



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Toposecuencia de suelos en el piso montano del Parque Natural del Moncayo

Autor

Alberto Ruiz Lorente

Director

David Badía Villas

Escuela Politécnica Superior de Huesca

2015

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de fin de carrera lleva detrás la colaboración de varias personas, que de no haber estado, no hubiera sido posible sacarlo adelante.

Al Dr David Badía Villas, director del presente trabajo, por su paciencia y disponibilidad total para ayudarme cuando ha sido necesario, y por cederme las fotos de los perfiles estudiados.

A Asunción Belén Aguado y Asunción Callizo, técnicos de laboratorio, por su ayuda y hacer más sencilla las tareas de análisis.

A Maite Echevarría y Paloma Ibarra, del Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, por su ayuda en las salidas de campo y facilitación de bibliografía de interés.

A mi familia, que me ha empujado a terminarlo.

A ti, por tu ayuda y tus ánimos.

A mis compañeros y amigos de grado que siempre han estado ahí.

De verdad, gracias.

RESUMEN

El presente trabajo pretende caracterizar los suelos formados sobre areniscas cuarcíticas en el piso montano del Parque Natural del Moncayo (Zaragoza), a lo largo de una toposecuencia para diagnosticar su estado de desarrollo. El Parque Natural del Moncayo es una zona que ha recibido atención desde varios puntos de vista: geomorfológico (Pellicer, 1996), y botánico (Ballarín, 1996). A pesar de todo, es escasa la información disponible sobre sus suelos, teniendo que remontarse a las primeras descripciones de Guerra (1968). Se abrieron un total de cinco perfiles edáficos a lo largo del piso montano en la vertiente noroeste. Posteriormente se caracterizaron las propiedades macromorfológicas (C.B.D.S.A., 1983), físicas y químicas (M.A.P.A., 1994), y biológicas (Jabiol, 2007). Un factor muy influyente es la altitud, apreciándose que el proceso de la podsolización está presente, y es gradual a lo largo de la ladera (Carceller y Vallejo, 1996). Las acumulaciones de hierro y aluminio a lo largo de la toposecuencia, los bajos niveles de pH, la gran cantidad de materia orgánica presente, la elevada pedregosidad, y las texturas francas y franco arenosas, son algunas de las características de estos suelos. Los perfiles estudiados fueron clasificados según World Reference Base (2014) como podzoles álbico, cambisoles dístricos y umbrisoles esquelético y según Soil Survey Staff (2014) como typic haplorthod, spodic dystrodept, typic dystropep y humic dystrodept.

Palabras clave: Suelo, toposecuencia, Moncayo, piso montano, podsolización, perfil, caracterización, clasificación, altitud.

ABSTRACT

This paper aims to characterize the soils on quartzite sandstones formed in the montane Natural Park Moncayo (Zaragoza), over a toposequence to diagnose their state of development. Moncayo Natural Park is an area that has received attention from several points of view: geomorphological (Pellicer, 1996) and botanical (Ballarín, 1996). Nevertheless, there is little information available on its soil, having to go back to the first descriptions of War (1968). A total of five soil profiles were opened along the montane in the northwest side. Later macromorphological biological properties (CBDSA, 1983), chemical (MAPA, 1994) and (Jabiol, 2007) were characterized. A very influential factor is the altitude, appreciating the process of podsolization is present, and is gradually along the slope (Carceller and Vallejo, 1996). Accumulations of iron and aluminum along the toposequence, low pH levels, the large amount of organic matter, high stoniness, and the free and frank sandy texture, are some of the characteristics of these soils. The profiles studied were classified according to World Reference Base (2014) as albic podzols, and skeletal cambisols dystric umbrisols. Soil Survey Staff (2014) as Typic haplorthod, spodic Dystrudept, typic dystrupet and humic Dystrudept.

Keywords: Soil, toposequence, Moncayo, montane, podsolization, profile, characterization, classification, altitude.

ÍNDICE

Escuela Politécnica Superior de Huesca	1
1. INTRODUCCION	1
1.1. EL SUELO	1
1.2. PERFIL EDÁFICO, PEDIÓN Y POLIPEDIÓN	2
1.3. GÉNESIS DEL SUELO Y HORIZONTES GENÉTICOS	3
1.4. HORIZONTES DIAGNÓSTICO	4
1.5. FORMACIÓN DE SUELOS	4
1.5.1. Factores formadores	5
1.5.2. Procesos formadores	9
1.5.3. Relaciones suelo-paisaje	13
1.6. TOPOSECUENCIA	19
1.7. LOS SUELOS DEL MONCAYO	20
2. OBJETIVOS.....	22
3. ÁREA DE ESTUDIO	23
3.1. INTRODUCCIÓN.....	23
3.2. LOCALIZACIÓN	24
3.3. EL CLIMA	25
3.3.1. Introducción.....	25
3.3.2. El clima atmosférico	26
3.3.3. El clima edáfico	26
3.4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	28
3.4.1. Introducción.....	28
3.4.2. Marco Geográfico y Geológico del Anticlinorio del Moncayo	29
3.5. VEGETACIÓN	31
4. MATERIAL Y MÉTODOS	33
4.1. ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	33
4.2. DESCRIPCIÓN DE CAMPO.....	34
4.2.1. Descripción de perfiles edáficos	34
4.2.2. Toma de muestras	34
4.3. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LOS SUELOS	34
4.3.1. Preparación de las muestras de suelos para el análisis	34
4.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS	36

