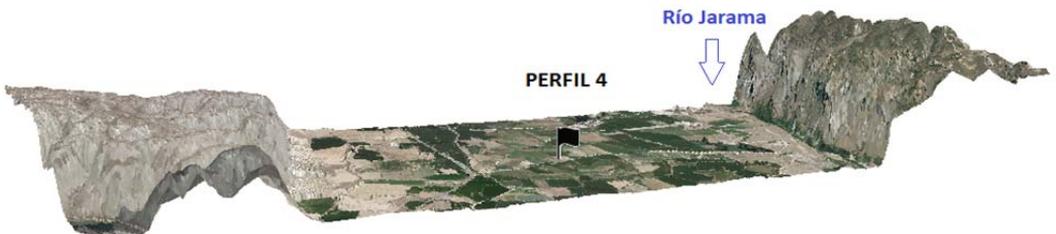


Fig. 4. Localización de la Parada 3 en imagen 3D.

## Clima

### Parada 1. Colmenar de Oreja (Perfiles P1 y P2)

Los datos que caracterizan la primera parada se han obtenido de la estación SIAR (MAPAMA) situada en Aranjuez (2005-2016). Aunque la serie es corta en años, los valores son homogéneos y permiten la comparación de resultados.

La zona de estudio se incluye en el clima mediterráneo continental (Martín-Vidé y Olcina, 2001), caracterizado por un régimen pluviométrico estival con máximos equinocciales (primavera con 128 mm, seguido de otoño con 113.9 mm) y mínimos estivales (33.6 mm), precipitación media anual inferior a 400 mm (373 mm) y temperatura media anual de 14.6 °C (entre 12 y 15 °C), junto a amplitudes térmicas cercanas a los 20 °C (rango térmico de 20.7 °C).

Los inviernos son fríos (temperaturas medias de mínimas absolutas de -3.3; -6.8; -6.4; -5.6 y -4.2 °C de noviembre a marzo) con una mínima absoluta de -11.4 °C en febrero y heladas frecuentes, que se pueden producir de septiembre a mayo. Sin embargo, las nevadas son muy poco habituales debido a la baja cota. En cuanto a temperaturas elevadas, durante julio y agosto se superan fácilmente los 35°C, alcanzando valores medios de máximas absolutas de 38.5, 40.1 y 39.9 °C en junio, julio y agosto, con máxima absoluta de 42.9 °C en agosto.

Se trata de una zona semiárida, próxima a la aridez con una pluviometría media anual de 373 mm y ETo (Allen et al., 1998) anual de 1108 mm. Estos valores dan una idea del déficit hídrico de la zona, limitante al desarrollo vegetal. El índice de Lang es de 25.6 (árido) y el de Martonne de 15.16 (semiárido de tipo mediterráneo). El clima semiárido de la zona acentúa los problemas de erosión hídrica debido a la agresividad climática. Las precipitaciones son generalmente de corta duración (10-15 minutos), y cuando presentan altas intensidades, producen altas tasas de erosión. Aunque se ha observado una disminución de la precipitación anual en los últimos años, los episodios de mayor erosividad se producen en los años más húmedos, observándose un incremento en el valor de la erosividad de la lluvia (García-Díaz et al., 2015). Tras estudiar la precipitación anual en los períodos 1933-1969 y 1995-2012 en Aranjuez, García-Díaz et al. (2015) señalan un significativo aumento de la aridez en el área de estudio. Esto podría indicar un cambio hacia una mayor aridez en el clima y un incremento de la agresividad climática desde el punto de vista de la erosión hídrica.

Aranjuez presenta dentro de la Comunidad de Madrid una aridez acusada, con una precipitación media anual baja (inferior a 400 mm) y una termicidad elevada: temperatura media anual de 14.6 °C, con una media estival de 24 °C y una media invernal de 5.5 °C. Las temperaturas más elevadas coinciden con los meses de menor pluviosidad (Fig. 5) con el consiguiente estrés hídrico estival. A este factor limitante se unen las heladas invernales y primaverales.

Tabla 1. Temperaturas media  $t_m$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitación  $P$  (mm) y evapotranspiración de referencia  $E_{To}$  FAO56 (mm) de Aranjuez. MAPAMA.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
<b>tm</b>	5.1	6.4	9.7	13.3	17.5	22.5	25.8	25.1	20.4	15.1	9	5	14.6
<b>P</b>	30.2	35.5	37.5	51.5	39.2	20.5	6.2	6.9	19.4	51.4	43.1	31.4	372.9
<b>ETo</b>	25.6	40.8	74	99.5	136.7	162.9	189.8	161.8	105.3	61.2	31.4	19.2	1108

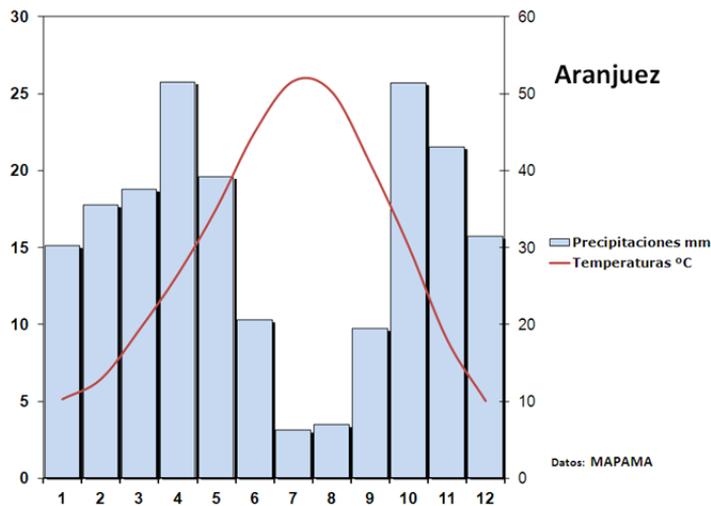


Fig. 5. Diagrama ombrotérmico de Aranjuez. MAPAMA.

El régimen de precipitaciones estacional es P O I V, con máximos equinociales y mínimo estival característicos del Mediterráneo continental. Según la clasificación climática de Köppen la zona presenta un clima BSk (Clima seco: B; estepa fría) característico del sureste peninsular y del valle del Ebro.

## Parada 2. Belmonte del Tajo (Perfil P3)

Los datos se han obtenido de la estación SIAR (MAPAMA) situada en Chinchón (2005-2016). Aunque la serie es escasa en número, los valores son homogéneos y permiten la comparación. Según los datos, el clima es mediterráneo continental (Martín Vidé y Olcina, 2001), caracterizado por un régimen pluviométrico estival con máximos equinociales y mínimos estivales, precipitaciones inferiores a 400 mm (338 mm de media anual) y una temperatura media anual de 14.3  $^{\circ}\text{C}$  y amplitud térmica de 24.1  $^{\circ}\text{C}$ .

Los inviernos son fríos (temperaturas medias de mínimas absolutas de -0.5; -4.4; -7.7, -7.0, -7.6, -5.1, y -0.3 °C de octubre a abril, respectivamente, y mínimas absolutas de -13.6 en febrero. Las heladas son frecuentes y se pueden producir de septiembre a mayo, mientras que las nevadas son muy poco habituales debido a la baja cota. La termicidad es elevada con una temperatura media anual superior a 14 °C (14.3 °C), una media estival de 24.2 °C y una media invernal de 5.3 °C. En los meses de julio y agosto se superan fácilmente los 35 °C, alcanzando valores medios de máximas absolutas de 37.9; 39.7; 39.5 y 35.8 °C en junio, julio, agosto y septiembre, con máxima absoluta de 43 °C en agosto.

La zona es semiárida próxima a la aridez, con una pluviometría media anual de 338 mm y ETo anual de 1098 mm/año. El índice de Lang es de 23.6 (zona árida) y el de Martonne de 13.9 (semiárido de tipo mediterráneo). Las temperaturas más elevadas coinciden con los meses de menor pluviosidad (Fig. 6), con el consiguiente estrés hídrico estival.

Tabla 2. Temperaturas media  $t_m$  (°C), precipitación P (mm) y evapotranspiración de referencia ETo FAO56 (mm) de Chinchón. MAPAMA.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
<b>tm</b>	5	6.2	9.4	12.9	17.1	22.1	25.6	24.9	20.1	14.7	8.7	5	14.3
<b>P</b>	24.6	38	38	59.7	33.9	9.9	4.6	2.5	16.4	43.2	40.7	26.8	338.1
<b>ETo</b>	24.7	39.9	73.1	97.3	137	163.5	185.8	161.1	105.3	60.4	30.5	19.5	1098

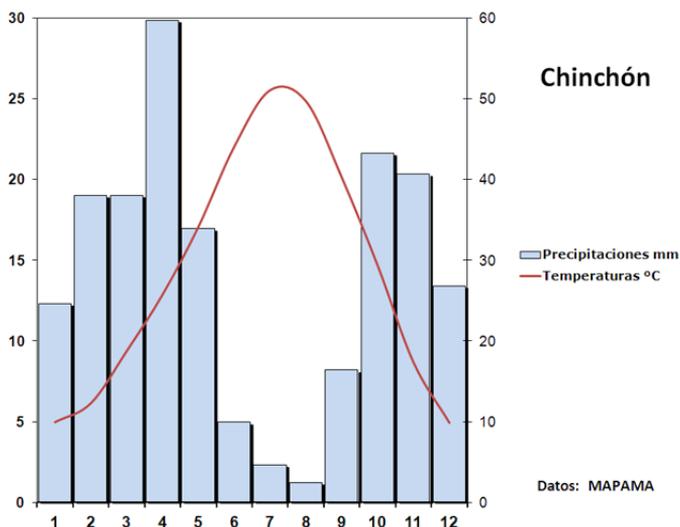


Fig. 6. Diagrama ombrotérmico de Chinchón. MAPAMA

El régimen de precipitaciones estacional es O P I V, con máximos equinociales y mínimo estival característicos del Mediterráneo continental. Según la clasificación climática de Köppen la zona presenta un clima BSk (Clima seco: B; estepa fría).

### Parada 3. Ciempozuelos (Perfil 4)

Al no haber estación meteorológica cercana con datos representativos, se ha seleccionado a título informativo la estación completa de Getafe y se ha trabajado con la serie climatológica 1981-2010 (Tabla 3). El clima es mediterráneo continental (Martín Vidé y Olcina, 2001), caracterizado por un régimen pluviométrico estival con máximos equinociales y mínimos estivales, precipitación media anual inferior a 400 mm (365.4 mm) y una temperatura media anual de 15 °C, y amplitud térmica de 24.6 °C.

Tabla 3. Comparación precipitaciones P (mm) y temperaturas tm (°C). Serie 1981/2010 y 2005/2016. Getafe. AEMET.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
<b>P*</b>	27.6	36	31.4	43.4	33.6	16.3	2.8	4.6	19.8	64.8	44.7	31.1	357.4
<b>P**</b>	29.5	31.6	23.6	38.3	39.3	19.3	9.4	9.4	22.1	50.1	48	44.8	365.4
<b>tm*</b>	6.5	7.5	10.7	14.1	18.2	23.3	27	26.3	21.9	16.6	10.3	6.8	15.8
<b>tm**</b>	5.9	7.5	10.8	12.7	16.8	22.4	25.9	25.4	21.1	15.3	9.8	6.5	15

\*Serie 2005-2016; \*\*Serie 1981/2010.

Los inviernos son fríos (temperaturas mínimas absolutas de -5.4, -8.6, -9, -9.2, -6.2, -2.6, -0.2 °C de noviembre a mayo, respectivamente) con heladas frecuentes, que se pueden producir de septiembre a mayo. Las nevadas son muy poco habituales debido a la baja cota. La termicidad es elevada: la temperatura media es de 15 °C, siendo la media estival de 24.6 °C, y la media invernal de 6.7 °C. Durante los meses de julio y agosto se superan fácilmente los 35°C, alcanzando valores de máximas absolutas de 40.6, 41.6, 40.6 y 40 °C (junio, julio, agosto y septiembre).

Se trata de una zona semiárida próxima a la aridez con una pluviometría media anual de 365 mm y una ETo anual de 1308 mm/año, es decir, nuevamente encontramos un fuerte déficit hídrico que limita el desarrollo vegetal. La aridez acentúa los problemas de erosión hídrica en la zona debido a la agresividad climática. Las temperaturas más elevadas coinciden con los meses de menor pluviosidad (Fig. 7) resultando en un fuerte estrés hídrico estival. El índice de Lang es de 24.3 (árido) y el de Martonne 14.6 (semiárido de tipo mediterráneo).

Tabla 4: Temperatura media  $t_m$  (°C), precipitación P (mm) y evapotranspiración de referencia ETo FAO56 (mm). Getafe. AEMET (1981-2010).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
<b>tm</b>	5.9	7.5	10.8	12.7	16.8	22.4	25.9	25.4	21.1	15.3	9.8	6.5	15
<b>P</b>	29.5	31.6	23.6	38.3	39.3	19.3	9.4	9.4	22.1	50.1	48	44.8	365.4
<b>ETo</b>	28.5	42.1	82.4	104	141.5	187.2	229.3	206.3	138	81.6	40.9	26.9	1308

El régimen de precipitaciones estacional es O I P V, con máximo equinoccial y mínimo estival característicos del Mediterráneo continental. Según la clasificación climática de Köppen, se trata de un clima BSk (Clima seco: B; estepa fría).

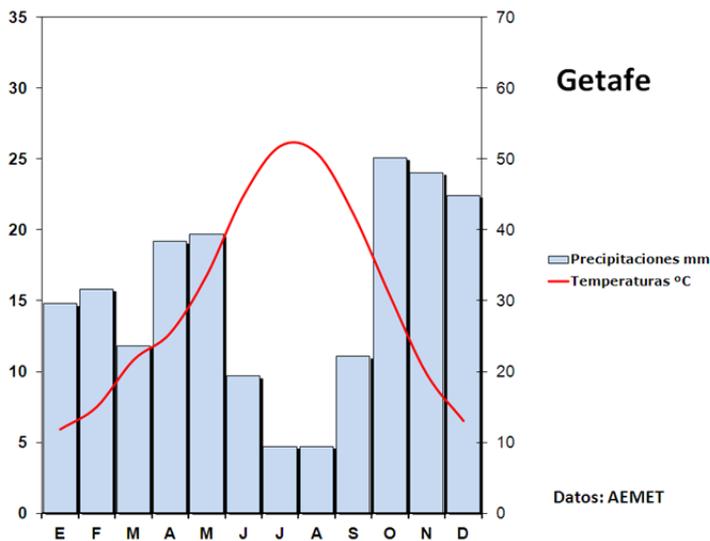


Fig. 7. Diagrama ombrotérmico de Getafe. AEMET.

## Geología y geomorfología

La comarca de Las Vegas ocupa la zona comprendida entre los ríos Jarama, Tajuña y Tajo. Los principales rasgos petrológicos y geomorfológicos de esta comarca se configuraron a lo largo del Terciario y Cuaternario. La denominada Cuenca terciaria de Madrid forma parte de la gran depresión o fosa intracratónica del Tajo, generada en el tránsito Cretácico-Cenozoico como consecuencia de la fracturación y movimiento en la vertical de bloques que se produjo en respuesta a las enormes tensiones generadas en la península ibérica a comienzos del ciclo orogénico alpino. A grandes rasgos viene a ocupar más de la mitad de la superficie de la Comunidad de Madrid.

Dicha depresión dio origen a una gran cuenca endorreica que a lo largo del Terciario se fue rellenando con los sedimentos transportados en un sistema de drenaje precursor del actual, procedente del Sistema Central por el N y NO, la cordillera Ibérica y Sierra de Altomira por el NE y E, y los Montes de Toledo por el S. En la comarca de Las Vegas afloran sedimentos de edad miocena y posterior, acumulados los más antiguos en un ambiente cálido con etapas de gran aridez. El relleno, como corresponde en cuencas endorreicas áridas, se produjo mediante abanicos aluviales en las zonas próximas a los bloques elevados, y mediante sedimentos evaporíticos y calizos en los lagos de la zona central, con una amplia franja de amortiguación entre ambas o llanura lutítica–evaporítica (Fig. 8).

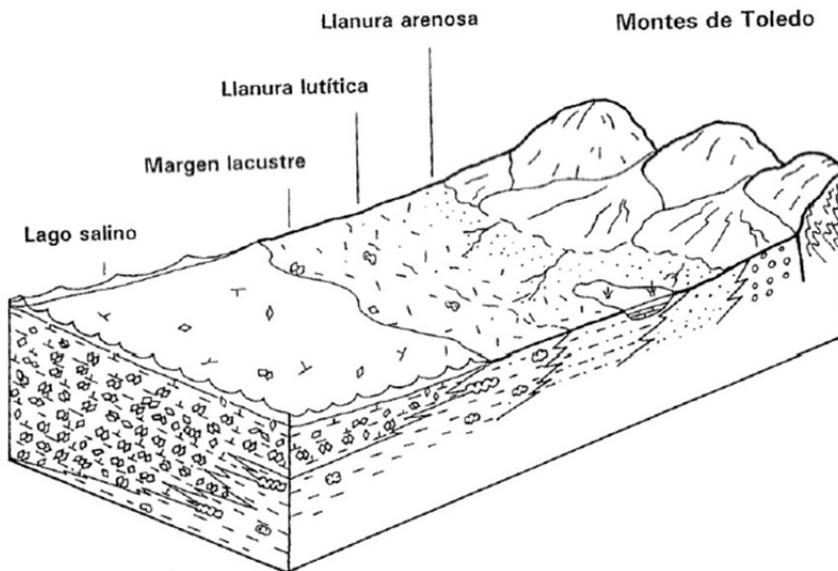


Fig. 8. Modelo sedimentario para la unidad inferior del Mioceno en la zona Sur de la Cuenca de Madrid según Sanz-Montero (1996), citado en Instituto Geológico y Minero de España (2010).

La actividad tectónica intramiocena propició que en determinados periodos una parte importante de la zona central de la cuenca quedara temporalmente emergida generándose procesos kársticos por la disolución de las abundantes sales. Dentro de la serie sedimentaria miocena de la zona se identifican dos importantes fases kársticas que han servido para diferenciar 3 unidades, una inferior, otra intermedia, y otra superior (Fig. 9).

En la zona central, los sedimentos de la unidad inferior generados en un ambiente muy árido, en lagos hipersalinos, eran muy ricos en sales sódicas y cálcicas, principalmente thenardita, glauberita, halita y anhidrita. Testigos de los

mismos son las explotaciones salinas de Espartinas y el Castellar. Los sedimentos miocénicos más antiguos que afloran en la zona corresponden a la facies de los sedimentos lutíticos grises con yesos masivos y son del final de esta unidad inferior (Instituto Geológico y Minero de España, 2010). Los yesos con frecuencia muestran síntomas de haber sustituido isomórficamente a cristales de thenardita, glauberita y anhidrita, por lo que se consideran secundarios (Ordóñez et al., 1991; Sanz-Montero, 1996, Instituto Geológico y Minero de España, 2010). El proceso sustitutorio debió producirse a posteriori a lo largo del Terciario o en el Cuaternario.

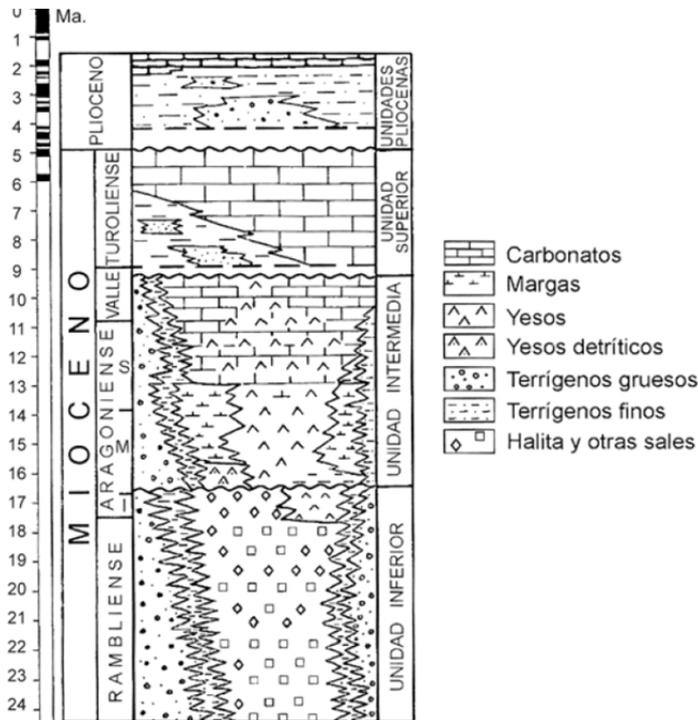


Fig. 9. Esquema con las principales formaciones geológicas del Neógeno de la Cuenca de Madrid y su edad aproximada. Tomado de Díaz Martínez y Rodríguez Aranda (2007).