4.4.1.	Reacción del suelo o pH: actual y potencial	36
4.4.2.	Repelencia al agua	37
4.4.3.	Materia Orgánica (Método oxidación vía húmeda)	38
4.4.4.	Estabilidad estructural	39
4.4.5.	Color.....	42
4.4.6.	Capacidad de campo. (Método Sand Box).....	42
4.4.7.	Elementos gruesos	45
4.4.8.	Granulometría (Método de sedimentación discontinua)	45
4.4.9.	Capacidad de intercambio Catiónico (Método de agitación centrifugación)	47
4.4.10.	Sodio y Potasio (por fotometría de llama)	49
4.4.11.	Calcio y Magnesio (por complexometría).....	51
4.4.12.	Densidad aparente	52
4.4.13.	Determinación de tipos de humus forestal	53
4.5.	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	54
4.6.	HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS	54
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	55
5.1.	IDENTIFICACION DE LOS PERFILES DE LA TOPOSECUENCIA DE SUELOS SOBRE ARENISCAS CUARCITICAS.....	55
5.2.	RESULTADOS ANALÍTICOS Y DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA DE LOS PERFILES	55
5.3.	PROPIEDADES MORFOLÓGICAS	82
5.3.1.	Color.....	82
5.3.2.	Estructura	82
5.3.3.	Compacidad.....	83
5.4.	PROPIEDADES FÍSICAS	83
5.4.1.	Elementos gruesos	83
5.4.2.	Repelencia al agua	84
5.4.3.	Granulometría.....	84
5.4.4.	Capacidad de Campo	86
5.4.5.	Estabilidad estructural	86
5.5.	PROPIEDADES QUÍMICAS	87
5.5.1.	pH.....	87
5.5.2.	Materia orgánica.....	88
5.5.3.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y saturación de bases	89
5.5.4.	Cationes basificantes	90

5.5.5.	Nitrógeno y relación C/N.....	91
5.5.6.	Acumulaciones de Hierro y Aluminio	92
5.6.	PROPIEDADES BIOLÓGICAS	93
5.6.1.	Caracterización de tipo de humus forestal	93
5.7.	PROCESOS FORMADORES DEL SUELO.....	94
5.8.	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	96
6.	CONCLUSIONES	97
7.	BIBLIOGRAFÍA	98
8.	ANEXOS	102

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos sobre el suelo según las características de la forma	19
Tabla 2. Temperaturas y precipitaciones medias anuales de los suelos estudiados	26
Tabla 3. Relación entre vegetación y régimen de humedad del suelo	28
Tabla 4. Características de las zonas muestreadas.	33
Tabla 5. Descripción de la reacción del suelo, según AFES (1995)	37
Tabla 6. Clases de persistencia de la repelencia del agua según Cerda & Doerr (2007)	37
Tabla 7. Contenido de materia orgánica y horizontes en los que suelen encontrarse.	39
Tabla 8. Interpretación de los valores de estabilidad estructural (% SAS), según el Método de tamizado en húmedo de Kemper & Koch (1966)	42
Tabla 9. Clases de CIC, en superficie (30 cm) según Herrero <i>et al.</i> (1993).	49
Tabla 10. Descripción de la tasa de saturación del complejo de cambio, según AFES (1995).	49
Tabla 11. Clases texturales del suelo y densidad aparente. Fuente: USDA, 2014.	53
Tabla 12. Ubicación de los suelos seleccionados para la elaboración de la toposecuencia	55
Tabla 13. Resultados de las propiedades químicas (perfil M0).	58
Tabla 14. Resultados de complejo de cambio (perfil M0).	58
Tabla 15. Resultados extracciones selectivas hierro y aluminio (perfil M0).	59
Tabla 16. Resultados granulométricos (perfil M0).	59
Tabla 17. Resultados propiedades físicas (perfil M0).	59
Tabla 18. Resultados de las propiedades químicas (perfil M1).	64
Tabla 19. Resultados de complejo de cambio (perfil M1).	64
Tabla 20. Resultados extracciones selectivas hierro y aluminio (perfil M1).	65
Tabla 21. Resultados granulométricos (perfil M1).	65
Tabla 22. Resultados propiedades físicas (perfil M1)	66
Tabla 23. Resultados propiedades químicas (perfil M2).	70
Tabla 24. Resultados de complejo de cambio (perfil M2).	70
Tabla 25. Resultados extracciones selectivas hierro y aluminio (perfil M2)	71
Tabla 26. Resultados granulométricos (perfil M2).	71
Tabla 27. Resultados propiedades físicas (perfil M2).	72
Tabla 28. Resultados propiedades químicas (perfil M3).	75
Tabla 29. Resultados de complejo de cambio (perfil M3).	75