En la unidad intermedia, el esquema de relleno de la cuenca sigue siendo el mismo, aunque las aguas de los lagos centrales no alcanzaron las concentraciones salinas de la unidad inferior. El ambiente debió ser menos árido, predominando la precipitación de yeso en las zonas más someras y lagunas aisladas, y de caliza y dolomía en las zonas más profundas o en etapas de mayor precipitación. Con frecuencia hacia techo, aparece un nivel margo calizo con nódulos de gran tamaño y forma esferoidal de sílex y ópalo, muy utilizados por el hombre en la prehistoria para fabricar útiles de piedra y más modernamente para construcción, siendo frecuentes en Madrid los edificios que muestran estos nódulos en sus muros.

Los sedimentos de la unidad superior son de carácter fluvio-lacustre con abundantes canales fluviales que generaron depósitos detríticos, estando los interfluvios ocupados por lagunas en las que precipitó la caliza de los páramos, tan utilizada en las construcciones nobles de Madrid. La Fig. 10 muestra de forma esquemática la secuencia litológica de la zona central de la Cuenca de Madrid en un punto situado un poco al N de la comarca de Las Vegas.

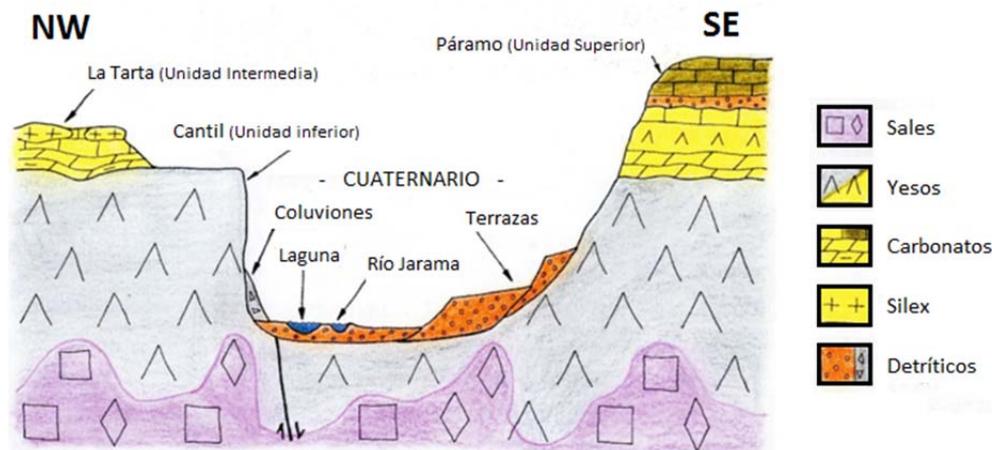


Fig. 10. Esquema litológico en el entorno de "La Tarta", cerca de Rivas, al N de la comarca de Las Vegas, según Díaz Martínez y Rodríguez Aranda (2008).

A finales del Mioceno, con la cuenca colmatada, se inicia el proceso de rotura de la cuenca endorreica que empieza a drenar al Atlántico, instalándose una red fluvial al principio poco jerarquizada, que se iría progresivamente encajando en la superficie de los páramos. Es en este periodo, ya en el Plioceno, cuando las calizas del páramo se karstifican y adquieren ese aspecto típico con perforaciones tubulares de origen radicular. La descarbonatación de las calizas dio paso a la generación de las típicas "terra rossa" tan frecuentes entre las calizas del páramo. El basculamiento de la península ibérica hacia el oeste agudizaría el proceso de erosión de la superficie colmatada de la Cuenca de Madrid, y el desmembramiento del páramo. En la "Alcarria" o páramo de Chinchón, hacia el oeste, aparecen depósitos detríticos fluviales pliocenos y discordantes sobre éstos costras travertínicas que engloban cantos de cuarcita.

A lo largo del Cuaternario se han ido configurando los amplios valles de la actual red fluvial, que se ha ido encajando progresivamente en los materiales terciarios, con su cortejo de terrazas fluviales y abanicos aluviales procedentes de los relieves circundantes, constituidos en su mayor parte por materiales detrítico-evaporíticos miocénicos. Los procesos de karstificación y la tectónica reciente han alterado la disposición de algunos valles y terrazas fluviales con

procesos de capturas como la del río Manzanares por el Jarama y favorecido la generación de lagunas. Los acantilados yesíferos con valles colgados en la orilla derecha del Jarama son testigo de esta actividad tectónica reciente.

En la Fig. 11 se han situado los cuatro perfiles a estudiar en este itinerario. El perfil 1 se ha desarrollado sobre los sedimentos de una terraza baja situada en la margen derecha del río Tajo, próxima a depósitos de abanicos aluviales procedentes de las áreas colindantes constituidas por materiales detrítico-evaporíticos de la unidad miocénica inferior. Se trata de un depósito fluvial de textura limo arcillo arenosa con cantos aislados de cuarcita. El perfil 2 se sitúa sobre sedimentos evaporíticos de la unidad miocénica inferior, constituida por yesos sacaroideos alternantes con margas grises yesíferas, en un paisaje colinado generado por el encajamiento de la red de drenaje cuaternaria en los materiales miocénicos siendo su principal característica el alto contenido en yeso. El perfil 3 se sitúa en la "Alcarria" o páramo de Chinchón sobre materiales mio-pliocénicos calizos de la unidad miocénica superior. En la parte inferior del perfil se observa un paleosuelo muy rojo, con evidentes síntomas de decarbonatación; sobre él se aprecia un recubrimiento detrítico posterior, también fuertemente edafizado, procedente tal vez de materiales pliocénicos próximos más elevados.

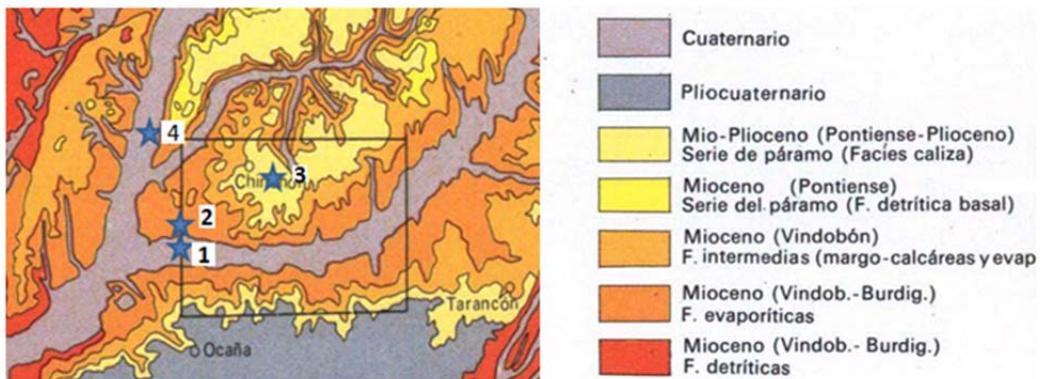


Fig. 11. Síntesis geológica de la zona de estudio. Instituto Geológico y Minero de España (1975).

Por último, el perfil 4 se ha descrito en unos sedimentos fluviales holocénicos de la vega del Jarama aguas abajo de San Martín de la Vega, antes de su confluencia con el río Tajuña. Los sedimentos presentan escasos síntomas de edafización como corresponde a unos materiales tan jóvenes.

## Vegetación y usos

La comarca de Las Vegas es una zona muy antropizada con un paisaje agrícola que domina el 57% del territorio. De estas tierras agrícolas, el 73% está dedicado a cultivos en secano, principalmente, olivo, cereales y en menor medida la vid. El cultivo en regadío ocupa el restante 27% y está dominado por el maíz, seguido del melón y la patata. Las tierras ocupadas por erial a pastos, generadas habitualmente por el abandono agrícola en las zonas marginales, ocupan el segundo puesto tras las tierras agrícolas con un 16% del territorio. En tercer lugar, el terreno forestal ocupa casi el 10% del territorio.

En la primera parada del itinerario nos encontramos con los cultivos propios de regadío de la vega del río Tajo, junto con cultivos leñosos y herbáceos en secano localizados en las laderas del valle (Fig. 12). Como se ha comentado anteriormente, el perfil 1 se localiza en una terraza baja del río y el 2 en una zona de antiguas terrazas, hoy desmanteladas, donde afloran materiales yesíferos del Mioceno. En ambos casos, nos encontramos con la presencia dominante del olivar al localizarse la parada en el Centro de Olivicultura de la Finca La Chimenea.

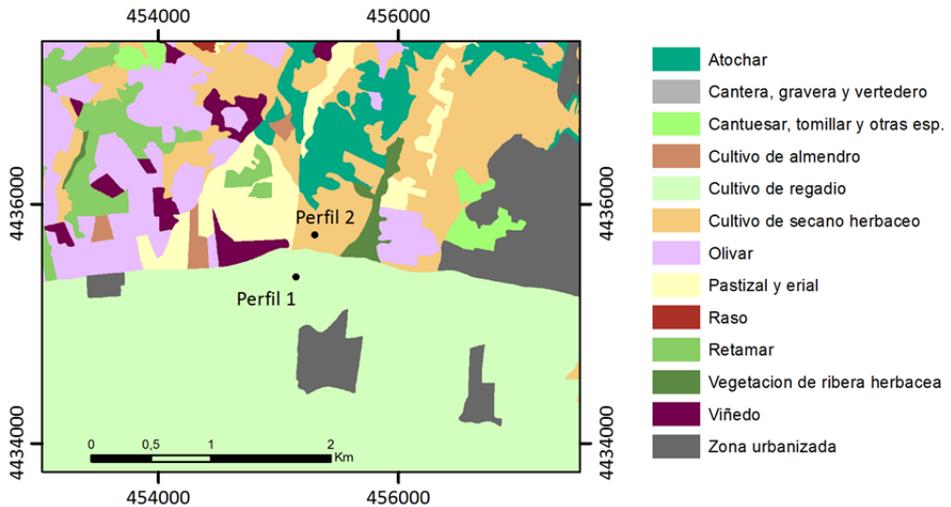


Fig. 12. Vegetación y usos en la Parada 1. Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid (2006).

La zona de terrazas bajas se caracteriza por la presencia de cultivos extensivos de regadío y secano como maíz, cebada, trigo, así como cultivos intensivos e invernaderos. En una pequeña franja del río encontramos la vegetación típica de bosque de ribera con presencia de sotos de fresnos (*Fraxinus angustifolia*), sauces (*Salix sp.*), olmos (*Ulmus minor*), chopos (*Populus sp.*), carrizales (*Phragmites Australis*) y juncales (*Juncus sp.*) en las zonas húmedas.

El olivar junto con otros cultivos leñosos con menor presencia como el viñedo y el almendro, así como cultivos extensivos en secano (cereal, leguminosa) constituyen los principales cultivos de las laderas donde afloran los yesos y margas yesíferas. Las altas temperaturas y las escasas lluvias hacen que en la época de estiaje las plantas estén sometidas a un elevado estrés hídrico con serias dificultades para desarrollarse. Las heladas frecuentes de octubre a marzo determinan la parada vegetativa que, en el caso del olivo es pronunciada, y la producción se ve afectada con una marcada vecería.

La escasa cobertura vegetal viene determinada no solo por el carácter semiárido de la zona sino también por la litología. Así, en la distribución y composición florística de la vegetación tiene relevancia la presencia de suelos yesíferos. En las partes altas de los cerros yesíferos se observa el esparto (*Stipa tenacissima*) acompañado de la retama de bolas (*Retama sphaerocarpa*), el tomillo (*Tymus sp.*) y el albardín (*Lygeum spartum*). Donde el contenido en yeso es más elevado encontramos la ontina (*Artemisia herba-alba*), la santolina (*Santolina chamaecyparissus*) y la saponaria (*Saponaria sp.*). Los espartales son formaciones vegetales abiertas con una serie de adaptaciones morfológicas y fisiológicas que le han permitido colonizar con éxito los adversos ambientes semiáridos mediterráneos (Fig. 13).



Fig. 13. Espartal con retama y al fondo olivares.

La segunda parada del itinerario tiene lugar en la zona del páramo de Chinchón, donde dominan los cultivos en secano, principalmente la vid, el olivo y los cereales (Fig. 14). En menor medida encontramos eriales y pastizales, así como espartales. También encontramos terrenos forestales, principalmente, encinares y pinares. Las masas boscosas dominadas por la encina (*Quercus ilex* subsp. Ballota) contienen ejemplares de quejigos (*Quercus faginea*), así como enebro (*Juniperus oxycedrus*), olivilla (*Phillyrea angustifolia*), cornicabra (*Pistacia terebinthus*) y coscoja (*Quercus coccifera*). Los matorrales más significativos en el ámbito calizo son los romerales (*Rosmarinus officinalis*), junto con tomillares (*Thymus vulgaris*, *Teucrium polium* subsp. Capitatum, *Thymus mastichina*), ontinares (*Artemisia herba-alba*), efedrales (*Ephedra nebrodensis*; *Ephedra distachia*), aulagares (*Genista scorpius*) y salviares (*Salvia lavandulifolia*).

La tercera y última parada del itinerario se localiza en otro paisaje agrícola, esta vez en la vega del río Jarama, en el término municipal de Ciempozuelos (Fig. 15). La zona está dominada por cultivos herbáceos en regadío, principalmente patatas, alcachofas, maíz y tomates, algunos bajo condiciones ecológicas como la zona donde se localiza el perfil 4. Con respecto a la vegetación natural, en la ribera del río encontramos formaciones vegetales riparias. Más cerca del agua dominan las saucedas (*Salix spp.*), algo más retiradas las choperas y alamedas (*Populus alba* y, en menor medida, *Populus nigra* y *Populus x canadensis*) junto con algunos ejemplares de fresno (*Fraxinus angustifolia*). Como sustitución de las saucedas crecen los cañaverales (*Arundo donax*), carrizales (*Phragmites australis*), espadañales (*Thypha spp.*) y otra vegetación hidrófila. Los tarajales (*Tamarix gallica* y *Tamarix canariensis*) aparecen en suelos con cierta salinidad, aunque a veces sin ella. En cuanto a las laderas donde afloran los materiales yesíferos aparecen matorrales como los jabunales (*Gypsophila struthium*), frankeniars (*Frankenia thymifolia*), sisallares (*Salsola vermiculata*) y tomillares (*Thymus zygis*, *Thymus lacaitae*); cuando el suelo es más profundo encontramos efedrales (*Ephedra fragilis*).

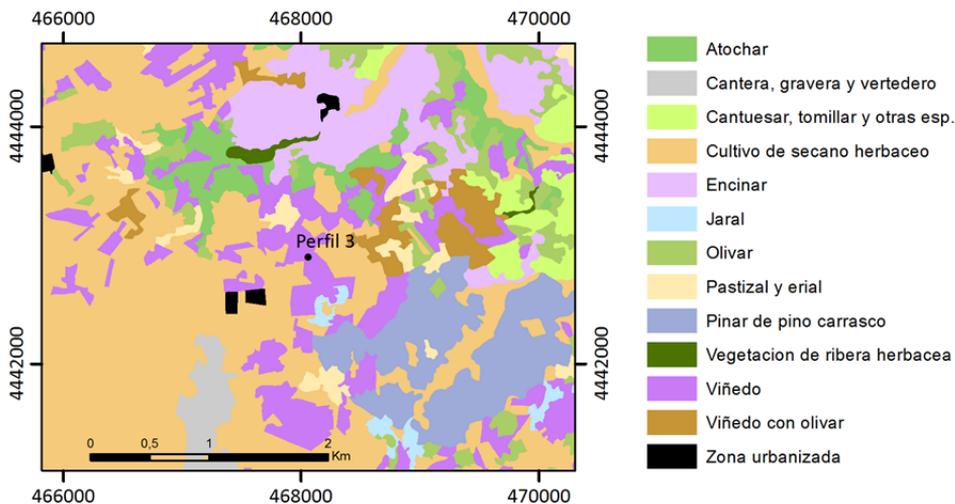


Fig. 14. Vegetación y usos en la Parada 2. Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid (2006).

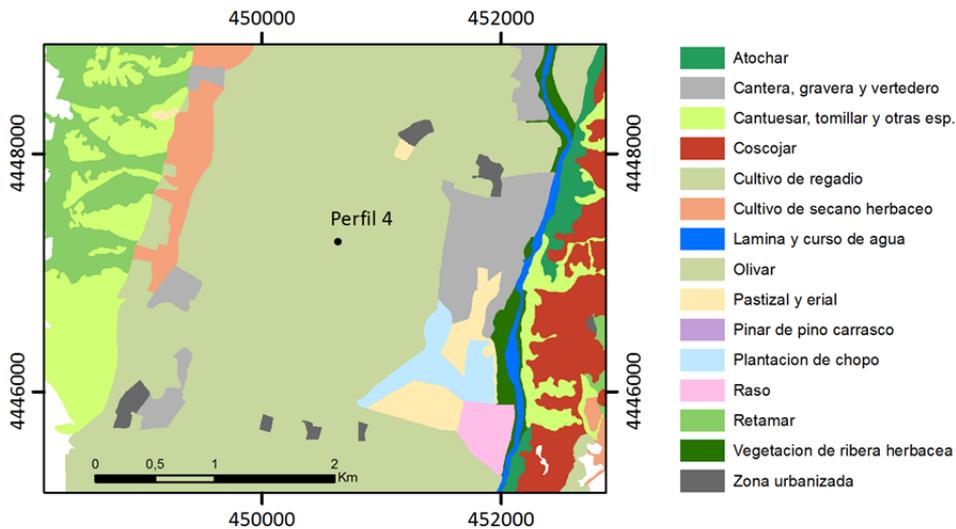


Fig. 15. Vegetación y usos en la Parada 3. Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid (2006).

## Suelos

La distribución de los diferentes órdenes de la Soil Taxonomy presentes en el área de estudio se muestra en la Fig. 16. La litología y la geomorfología son los principales factores formadores de los suelos del itinerario 2. Así, en las superficies de mayor cota, correspondientes a las calizas del páramo y de mayor estabilidad geomorfológica, ha tenido lugar la descarbonatación de los horizontes superiores seguida de la iluviación de la arcilla. En consecuencia, es frecuente la presencia de horizontes argílicos, resultantes de la acumulación de arcilla traslocada de horizontes superiores, con notable contraste con otros horizontes (ócrico, cálcico) (Fig. 17a y 17e), y que definen suelos de alto grado relativo de evolución, asociados en todos los casos observados, a las superficies geomorfológicamente más estables del páramo. El movimiento de carbonatos (Fig. 17d) es generalizado en toda la comarca, y especialmente en los suelos del páramo, glaciares y terrazas altas del río Jarama.

Estos *Alfisol* presentan espesores muy variables, pudiendo encontrar desde suelos muy profundos hasta otros con contacto lítico (Fig. 17a y 17f). En ocasiones, estas arcillas han sufrido un proceso de rubefacción dando lugar a las conocidas “terra rossa” (Fig. 17b y 17c). Localmente este proceso llega a ser lo suficientemente intenso como para dar lugar a la aparición de *Rhodoxeralfs*, si bien este Gran Grupo ocupa zonas restringidas. Es, sin embargo, el Gran Grupo *Haploxeralf* el más representativo del orden *Alfisol*, siendo el *Calcic* el subgrupo dominante seguido del *Typic*.

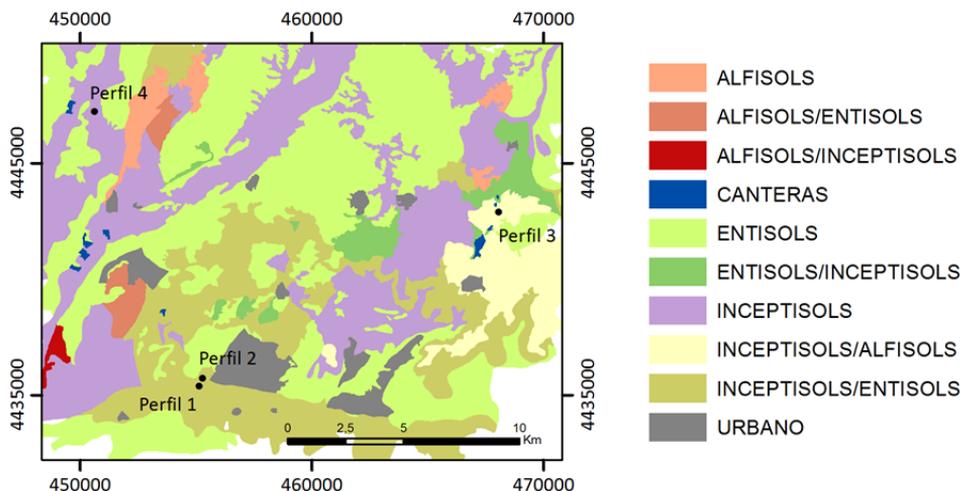


Fig. 16. Mapa de Órdenes de Suelos según la Soil Taxonomy con ubicación de los perfiles del itinerario 2. Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid (2006).