Tabla 30. Resultados extracciones selectivas hierro y aluminio (perfil M3)	76
Tabla 31. Resultados granulométricos (perfil M3).	76
Tabla 32. Resultados propiedades físicas (perfil M3).	76
Tabla 33. Resultados propiedades químicas (perfil M4).	79
Tabla 34. Resultados de complejo de cambio (perfil M3).	80
Tabla 35. Resultados extracciones selectivas hierro y aluminio (perfil M3)	80
Tabla 36. Resultados granulométricos (perfil M3).	81
Tabla 37. Resultados propiedades físicas (perfil M3).	81
Tabla 38. Correlación “R” entras las diferentes fracciones granulométricas y la Materia orgánica con la CC.	86
Tabla 39. Clasificación húmica según Jabiol <i>et al.</i>	93
Tabla 40. Caracterización de suelos según WRBS (2014) y USDA (2014)	96
Tabla 41. Resumen de las propiedades morfológicas de los perfiles analizados.	102
Tabla 42. Resumen de las propiedades químicas de los perfiles analizados.	103
Tabla 43. Resumen de las propiedades físicas de los perfiles analizados.	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1. Esquema de la formación del suelo	6
Fig.2. Unidades geomorfológicas utilizadas en SINERADES (CBDSA,1983)	15
Fig.3. Posición de la pendiente en laderas	15
Fig.4. Clases de gradiente de la pendiente.	16
Fig.5. Forma de la pendiente y direcciones de la superficie.	16
Fig.6. Tipos de vertientes según la regularidad o irregularidad del perfil longitudinal.	17
Fig.7. Localización del Parque Natural del Moncayo dentro de Aragón.	24
Fig.8. Emplazamiento de la toposecuencia edáfica.	25
Fig.9. Esquema regional geológico	29
Fig.10. Transección fitotopográfica de la vertiente N del Moncayo	31
Fig.11. Tamizado de las muestras de suelos.	35
Fig.12. Tamizador empleado en laboratorio.	40
Fig.13. Inmersión de los agregados en pirofosfato durante la determinación de su estabilidad estructural	41
Fig.14. Tabla de color Munsell.	42
Fig.15. Cilindros en proceso de humectación.	43
Fig.16. Muestras preparadas para iniciar el proceso de succión con caolín.	44
Fig.17. Centrifugador con muestras.	48
Fig.18. Proceso de destilación del amonio a través de un destilador Kjeldahl.	48
Fig.19. Valoración de amonio	49
Fig.20. Proceso de construcción de la curva patrón	50
Fig.21. Proceso de determinación de Ca^{++} por valoración con EDTA.	52
Fig.22. Detalle de humus forestal bajo pinar.	53
Fig.23. Porcentaje de elementos gruesos por horizontes de los 5 perfiles estudiados.	83
Fig.24. Distribución de las fracciones granulométricas por perfiles.	85
Fig.25. Diagrama de dispersión en el que se aprecia la correlación de la CIC con la MO de las	

- Fig.26.** Diagrama de caja de la saturación de bases de los perfiles estudiados, ordenados de mayor altura (M0) a menor (M4). 91
- Fig.27.** Diagrama de dispersión en el que se observa una relación en que aquellos horizontes que presentan una mayor cantidad de cationes totales (eje y), son aquellos que presentan mayores cantidades de calcio (eje x). 92
- Fig.28.** Diagrama de dispersión en el que se aprecia la íntima relación entre la MO (eje x) y el nitrógeno (eje y), siendo así la MO, la principal fuente de este elemento en los suelos. 92
- Fig.29.** Secuencia de aluminio y hierro en todos los horizontes de los perfiles muestreados. 93

1. INTRODUCCION

Se conoce la Edafología como la ciencia que estudia la interpretación, la cartografía y la clasificación del suelo desde su génesis.

La Edafología nace durante el siglo XIX debido a los conocimientos que fueron establecidos sobre el suelo como ente natural. En esta época se creó un ambiente propicio para el definitivo establecimiento de la Ciencia del Suelo.

El profesor ruso Vassili Vassilievitch Dokuchaev (1846-1903), y su tesis doctoral “El Chernozem ruso” en el año 1883, fue el que inició con su trabajo, metodología y contenido lo que hoy se constituye como Ciencia del Suelo.

1.1. EL SUELO

La palabra suelo tiene su origen en el término procedente del latín “*solum*”, que significa base o fondo (Thompson & Troech, 1982).

El suelo se trata de una interfase entre la atmósfera y la litosfera (capa de rocas que forman la corteza terrestre) y también con la hidrosfera (aguas superficiales, subterráneas, océanos). El suelo sostiene el crecimiento de plantas y animales, y de esta manera forma parte de la biosfera. Una combinación de las fuerzas físicas, químicas y bióticas actúan sobre fragmentos orgánicos y rocas erosionándolas para producir un tejido poroso que contiene agua y aire, denominada pedosfera. El suelo está considerado como un cuerpo natural compuesto de minerales y material orgánico que se forma en respuesta de muchos factores ambientales y procesos que actúan sobre el suelo en constante cambio.

El suelo es el resultado de la acción de los fenómenos atmosféricos y de los seres vivos sobre la roca madre a lo largo del tiempo. Dicho de otra forma, el suelo es el resultado de la interacción entre litosfera, atmósfera y biosfera.

El marco legal para la preservación y protección del suelo está establecido por la Directiva para la protección del suelo del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea (2006/0086 COD).

Debido a la importancia del suelo para el desarrollo de cultivos y la producción agrícola, la fertilidad del suelo y la productividad son temas importantes que son necesarios de estudiar. Los conocimientos sobre suelo son útiles para la evaluación de tierras y su clasificación en tierras fértiles y productivas o en tierras menos valiosas. Los suelos son una parte integral del paisaje, y el conocimiento y distribución de diferentes tipos de suelos ayuda a preservar un alto nivel en la calidad ambiental además de resultar fundamental por sus funciones económicas, sociales y culturales.

1.2. PERFIL EDÁFICO, PEDIÓN Y POLIPEDIÓN

La dimensión vertical de un corte de terreno, lo suficientemente amplio como para evaluar y estudiar las propiedades edáficas de un punto en particular desde la superficie del terreno hasta el material originario se define como perfil edáfico.

El Servicio de conservación de Suelos (SSS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) introdujo el término pedión como las unidades de suelo que pueden agruparse en clases taxonómicas (SSS, 1975).

El pedión es un volumen arbitrario del suelo, considerado como el más pequeño que pueda reconocerse como un suelo individual, cuyas dimensiones laterales son suficientes para permitir el estudio de las formas de los horizontes y sus relaciones. Su superficie puede ser de 1 a 10 m² según la variabilidad del suelo. Su extensión vertical comprende desde la superficie (límite superior), hasta la aparición del material originario. Si los horizontes son intermitentes o cíclicos, pero recurrentes a intervalos lineales de 2 a 7 m, el pedión incluye la mitad del ciclo, si la recurrencia es con mayor intervalo se diferenciarán dos suelos distintos (S.S.S., 1975). De tal manera que un pedión puede incluir más de un perfil edáfico.