La erosión ha ido arrancando material de los horizontes superficiales (epipedones) de estos suelos del páramo, llegando a dejar al horizonte argílico en superficie (Fig. 17e). Y en aquellos lugares donde los procesos erosivos han actuado con mayor intensidad, los *Alfisolos* dan paso a los *Inceptisoles* y *Entisoles*, estos últimos en las zonas de mayor pendiente, como son los bordes del páramo y laderas.

Dentro del Orden *Inceptisols*, en esta zona de páramo hay un claro predominio territorial de suelos con horizonte de diagnóstico cálcico, siendo el Gran Grupo de los *Calcixerepts* el que tiene mayor protagonismo (Fig. 18a).

La acumulación de carbonato se presenta en formas muy diferentes: pseudomicelios, nódulos con distinto grado de dureza, y acumulaciones laminares con distintos grados de cementación; éstas llegan en ocasiones a la formación de horizontes petrocálcicos. La presencia de costras calizas es frecuente en superficies dedicadas a viñedo y olivar, y suele presentarse fragmentada como consecuencia de las labores agrícolas profundas, lo que podría permitir al sistema radicular del olivo y del viñedo aprovechar horizontes C potencialmente aptos. Así mismo, han sido observados fenómenos de horizontalización de raíces en el contacto con horizontes muy ricos en carbonato cálcico, no necesariamente cementados. Cabe destacar, en este sentido, que los valores de caliza activa obtenidos, en los horizontes con mayores concentraciones de carbonato cálcico, son en general moderadamente bajos.



a) *Calcic Haploxeralf* (Villarejo de Salvanés).



b) *Calcic Rhodoxeralf* (Villarejo de Salvanés).



c) Terra rossa (Valdilecha).



d) Calcan recubriendo las caras de los agregados.



e) *Calcic Haploxeralf* (Morata de Tajuña).

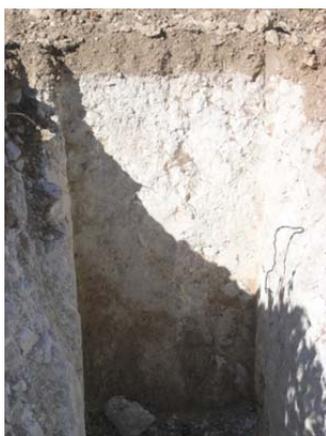


f) *Lhytic Haploxeralf* (Valdilecha).

Fig. 17. Ejemplos de Alfisoles en la zona de estudio.

Si bien la presencia de roca en superficie en las unidades del páramo es muy local, es frecuente que aparezca roca caliza a profundidad relativamente escasa, constituyendo un factor potencialmente limitante para el desarrollo radicular.

Conforme descendemos de cota y abandonamos el páramo, entramos en el dominio de los yesos sacaroideos alternantes con margas grises yesíferas (serie gris). El relieve de esta formación geológica es ondulado y los suelos que encontramos son *Inceptisoles* y *Entisoles* (Fig. 18b), en ambos casos de espesores muy variables en función de la intensidad con la que han actuado los procesos erosivos. En general, son suelos de bajo contenido en materia orgánica, débil estructura y muy erosionables.



a) *Typic Calcixerept* (Villarejo de Salvanés).



b) *Typic Xerorthent* sobre margas yesíferas (Arganda).

Fig. 18. Ejemplos de Inceptisoles en la zona de estudio.

La presencia de yeso secundario (vermiforme) es así mismo un factor localmente relevante, habiendo sido observada con cierta frecuencia en suelos de posiciones de ladera baja y fondo de valle, desarrollados sobre materiales de la base de la serie del páramo y pequeños aluviales.

En contraste con las laderas bajas con perfiles desarrollados sobre margas yesíferas y abundante presencia de olivar, los cerros de yesos masivos muestran con carácter general una cobertura vegetal natural (atochares y otros matorrales), con presencia de roca próxima a la superficie y predominio de *Lhitic Xerorthent*. Sobre materiales margosos y yesíferos de la base del páramo, son frecuentes suelos con fuertes rasgos erosivos, favorecidos por las pendientes existentes (*Typic Xerorthent*).

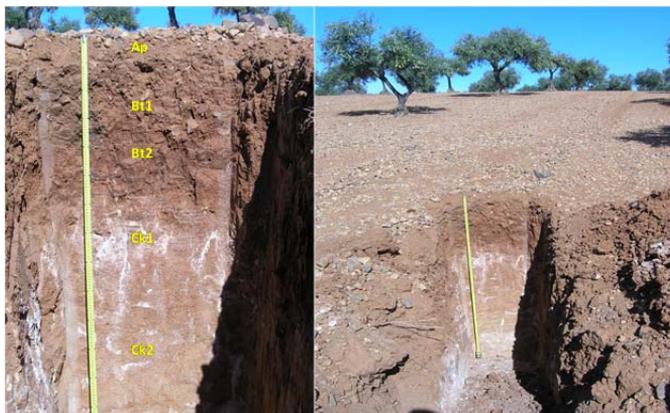
A continuación, en un nivel inferior, encontramos suelos desarrollados sobre las terrazas del Jarama y laderas coluvionadas en la base del páramo, estas últimas muy extendidas en el término municipal de Arganda del Rey.

La pedregosidad de los suelos de estas terrazas altas del Jarama es notable, tanto en la superficie como en el seno del perfil (*Calcixerepts* en fases pedregosas) (Fig. 19a). Por el contrario, en las superficies de coluviones situados en la base del páramo, esta pedregosidad es mayoritariamente superficial (Fig. 19b). Con frecuencia, la acumulación de carbonato cálcico es muy notable, generando distintos grados de encostramiento.

Las terrazas medias, tanto del río Tajo como del Jarama, están bien representadas por el orden *Inceptisol*, especialmente por el Gran Grupo *Haploxerept* y, en menor medida, por los *Calcixerept*. Los *Fluvents* sólo los encontramos dentro de esta comarca restringidos a zonas de vega, los márgenes de ríos y barrancos, pero aun así no son mayoritarios sobre estas superficies geomorfológicas. Los *Orthents* son el suborden dominante, prácticamente representado en exclusiva por el Gran Grupo de los *Xerorthents*.



a) *Typic Calcixerept* sobre una terraza alta del río Jarama (Arganda del Rey).



b) *Calcic Haploxeralf* desarrollado sobre un glaciares en Campo Real.

Fig 19. Ejemplos de pedregosidad en dos suelos de la zona de estudio.

En resumen, en la zona dominan suelos saturados, generalmente ricos en carbonato cálcico, con perfiles contrastados en textura en el caso de los *Xeralfs*. Como horizonte superficial solo encontramos el horizonte ócrico; entre los subsuperficiales, destaca el horizonte cálcico, con presencia significativa de argílico y cámbico, y presencia local de los horizontes petrocálcico y gípsico.

Entre los *Inceptisols*, el Gran Grupo dominante es el de *Haploxerepts*, que incluye los Subgrupos *Gypsic*, *Fluventic*, *Calcic* y *Typic*. El subgrupo *Gypsic* se localiza en la base de los páramos, que generalmente se asocian con depósitos cuaternarios. El subgrupo *Fluventic* sólo se produce en los lechos y valles de las corrientes, mientras que los *Haploxerepts* cálcicos se encuentran repartidos por toda la comarca. Por último, el resto de suelos de este Gran Grupo pertenece al subgrupo *Typic Haploxerepts*.

La actividad erosiva, que es apreciable en colinas y laderas con pendientes suaves, determina la presencia frecuente de *Entisoles*. Durante la estación lluviosa ocurre el anegamiento, lo cual sugiere un drenaje pobre. Sin embargo, la hidromorfía puede considerarse local y generalmente restringida a horizontes inferiores. Los cementos de carbonato cálcico en forma de celosía son frecuentes en los horizontes C, no asociados con los horizontes de diagnóstico cálcico debido a su bajo contenido de carbonatos.

Por último, en la Fig. 20 se muestra la distribución de los diferentes Subgrupos de suelos (Soil Survey Staff, 2014) en la zona de estudio. Esta información procede en gran parte de calicatas descritas por el IMIDRA y el resto del Mapa de Suelos de la Comunidad de Madrid a escala 1:50 000.

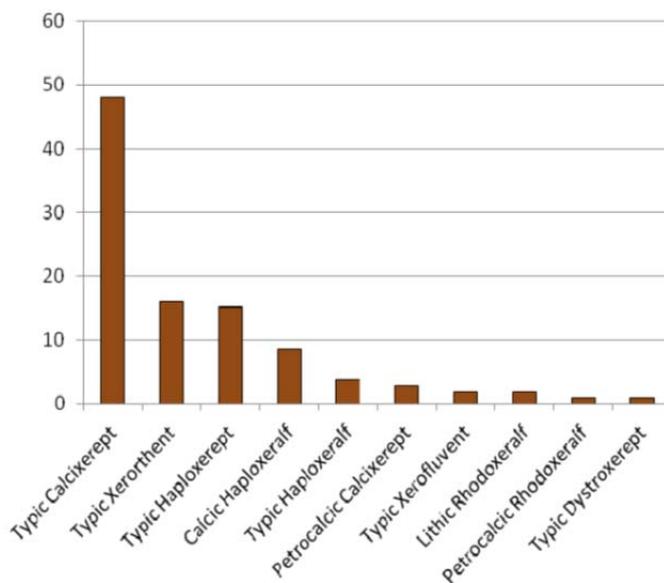


Fig. 20. Distribución (%) de Subgrupos (Soil Survey Staff, 2014) según los perfiles de suelos estudiados en la Comarca Las Vegas. Consejería de Medio Ambiente, Administración Territorial y Ordenación del Territorio de Madrid.

## Capacidad agrológica de los suelos

Los cuatro perfiles de este itinerario están desarrollados sobre litologías contrastantes. No es de extrañar, por tanto, que los suelos de estos cuatro perfiles presenten aptitudes muy diferentes de cara a su uso.

La potencialidad de un territorio de cara a sus usos del suelo, podemos deducirla a partir de los mapas de clases agrológicas, los cuales tienen por objeto evaluar la capacidad del suelo y valorar su aptitud para soportar diversos usos. Este tipo de mapas clasifica el suelo en distintas clases que tienen en cuenta características y propiedades como son: el edafoclima, la pendiente, la profundidad del suelo, la textura, la pedregosidad, el grado y el riesgo de erosión, la capacidad de retención de agua, la facilidad o dificultad para el laboreo agrícola, etc.

La Fig. 21 muestra el mapa de clases agrológicas de la zona en la que se ubican los perfiles P1 y P2. El perfil P1 pertenece a la Clase 3. Se trata de suelos aptos para el laboreo, pero con limitaciones importantes que restringen la elección de plantas o requieren prácticas moderadas de conservación o ambas cosas. Estos suelos se caracterizan por tener una profundidad efectiva media en torno a los 50 cm, con una permeabilidad entre moderada y baja, una pedregosidad inferior 10-15 % y una pendiente no superior 4-6%, sin embargo la textura no es una limitación. Este se encuadra en la subclase sc, indicando que hay limitaciones al desarrollo radicular y limitaciones climáticas.

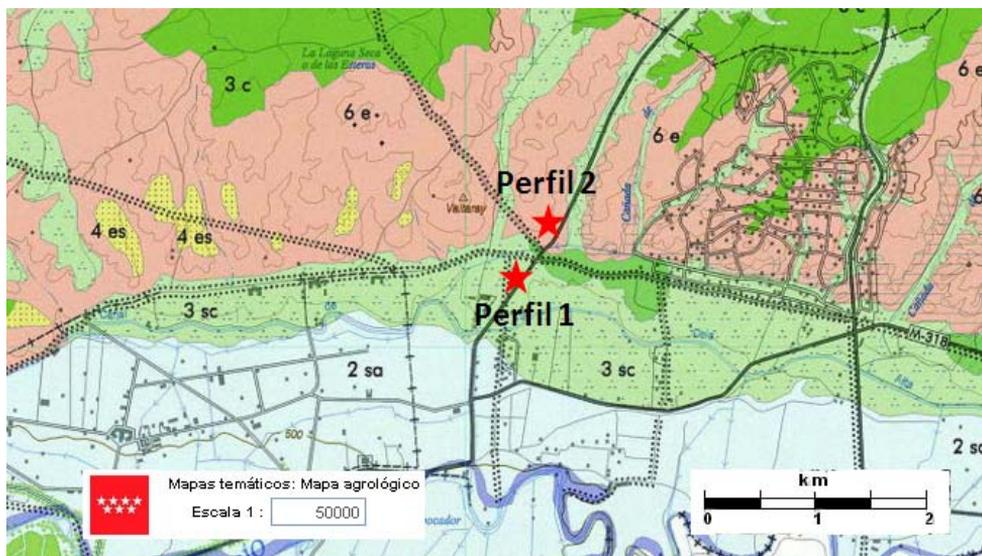


Fig. 21. Mapa de clases agrológicas correspondientes a los perfiles 1 y 2. Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación Territorial de la Comunidad de Madrid (2011).

Por el contrario, el perfil P2 pertenece a la Clase 6. Esta clase indica que los suelos tienen severas limitaciones que los hacen normalmente inadecuados para el cultivo y que restringen su uso a prados, pastizales, bosques o áreas naturales. La subclase e indica que hay problemas serios de erosión y escorrentía. No obstante, vemos como en estos suelos se han implantado olivares, los cuales tendrán numerosas limitaciones que afectarán a su desarrollo.

Estos suelos desarrollados sobre margas yesíferas presentan diferentes y serios problemas de erosión. La erosión entre regueros produce la pérdida de material de una capa más o menos uniforme en todas las parcelas. En cambio, la erosión se hace más evidente cuando la escorrentía se concentra y se observan numerosos regueros y cárcavas que se forman en algunos terrenos de las parcelas. Los primeros pueden desaparecer al labrar el terreno, sin embargo cuando esta erosión llega a producir cárcavas dificultan seriamente el laboreo y producen una rápida degradación del terreno. En el área de estudio se pueden alcanzar cárcavas de hasta 60 cm de profundidad.

Los suelos representados por el perfil 3 pertenecen a la clase 3 (Fig. 22) y se hallan sujetos a importantes limitaciones en su cultivo presentando serios riesgos de deterioro. No obstante, se les puede calificar como medianamente aptos, pudiendo cultivarse de manera regular, siempre que se les aplique una rotación de cultivos adecuada o un tratamiento pertinente. Sus pendientes son generalmente bajas, si bien en aquellos lugares de topografía más ondulada pueden llegar a ser moderadas, en consecuencia, el grado de erosión es generalmente bajo a moderado. No obstante, se recomiendan prácticas de manejo del suelo encaminadas a su conservación.

Sobre estos suelos encontramos viñedos, olivares y cereal. En el caso de los cultivos leñosos, pueden darse con cierta frecuencia problemas de profundidad efectiva útil del suelo. La subclase c indica que las principales restricciones al cultivo son de índole climático.

El perfil 4 es un perfil típico de vega con suelo profundo. Este suelo pertenece a la clase agrológica 2 (Fig. 23), integrada por suelos sujetos a limitaciones moderadas en el uso. Presentan un peligro limitado de deterioro. Se trata de buenos suelos aptos para la mayoría de los cultivos, mediante labores adecuadas de fácil aplicación. Presentan una profundidad útil moderadamente alta y, en el caso de estar situados en planicie (como es el caso que nos ocupa), pueden inundarse ocasionalmente cuando la textura es fina. En estos casos puede necesitar de un drenaje. Estos factores son a nivel local, pero su repercusión puede ser alta, por lo que requieren de una atención especial.

Estos suelos pueden necesitar prácticas como rotaciones para la conservación de la fertilidad de los suelos, mecanismos de control del agua o métodos de



## PARADA 1: COLMENAR DE OREJA

### Perfil 1. Terraza del Valle del Tajo



Fig. 24. Olivar junto al Perfil 1 en el Centro de Olivicultura de La Chimenea.

### INFORMACIÓN ACERCA DEL SITIO

**Localidad:** Colmenar de Oreja

**Coordenadas:** 40° 04' 03.43" N  
3° 31' 33.30" W (WGS1984)

**Altitud:** 522 m s. n. m.

**Vegetación o uso:** olivar

**Material original:** depósito aluvial

**Posición fisiográfica:** terraza

**Orientación:** SE (153 °)

**Pendiente:** 1.4 %

**Manejo:** intensivo

**Pedregosidad:** 1%

**Drenaje:** bueno

**Clasificación:**

**Typic Calcixerept** (Soil Survey Staff, 2014)

**Cambisol Calcaric (Aric, Ochric)** (WRB, 2014)

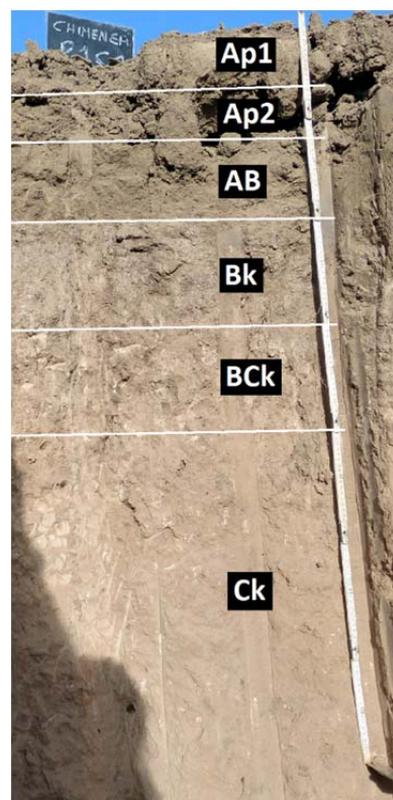


Fig. 25. Perfil 1 en La Chimenea.

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof. cm	Descripción
<b>Ap1</b>	0-10	Húmedo; matriz de color 10YR 4/4 en húmedo y 10YR 5/3 en seco; textura franco arenosa; escasos elementos gruesos (<2%), heterométricos de cuarcita rodada; estructura granular, fina y moderada; poros abundantes; consistencia de firme a friable en húmedo, ligeramente dura en seco; raíces comunes, finas y muy finas; límite inferior neto y plano.
<b>Ap2</b>	10-22	Húmedo; matriz de color 10YR 4/4 en húmedo y 10YR 5/3 en seco; textura franco arenosa; sin elementos gruesos; estructura granular, media y moderada; consistencia dura en seco; compacidad moderada; raíces comunes, finas y muy finas; límite inferior neto y plano.
<b>AB</b>	22-38	Húmedo; matriz de color 10YR 4/4 en húmedo y 10YR 5/4 en seco; textura franco arenosa; sin elementos gruesos; estructura angular, media y fuerte; poros abundantes; consistencia dura en seco; compacidad muy alta; raíces comunes, muy finas, finas y medias; límite inferior neto y plano.
<b>Bk</b>	38-58	Húmedo; matriz de color 10YR 5/4 en húmedo y 10YR 6/3 en seco; textura franca; sin elementos gruesos; estructura angular, fina y fuerte; consistencia dura en seco; compacidad muy alta; raíces comunes, finas y muy finas, con horizontalización en el límite inferior; abundantes pseudomicelios de CaCO <sub>3</sub> ; límite inferior gradual y plano.
<b>Bck</b>	58-80	Húmedo; matriz de color 10YR 5,5/4 en húmedo y 10YR 7/2.5 en seco; textura arenosa franca a franco arenosa; sin elementos gruesos; estructura subangular, media y débil; consistencia dura en seco; compacidad muy alta; raíces muy pocas y finas; pseudomicelios de CaCO <sub>3</sub> comunes; límite inferior gradual y plano.
<b>Ck</b>	80-155	Húmedo; matriz de color 10YR 7/7 en húmedo y 10YR 7.5/3 en seco; textura arenosa franca a franco arenosa; sin elementos gruesos; estructura masiva; compacidad muy alta; raíces muy pocas y finas; concreciones 5% de nódulos de CaCO <sub>3</sub> comunes.

## DATOS ANALÍTICOS

Tabla 5. Elementos gruesos (EG), fracciones texturales, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da) del perfil 1.

Hor.	Prof. cm	EG (%) (<2 cm)	Arena (%) (2000-50 $\mu\text{m}$ )	Limo (%) (50-2 $\mu\text{m}$ )	Arcilla (%) (<2 $\mu\text{m}$ )	CC (% vol)	PMP (% vol)	Da ( $\text{Mg m}^{-3}$ )
<b>Ap1</b>	0-10	3.1	11	51	38	26.8	8.6	1.41
<b>Ap2</b>	10-22	6.7	23	40	37	26.4	9.5	1.43
<b>AB</b>	22-38	0.8	22	46	32	25.5	11.2	1.60
<b>Bk</b>	38-58	0.4	17	39	44	24.0	9.5	1.43
<b>Bck</b>	58-80	6.7	18	42	40	23.0	7.6	1.46
<b>Ck</b>	80-155	1.8	15	34	51	20.6	6.8	1.65

Tabla 6. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), relación C/N y fósforo disponible en el suelo (P Olsen) del perfil 1.