Los suelos presentan variabilidad espacial con cambios laterales graduales. De esta manera los pediones que pueden ser agrupados por sus mismas características y que varían dentro de estrechos intervalos forman parte de una misma unidad. Se trata de isopediones o pediones contiguos que constituyen un polipedión (Johnson, 1963).

Aunque dentro del polipedión puede haber cierta variabilidad de los isopediones que lo integran, como son los pediones que ocupan superficies pequeñas que se denominan inclusiones o impurezas, los polipediones pueden tener representación cartográfica en mapas de suelos a escala grande por la extensión que ocupan, constituyendo una unidad cartográfica.

1.3. GÉNESIS DEL SUELO Y HORIZONTES GENÉTICOS

La génesis de un suelo o edafogénesis consiste en un conjunto de procesos progresivos por los cuales un material originario, posiblemente isotrópico, se transforma en un suelo con uno o más horizontes (Barret y Schaetzl, 1998).

La evolución de la génesis del suelo tiene como resultado la presencia de horizontes, que se deben a diversos procesos que pueden tener lugar dentro de un suelo, así como a la acción de distintos factores que actúan sobre él- Su estudios explica el origen u el modo de cómo se ha formado un suelo (horizonación), a partir del material originario, que puede ser una roca in situ, un material transportado o un suelo anterior.

Los horizontes genéticos son capas del suelo más o menos horizontales a la superficie, cuyas propiedades dependen en gran parte de los procesos formadores del suelo. Generalmente los horizontes de un suelo se distinguen unos de otros por diferencias en sus características, al menos en parte por aquellas que pueden ser observadas o medidas en campo, tales como el color, la estructura, la textura, la presencia o ausencia de nódulos calcáreos, óxidos de hierro, etc. En otros casos se requiere el complemento del análisis de laboratorio para lograr la identificación y designación correctas de los horizontes, así como para su caracterización detallada.

Existe gran variabilidad de suelos, pero a su vez existen suelos con horizontes semejantes, lo que permite desarrollar un sistema de denominación de los mismos de ámbito general. Actualmente existen dos grupos de influencia, al no haberse logrado un completo acuerdo para uniformar la simbología, FAO y Soil Conservation Service del USDA., que han propuesto sus respectivos sistemas de denominación de horizontes (Porta *et al.*, 2003). En el presente trabajo usaremos las dos denominaciones para la designación de los nombres de los suelos. A la hora de diagnosticar los perfiles usaremos la utilizada por la de USDA.

La nomenclatura de los horizontes genéticos se hace en forma de letras mayúsculas con subíndices que indican la presunta naturaleza genética, proceso genético preponderante en su formación y características o propiedades destacables, además de índices numéricos que designan una secuencia en la posición, horizontes de transición o discontinuidades litológicas.

Todo ello debe servir para transferir la información de la que es portadora un horizonte descrito en un perfil.

1.4. HORIZONTES DIAGNÓSTICO

El horizonte diagnóstico es un concepto introducido por el Soil Survey Staff (SSS) del USDA, cuyo uso se ha generalizado en todo el mundo.

Un horizonte diagnóstico es un horizonte definido morfométricamente o al menos con la mayor precisión posible, con datos de campo y de laboratorio, para su utilización taxonómica. No son unidades independientes, sino que los de cada suelo corresponden a una determinada organización y derivan de los procesos edafogenéticos actuantes. Esto, junto con la objetividad alcanzada en la aplicación de estos conceptos explica que su uso se haya generalizado. La utilización de los horizontes diagnóstico no está necesariamente ligada a la Soil Taxonomy, sino que otros sistemas de clasificación también la usan, aunque se objeta que este sistema le da demasiada importancia a algunos horizontes con criterio diagnóstico, sin embargo, su identificación no siempre resulta incuestionable en laboratorio, lo que debilita las interpretaciones (Porta *et al.*, 2003).

1.5. FORMACIÓN DE SUELOS

En el suelo, la apariencia externa, los componentes, la organización y las propiedades del mismo en un momento dado son el resultado de los procesos formadores que han actuado hasta aquel momento. Los procesos pueden variar a lo largo del tiempo, al hacerlo las condiciones o factores formadores.

Según Porta *et al.* (2003) existen principalmente tres modelos con diferentes enfoques conceptuales para explicar la formación de los suelos:

A.- Basado en los **factores formadores** (Dokuchaev, 1883., Jenny, 1941) y su análisis para establecer relaciones cuantitativas, por medio de correlaciones estadísticas, entre un valor de uno o más factores y el de una o más propiedades o características del suelo.

Esta metodología de trabajo permite identificar los agentes más importantes de la edafogénesis no llegando a profundizar sobre las causas, ya que todo el sistema se contempla como unidad sin considerar la estructura interna (reguladores, contenidos y flujos). Este planteamiento resulta finalmente de carácter empírico, pues sólo se analizan los input (factores) y los output (propiedades o características), además se establecen relaciones que en la mayoría de casos son de tipo local.

Resulta muy útil en el levantamiento de suelo, ya que a través de este enfoque se establecen relaciones factor-característica del suelo permitiendo formular hipótesis e inferir en comportamientos, características o respuestas predecibles del suelo en distintos lugares.

B.- Basado en los **procesos formadores**, que son causa de la evolución del suelo a lo largo del tiempo. Su estudio puede limitarse o realizarse de una manera parcial o completa, siendo la última la que se identifica y analiza reguladores, almacenamientos, flujos... etc.

Podemos agrupar los factores formadores en:

-Procesos específicos que son los que contribuyen potencialmente al desarrollo del suelo y de gran importancia al variar de unos medios a otros; disolución, hidratación, hidrólisis, carbonatación, oxidación-reducción, etc.

-Procesos compuestos resultado de la combinación de procesos específicos, responsables de la formación de horizontes determinados, por la acción ponderante de uno de ellos, y en definitiva de la génesis del suelo.

C.- Basados en las **relaciones suelo-paisaje** y su organización espacial en el paisaje (Gerard, 1980), ya que los suelos no existen como entes naturales aislados.

Este enfoque tiene en cuenta tanto los procesos geomórficos (procesos de superficie y dinámica del paisaje), como los procesos que han dado lugar a esos suelo en dicho paisaje y que determinan su evolución y distribución.

1.5.1. Factores formadores

El suelo puede ser considerado como una determinada combinación de sus factores formadores. Este concepto fue expresado por primera vez por Jenny en 1941, que consideró el clima, los organismos vivos, la litología, la geomorfología y el tiempo, como las variables de estado independientes o factores formadores del suelo, que determinan las funciones que relacionan las propiedades de un suelo con dichos factores (fig.1).

Los factores formadores son teóricamente variables independientes, ya que puede encontrarse en el medio la variación independiente de cada uno de los factores respecto a los demás. Aunque existe una interdependencia entre algunos de ellos, como por ejemplo; clima-vegetación, vegetación-litología, topografía-clima, cada factor influye, en cierto modo de forma aislada en la formación de un suelo.

La ecuación fundamental propuesta por Jenny (1941) es:

$$s = f(c, l, o, r, p, t, \dots)$$

Donde S, es cualquier propiedad del suelo, f; es una función, c; es el factor climático, o; es la factor biótico, r; es el factor relieve o geomorfología, p; el material parental o litología, t; es el factor tiempo desde el inicio de la edafogénesis y los puntos suspensivos expresan factores no especificados que pueden tener su importancia a nivel local.

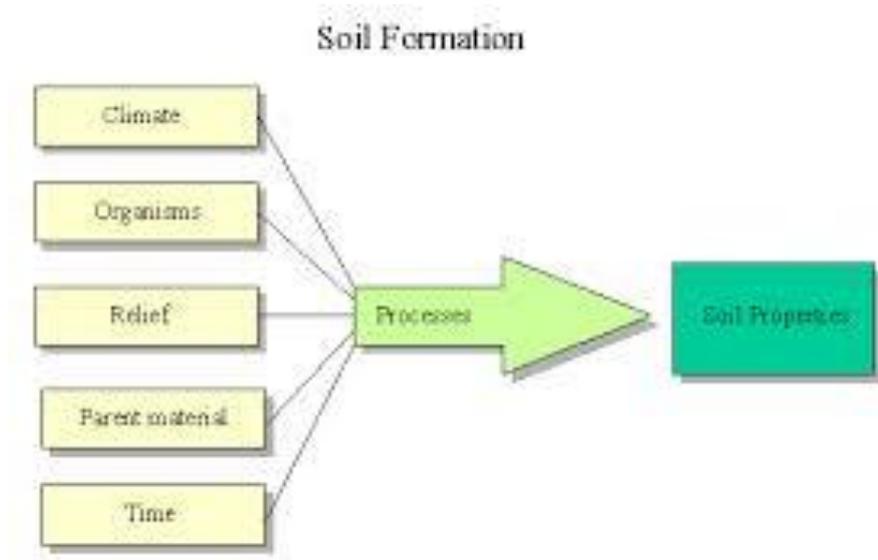


Fig.1: Esquema de la formación del suelo

Para resolver con éxito las funciones de Jenny es condición necesaria la definición y reconocimiento de cada uno de los factores de estado:

Clima (c): Influye decisivamente en los procesos de formación del suelo. Regula directamente el aporte de agua al suelo (humedad), así como la temperatura, e influye directamente en otros factores formadores como el biótico y el relieve. La disponibilidad de agua y su flujo determina la velocidad de desarrollo de la mayoría de procesos edáficos. La intensidad de percolación se considera un factor decisivo en la formación del suelo que condiciona el lavado, translocación de materiales y transformación de los minerales. La

temperatura influye en los procesos de alteración y transformación mineral, condicionando la velocidad de las muchas reacciones químicas que se dan en el suelo.

Organismos vivos (o): Corresponden a los componentes activos del suelo, formados por las plantas, animales, microorganismos y el hombre (factor antrópico). Constituyen la fuente de material original que dará lugar a la fracción orgánica del suelo, ejercen importantes acciones de alteración y meteorización de los materiales edáficos transformando los constituyentes del suelo al extraer los nutrientes imprescindibles para su ciclo vital, producen una intensa mezcla de los materiales del suelo como resultado de la actividad biológica, etc. La incidencia de organismos vivos es muy difícil de aislar de la acción del clima y su influencia se manifiesta a nivel morfológico en el perfil así como en la química del suelo.

Material parental (p): La litología o material original representa el estado inicial del sistema, que puede ser una roca consolidada, un depósito no consolidado o un suelo preexistente. Muchos parámetros de la litología inciden en la formación y evolución de los suelos e influyen en las propiedades del mismo; textura, color, infiltración, tipo de arcillas, fertilidad natural (pH, saturación de bases), etc., las cuales dependen de la susceptibilidad de la roca a meteorizarse, del régimen de humedad y de las características físicas y otros factores. La influencia de la roca en los constituyentes y propiedades del suelo es muy acusada en suelos jóvenes, disminuyendo a medida que transcurre el tiempo y actúan los factores formadores.

Tiempo (t): Los factores formadores ejercen su influencia en la formación del suelo a lo largo del tiempo dando lugar a características y propiedades morfológicas distintas.