Hor.	Prof. cm	CE <sub>25°C</sub> 1:5 ( $\text{dS m}^{-1}$ )	pH 1:2.5 H <sub>2</sub> O	CO (%)	N (%)	C/N	P (Olsen) ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
<b>Ap1</b>	0-10	0.16	8.4	0.58	0.10	5.7	30.3
<b>Ap2</b>	10-22	0.13	8.4	0.48	0.09	5.5	18.9
<b>AB</b>	22-38	0.17	8.4	0.42	0.08	5.4	11.9
<b>Bk</b>	38-58	0.50	8.2	0.24	0.04	5.5	3.4
<b>Bck</b>	58-80	0.51	8.3	0.15	0.03	5.1	2.9
<b>Ck</b>	80-155	0.35	8.3	0.09	0.02	4.4	1.4

Tabla 7. Cationes de cambio, carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), caliza activa y yeso del perfil 1.

Hor.	Prof. cm	Cationes de cambio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )				$\text{CaCO}_3$ (%)	Caliza activa (%)	Yeso (%)
		Ca	Mg	Na	K			
<b>Ap1</b>	0-10	24.6	2.48	0.42	1.65	13.7	3.3	2.5
<b>Ap2</b>	10-22	27.0	2.46	1.43	1.72	17.0	3.1	2.3
<b>AB</b>	22-38	27.7	2.8	0.83	0.55	14.0	3.3	2.0
<b>Bk</b>	38-58	26.5	2.71	2.03	0.24	20.0	7.6	1.8
<b>Bck</b>	58-80	25.6	2.06	1.51	0.18	27.5	8.7	2.7
<b>Ck</b>	80-155	24.8	1.98	2.1	0.16	28.3	7.0	2.4

## EVALUACIÓN AGROLÓGICA DEL PERFIL

La presencia de elementos gruesos de tamaño superior a 1-2 cm es inapreciable en todo el perfil, a excepción del Ap en donde encontramos cantos de cuarcita rodada de tamaño muy variable, las cuales proceden de la terraza superior que han llegado por coluvionamiento. El perfil presenta una gran homogeneidad textural, predominando la clase textural franca y siendo significativa la fracción limo (50-2  $\mu\text{m}$ ), que oscila entre el 40 y 50%. Esta homogeneidad textural se debe en gran medida a que se trata de un perfil poco evolucionado sin gran diferenciación, y a que presenta horizontes de transición (AB y Bck). No se han observado rasgos de iluviación, tan solo movimiento de carbonatos secundarios a modo de pseudomicelios que se extienden por todo el Bk y Bck.

A partir de los 22 cm, la compacidad pasa a ser muy alta en el resto del perfil, lo que dificulta el desarrollo del sistema radicular del olivo. La densidad aparente presenta un fuerte incremento en el AB, alcanzando el valor de  $1.60 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Si bien se trata de un suelo profundo, la profundidad efectiva se limita a los primeros 60 cm, siendo muy pocas las raíces que se han observado por debajo de esta profundidad, por lo que la mayor parte del agua y nutrientes los extrae de este espesor.

Presenta un contenido bajo a muy bajo en materia orgánica, insuficiente para el mantenimiento de una buena estructura, por lo que el manejo que se haga del suelo deberá ir encaminado a provocar un incremento de la misma. Para lograr esto, se recomienda suprimir las labores al suelo (salvo aquellas que sean imprescindibles) y proceder a un adecuado manejo de la cubierta vegetal. Este incremento del contenido de materia orgánica reportaría un beneficio significativo al suelo y otorgaría una mayor estabilidad a los agregados. El alto porcentaje de limo presente en todo el perfil, unido a los bajos contenidos de materia orgánica, hace que la estabilidad de los agregados sea baja. Las propiedades físicas se mejorarían notablemente, incrementándose la porosidad, en especial la macro y mesoporosidad, las cuales presentan unos porcentajes entre medios y bajos, lo que puede reducir la velocidad de infiltración.

La fracción de agua útil disminuye con la profundidad, pasando de un 18% en volumen en el Ap a un 13% en los horizontes inferiores. A partir de los 38 cm, la conductividad eléctrica presenta un incremento apreciable en el extracto 1:5, por lo que en el extracto de saturación podría alcanzar valores de 4 a 5 veces superiores. Si tenemos en consideración que a partir de  $2.7 \text{ dS m}^{-1}$  de

conductividad eléctrica en el extracto de saturación el olivo puede representar una merma en la producción, estaríamos en el límite.

El rango de pH que se considera óptimo para el olivo es entre 6 y 8. El suelo presenta valores comprendidos entre 8.2 y 8.4, es decir, una ligera alcalinidad que podría causar algunos problemas en la asimilación de determinados nutrientes, en especial el fósforo. Para valores en torno a 8.5 de pH, el fósforo está precipitado en forma de fosfato tricálcico muy insoluble, con lo que la planta apenas dispone de la suficiente cantidad como para cubrir su demanda. Si bien en general en los suelos de la zona el nivel de fósforo es frecuentemente bajo, en esta parcela encontramos valores altos en el Ap1 y normal en el Ap2, los cuales pueden compensar la baja asimilación de este nutriente en el rango de pHs que encontramos. Por debajo de los 22 cm, el contenido en fósforo hay que calificarlo de bajo a muy bajo. Para esta interpretación de los contenidos de fósforo hemos tenido en cuenta la textura, así como que se trata de un regadío extensivo. Para amortiguar el efecto del pH sobre el fósforo, sería recomendable emplear abonados nitrogenados amoniacales, ya que aportan acidez al suelo.

El olivo, al ser una especie calcícola, soporta relativamente bien contenidos medios a altos en caliza activa. No obstante, el que sea capaz de vegetar aceptablemente en estas condiciones, no implica que no pague un tributo, siendo frecuente mermas en la producción o un crecimiento más lento de lo normal. La caliza activa representa un gran poder clorosante del suelo. En este sentido, los valores superiores al 7% que encontramos a partir de los 38-40 cm, pueden dificultar la absorción del hierro, pudiendo dar lugar a la clorosis férrica en las variedades menos tolerantes, como es la Arbequina.

Respecto al contenido de potasio, y considerando la textura y que se trata de un regadío extensivo, éste presenta unos niveles altos en los horizontes superficiales Ap1 y Ap2, y normal en el AB, siendo bajo en el resto del perfil. El complejo de cambio presenta desequilibrios catiónicos evidentes. Así, la relación K/Ca es muy baja en todo el perfil del suelo, por lo que la asimilación del potasio puede verse inhibida como consecuencia del antagonismo Ca-K. Por tanto, el olivo puede presentar carencias de este elemento. En cuanto a la relación K/Mg, si bien es normal en los dos primeros horizontes, es muy baja en el resto del perfil. A lo anterior hay que añadir una elevada relación Ca/Mg que hace temer una deficiencia de magnesio.

## Perfil 2. Yesos del Mioceno



Fig. 26. Olivar junto al Perfil 2 en el Centro de Olivicultura de La Chimenea.

### INFORMACIÓN ACERCA DEL SITIO

**Localidad:** Colmenar de Oreja

**Coordenadas:** 40° 04' 14.75" N  
3° 31' 26.85" W (WGS1984)

**Altitud:** 536 m s. n. m.

**Vegetación o uso:** olivar

**Material original:** margas yesíferas

**Posición fisiográfica:** ladera

**Orientación:** W (277 °)

**Pendiente:** 15.6 %

**Manejo:** secano

**Pedregosidad:** 10% (yesos irregulares, gruesos y muy gruesos)

**Drenaje:** bueno

**Clasificación:**

**Gypsic Haploxerept** (Soil Survey Staff, 2014)

**Cambisol Gypsic (Aric, Ochric)** (WRB, 2014)

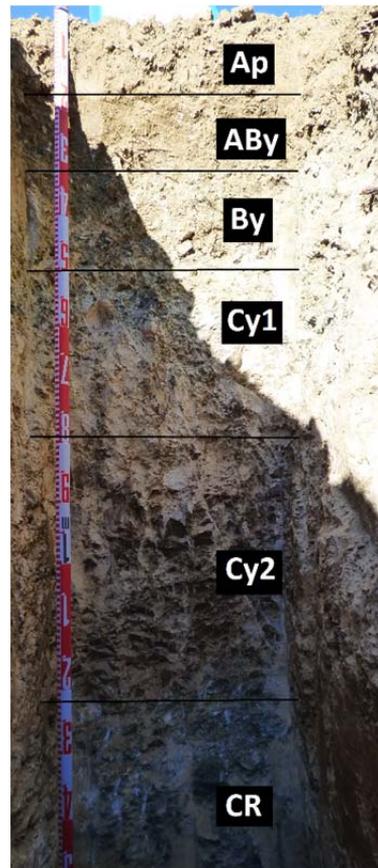


Fig. 27. Perfil 2 en La Chimenea.

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof. cm	Descripción
<b>Ap</b>	0-17	Húmedo; matriz de color 5Y 5/2 en húmedo y 2.5YR 7/2 en seco; textura franco-arenosa; sin presencia de elementos gruesos; estructura granular, fina y débil; consistencia friable en húmedo, blanda en seco, y ligeramente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas y finas; ligera reacción al HCl; límite inferior neto y plano.
<b>ABy</b>	17-32	Húmedo; matriz de color 2.5Y 5/3 en húmedo y 2.5Y 7/2 en seco; textura franco-arenosa; 3% de elementos gruesos, irregulares y de tamaño medio; estructura subangular, fina y moderada; consistencia friable en húmedo, blanda en seco, y ligeramente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces abundantes, muy finas, finas y medias; ligera reacción al HCl; límite inferior neto y plano.
<b>By</b>	32-50	Húmedo; matriz de color 5Y 5/3 en húmedo y 5Y 8/2 en seco; textura franca; sin presencia de elementos gruesos; estructura subangular, fina y moderada; consistencia firme en húmedo, dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas, finas y medias; ligera reacción al HCl; límite inferior gradual y plano; .
<b>Cy1</b>	50-79	Húmedo; matriz de color 5Y 5/2 en húmedo y 5Y 8/2 en seco; moteados de color 10YR 6/6, pocos, finos, débiles y difusos; textura franca; 15% de elementos gruesos, margas, irregulares y de tamaño medio; sin estructura edáfica; consistencia firme en húmedo, dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas, y finas; ligera reacción al HCl; yeso muy abundante; límite inferior gradual y plano.
<b>Cy2</b>	79-122	Húmedo; matriz de color 10YR 4/4 en húmedo y 10YR 7/3 en seco; moteados de color 5YR 4/6 y 5YR 6/1, pocos, finos, precisos y claros; textura franca; sin presencia de elementos gruesos; sin estructura edáfica; consistencia firme en húmedo, dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces muy pocas, muy finas; ligera reacción al HCl; yeso abundante; límite inferior neto e irregular.
<b>CR</b>	122-165	Húmedo; matriz de color 5Y 4/1 en húmedo y 5Y 6/1 en seco; moteados de color 10YR 6/6, raros, finos, precisos y claros; textura franco-arenosa; consistencia de roca; sin presencia de raíces; ligera reacción al HCl.

## DATOS ANALÍTICOS

Tabla 8. Elementos gruesos (EG), fracciones texturales, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da) del perfil 2.

Hor.	Prof. cm	EG (%) (<2 cm)	Arena (%)		Limo grueso (%) (50-20 µm)	Limo fino (%) (20-2 µm)	Arcilla (%) (<2 µm)	CC (% peso)	PMP (% peso)	Da (Mg m <sup>-3</sup> )
			2000-200 µm	200-50 µm						
Ap	0-17	19.4	29.1	18.9	12.0	40.0	16.0	9.4	1.23	
ABY	17-32	22.1	28.1	15.9	13.5	42.5	13.4	9.8	1.59	
By	32-50	26.9	29.7	14.3	12.0	44.0	18.9	11.2	1.37	
Cy1	50-79	13.0	17.7	8.3	11.0	63.0	23.3	15.1	-	
Cy2	79-122	18.0	16.4	6.6	13.0	64.0	26.1	20.0	-	

<sup>1</sup>Perfil con altos contenidos en yeso que han impedido separar el limo fino de la arcilla (método del densímetro de Bouyoucos).

Tabla 9. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), relación C/N, carbonatos (CaCO<sub>3</sub>), yeso, cationes de cambio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y grado de saturación (V) del perfil 2.

Hor.	Prof. cm	CE <sub>25°C</sub> 1:2.5 (dS m <sup>-1</sup> )	pH		CO (%)	N (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Yeso (%)	Cationes de cambio (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )			CIC (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	V (%)	
			1:2.5	H <sub>2</sub> O						Ca <sup>2+</sup>	Mg	Na			K
Ap	0-17	2.21	7.5	7.0	0.52	0.02	29.3	7.2	60.6	8.9	0.35	0.53	1.07	10.8	100
ABY	17-32	2.41	7.6	7.0	0.37	0.06	6.2	5.6	59.6	7.7	0.45	0.54	1.20	9.9	100
By	32-50	2.05	7.7	7.0	0.18	0.04	4.2	5.3	54.1	7.4	0.37	0.69	0.89	9.3	100
Cy1	50-79	2.05	7.7	7.1	0.08	0.02	5.5	8.4	43.8	11.6	0.38	0.56	0.63	13.2	100
Cy2	79-122	2.02	7.7	7.0	0.08	0.04	2.1	5.4	44.7	10.4	0.46	0.82	0.81	12.5	100
R	122-165	2.12	7.7	7.1	0.07	0.00	7.6	55.7	7.9	0.38	0.50	0.77	9.6	100	

<sup>1</sup>KCl 0.1 M; <sup>2</sup>Ca= CIC-Mg-Na-K.

## EVALUACIÓN AGROLÓGICA DEL PERFIL

Se trata de un perfil desarrollado sobre materiales margo-yesíferos. Hay un aporte secundario de yeso que tiene su origen en los procesos erosivos y que ocasionan un enriquecimiento de yeso en los horizontes superiores (Ap y ABy). El elevado contenido de yeso presente en todo el perfil ha impedido separar la arcilla del limo fino (20-2  $\mu\text{m}$ ). El perfil presenta una gran homogeneidad textural a lo largo de todo él, con un elevado porcentaje de partículas inferiores a 50  $\mu\text{m}$  (52 a 77%) que dificultan el drenaje y disminuyen la velocidad de infiltración. La densidad aparente presenta un fuerte incremento en el ABy, alcanzando el valor de 1.57  $\text{Mg m}^{-3}$ .

Se trata de un suelo profundo, pero su profundidad efectiva se limita a los primeros 79 cm, siendo muy pocas las raíces que se han observado por debajo de esta profundidad, por lo que la mayor parte del agua y nutrientes los extrae el olivar de ese espesor. Esta profundidad efectiva ha sido determinada mediante observación directa en campo del perfil del suelo.

Presenta un contenido bajo a muy bajo en carbono orgánico, insuficiente para el mantenimiento de una buena estructura, por lo que el manejo que se haga del suelo deberá ir encaminado a provocar un incremento del mismo. Para lograrlo, se recomienda reducir, e incluso suprimir, las labores al suelo (salvo aquellas que sean imprescindibles) y proceder a un adecuado manejo de la cubierta vegetal. Este incremento reportaría un beneficio significativo al suelo y otorgaría una mayor estabilidad a los agregados. El alto porcentaje de limo presente en todo el perfil, unido a los bajos contenidos de materia orgánica, hace que la estabilidad de los agregados sea baja.

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para la profundidad efectiva es baja (54 mm) por lo que este suelo no es capaz de almacenar suficiente agua como para que el olivo pueda dar buenas cosechas en régimen de secano.

La conductividad eléctrica, en torno a los 2.2  $\text{dS m}^{-1}$  indica una solución del suelo saturada de yeso como era de esperar, sin otras sales presentes en cantidad significativa. Si tenemos en consideración que a partir de 2.7  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  de conductividad eléctrica en el extracto de saturación el olivo puede representar una merma en la producción, estaríamos en el límite.

El rango de pH se considera óptimo para la inmensa mayoría de los cultivos, entre ellos el olivo. En general, en los suelos de la zona el nivel de fósforo es

frecuentemente bajo. Si bien no se ha determinado la caliza activa, el contenido en carbonatos totales (del orden del 7-8% o inferiores) no hace temer que estemos ante valores de caliza activa altos, con el consiguiente riesgo de clorosis férrica. Respecto al contenido de potasio, éste presenta unos niveles altos en los 50 cm superiores, y normales en el horizonte Cy1.

El complejo de cambio presenta desequilibrios catiónicos evidentes. Así, la relación K/Ca es baja a muy baja en todo el perfil del suelo, en especial a partir de 50 cm, por lo que la asimilación del potasio puede verse inhibida como consecuencia del antagonismo Ca-K. Por tanto, el olivo puede presentar carencias de este elemento. En cuanto a la relación K/Mg, esta es muy alta en todo el perfil, lo que hace temer una carencia de magnesio que se ve agudizada por la elevada relación Ca/Mg.

## PARADA 2: BELMONTE DE TAJO

### Perfil 3. Páramo de Chinchón



Fig. 28. Campo en barbecho junto al Perfil 3 en El Socorro.

### INFORMACIÓN ACERCA DEL SITIO

**Localidad:** Belmonte de Tajo

**Coordenadas:** 40° 08' 09.10" N  
3° 22' 29.64" W (WGS1984)

**Altitud:** 755 m s. n. m.

**Vegetación o uso:** barbecho

**Material original:** sedimentos pliocénicos  
detríticos–fluviales

**Posición fisiográfica:** ladera baja

**Orientación:** SW (246 °)

**Pendiente:** 1.5 %

**Manejo:** convencional

**Pedregosidad:** 3%, calizas irregulares medias y gruesas

**Drenaje:** bien drenado

**Clasificación:**

**Calcic Haploxeralf** (Soil Survey Staff, 2014)

**Luvisol Calcic (Aric Ochric)** (WRB, 2014)

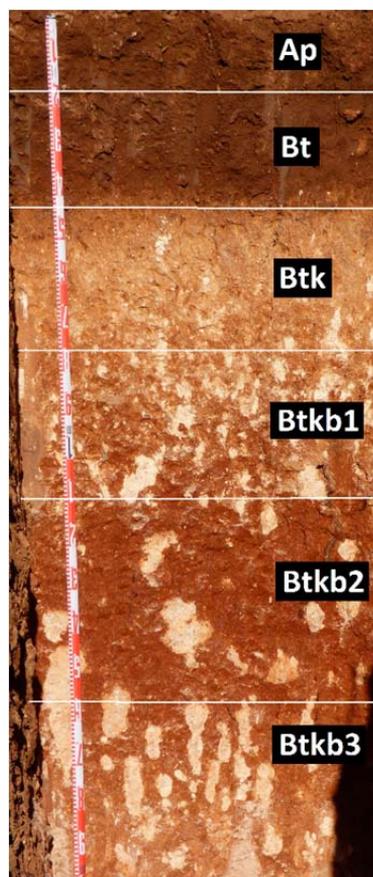


Fig. 29. Perfil 3 en El Socorro.