El grado de meteorización y desarrollo del suelo hace referencia a los suelos “jóvenes” o “maduros”, siendo los primeros aquellos en los que sus horizontes y propiedades están poco desarrolladas, y los segundos, más evolucionados, en los que sus características se desarrollan más rápidamente dando lugar a suelos más profundos y diferenciados los unos de los otros.

Relieve (r): La expresión de la geomorfología de un lugar, el relieve, la posición en el paisaje o la topografía configuran el paisaje, estableciéndose relaciones directas entre la distribución de los suelos y la posición que ocupan en el paisaje y que es diferente de unas áreas geográficas que de otras. Desde el punto de vista edáfico los elementos del relieve más importantes son la inclinación y longitud de las laderas, la posición fisiográfica y la orientación.

La superficie del suelo cambia a lo largo del tiempo, estando esta evolución íntimamente ligada a la del suelo, cuyos rasgos y características reflejan su evolución histórica, la cual está relacionada con la posición que ocupa el suelo en el paisaje.

Jenny propuso resolver la ecuación para un solo factor cada vez, de manera que un factor variase mientras los demás permanecían constantes, estableciéndose las siguientes funciones con el fin de evaluar la influencia de cada factor formador en las propiedades del suelo:

$$s = f(\mathbf{cl}, o, r, p, t, \dots) \rightarrow \text{Climofunción}$$

$$s = f(\mathbf{cl}, \mathbf{o}, r, p, t, \dots) \rightarrow \text{Biofunción}$$

$$s = f(\mathbf{cl}, o, \mathbf{r}, p, t, \dots) \rightarrow \text{Topofunción}$$

$$s = f(\mathbf{cl}, o, r, \mathbf{p}, t, \dots) \rightarrow \text{Litofunción}$$

$$s = f(\mathbf{cl}, o, r, p, \mathbf{t}, \dots) \rightarrow \text{Cronofunción}$$

En este caso, la variación de cualquier propiedad del suelo dependerá exclusivamente de la fisiografía o relieve. Se dice que un paisaje o asociación de suelos es una toposecuencia cuando los factores formadores del suelo no varían a excepción del relieve, existiendo una dependencia entre el grado de evolución del suelo y su posición en el paisaje.

Hay que tener en cuenta que esta ecuación es un modelo conceptual y los suelos no responden fielmente a ella. Según Yaalon (1975), las principales dificultades son el mantenimiento de la constancia de los factores y la dificultad de encontrar factores verdaderamente independientes entre sí. El enfoque inicial de Jenny (1941) asume de forma implícita una monogénesis para los suelos, tiene una visión demasiado simplista de los procesos de laderas o establece correlaciones empíricas sin llegar a determinar las verdaderas causas, entre otras, de manera que esta aportación queda un poco corta de la realidad, por lo que ha recibido diversas críticas, aunque ha contribuido positivamente a que en génesis de suelos se haya llegado a un nivel de comprensión de los suelos en un determinado ambiente o sucesión de ambientes. Además, ha llevado a profundizar en la investigación de los procesos edafogénicos, de las relaciones entre factores, de las variaciones en los suelos y modelos de distribución del paisaje, permitiendo avanzar en cartografía de suelos.

Así, Gaucher (1981), considera además los factores higrológicos, la influencia del hombre, la influencia global del medio de edafogénesis y la evolución del medio geológico y de los paleoambientales de edafogénesis.

En el caso de las toposecuencias, su interés en el estudio recae en que la topografía es uno de los factores principales que determinan la distribución espacial o el patrón de los suelos

en una zona (Fitz Patrick, 1980). Los accidentes topográficos cuyos métodos de formación son principalmente procesos tectónicos, erosión y los causados por depósitos, tienen una relación directa con las condiciones climatológicas y junto a los otros factores combinados y a lo largo del tiempo dan lugar a procesos específicos que imprimen a una zona sus características topográficas.

1.5.2. Procesos formadores

Los procesos formadores son aquellos que provocan cambios en el suelo (Simonson, 1959). La edafogénesis, además de ser un proceso progresivo que da lugar a la formación de la estructura, la diferencia de horizontes y aumento de espesor de suelo, también puede ser un proceso regresivo que provoca la haploidización del perfil de suelo (Phillips, 1993, Johnson et al., 1990). Los procesos regresivos pueden ir ligados a una degradación del suelo por erosión superficial, procesos de edafoturbación por acción de la fauna o expansión-retracción de arcillas al humectarse y secarse.

El tipo de procesos, la trayectoria de desarrollo de un suelo y la velocidad pueden cambiar a lo largo del tiempo y con ello los factores formadores y su importancia en ciertos momentos. Por ello, la mayoría de suelos pueden considerarse poligénicos (Johnson y Hole., 1994), ya que la sucesión de procesos a lo largo del tiempo hace que la génesis de los mismos resulte de compleja interpretación, como ocurre con los suelos que han soportado las variaciones climáticas del cuaternario. La sucesión de procesos a lo largo del tiempo hace que algunos rasgos del suelo se hayan formado bajo condiciones iniciales mientras que otros correspondan a procesos actuales.

El desarrollo del suelo se produce por la combinación de dos grupos de procesos:

A.- Procesos proanisotrópicos, que tienden a diferenciar capas de disposición horizontal (horizontes genéticos) a partir de roca madre.

B.- Procesos proisotrópicos, que ralentizan e incluso inhiben la diferenciación de horizontes. En este sentido el paisaje actual y la geomorfología propician una distribución catenaria de suelos, en los que las formas de relieve son la expresión de lo acontecido en los periodos húmedos del pleistoceno. Los suelos que poseen contrastada diferenciación de horizontes, y por lo tanto, un gran grado de evolución, son aquellos que pertenecen a superficies geomorfológicas más estables y viejas sobre las que la alteración se ha producido durante un

tiempo suficiente. Por el contrario, los suelos más jóvenes están sobre superficies inestables, como las laderas, en los que la erosión hídrica condiciona la horizonación.

En el suelo como sistema dinámico abierto, se identifican tres tipos de procesos:

1.- Transformaciones: Conjunto de procesos que producen cambios de composición y forma de los compuestos orgánicos y/o inorgánicos que pueden afectar al material del suelo.

1.1.- Meteorización: Transformación parcial o total, isovolúmica o no, de las rocas y de los minerales de una roca “in situ”, de materiales transportados y depositados o de un suelo fósil, al entrar en contacto con la atmósfera, por aflorar o estar muy cerca de la superficie, a unos pocos metros de ella (Porta et al., 2003). Los diferentes procesos de meteorización o intemperización pueden ser considerados tanto procesos edafogénicos como procesos previos a la diferenciación de horizontes. Estos procesos pueden ser de naturaleza física (desagregación mecánica de la roca, fragmentación y disminución del tamaño y aumento de la superficie de ataque físico-química), geoquímica (transformaciones químicas y mineralógicas que producen cambios en la naturaleza de los materiales) o biológica (ligada a la acción de la actividad orgánica y engloba procesos físicos y químicos).

Las características climáticas determinan el predominio de uno u otro tipo de meteorización. En el área de estudio los procesos de meteorización más destacables son los químicos como la disolución, que afecta a los carbonatos de la marga, los de hidrólisis o reacción de los minerales y el agua, y los físicos como congelación-deshielo y expansión-contracción.

1.2.- Edafoturbación: Proceso en el que los materiales del suelo sufren cambios posicionales y efectos de mezcla dentro del propio suelo. Su origen puede ser la acción del hielo-deshielo (crioturbación), el comportamiento de la meso y macrofauna (bioturbación), la expansión retracción de las arcillas (argiloturbación), y otros agentes mecánicos.

1.3.- Empardecimiento y Rubefacción: Ambos se refieren a un proceso único cuya diferenciación se basa en el mineral de hierro formado, y consiste en la liberación de hierro por meteorización de los materiales primarios en relación a las condiciones ambientales de formación. En condiciones cálidas y secas el mineral precursor, la ferrihidrita, evoluciona rápidamente a hematina en un proceso de deshidratación casi irreversible de los óxidos de hierro ligados a las arcillas confiriendo al suelo un color rojo. Es un proceso típico de climas mediterráneos o climas con contraste estacional.

1.4.- Melanización: La evolución de restos orgánicos frescos hacia formas más complejas (humus), con la participación de los microorganismos, es el proceso por el que los horizontes superficiales del suelo se oscurecen. Según domine la mineralización o la

humificación el oscurecimiento es más o menos intenso, así en suelos agrícolas en los que las labores favorecen la mineralización, el oscurecimiento es menos intenso que en las áreas de vegetación natural.

1.5.- Hidromorfía: El exceso de agua o hidromorfía y la demanda de oxígeno por parte de los microorganismos favorece el proceso de gleificación en el cual dominan las condiciones de reducción de los óxidos de hierro que llegan a alcanzar la forma ferrosa, confiriendo al suelo un color gris. En suelos con alternancia de condiciones húmedas y secas, es decir, reductoras y oxidantes a lo largo del año, se manifiesta con la alternancia de colores grises y rojos. En el valle del Ebro se relaciona con suelos desarrollados sobre depósitos aluviales recientes, próximos a cauce de ríos, y donde el hidromorfismo se ve favorecido por la escorrentía subsuperficial sea de lluvias o riegos.

2.- Translocaciones: Implica un cambio de posición de un componente y la consiguiente acumulación dentro del perfil, lo que supone la concentración de materiales en ciertos puntos o niveles en el interior del suelo. Según la causa que genera este movimiento distinguimos entre translocaciones en solución y translocaciones en suspensión.

2.1.- Translocaciones en solución: El incremento de ciertos componentes, tales como los carbonatos, yesos, sales más solubles que el yeso y ópalo, tiene lugar tras el desplazamiento en solución y posterior precipitación en ciertas zonas del perfil a causa de diversos mecanismos.

2.1.1.- Descarbonatación/Carbonatación: Proceso que comporta la solubilización de los carbonatos en las estaciones húmedas, para lo que se requiere su transformación en bicarbonatos (descarbonatación). Ello se produce gracias al CO₂ y a los ácidos orgánicos producidos por la actividad biológica por lo que su intensidad es máxima en los horizontes superficiales. La desecación del suelo, la disminución de la concentración de CO₂ con la profundidad y la reserva cálcica de muchos de los suelos genera la migración interna de los bicarbonatos sin eliminarlos del perfil. A mayor o menor profundidad precipitan los carbonatos (carbonatación) bajo diferentes morfologías: acumulaciones filiformes (pseudomicelios), esferoidales (nódulos, rizoconcrecciones), recubriendo la base de las piedras (cemento geopetal), acumulaciones generalizadas en horizontes cálcicos o acumulaciones cementadas (costras u horizonte petrocálcico), dando lugar a horizontes del tipo Bk, Bck, Bkm.

2.1.2.- Desgypsificación/Gypsificación: Proceso que comporta la solubilización del yeso o desgypsificación en las estaciones húmedas, y su posterior precipitación en el suelo en los periodos secos. El yeso es más soluble que el carbonato cálcico, por lo tanto, cuando tienen lugar la carbonatación y la gypsificación en un mismo suelo, la acumulación de éste ocupa una posición inferior.

2.1.3.- Salinización: Proceso de enriquecimiento del suelo con sales más solubles que el yeso, en concreto cloruros y sulfatos de sodio y magnesio, que generan un importante efecto osmótico en la vegetación.