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof. cm	Descripción
<b>Ap</b>	0-17	Húmedo; matriz de color 7.5YR 4/4 en húmedo y 7.5YR 6/4 en seco; textura franco-arcillo-limosa; sin presencia de elementos gruesos; estructura granular, fina y débil; consistencia friable en húmedo, ligeramente dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces de comunes a abundantes, muy finas y finas; ligera reacción al HCl; límite inferior neto y plano.
<b>Bt</b>	17-43	Húmedo; matriz de color 7.5YR 4/5 en húmedo y 7.5YR 6/4 en seco; textura franco-arcillo-limosa; sin presencia de elementos gruesos; estructura subangular, mediana y débil; cutanes abundantes; consistencia friable en húmedo, ligeramente dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas, finas y medias; ligera reacción al HCl; límite inferior gradual y plano.
<b>Btk</b>	43-75	Húmedo; matriz de color 7.5YR 5/8 en húmedo y 7.5YR 8/3 en seco; textura franco-arcillo-limosa; sin presencia de elementos gruesos; estructura subangular, mediana, de débil a moderada; cutanes comunes; consistencia friable en húmedo, ligeramente dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces abundantes, muy finas, finas, medias y gruesas; abundantes pseudomicelios de CaCO <sub>3</sub> ; fuerte reacción al HCl; límite inferior gradual y plano.
<b>Btkb1</b>	75-109	Húmedo; matriz de color 5YR 5/6 en húmedo y 7.5YR 8/4 en seco; textura arcillo-limosa; sin presencia de elementos gruesos; estructura prismática, mediana y moderada; cutanes comunes; consistencia muy firme en húmedo, muy dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas, finas, medias y gruesas; concreciones de CaCO <sub>3</sub> , abundantes, gruesas y muy gruesas; concreciones de manganeso; fuerte reacción al HCl; límite inferior gradual y plano.
<b>Btkb2</b>	109-155	Húmedo; matriz de color 2.5YR 5/8 en húmedo y 7.5YR 7/6 en seco; textura arcillosa; sin presencia de elementos gruesos; estructura prismática, mediana y moderada; cutanes comunes; consistencia muy firme en húmedo, muy dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces de pocas a comunes, finas, medias y gruesas; concreciones de CaCO <sub>3</sub> , comunes y muy gruesas; concreciones de manganeso; reacción moderada al HCl; límite inferior gradual y plano.
<b>Btkb3</b>	155-200	Húmedo; matriz de color 5YR 5/8 en húmedo y 7.5YR 8/4 en seco; textura franco-arcillo-limosa; sin presencia de elementos gruesos; estructura prismática, mediana y moderada; superficies de fricción; consistencia muy firme en húmedo, muy dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; concreciones de CaCO <sub>3</sub> , muy abundantes y muy gruesas; concreciones de manganeso; fuerte reacción al HCl; límite inferior gradual y plano.

## DATOS ANALÍTICOS

Tabla 10. Elementos gruesos (EG), fracciones texturales, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da) del perfil 3.

Hor.	Prof. cm	EG (%) (<2cm)	Arena (%)			Limo (%)		Arcilla (%) (<2 µm)	CC (% peso)	PMP (% peso)	Da (Mg m <sup>-3</sup> )
			2000-200 µm	200-50 µm	50-20 µm	Grueso 50-20 µm	Fino 20-2 µm				
<b>Ap</b>	0-17	3.6	4.0	14.8	31.9	18.9	30.4	25.8	17.0	1.19	
<b>Bt</b>	17-43	2.2	2.1	11.9	30.0	18.0	38.0	25.4	17.3	1.52	
<b>Btk</b>	43-75	6.5	5.3	10.7	16.0	30.5	37.5	29.0	17.1	1.25	
<b>Btkb1</b>	75-109	7.6	5.3	5.7	16.0	31.0	42.0	34.6	19.1	-	
<b>Btkb2</b>	109-155	2.2	1.8	4.2	11.0	26.0	57.0	38.6	24.1	-	
<b>Btkb3</b>	155-200	17.7	12.2	5.3	15.5	32.0	35.0	30.2	14.6	-	

Tabla 11. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), relación C/N, carbonatos (CaCO<sub>3</sub>), cationes de cambio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y grado de saturación (V) del perfil 3.

Hor.	Prof. cm	CE <sub>25°C</sub> 1:2.5 (dS m <sup>-1</sup> )	pH		CO (%)	N (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Cationes de cambio			CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	V (%)	
			1:2.5 H <sub>2</sub> O	KCl <sup>1</sup>					Ca <sup>2</sup>	Mg	Na			K
<b>Ap</b>	0-17	0.37	7.7	7.4	1.30	0.17	7.8	2.9	11.10	1.53	1.29	1.59	15.5	100
<b>Bt</b>	17-43	0.38	7.8	7.4	0.69	0.12	5.7	3.7	12.59	0.82	0.55	0.82	14.8	100
<b>Btk</b>	43-75	0.49	8.0	7.4	0.36	0.09	4.1	30.5	10.44	0.64	0.72	0.69	12.5	100
<b>Btkb1</b>	75-109	0.33	8.3	7.3	0.26	0.06	4.5	31.5	11.02	1.14	0.81	0.68	13.6	100
<b>Btkb2</b>	109-155	0.40	8.1	7.2	0.10	0.01	7.0	10.3	16.07	1.90	0.56	0.90	19.4	100
<b>Btkb3</b>	155-200	0.32	8.3	7.3	0.08	0.03	2.5	42.1	8.07	1.56	0.73	0.69	11.1	100

<sup>1</sup>KCl 0.1 M; <sup>2</sup>Ca= CIC-Mg-Na-K.

## EVALUACIÓN AGROLÓGICA DEL PERFIL

Se trata de un perfil desarrollado sobre materiales calizos en el que los procesos de iluviación y movimiento de carbonatos van a caracterizar el perfil. El perfil presenta una gran homogeneidad textural en los 109 cm superficiales, con un enriquecimiento en arcilla en el espesor 109-155 cm. El elevado porcentaje de partículas inferiores a 50  $\mu\text{m}$  (oscilando entre el 82 y 89%) van a dificultar el drenaje y disminuir la velocidad de infiltración, con la consiguiente formación de charcos tras los eventos de lluvias. Ello hace que las dosis de riego que se apliquen han de estar muy bien calculadas, con el fin de no someter a un encharcamiento temporal el sistema radicular de los cultivos.

El suelo es profundo con un espesor útil elevado (155 cm), por lo que el posible viñedo a establecer puede extraer agua y nutrientes de un espesor muy considerable. Presenta un buen contenido en carbono orgánico, lo que unido a su textura franco arcillo limosa le otorga una estructura muy estable a los impactos de las gotas de lluvia.

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para la profundidad de 150 cm es muy alta (194 mm), por lo que este suelo es capaz de almacenar suficiente agua para que el viñedo pueda dar buenas cosechas en secano.

La conductividad eléctrica no hace temer riesgo alguno de salinidad. El pH oscila entre 7.7 y 8.3, los cuales se consideran algo elevados para el viñedo. Los elevados contenidos de caliza pulverulenta hacen temer la presencia de elevados contenidos en caliza activa, si bien esta no ha sido determinada. En estos casos se recomienda el empleo de patrones altamente resistentes a la caliza activa, tal como el 110R, ya que es la mejor forma de evitar el riesgo de clorosis férrica.

Respecto al contenido de potasio, y considerando la textura y que se trata de un regadío extensivo, éste presenta unos niveles altos en los 43 cm superiores, y normales en el resto de la profundidad efectiva útil. El complejo de cambio presenta desequilibrios catiónicos evidentes. Así, la relación K/Ca es baja en el Ap y muy baja el resto del perfil, por lo que la asimilación del potasio puede verse inhibida como consecuencia del antagonismo Ca-K. Por lo tanto, el viñedo puede presentar carencias pese a que el contenido de potasio en el suelo era inicialmente más que suficiente. En cuanto a la relación K/Mg, esta es muy alta en prácticamente todo el perfil, lo que hace temer una carencia de magnesio que se verá agudizada por la elevada relación Ca/Mg en todos los horizontes.

## PARADA 3: CIEMPOZUELOS

### Perfil 4. Vega del Jarama



Fig. 30. Campo de cultivo junto al perfil 4 e imagen desde un dron de la vega del Jarama.

### INFORMACIÓN ACERCA DEL SITIO

**Localidad:** Ciempozuelos

**Coordenadas:** 40° 10' 27.48" N

3° 34' 47.18" W (WGS1984)

**Altitud:** 506 m s. n. m.

**Vegetación o uso:** huerta

**Material original:** deposito aluvial

**Posición fisiográfica:** llanura de inundación

**Orientación:** S (194°)

**Pendiente:** 0.4%

**Manejo:** ecológico

**Pedregosidad:** 2%

**Drenaje:** bueno

**Clasificación:**

**Typic Xerorthent** (Soil Survey Staff, 2014)

**Fluvisol Haplic (Aric Ochric)** (WRB, 2014)

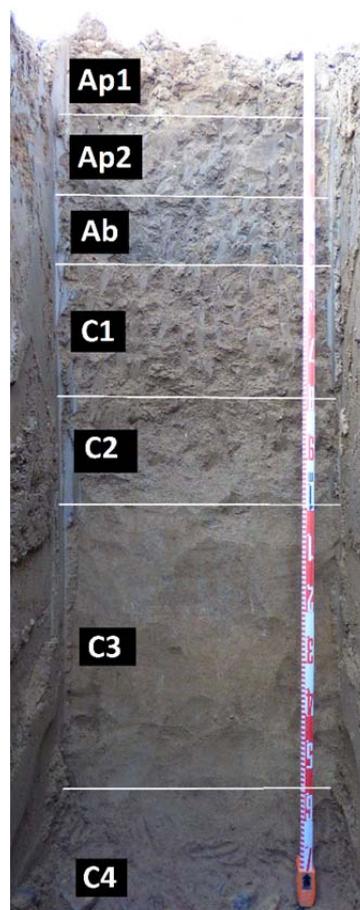


Fig. 31. Perfil 4 en el valle del Jarama.

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof. cm	Descripción
<b>Ap1</b>	0-18	Húmedo; matriz de color 10YR 3.5/3 en húmedo y 10YR 5/3 en seco; textura franca; sin presencia de elementos gruesos; estructura granular, mediana y moderada; consistencia friable en húmedo, ligeramente dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas y finas; sin reacción al HCl; límite inferior neto y plano.
<b>Ap2</b>	18-36	Húmedo; matriz de color 10YR 3.5/3 en húmedo y 10YR 5/3 en seco; textura franca; sin presencia de elementos gruesos; estructura subangular, mediana y moderada; consistencia friable en húmedo, ligeramente dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces de comunes a abundantes, muy finas y finas; sin reacción al HCl; límite inferior neto y plano.
<b>Ab</b>	36-50	Húmedo; matriz de color 10YR 3/2 en húmedo y 10YR 5/2 en seco; textura franca; sin presencia de elementos gruesos; estructura subangular, mediana y moderada; consistencia friable en húmedo, ligeramente dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces de comunes a abundantes, muy finas y finas; sin reacción al HCl; límite inferior neto y plano.
<b>C1</b>	50-77	Húmedo; matriz de color 10YR 4/3 en húmedo y 10YR 6/3 en seco; textura franca; sin presencia de elementos gruesos; sin estructura; consistencia firme en húmedo, dura en seco, y moderadamente adherente y moderadamente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas y finas; sin reacción al HCl; límite inferior neto y plano.
<b>C2</b>	77-99	Húmedo; matriz de color 10YR 4/4 en húmedo y 10YR 6/4 en seco; textura franco-arenosa; sin presencia de elementos gruesos; sin estructura; consistencia friable en húmedo, ligeramente dura en seco, y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; raíces comunes, muy finas y finas; reacción moderada al HCl; límite inferior gradual y plano.
<b>C3</b>	99-154	Húmedo; matriz de color 10YR 5/4 en húmedo y 10YR 7/4 en seco; moteados de color 10YR 8/1, pocos, finos, precisos y claros; textura arenosa- franca; sin presencia de elementos gruesos; sin estructura; consistencia muy friable en húmedo, blanda en seco, y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; raíces muy pocas y muy finas; reacción moderada al HCl; límite inferior gradual y plano.
<b>C4</b>	154-175	Húmedo; matriz de color 10YR 4/4 en húmedo y 10YR 6/4 en seco; textura arenosa- franca; 15% elementos gruesos, cantos poligénicos, gruesos y muy gruesos; sin estructura; consistencia muy friable en húmedo, blanda en seco, y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado; raíces muy pocas y muy finas; ligera reacción al HCl.

## DATOS ANALÍTICOS

Tabla 12. Elementos gruesos (EG), fracciones texturales, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del perfil 4.

Hor.	Prof. cm	EG (%) <2 cm	Arena (%)		Limo (%)		Arcilla (%) <2 $\mu\text{m}$	CC (% peso)	PMP (% peso)
			2000-200 $\mu\text{m}$	200-50 $\mu\text{m}$	Grueso 50-20 $\mu\text{m}$	Fino 20-2 $\mu\text{m}$			
<b>Ap1</b>	0-18	<1	25.6	19.4	17.5	15.5	22.0	17.8	9.8
<b>Ap2</b>	18-36	<1	24.7	20.1	16.4	15.9	22.9	17.5	9.6
<b>Ab</b>	36-50	<1	26.0	19.0	10.0	21.0	24.0	16.8	9.6
<b>C1</b>	50-77	<1	28.5	13.5	21.0	13.0	24.0	16.6	9.2
<b>C2</b>	77-99	<1	41.6	17.4	16.0	7.0	18.0	11.9	6.2
<b>C3</b>	99-154	<1	74.1	8.9	2.0	5.0	10.0	5.3	2.7

Tabla 13. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), relación C/N, carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), cationes de cambio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y grado de saturación (V) del perfil 4.

Hor.	Prof. cm	CE <sub>25°C</sub> 1:2.5 ( $\text{dS m}^{-1}$ )	pH		CO (%)	N (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Cationes de cambio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )			CIC ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )	V (%)	
			H <sub>2</sub> O	KCl <sup>1</sup>					Ca <sup>2</sup>	Mg	Na			K
<b>Ap1</b>	0-18	0.34	8.4	7.5	0.94	0.11	8.7	0.4	4.33	1.30	1.08	1.07	7.8	100
<b>Ap2</b>	18-36	0.38	8.3	7.5	0.77	0.10	7.5	0.7	4.54	1.37	1.11	0.90	7.9	100
<b>Ab</b>	36-50	0.47	8.0	7.6	0.67	0.10	6.4	1.0	4.11	1.43	1.49	0.81	7.8	100
<b>C1</b>	50-77	0.15	8.2	7.7	0.24	0.03	6.9	2.4	4.29	1.56	1.30	0.73	7.9	100
<b>C2</b>	77-99	0.22	8.5	7.8	0.04	0.01	4.7	3.0	4.11	0.97	0.98	0.52	6.6	100
<b>C3</b>	99-154	0.11	8.8	8.3	0.03	0.01	2.2	3.0	1.88	0.38	1.07	0.47	3.8	100

<sup>1</sup>KCl 0.1 M; <sup>2</sup>Ca= CIC-Mg-Na-K.

## EVALUACIÓN AGROLÓGICA DEL PERFIL

Se trata de un perfil de vega desarrollado sobre depósitos aluviales recientes sin elementos gruesos en cantidad apreciable, tanto en superficie como en el seno del perfil, el cual presenta una gran homogeneidad textural en los 77 cm superficiales, para hacerse más arenoso a partir de esa profundidad.

Es un suelo profundo con un espesor útil de 99 cm, suficiente para cualquier cultivo herbáceo. Presenta un contenido medio en carbono orgánico, el cual sería deseable que se incrementara si se fuera a poner regadío.

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para la profundidad efectiva útil (99 cm) es baja (71.4 mm), por lo que este suelo exige riegos frecuentes y no muy abundantes para obtener buenas cosechas en régimen de regadío.

La conductividad eléctrica no hace temer riesgo alguno de salinidad. El pH es moderadamente básico a ligeramente alcalino en profundidad, oscilando entre 8.0 y 8.8, por lo que el fósforo puede estar bloqueado, lo que podría exigir forzar la fertilización de este nutriente. Los bajos contenidos de carbonatos totales, inferiores al 3% en todos los horizontes, no hacen temer que puedan tener efecto clorosante.

Respecto al contenido de potasio, considerando la textura franca y que se trata de un regadío intensivo, éste presenta un nivel alto en el Ap y normal en los horizontes AB y C.

El análisis del complejo de cambio es básico con el fin de ver si presenta desequilibrios catiónicos evidentes. Así, la relación K/Ca es alta en el Ap, normal en el AB y baja en el C, por lo que la asimilación del potasio no debería verse afectada como consecuencia del antagonismo Ca – K, y se recomienda mantener los actuales niveles de K. En cuanto a la relación K/Mg, esta es muy alta en el Ap y normal en el prácticamente el resto del perfil, por lo que no es de temer una carencia de magnesio. Por último, pese a que la relación Ca/Mg es alta en todos los horizontes, no es lo suficientemente alarmante como para hacer temer una carencia de magnesio. Por tanto, vemos que en este suelo hay un adecuado equilibrio catiónico, básico para una buena asimilación de los nutrientes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome, 300*(9).
- Almorox, J. (2003). *Climatología aplicada al medio ambiente y agricultura*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Burt, R., & Staff, S. S. (2014). Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. *Natural Resources Conservation Services. National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska*.
- Comunidad de Madrid (2007). ATLAS. El Medio Ambiente en la Comunidad de Madrid. *Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio*.
- Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de Madrid (2011). *Mapa de las clases agrológicas*. Recuperado el 5-3-2017 de <http://www.madrid.org/cartografia/visorCartografia/html/visor.htm>.
- Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de Madrid (2006). *Cartografía ambiental*. Recuperado el 8-3-2017 de [http://www.madrid.org/cartografia\\_ambiental/html/visor.htm](http://www.madrid.org/cartografia_ambiental/html/visor.htm).
- Díaz Martínez, E., & Rodríguez Aranda, J.P. (2007). Itinerarios geológicos en la Comunidad de Madrid. Colección Guías Geológicas. Instituto Geológico y Minero de España.
- Fernández, J., Curt, M. D., Aguado, P. L., Esteban, B., Sánchez, J., Checa, M., & Romero, L. (2011). Caracterización de las comarcas agrarias de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España, 1, 301-321.
- García De Pedraza, L. & Reija Garrido, A. (1994). *Tiempo y clima en España: meteorología de las autonomías*. Dossat.
- García-Díaz, A., Bienes, R., & Sastre, B. (2015). Study of climatic variations and its influence on erosive processes in recent decades in one location of central Spain. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1* (pp. 105-108). Springer International Publishing.
- Instituto Geológico y Minero de España (2017). Visor de Cartografía Geológica. Recuperado el 12-3-17 de <http://info.igme.es/visorweb/>.
- Instituto Geológico y Minero de España (1975). Mapa Geológico de España

- 1:50.000. Memoria de la hoja 606 (Chinchón).
- Instituto Geológico y Minero de España (2010). Mapa Geológico de España 1:50.000 Memoria de la hoja 605 (Aranjuez).
- Jacob, H., & Clarke, G. (2002). *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method. Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA.*
- M.A.P.A. (1994). *Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Dirección General de Política Alimentaria del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Ed.). Madrid.*
- Martín-Vide, F. J., & Olcina Cantos, J. (2001). *Climas y tiempos de España. Editorial Alianza Editorial. 264 pp.*
- Norfleet, L., Doran, J. W., Seybold, C., Sucik, M., Rosales, M., & Saunders, J. (2001). *Soil quality test kit guide and interpretive manual. USDA-ARS & NRCS, Soil Quality Institute, Ames.*
- Ordóñez, S., Calvo, J.P., García del Cura, M.A., Hoyos, M., & Alonso zarza A.M. (1991). *Sedimentology of sodium sulphate deposits and special clays from the Tertiary Madrid Basin (Spain). Lacustrine facies analysis (eds J.D. Collinson, y J. Lewin. I.A.S. Spec Publication 6, 485-497.*
- Parque regional del Sureste de la Comunidad de Madrid (2017). *Valores Naturales. Recuperado el 14-3-2017 de <http://parqueregionalsureste.org/es/valores-naturales-es/medio-biologico/325-flora-vegetacion>. Visitado el 14-03-2017.*
- Sanz-Montero, M. E. (1996). *Sedimentología de las formaciones neógenas del Sur de la Cuenca de Madrid. CEDEX. Monografías, 52(245), 67-81.*
- Soil Taxonomy (2014). *Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture (USDA) and Natural Resources Conservation Service (NRCS). 12ª edition.*
- Sparks, D. L. (1996). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 5. Madison, WI, USA.*
- WRB (2014). *International Soil Classification System for naming soils and creating legends for Soil Maps. World Resources Reports 106. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.*



## ITINERARIO 3

### 1. Suelos sobre arcosas de la Fosa del Tajo

Jiménez Ballesta, R.<sup>1</sup>, Lacasta C.<sup>2</sup>, Álvarez González, A.<sup>1</sup>, Carral González, P.<sup>1</sup>, Hernández Hernández, Z.<sup>1</sup> y Marqués Pérez, M.J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. UAM

<sup>2</sup> Finca Experimental "La Higuera". MNCN-CSIC



### 2. Campo experimental para el estudio de la erosión en campos agrícolas

De Alba Alonso, S., Alcázar Torralba, M., y Cermeño Martín, F.I.

Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas. UCM

# Suelos sobre arcosas, Fosa del Tajo

## Descripción general de la zona

Los suelos que se presentan en este itinerario constituyen uno de los mejores ejemplos de suelos desarrollados sobre la facies arcósica de la región de Madrid. Se encuentran en la Finca Experimental “La Higuieruela” (Fig. 1), que tiene una extensión de 90 ha y que está situada en el término municipal de Santa Olalla (Toledo), a unos 80 km de Madrid. Pertenece al Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Este organismo ha llevado a cabo numerosos proyectos de investigación en esta finca durante los últimos 50 años, pero también se ha utilizado para los trabajos experimentales de otros OPIs, tanto nacionales como extranjeros, universidades y/o empresas.



Fig.1. Finca de la Higuieruela en Santa Olalla, perteneciente al Museo Nacional de Ciencias Naturales-Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

La finca está inserta en un paisaje típico de secano (Fig. 2) representativo del territorio agrícola español. Este sistema agrario es complejo y diverso. Sobre todo, alberga una tipología de cultivo extensivo que en el pasado fue muy común en toda Europa, pero que en la actualidad es aún frecuente en la región mediterránea, formando un mosaico agrícola en el que se alternan cultivos y barbechos, dando lugar a un hábitat que puede considerarse semi-natural.

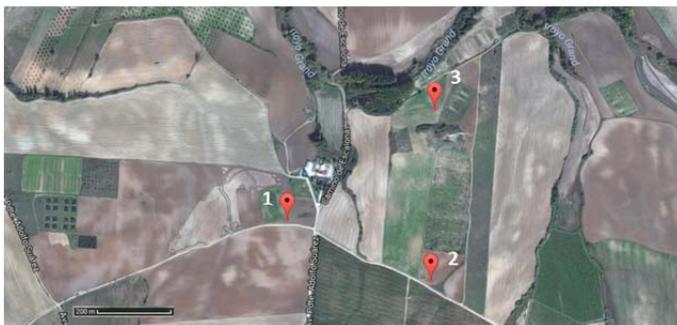


Fig. 2. Ubicación de la finca La Higuieruela insertada dentro de un paisaje agrícola con la localización de las tres paradas realizadas en este itinerario.

## Geología

Territorialmente se ubica dentro de la denominada Cuenca Sedimentaria del Tajo donde predomina un paisaje alomado, con pendientes entre 1 y 15%, relieve que ha sido disectado por el encajamiento de la red fluvial cuaternaria. Se encuentra enclavada en la hoja geológica 603 de Fuensalida, que corresponde a la Fosa del Tajo (Fig. 3). Se trata de una región de relieve poco contrastado, con altitudes entre los 400 y 600 m. El río Alberche es la principal arteria fluvial de la Hoja y transcurre con dirección NE-SO, siendo el resto de la red fluvial tributaria de dicho curso. A grandes rasgos esta red hidrográfica está instalada sobre amplios valles de pendientes bajas con extensos aterrazamientos y escarpes a veces algo elevados (Fig. 4).

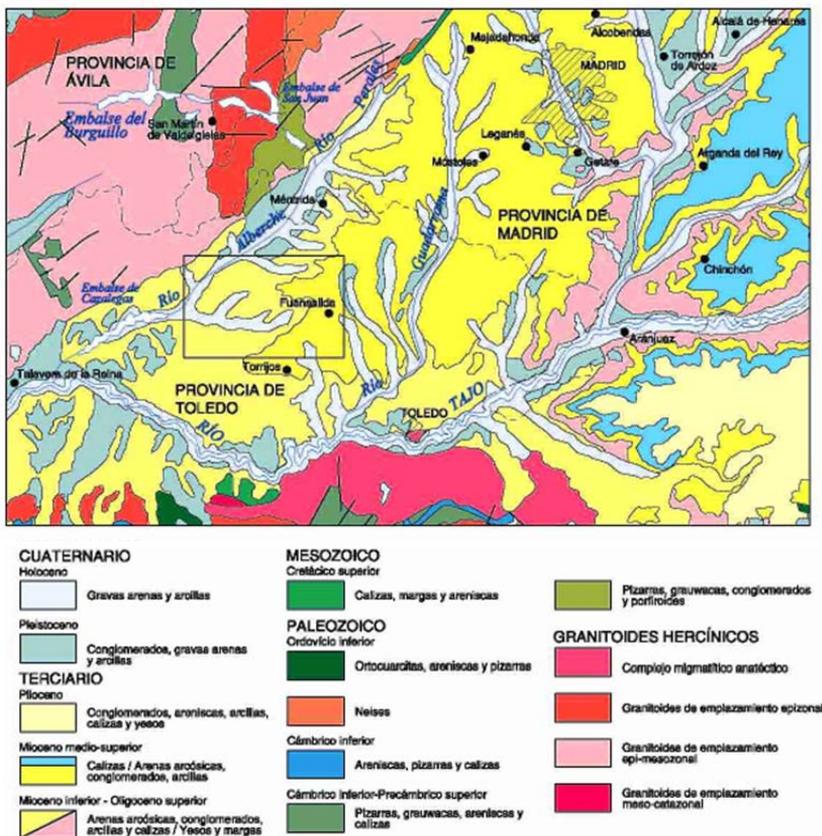


Fig. 3. Esquema regional de la Hoja geológica 603 de Fuensalida, entre el Sistema Central y la Fosa del Tajo. Mapa Geológico de España. Instituto Geológico y Minero de España (2007).

La litología de la zona está formada por materiales terciarios, como arcosas (7 en la Fig. 4) de grano grueso con cantos de color ocre con intercalaciones de niveles arcillosos. También areniscas y lutitas (4 en la Fig. 4) con intercalaciones de niveles carbonatados. En la margen izquierda del río Alberche, los

afloramientos no tienen gran continuidad, siendo de carácter aislado y puntual. En los alrededores de Santa Olalla estos materiales se presentan en las zonas bajas de los valles.

En cuanto a los materiales cuaternarios, están constituidos por materiales del sistema fluvial del río Alberche y sus afluentes. Éstos corresponden a 6 niveles de terrazas, llanura de inundación y depósitos de fondo de valle, glacia y conos de deyección.

Los materiales dominantes, predominantemente arenosos con cantos de cuarcita, están directamente relacionados con el modelado de los valles actuales, lo que hace difícil a veces su diferenciación con respecto a la serie arcósica miocena infrayacente.

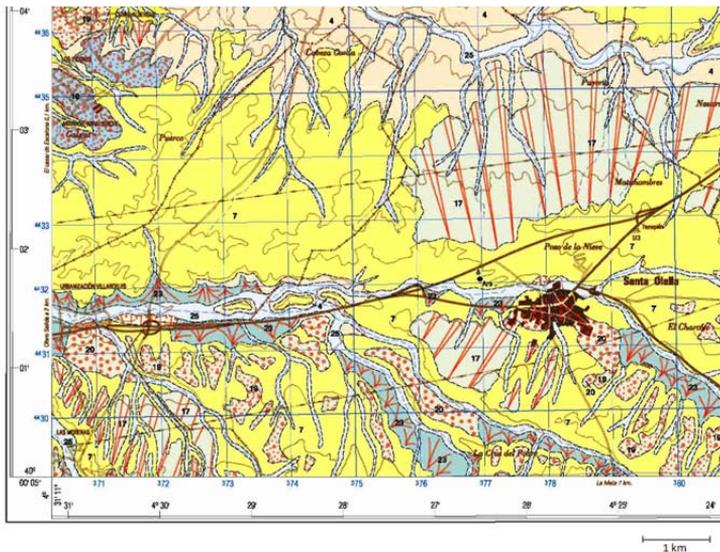


Fig. 4. Detalle del mapa geomorfológico de la Hoja geológica 603 de Fuensalida. Instituto Geológico y Minero de España (2007).

## Clima

El clima en la finca y su entorno es de tipo continental semiárido, con un invierno fresco y de elevadas temperaturas estivales; el período seco de seis meses coincide prácticamente con el período libre de heladas (Oliver et al., 1988). En concreto, la precipitación media anual está en torno a los 480 mm y se reparte por estaciones como corresponde a este tipo de clima, aproximadamente un 10% corresponde al verano, un 25% a la primavera, un 30% en invierno y la estación más lluviosa es el otoño, que recibe en torno a un 34% de la lluvia anual. No obstante, la distribución de lluvias es muy aleatoria. Gracias a la larga serie de datos recogidos en la finca, se ha podido observar

que se producen problemas de asfixia radicular 2 de cada 10 años, cuando hay precipitaciones superiores a los 350 mm en otoño-invierno. Al mismo tiempo, la mitad de los años son secos y esto ocasiona problemas de déficit hídrico en primavera. Por lo tanto, la dificultad a la hora de gestionar este tipo de agrosistemas de secano no estriba tanto en las bajas precipitaciones como en su variabilidad (Lacasta, 2010).

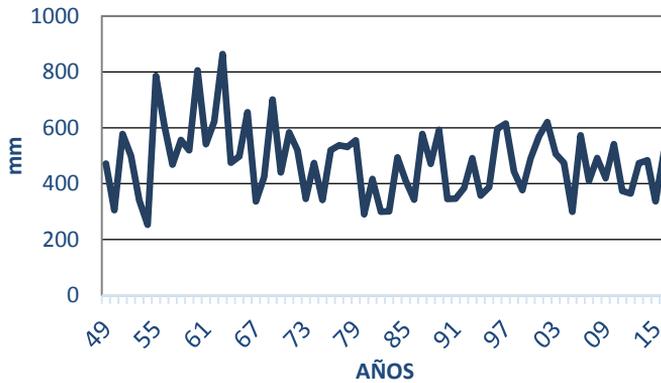


Fig. 5. Evolución de las precipitaciones en la Finca Experimental “La Higuera” a lo largo de los últimos 67 años (1949-2016), donde se observa la variabilidad interanual de la pluviometría y el aumento de años secos en los últimos años.

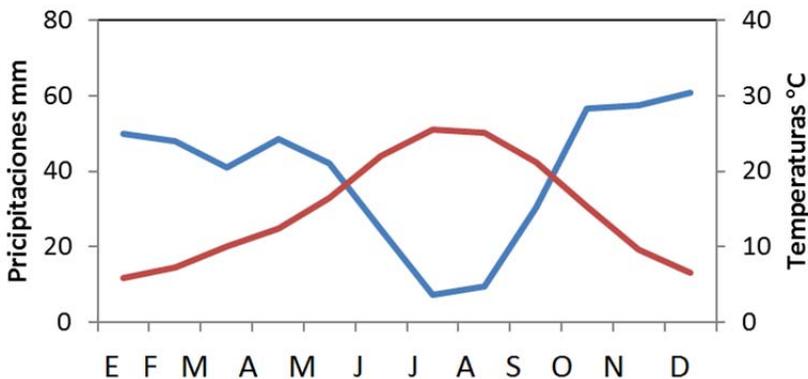


Fig. 6. Diagrama ombrotérmico con temperatura (color rojo) y pluviometría (color azul) donde se aprecia que el periodo seco dura alrededor de cuatro meses.

Como puede observarse en la Fig. 7 se aprecia una tendencia al incremento de temperatura en la zona, en línea con el aumento de temperaturas a nivel global. En estos momentos el aumento de las temperaturas medias anuales en

los últimos 30 años es de 1.5 °C y del doble en los valores medios de la media de los meses de primavera.

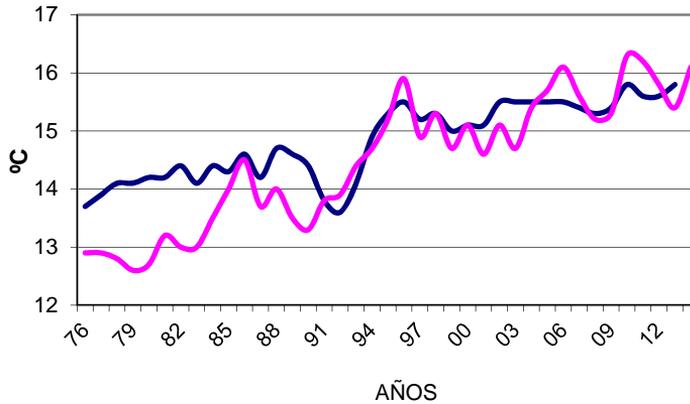


Fig. 7. Evolución a lo largo del periodo 1976-2015 de las temperaturas medias anuales (en azul) y de la primavera (meses de abril y mayo, en rosa), que muestra un salto en los años 90 seguido de un aumento gradual de las temperaturas.

## Suelos

Los suelos de la zona están desarrollados sobre sedimentos detríticos arcósicos, no consolidados, de matriz arcillosa, a veces carbonatada. Este material procede de la denudación de los materiales de naturaleza ígnea o metamórfica, frecuentes en el Sistema Central. Se trata de materiales que ocupan una gran extensión en las provincias de Madrid y Toledo (Monturiol y Alcalá, 1990).

Los Luvisoles son los suelos más frecuentes en la finca (López-Fando, 1991), mostrando un buen desarrollo de horizonte Bt. No obstante, también aparecen en la finca Vertisoles, Regosoles y Fluvisoles.

A lo largo de los numerosos proyectos y tesis doctorales llevadas a cabo en esta finca, se han descrito y analizado numerosos perfiles, por lo que sus suelos son bien conocidos como los que se describen en la tesis doctoral de Cristina López Fando (1991), Raquel Sánchez Andrés (2002) o Saturnino de Alba Alonso (1998). Creemos que, aunque este tipo de suelos han sido mostrados en anteriores reuniones de suelos, dado el conjunto de propiedades morfológicas, químicas, físicas, fisicoquímicas y mineralogía que los caracteriza y, sobre todo, dada la singularidad de los procesos de formación de suelos evolucionados en las arcosas, merecen ser expuestos de nuevo a discusión y análisis de investigadores y docentes dedicados al mundo de la Edafología de forma directa o indirecta. En este sentido, los dos perfiles

y sus datos aquí presentados emanan parcialmente de trabajos previos. Su ubicación se observa en la Fig. 2, donde también se aprecia la localización de parcelas para la evaluación de suelos agrícolas, cuyo diseño y utilidad se discutirá en la visita.

## Vegetación y usos

La dedicación del suelo en esta región está centrada en el cultivo de secano, aunque aún se conserva parte de la vegetación mediterránea xerofítica. Dado que fitoclimáticamente la zona se ubica en el piso mesomediterráneo de ombroclima seco, la vegetación potencial corresponde a las asociaciones terminales de la serie Mesomediterránea luso-extremadurensis silicícola de la encina (*Quercus rotundifolia*), y de la serie Mesomediterránea Manchego-aragonesa basófila de *Quercus rotundifolia* (Rivas Martínez, 1987).

Esta zona mediterránea, por sus características ambientales y geográficas constituye lo que se puede calificar como ecotono, es decir una zona de transición, en este caso entre regiones templadas y tropicales. Este carácter fronterizo favorece una gran biodiversidad no sólo de especies vegetales y animales sino especialmente del subsistema edáfico. La diversidad edáfica característica de esta zona también incluye a los ambientes áridos y semiáridos y aunque pueda parecer lo contrario, es mucho más rica que la encontrada en los suelos tropicales. Esta diversidad proporciona la gran capacidad de autorregulación y sustentabilidad de los ecosistemas mediterráneos. En este contexto se deben elegir formas de gestión del territorio que permitan mantener la capacidad productiva y los servicios de los ecosistemas, teniendo siempre presente cómo funcionan los subsistemas edáfico y aéreo (Bello et al., 2008).

## Manejo sostenible del suelo agrícola

El manejo del suelo agrícola está ligado tradicionalmente a la calidad a su vez relacionada con aspectos que tienen que ver con su productividad (García-Álvarez et al., 2003). Pero, en los últimos años, el concepto de calidad se suele asociar a las funciones del suelo, siendo la definición de calidad más citada: “La capacidad de funcionar, dentro de las fronteras del ecosistema y el uso de la tierra, manteniendo la calidad ambiental y fomentando la salud de plantas, de los animales y del hombre”. En su manejo del suelo, el agricultor puede mejorar las condiciones de vida de los microorganismos edáficos procurando maximizar los residuos dejados en el suelo y aplicando rotaciones para optimizar la gestión del agua en los períodos menos propicios del año (Lacasta, 2013). Además de

cierto grado de humedad, para que el subsistema suelo funcione y se mantenga la biodiversidad, han de mantenerse ciertas características como la aireación, una temperatura en torno a 25 °C o un contenido apropiado de materia orgánica. Si estos valores se apartan del óptimo, la actividad biológica disminuye o incluso se detiene cuando los cambios son extremos. En este ambiente mediterráneo, el verano, por falta de agua, y el invierno, por las bajas temperaturas dan lugar a esta disminución, que se retoma en primavera y en otoño.

Con el fin de gestionar adecuadamente este sistema de uso agrario en la Finca de La Higuera se investigan los elementos y procesos relativos al suelo para elaborar estrategias y técnicas agronómicas no sólo rentables sino también respetuosas con el medio ambiente. Los trabajos desarrollados en la finca se encuadran en las siguientes líneas de investigación: el manejo integrado de sistemas agrarios representativos de zonas semiáridas para favorecer una agricultura en armonía con el medio ambiente; el estudio sistémico de alternativas a los cambios de uso del suelo en zonas de agricultura tradicional; el estudio de procesos de degradación de suelos en ecosistemas de ambientes mediterráneos; el empleo de diferentes fuentes naturales de materia orgánica; aspectos sobre la agricultura de conservación y agricultura ecológica en ambientes semiáridos; estudios de especies y ecotipos de plantas herbáceas y arbóreas autóctonas, encaminados a evitar la degradación del territorio y al aumento de la diversidad. Otras líneas abordan la descontaminación de aguas; estudios de los procesos de fosilización; el cambio climático y su efecto en fauna y flora, y por último, la contaminación atmosférica y su influencia en los cultivos

Merece la pena detallar la influencia en el suelo de tres manejos investigados durante largos periodos de tiempo: la incidencia de los tipos de laboreo, el abono verde y el aprovechamiento de la paja del cereal.

Los resultados de diversos ensayos en la finca han permitido comprobar que los parámetros químicos y bioquímicos están relacionados con la cantidad de aire que se introduce con las diferentes prácticas agrícolas, y por tanto con el tipo de laboreo. En términos generales, la labor de volteo (vertedera) es la que más influye en el suelo. En cualquier caso, es necesario tener en cuenta la textura de los suelos, pues las respuestas no son iguales.

En suelos arcillosos (vertisol), al comparar las labores verticales (chísel) con las de volteo (vertedera), las primeras mantienen mayores niveles de materia orgánica en el suelo. El laboreo con chísel (hasta 20 cm de profundidad) da lugar a suelos que tienen hasta un 20% más de materia orgánica, el laboreo con cultivador (hasta 12 cm de profundidad) un 31% más y las parcelas que no se labran un 30% más. Esta mayor energía (carbono) en el sistema, influye en la existencia de un mayor contenido de nutrientes solubles (fósforo, un 20, 36 y

31%, más respectivamente; y potasio, un 19, 23 y 28% más, respectivamente). Con relación a la biomasa microbiana los incrementos son un 23, 41 y 16%, respectivamente. De estos datos se deduce que, en estos suelos arcillosos, es bueno introducir un poco de aire en el suelo (labor de cultivador), ya que favorece las cifras más altas en fósforo y biomasa microbiana (Lacasta et al., 2006 a, b y c; Lacasta, 2010).

En el caso de un suelo franco-arenoso, el tipo de laboreo no influye tanto pues su carácter arenoso permite la presencia de aire en todo momento, al contrario que en suelos arcillosos cuya textura fina es propensa a la anoxia. La presencia de aire favorece la presencia de biomasa microbiana residente y también es más intensa la mineralización. En estos casos, los rendimientos de cereal con manejo ecológico pueden superar las 5 toneladas por hectárea (Lacasta et al., 2005; Lacasta et al., 2006 a, b y c) y Lacasta y Meco, 2011).

No obstante, la influencia positiva de las labores verticales en el funcionamiento del suelo no siempre se traduce en un incremento de los rendimientos, ya que éstos, en su condición de seco, dependen de la cantidad y distribución de lluvias. A esto hay que añadir otras circunstancias como la falta de algunos microelementos como B, Fe, Cu, S, etc., las suelas de labor o la compactación natural del suelo que dificulta la penetración de las raíces, entre otros factores.

Por su parte, otro tipo de manejo como el abono verde también da lugar a cambios en el suelo. El abono verde es la técnica que consiste en sembrar cereal detrás de una leguminosa que ha sido incorporada (enterrada) al suelo en estado de floración. El objetivo es aprovechar la biomasa: carbono y nitrógeno fundamentalmente. Sin embargo, este manejo puede suponer un perjuicio para los rendimientos del cultivo siguiente pues puede producirse una competencia por el nitrógeno entre el cultivo y los requerimientos de los microorganismos en estos suelos. Los agricultores conocen la competencia por nutrientes del cultivo con las (malas) hierbas porque son evidentes, pero no ocurre así con lo que no se puede ver porque está enterrado. Esta competencia ha sido observada, sobre todo en primavera, al comparar los rendimientos con otros sistemas de manejo en los que en lugar de incorporar las leguminosas al suelo, se han segado y extraído del sistema para alimentación del ganado. A lo largo de 21 años de experimentación se ha observado que la rotación en la que la veza es henificada presenta un 9% más de rendimiento. La energía añadida con el abono verde se invierte en un aumento de la biomasa microbiana del suelo (Lacasta et al., 2003; Lacasta, 2013). El suelo es más rico y funciona mejor, pero puede producir menos porque el manejo no es el adecuado para ambientes mediterráneos semiáridos. Las aportaciones de este tipo al suelo se consideran una buena práctica, pero deben respetarse los tiempos y ciclos de

los microorganismos para que redunde en una mayor generación de biomasa vegetal aérea, es decir en una mayor producción.

Durante más de 40 años se ha estudiado el efecto de la paja de cereal sobre las propiedades del suelo y los rendimientos de cereal. El primer periodo de investigación cubrió el período 1972-1985 y el segundo se inició en 1985 y se mantiene en la actualidad. El objetivo principal de ambos ha sido el estudio del ciclo del N en una rotación de cereales (sorgo-trigo-cebada) en estos suelos franco-arenosos. Al comparar parcelas en las que se incorporan los residuos de cosecha con y sin fertilización, éstas últimas sólo tienen un 9% menos de rendimiento (datos de 30 años). La incorporación de la paja mejora la calidad del suelo al aumentar un 44% la materia orgánica, un 22% el fósforo soluble, un 27% el potasio y un 83% la actividad biológica. Además, la introducción de un cultivo de verano permite que, durante la primavera, los microorganismos edáficos no compitan con el cultivo. Esto favorece la mineralización de la materia orgánica del suelo para que sirva de fuente de nutrientes y energía a los cultivos siguientes (Dorado et al., 2003; López-Fando et al., 2003).

Merece la pena mencionar el papel de los nematodos del suelo. Su actividad constituye el eslabón fundamental para permitir la posterior intervención de los descomponedores primarios (microflora edáfica). Los nematodos, después de los protozoos, son el grupo más numeroso y diverso de la microfauna edáfica. Tienen densidades que oscilan entre 0,08 y más de 30 millones de individuos por m<sup>2</sup> en suelos áridos y húmedos respectivamente. Su diversidad está relacionada con sus hábitos alimenticios y su posición en la cadena trófica, fitoparásitos, fungívoros, microbívoros, depredadores y omnívoros. Esto les faculta como indicadores del estado de conservación del suelo, y también de la sostenibilidad de diferentes manejos agrícolas. En este clima mediterráneo continental Nombela et al. (1994) han estudiado la estructura de la nematofauna y el efecto de las rotaciones sobre ella. Por su parte, Arias et al. (2003) y García-Álvarez et al. (2004) observaron que los manejos ecológicos (aportación de residuos de cosecha y leguminosas) favorecerían las poblaciones de nematodos omnívoros y depredadores, pero disminuirían los fitoparásitos, todo lo contrario que en la agricultura convencional (aportación de agroquímicos), donde los fitoparásitos aumentan. Los microbívoros y fungívoros no presentaron variaciones.

Como conclusiones de las líneas de investigación llevadas a cabo, han surgido algunas prácticas recomendables para mejorar el funcionamiento de los suelos en este entorno mediterráneo:

Las rotaciones de cereal con girasol, leguminosas o barbecho, permiten que haya agua en verano en el suelo y que aumente el aporte de nitrógeno.

La entrada de aire en el edafosistema favorece la proliferación de organismos oportunistas en perjuicio de los organismos residentes, por ello, se recomienda no utilizar vertedera, sino labores verticales y rápida incorporación de residuos, para además aprovechar las posibles tormentas de verano.

Es conveniente hacer un manejo diferenciado entre suelos con distintas texturas, introduciendo más aire en los suelos arcillosos y, por el contrario, favorecer la estructura en los suelos más ligeros con laboreo mínimo.

En los cultivos leñosos se pueden maximizar agua, aporte de materia orgánica y biodiversidad, estableciendo cubiertas vegetales perennes o estacionales, dependiendo de las disponibilidades de agua.

No deben quemarse residuos vegetales, deben ser reciclados y utilizados como fuente de energía para los suelos. Una mayor biodiversidad edáfica garantiza menos problemas de patógenos (Tello et al., 2011).

## PERFIL 1: Suelo evolucionado sobre arcosa recarbonatado



Fig. 8. Campo de cultivo junto al perfil 1 en la Finca La Higuera.

### INFORMACIÓN ACERCA DEL SITIO

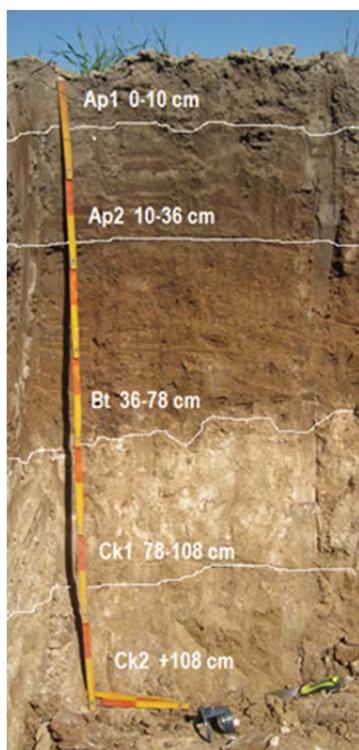


Fig. 9 Perfil 1 en La Higuera.

**Localidad/Localización:** zona de experimentación de rotación cultivos

**Provincia:** Toledo

**Municipio:** Santa Olalla

**Coordenadas:** 40° 3' 17.42" N

4° 25' 34.849" W

**Altitud:** 460 m

**Posición fisiográfica:** zona llana superior de una loma

**Topografía circundante:** alomada

**Pendiente:** 1% Clase 1 (llano)

**Orientación:** este

**Pedregosidad:** Clase 0 (no hay piedras)

**Material original:** arcosa

**Drenaje:** Clase 3 (moderadamente bien drenado)

**Condiciones de humedad:** húmedo

**Prof. de la capa freática:** >10 m

**Erosión:** hídrica superficial

**Vegetación natural:** eliminada

**Uso del suelo:** cerealístico

**Clasificación:**

**Calcic Luvisol (Aric, Profondic)** (WRB, 2015)

**Calcic Haploxeralf** (Soil Survey Staff, 2014)

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof. cm	Descripción
<b>Ap1</b>	0-10	Color gris pardo claro 10YR 6/2 en seco y pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2 en húmedo; textura franco arenosa; estructura moderada, en bloques subangulares, mediana, (tendencia a migajosa); consistencia no adherente, no plástico, friable y duro; frecuentes raíces finas y medias; frecuentes poros de todos los tamaños; límite con el horizonte inferior gradual y ondulado.
<b>Ap2</b>	10-36	Color pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2 en seco y pardo oscuro 10YR3/3 en húmedo; textura franco arcillo arenosa; estructura fuerte (más compacta que en Ap1), en bloques subangulares, mediana; consistencia no adherente, no plástico, friable y duro; pocas raíces finas y medianas (menos que en Ap1); frecuentes poros de todos los tamaños; límite con el horizonte inferior neto y plano.
<b>Bt</b>	36-78	Color rojo amarillento 5YR 4/6 en seco y color pardo rojizo 5YR 4/4 en húmedo; textura arcillo arenosa; estructura fuerte, prismática que se resuelve en bloques subangulares, gruesa; consistencia adherente, plástico, firme y muy duro; cutanes discontinuos; sin apenas raíces; frecuentes poros gruesos; límite con el horizonte inferior gradual e irregular.
<b>Ck1</b>	78-108	Color pardo oscuro 7.5YR 5/6 en seco y color pardo oscuro 7.5YR 4/6 en húmedo; textura franco arcillosa; masivo con tendencia a estructura fuerte en bloques subangulares, gruesa; consistencia no adherente, no plástico, firme y duro (compacto); sin raíces; el carbonato cálcico aparece en forma masiva en las caras de los agregados con colores que varían de blanco rosado (7.5YR 8.5/2) a rosa amarillento pálido (7.5YR9.5/2) en seco y de rosa amarillento pálido (7.5YR 9/2) a blanco rosado (7.5YR8.5/2) en húmedo, aunque se diferencian también formas concrecionadas; límite con el horizonte inferior gradual y ondulado.
<b>Ck2</b>	>108	Color pardo amarillento claro 10YR 6/4 y blanco 10YR 8.5/1 en seco y pardo amarillento 10YR 5/4 y pardo muy pálido 10YR 7/4 en húmedo; textura franca; estructura masiva, tendencia a bloques subangulares, moderada y mediana; consistencia no adherente, no plástico, firme y ligeramente duro; sin raíces.



Fig. 10. Detalle del carácter plástico del horizonte (arriba) y estructura prismática (abajo) del horizonte argílico (abajo).

#### *Observaciones:*

Suelo representativo sobre la arcosa de la Región de Madrid con procesos edafogénicos muy evolucionados, testimonio de una evolución progresiva.

En el manejo de este terreno, al pasar el cultivador, se trabajan sólo los primeros centímetros del suelo. Por ello el horizonte Ap1 es más blando que el Ap2, que resulta muy duro por lo que de vez en cuando es preciso emplear un descompactador, cuya frecuencia de uso en esta zona parece ser óptima en periodos de dos años (López-Fando y Dorado, 2005).

Se observa un leve descenso de la densidad aparente, con  $1.4 \text{ Mg m}^{-3}$  en el horizonte Bt que aparece a los 36 cm de profundidad, en comparación con los  $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  que presenta el horizonte superficial. También existen diferencias en la capacidad de retención de agua de ambos horizontes, siendo del 7.1% en el horizonte Bt (capacidad de campo 20.4% y punto de marchitez 13.3%), algo mayor que en el horizonte superficial, que muestra un valor del 5% (capacidad de campo de 21.8% y punto de marchitez 16.8%).

## DATOS ANALÍTICOS

Tabla 1. Análisis textural del perfil 1 de La Higuera.

Hor.	Prof. cm	Arena (%)		Limo (%)	Arcilla (%)	Clase  Textural Internacional
		2000-200 μm	200-20 μm	20-2 μm	<2 μm	
<b>Ap1</b>	0-10	44	32	5	19	Areno-Arcillosa
<b>Ap2</b>	10-36	40	29	9	22	Areno-Arcillosa
<b>Bt</b>	36-78	28	22	12	39	Arcillo-Arenosa
<b>Ck1</b>	78-108	24	13	25	38	Arcillo-Arenosa
<b>Ck2</b>	>108	33	7	21	38	Arcillo-Arenosa

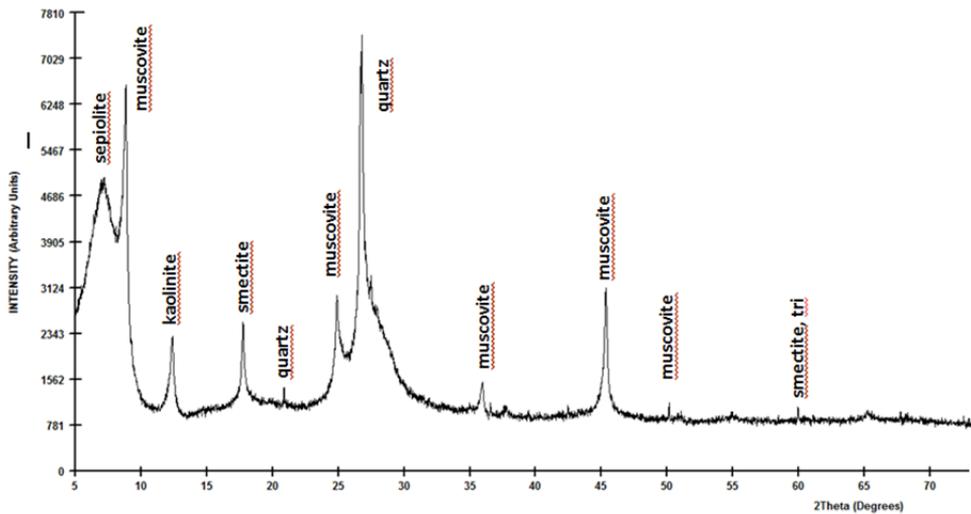


Fig. 11 Diagrama de difracción de rayos X de la fracción arcilla del horizonte Bt.

Tabla 2. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), relación C/N y fósforo disponible (P) del perfil 1 de La Higuieruela.

Hor.	CE <sub>25°C</sub> 1:5 (dS m <sup>-1</sup> )	pH		CO (%)	N (%)	C/N	P (Olsen) (mg kg <sup>-1</sup> )
		H <sub>2</sub> O	KCl				
<b>Ap1</b>	0.191	5.9	5.2	0.81	0.14	5.8	365
<b>Ap2</b>	0.042	6.6	5.4	0.30	0.04	7.5	66
<b>Bt</b>	0.264	7.5	6.9	0.30	-	-	-
<b>Ck1</b>	0.113	7.7	7.4	<0.1	-	-	-
<b>Ck2</b>	0.074	7.9	7.4	<0.1	-	-	-

Tabla 3. Carbonatos (CaCO<sub>3</sub>), cationes de cambio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases (V) del perfil 1 de La Higuieruela.

Hor.	CaCO <sub>3</sub> (%)	Cationes de cambio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	V (%)
		Ca	Mg	Na	K		
<b>Ap1</b>	0	3.5	0.7	0.04	0.7	11	47
<b>Ap2</b>	0	5.9	1.0	0.04	0.5	15	53
<b>Bt</b>	1.2	19.2	2.4	0.09	0.6	36	61
<b>Ck1</b>	18.9	26.2	2.0	0.10	0.4	41	100
<b>Ck2</b>	11.1	21.2	1.6	0.11	0.2	30	100

## PERFIL 2: Suelo evolucionado sobre arcosa



Fig. 12. Viñedo junto al perfil 2 en la Finca La Higuieruela.

## INFORMACIÓN ACERCA DEL SITIO

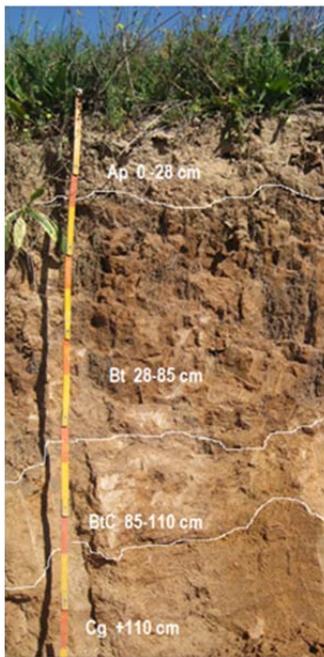


Fig.13. Perfil 2 en La Higuieruela.

**Localización:** zona de experimento rotación cultivos. Finca La Higuieruela

**Provincia:** Toledo

**Municipio:** Santa Olalla

**Coordenadas:** 40° 3' 12.47" N

4° 25' 19.279" W

**Altitud:** 440 m

**Pedregosidad:** Clase 0 (no hay piedras)

**Drenaje:** Clase 2 (imperfectamente drenado)

**Condiciones de humedad:** húmedo

**Prof. de la capa freática:** >5 m

**Pendiente:** 1% Clase 1 (llano)

**Erosión:** hídrica laminar ligera

**Posición fisiográfica:** llanura

**Topografía circundante:** suavemente ondulado

**Microtopografía:** suavemente ondulada por laboreo

**Material original:** arcosa

**Vegetación natural:** eliminada

**Uso del suelo:** cerealístico

**Clasificación:**

**Haplic Luvisol (Aric, Profondic)** (WRB, 2015)

**Typic Haploxeralf** (Soil Survey Staff, 2014)

## DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA

Hor.	Prof. cm	Descripción
<b>Ap</b>	0-28	Color gris pardo claro 10YR 6/2 en seco y pardo 10YR 5/3 en húmedo; textura franco arenosa; estructura débil, granular, fina; consistencia no adherente, no plástico, muy friable y blando; abundantes raíces finas; poroso; se observan abundantes túbulos/huecos, indicando intensa vida biológica; límite con el horizonte inferior neto y ondulado.
<b>Bt</b>	28-85	Color pardo oscuro 7.5YR 5/6 en seco y color pardo 7.5YR 4/4 en húmedo; textura franco arcillo arenosa; estructura prismática gruesa muy fuerte; consistencia ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy firme y muy duro; cutanes continuos y moderadamente espesos; frecuentes superficies de fricción; raíces frecuentes, finas, en grietas; límite con el horizonte inmediato inferior difuso y ondulado.
<b>BtC</b>	85-110	Color pardo 7.5YR 5/4 en seco y color pardo 7.5YR 4/4 en húmedo; textura franco arcillo arenosa; se observan algunas manchas de tonos grises; estructura en bloques angulares, moderada, gruesa; consistencia no adherente, no plástico, muy firme y muy duro; cutanes escasos y discontinuos; raíces escasas; límite con el horizonte inmediato inferior gradual y ondulado.
<b>Cg</b>	>110	Color amarillo rojizo 7.5YR 6/6 en seco y color pardo oscuro 7.5YR 5/6 en húmedo; textura franco arenosa; arenas arcólicas de estructura masiva; consistencia no adherentes, no plástico, firme y algo duro; se observan algunas manchas de tonos pardo-grisáceos herrumbrosos laminares y no laminares; sin presencia de raíces; es poroso.

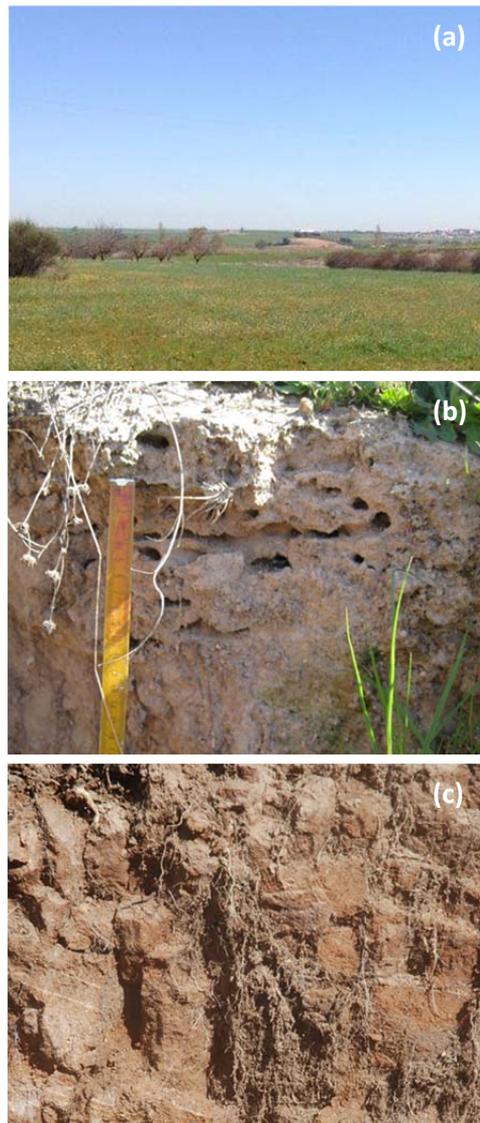


Fig. 14. a) Paisaje circundante a la calicata del Perfil 2; b) signos de actividad biológica en el horizonte Ap; c) detalle de raíces en el horizonte Bt.

*Observaciones:*

Suelo representativo sobre la arcosa de la región de Madrid con procesos edafogénicos muy evolucionados, testimonio de una evolución progresiva sin acumulación de carbonatos y de calidad mejorada como pone de manifiesto la intensa actividad biológica (Fig.14). De forma análoga al perfil anterior, se produce una tendencia al descenso de la densidad aparente entre los perfiles Ap y B, que siendo de  $1.54 \text{ Mg m}^{-3}$  en el horizonte Ap, pasa a  $1.46 \text{ Mg m}^{-3}$  en el horizonte Bt.

## DATOS ANALÍTICOS

Tabla 4. Análisis textural del perfil 2 de La Higuera.

Hor.	Prof. cm	Arena (%)		Limo (%)	Arcilla (%)	Clase  Textural Internacional
		2000-200 μm	200-20 μm	20-2 μm	<2 μm	
<b>Ap</b>	0-28	47	27	8	18	Areno-Arcillosa
<b>Bt</b>	28-85	37	25	5	34	Arcillo-Arenosa
<b>BtC</b>	85-110	50	22	4	24	Areno-Arcillosa
<b>Cg</b>	>100	73	9	1	17	Areno-Arcillosa

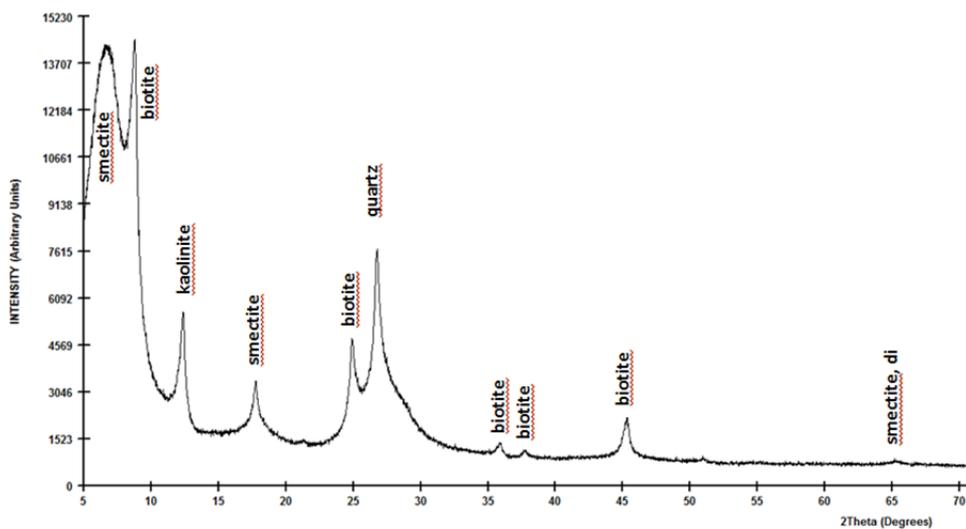


Fig. 15. Diagrama de difracción de rayos X de la fracción arcilla del horizonte Bt.

Tabla 5. Conductividad eléctrica (CE), pH, carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), relación C/N y fósforo disponible (P) del perfil 2 de La Higuera.

Hor.	CE 1:5 (dS m <sup>-1</sup> )	pH		CO (%)	N (%)	C/N	P (Olsen) (mg kg <sup>-1</sup> )
		H <sub>2</sub> O	KCl				
<b>Ap</b>	0.05	5.9	4.2	0.22	0.15	1.5	34
<b>Bt</b>	0.03	5.6	4.2	0.20	0.11	1.8	17
<b>BtC</b>	0.02	6.2	4.2	<0.1	-	-	-
<b>Cg</b>	0.01	6.2	4.4	<0.1	-	-	-

Tabla 6. Carbonatos (CaCO<sub>3</sub>), cationes de cambio, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases del perfil 2 de La Higuera.

Hor.	CaCO <sub>3</sub> (%)	Cationes de cambio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	V (%)
		Ca	Mg	Na	K		
<b>Ap</b>	0	2.5	0.7	0.04	0.4	9	41
<b>Bt</b>	0	8.9	3.0	0.09	0.3	26	48
<b>BtC</b>	0	5.3	1.8	0.07	0.2	15	48
<b>Cg</b>	0	3.5	1.3	0.07	0.3	10	50

## Campo experimental para el estudio de la erosión en campos agrícolas

En los sistemas agrícolas, la importancia de conservar un suelo de buena calidad es particularmente relevante, ya que su productividad depende, en buena medida, del estado de conservación del suelo. Más aún, en los paisajes mediterráneos de agricultura extensiva, donde las condiciones climáticas ya son, por sí mismas, una importante limitación para la productividad.

En España, el 37% de la superficie nacional pertenece a tierras de cultivo, y dentro de éstas, los cultivos herbáceos suponen un 50% de esta superficie (MAPA, 2006). Por tanto, la gran extensión que ocupan les concede una gran importancia desde el punto de vista de la erosión y la conservación del suelo (García Ruiz y López Bermúdez, 2009). Sin embargo, de la revisión bibliográfica se concluye que la información actualmente disponible respecto a la respuesta hidrológica y erosiva de este tipo de cultivos en España es muy escasa.

Uno de los recursos metodológicos más útiles y extendidos para obtener información sobre estas respuestas son las parcelas experimentales de erosión, ya que son instrumentos de campo que permiten medir la producción de escorrentía y sedimentos en una superficie delimitada de la que se conocen con detalle todas sus características (De Alba, 1998). En la Finca Experimental La Higuera (CSIC), desde el año 1992 se tiene un campo experimental en el que se aborda el estudio de los procesos de degradación del suelo por erosión en campos agrícolas en relación con diferentes usos y manejos del suelo. En el presente trabajo se describe dicho campo experimental, singular tanto por la información que aporta sobre la respuesta hidrológica y erosiva de usos agrícolas de secano, como por la amplia serie de datos actualmente disponible de 22 campañas agrícolas consecutivas.

Actualmente el campo experimental cuenta con 28 parcelas de erosión que reproducen diez usos y manejos de los suelos representativos del secano mediterráneo. Las parcelas experimentales corresponden al modelo de parcela de erosión cerrada con límites artificiales (Hudson, 1993) y, por tamaño y características al tipo de parcelas standard tipo USLE (Wischmeier & Smith, 1978). Las medidas concretas de las parcelas son 22 m de largo y 1.5 m de ancho (33 m<sup>2</sup>), los límites son de chapa metálica galvanizada clavada en el suelo y tubos de PVC, y están situadas en una ladera con una pendiente media del 9%. En la parte inferior de cada una de ellas se encuentra instalado un colector que recoge y canaliza la escorrentía hacia los depósitos de muestreo y almacenamiento (Fig. 16). En 8 de las parcelas, estos sistemas de almacenamiento están dotados de unos sensores de nivel conectados a unidades autónomas de adquisición de datos (HOBO loggers) que permiten el seguimiento continuo y automático de la curva de producción de escorrentía

con una resolución temporal de 2 min. Una descripción detallada de las instalaciones y de la instrumentación utilizada en las parcelas de erosión se recoge en Alcazar, 2013.

La cantidad de escorrentía y sedimentos se cuantifica después de cada episodio de lluvia, lo que permite obtener una respuesta hidrológica y erosiva detallada de cada manejo agrícola.



Fig. 16. a) Vista aérea del campo experimental; b) y c) detalles de las parcelas de erosión.

En cuanto a los usos y manejos aplicados en las parcelas, fueron seleccionados atendiendo a su representatividad en el panorama agrícola de Castilla-La Mancha, así como a las tendencias promovidas por las medidas adoptadas por la Política Agraria Común de la Unión Europea (PAC). Cabe destacar que las parcelas se desmontan anualmente para el paso de la maquinaria encargada de las labores, por lo que todas las operaciones de labranza y siembra son realizadas con maquinaria agrícola convencional.

Cada manejo se reproduce en 3 parcelas (A, B, C) con el fin de tener réplicas y poder contrastar los posibles datos anómalos. Los modelos de manejo aplicados en las parcelas para cada campaña agrícola (septiembre-agosto) son los siguientes (Fig. 17):

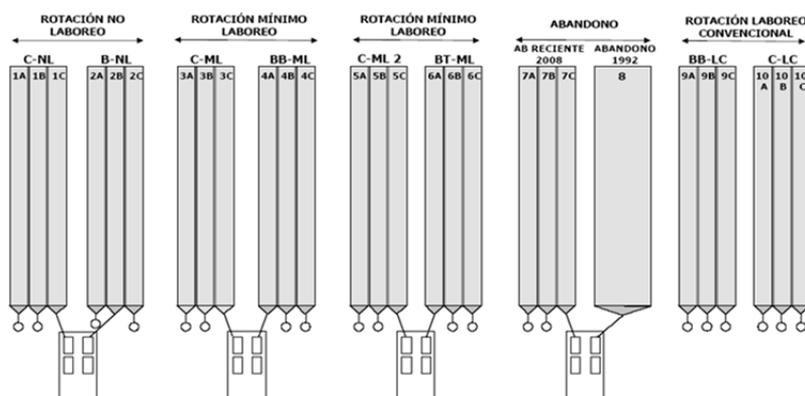


Fig. 17. Esquema del campo experimental (ver el significado de las siglas en el texto).

- Parcelas 1 y 2: Rotación anual de cultivo de cebada y barbecho tardío. Ambas con prácticas de no laboreo o siembra directa (C-NL/B-NL).
- Parcelas 3 y 4: Rotación anual de cultivo de cebada y barbecho blanco. Ambas con prácticas de mínimo laboreo (C-ML/BB-ML).
- Parcelas 5 y 6: Rotación anual de cultivo de cebada y barbecho tardío. Ambas con prácticas de mínimo laboreo (C-ML2/BT-ML).
- Parcelas 7 y 8: Simulación de retirada de tierras de la producción agrícola por abandono y regeneración natural de la vegetación espontánea (AB). Las parcelas se mantienen cerradas sin intervención alguna, la P7 desde el inicio de la campaña 2008, y la P8 desde el año 1992.
- Parcelas 9 y 10: Rotación anual de cultivo de cebada y barbecho blanco. Ambas con prácticas de laboreo convencional (C-LC/BB-LC). Señalar que este tipo de manejo de barbecho, así como las rotaciones en que está presente, quedan excluidas de forma expresa del reglamento de Buenas Prácticas Agrarias (D.O.C.M. núm. 43 de 28/03/2003).

Las instalaciones presentan también dos pluviómetros digitales conectados a dos *dataloggers* del tipo “HOBO Event”, que permiten registrar la curva de precipitación de forma continua con una resolución de 0.2 mm de lluvia. Adicionalmente, la Finca Experimental La Higuera cuenta con una estación meteorológica completa adscrita a la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), por lo que se dispone de una serie temporal de datos meteorológicos desde el año 1949.

Los resultados obtenidos hasta la fecha (1993/94-2014/15) confirman la gran variabilidad estacional e interanual de las precipitaciones y de su erosividad en el clima Mediterráneo; y revelan diferencias en las respuestas hidrológicas y erosivas en los diferentes manejos. Así mismo, esta gran variabilidad pone de manifiesto la importancia de disponer de largas series temporales de datos de campo relativos a los distintos usos y manejos del suelo, con el objeto de validar y calibrar modelos predictivos de erosión, así como para elaborar los

modelos de gestión del territorio que consideren como premisa la sostenibilidad del suelo.

Las parcelas experimentales de erosión, como las descritas aquí, resultan una herramienta muy útil para evaluar y comparar las respuestas hidrológicas y erosivas de diferentes modelos de manejo agrícola (Alcázar, 2013). Por otro lado, para poder evaluar dichas respuestas correctamente, las parcelas deben cumplir ciertas condiciones, como tener un tamaño suficiente para permitir el paso de maquinaria agrícola convencional, y unos límites que puedan retirarse y no supongan un obstáculo para el paso de esta maquinaria. Además, la realización de labores periódicas con maquinaria supone un cierto intercambio de suelo con las zonas colindantes lo que anula el conocido efecto de agotamiento de las parcelas en la exportación de sedimentos. No obstante, es importante destacar que las parcelas experimentales son muestras puntuales y aisladas del paisaje por lo que las tasas de erosión y coeficientes de escorrentía obtenidos son específicos de las características concretas de cada parcela, y por ello nunca son directamente extrapolables al resto del paisaje; sin embargo, constituyen la base de datos fundamental para la construcción y calibración de modelos de erosión e hidrológicos de mayor aplicación espacial (De Alba, 1997).

Otra ventaja de las parcelas experimentales es que permiten tener controlados y monitorizados todos los factores que intervienen en los procesos erosivos del suelo (meteorológicos, edafológicos, topográficos, manejos, vegetación), y por tanto, evaluar cuáles son los más influyentes en dichos procesos. Sin embargo, las parcelas de erosión como las presentadas aquí se han revelado no adecuadas para evaluar los efectos de diferentes prácticas de conservación, para las que las dimensiones laterales de la parcela son un factor limitante. Este es el caso de la labranza a nivel, cuya respuesta hidrológica viene determinada por los flujos laterales de escorrentía a lo largo de los surcos de labranza (De Alba & Benito, 2001). Para una evaluación rigurosa de la respuesta hidrológica y erosiva de campos labrados a nivel se requiere un tamaño de observación a escala de ladera. Este es el caso de la investigación desarrollada por el presente equipo de investigación durante más de dos décadas (1995-2017), en la que a escala de ladera se estudió la erosión ocurrida en campos agrícolas productivos durante episodios erosivos singulares. A partir de esos trabajos se ha concluido que la labranza a nivel o en contorno, no sólo no resulta eficaz para reducir la erosión el suelo sino que intensifica de forma drástica las pérdidas de suelo que ocurren durante episodios erosivos extremos (entre otros en De Alba 1998, De Alba et al., 2001 y más recientemente en la Tesis Doctoral de Cermeño presentada en mayo de 2017). Conclusión esta, que desbarata uno de los paradigmas clásicos de la conservación de suelos, que establece que la labranza a nivel es una práctica esencial de conservación de suelos e impone su aplicación a nivel universal.

En esta visita se presentarán diversos trabajos experimentales realizados para la cuantificación y modelización de los procesos de redistribución mecánica de los suelos (*tillage erosion*). Procesos, cuyos efectos acumulados a largo plazo permiten comprender la variabilidad espacial en cuanto a la degradación de los suelos presentes en los paisajes agrícolas actuales, así como interpretar y modelizar la transformación del modelado del relieve en estos paisajes (por ejemplo en Van Oost et al., 2006)

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcázar, M. (2013). Evaluación de la erosión hídrica en parcelas experimentales en campos agrícolas de secano mediterráneo. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Arias, M., García Álvarez, A., Arcos, S.C., Escuer, M., & Bello, A. (2003). Practicas ecológicas y su influencia sobre la nematofauna en sistemas cerealistas. Libro La Agricultura Ecológica y Ganadería Ecológica en un marco de diversificación y desarrollo solidario. V congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología.
- Bello, A., López-Pérez, J.A., Díez –Rojo, M.A., López-Cepero, J., & García-Álvarez, A. (2008). Principios ecológicos en la gestión de los agrosistemas. ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura CLXXXIV 729: 19-29 ISSN: 0210-1963
- Cermeño, F.I. (2017). Influencia de los patrones de laboreo sobre la respuesta erosiva durante episodios extremos de erosión en paisajes agrícolas de secano mediterráneo. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- De Alba, S. (1997). Metodología para el estudio de la erosión en parcelas experimentales: relaciones erosión-desertificación a escala de detalle. En J.J. Ibáñez, B.L. Valero Garcés y C. Machado (Eds.). El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo, 259-293. Geoforma Ediciones, Logroño.
- De Alba, S. (1998). Procesos de degradación del suelo por erosión en ecosistemas agrícolas de condiciones ambientales mediterráneas de la región central de España. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 590 pp.
- De Alba, S. & Benito, G. (2001). Effects of soil surface management on erosion during extreme rainfall events in semiarid agricultural lands (Central Spain). In Proceedings of the International Symposium: The Significance of Soil Surface Characteristics in Soil Erosion. UE-COST 623 "Soil Erosion and Global Change" (European Commission). University Louis Pasteur, Strasbourg, France.
- Dorado, J., Zancada, MC., Almendros, G., & Lopez-Fando. C. (2003). Changes in soil properties and humic substances after long-term amendments with manure and crop residues in dryland farming systems. Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Pflanzenernahrung und Bodenkundr, 166, 31-38.

- García-Álvarez, A., J.J. Ibáñez, J.J., & Bello, A. (2003). "Soil functions, soil quality or soil health. Scientific, metaphorical or utilitarian concepts in soil sciences" En "Preserving Soil Quality and Soil Biodiversity. The Role of Surrogate Indicators". M.C. Lobo and J.J. Ibáñez (Eds), IMIA-CSIC, 151-164.
- García Ruiz, J. M. y López Bermúdez, F. (2009). La erosión del suelo en España. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza.
- Hudson, N.W. (1993). Field measurement of soil erosion and runoff. FAO Soils Bulletin Nº68 139 pp.
- Instituto Geológico y Minero de España (2007). Mapa Geológico de España 1:50.000 Memoria de la hoja 603 (Fuensalida).
- IUSS Working Group WRB. (2015). World Reference Base for Soil Resources. 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. Update 2015.
- Lacasta, C. (2010). Informe Finca Experimental La Higuera. Mayo 2010. Disponible en internet [http://orgprints.org/21897/1/2010%20Finca%20La%20Higuera\\_para\\_ORGPRINTS.pdf](http://orgprints.org/21897/1/2010%20Finca%20La%20Higuera_para_ORGPRINTS.pdf). Acceso en Abril 2017.
- Lacasta, C. (2013). Lo que debe saber un agricultor para manejar el suelo y mantener su fertilidad y salud. *Tierras-Agricultura*, 205,32-44.
- Lacasta, C., Benitez, M., Maire, N., & Meco, R. (2006a). Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. Trabajo 110.
- Lacasta, C., Benitez, M., Maire, N., & Meco, R. (2006b). Estudio de parámetros bioquímicos del suelo con diferentes manejos de fertilidad y en un sistema cerealista de secano VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. Trabajo 112.
- Lacasta, C., Benitez, M., Maire, N., & Meco, R. (2006c). La incorporación del rastrojo y la rotación con leguminosas es la estrategia de fertilización más rentable para el cereal. *Tierras de Castilla y León-Agricultura*, 129, 54-67.
- Lacasta, C., Maire, N. & Meco, R. (2003). El abono verde, un manejo controvertido en los cultivos herbáceos de secano. *La Fertilidad de la tierra*, 14.
- Lacasta, C., Meco, R. & Maire, N. (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en agrosistemas de

- cereales, sometidos a diferentes manejos de suelo durante 21 años. El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común, Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, Córdoba. 429-436.
- Lacasta, C., & Meco, R. (2011). La rotación en cultivos herbáceos de secano. Agricultura ecológica en secano. En: Agricultura ecológica en secano: Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos. Coordinadores: R. Meco, C. Lacasta y M.M. Moreno. ISBN (MARM): 978-84-491-1083-2 y ISBN (Mundi-Prensa): 978-84-8476-539-4. 107-152.
- López-Fando, C. & Dorado, J. (2005). Efecto de distintos sistemas de laboreo sobre las características físico-químicas de un suelo compactado de la región central. En Jiménez-Ballesta R. & Álvarez-González, A. (Eds.). II Simposio Nacional. Control de la Degradación de Suelos. Madrid. 293-297.
- Lopez-Fando, C., Dorado, J., Gonzalez-Vila F.J. Zancada, M.C., & Almendros, G. (2003). Evolución de las propiedades físicas y la materia orgánica del suelo con enmiendas orgánicas y fertilización mineral. Edafología, 10(2), 147-153.
- Lopez-Fando, C. (1991). Degradación de un Xeralf sometido a distintas técnicas agrícolas. Tesis doctoral. Univ. Politécnica. E.T.S.I.A. Madrid. 223 pp.
- MAPA. (1994). Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Dirección General de Política Alimentaria del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Ed.). Madrid.
- MAPA. (2006). Hechos y cifras de la agricultura, la pesca y la alimentación en España. 8ª ed. rev., act. y amp. 2006. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Monturiol Rodríguez, F. & Alcalá del Olmo Bobadilla, L. (1990). Mapa de Asociaciones de Suelos de la Comunidad de Madrid. Escala 1:200.000. 1ª Edición. Comunidad de Madrid. Consejería de Agricultura y Ganadería y Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Munsell Color (Firm). (2010). Munsell soil color charts : with genuine Munsell color chips. Grand Rapids, MI: Munsell Color.
- Nombela, G., Navas, A. & Bello, A. (1994). Structure of the nematofauna in Spanish Mediterranean continental soils. Biol. Fertil. Soils, 18, 183-192.
- Oliver, S., González, R. & Lacasta, C. (1988). Caracterización climática de la Finca Experimental "La Higuera". Avances sobre investigaciones en Bioclimatología. Blanco, A. (ed.), 87-5.

- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. & Dean, J.F. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture Circular.
- Rivas Martínez, S. (1987). Memoria del mapa de series de vegetación de España 1: 400.000. 268 pp. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Robinson, G.W. (1922). A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. *The Journal of Agricultural Science*, 12(03), 306-321.
- Sánchez-Andrés, R., (2002). Eficacia del manejo del suelo en una aforestación con encinas sobre tierras agrícolas de ambiente semiárido en la región central de España. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Spain.
- Soil Survey Staff, (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Tello, C., Cara de, M., Moreno, A., & Santos, M. (2011). El suelo como “ente vivo” y su relación con las enfermedades de las plantas. En: *Agricultura ecológica en secano: Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos*. Coordinadores: R. Meco, C. Lacasta y M.M. Moreno. ISBN (MARM): 978-84-491-1083-2 y ISBN (Mundi-Prensa): 978-84-8476-539-4. 181-220.
- Van Oost, K., Govers, G., De Alba, S., & Quine, T. (2006). Tillage erosion: a review of controlling factors and implications for soil quality. *Progress in Physical Geography*, 30(4), 443-466.
- Walkley, A. & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 27, 29-37.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook N°537*. United States Department of Agriculture. Washington.



**POLITÉCNICA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE MADRID**



**UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID**



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS**



**iMiDRA**

Instituto Madrileño de Investigación  
y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario



**JOHN DEERE**



**S E C S**  
Sociedad Española  
de Ciencia del Suelo



**International  
Decade of Soils**  
2015-2024