2.1.4.- Sodificación. Proceso de enriquecimiento en sodio intercambiable, por el contacto del suelo con soluciones de sales neutras sódicas. Suele ir acompañado de un proceso de iluviación de arcillas sódicas, ya que su dispersión favorece la translocación. Conlleva una degradación de la estructura del suelo y unas condiciones físicas desfavorables para el crecimiento de las plantas y la circulación del agua.

2.2.- Translocaciones en suspensión: El desplazamiento afecta a partículas discretas en el seno del suelo, de un horizonte a otro en el que tiene lugar la acumulación. El transporte se produce en suspensión en el agua que circula a través del suelo. Los componentes afectados pueden ser la arcilla, humus, oxihidróxidos, hierro y aluminio que sean objeto de quelación.

2.2.1.- Argiluviación: Proceso que consiste en la acumulación de arcilla translocada. El agua actúa como agente físico de transporte de la arcilla en suspensión, sin reaccionar químicamente con ella. Se requiere que las arcillas estén dispersas previa eliminación de los carbonatos y una ligera acidificación. Al atravesar la suspensión de arcilla un horizonte seco, el agua de los macroporos es succionada por los microporos y la arcilla se deposita en las paredes. Cuando la argiluviación se da simultáneamente a la carbonatación, el horizonte de acumulación de carbonatos (Bk) ocupa una posición inferior al horizonte de acumulación de arcillas (Bt).

2.2.2.- Podsolización: Proceso de movilización de materia orgánica, hierro y aluminio desde un horizonte eluvial con translocación e inmovilización a un iluvial. Típico de zonas frías y húmedas, con una vegetación acidófila y escasa actividad biológica.

3.- Adiciones y pérdidas: Procesos de enriquecimiento y de eliminación, respectivamente, de materiales y componentes del perfil edáfico.

3.1.- Cumulización: Engrosamiento del horizonte superficial de materia mineral por el proceso de aporte, lo que repercute en la evolución del suelo. Puede diferenciarse entre aluvionamiento o aporte por las corrientes fluviales de materiales erosionados que fueron componentes de otros suelos y coluvionamiento o aporte de materiales por escorrentía difusa y efecto de la gravedad al pie de una ladera.

3.2.- Lixiviación: Migración, más o menos continuada, de un componente del suelo por la acción de un agente químico. La pérdida del componente afectado se producirá progresivamente dentro del perfil tal y como el frente de humectación lo atravesase de forma habitual.

3.3.- Erosión: Proceso de degradación física del suelo que consiste en la pérdida de integridad del suelo empezando por la parte superior del perfil.

1.5.3. Relaciones suelo-paisaje

Existe una relación importante entre la distribución de los distintos suelos y la posición que ocupan en el paisaje. El estudio de las propiedades de las formas del paisaje y de los factores y procesos responsables de su formación constituye un enfoque posible para intentar explicar las variaciones, tanto verticales como laterales que presentan las propiedades y explicar así la distribución de los suelos en un determinado paisaje.

Para establecer asociaciones suelo-paisaje es necesario basarse en conocimientos adquiridos en Geomorfología y en Edafología, aplicando métodos basados en ambas ciencias;

La Geomorfología estudia la evolución de la superficie terrestre, los factores, procesos, formas y sedimentos resultantes de los procesos, teniendo en cuenta una dimensión temporal e histórica. La dimensión temporal en el estudio de las formas se desprende de que la superficie del terreno cambia a lo largo del tiempo, y esta evolución lleva aparejada la del suelo. Los diversos rasgos y características de un suelo reflejan su evolución histórica, que para ser entendida debe relacionarse con la posición que ocupa el suelo en el paisaje y con los suelos próximos. De ahí la importancia del estudio de las formas del terreno y de los depósitos superficiales (Porta et al., 2003). En estudios edafológicos debe precisarse la representatividad de un suelo en una forma determinada de paisaje, pudiéndose definir distintas escalas de observación. Las relaciones suelo paisaje se establecen para áreas uniformes, lo que implica un análisis detallado de las formas. Mediante fotointerpretación, se pueden facilitar los puntos de observación (calicatas, sondeos u otros) e interés, al permitir identificar y delimitar unidades geomorfológicas que suelen estar relacionadas con unidades de suelos. La relación existente entre unidades geomorfológicas, y unidades de suelos se debe a su origen y evolución comunes, lo que permite establecer unidades morfoedáficas (Gaucher, 1981).

Ollier (1976) destaca que las relaciones suelo-paisaje sólo aparecen claramente en situaciones extremas, dominadas por condiciones áridas o frías. En el resto del mundo, bajo condiciones climáticas no extremas, los procesos de erosión, de depósito en laderas y de edafogénesis están entrelazados, por lo que las interpretaciones deben realizarse con prudencia.

Las relaciones suelo-paisaje resultan fundamentales para explicar el modelo de distribución de los suelos en una ladera a través de catenas y toposecuencias. Además, pueden ser usadas como la base para establecer modelos de distribución de suelos, que facilitan trabajos de cartografía de suelos y ordenación del territorio.

1.5.3.1. Suelo-paisaje; influencia del clima

La influencia del clima en las relaciones suelo-paisaje son función de la zona climática considerada. El clima condiciona los procesos en las laderas, la meteorización, los procesos edafogenéticos, la erosión así como el transporte y depósito de materiales. Análogamente, condiciona la vegetación de una región o, por efecto del topoclima, da lugar a diferencias a escala mucho más detallada (Porta et al., 2003).

1.5.3.2. El relieve y sus formas

El relieve controla la distribución de masa y energía. Gracias a ello, en un determinado paisaje es posible distinguir superficies deposicionales y superficies de erosión, cuyo distinto origen, características de suelos, etc. explican de manera diferente las distintas partes de un paisaje, que por ello no podrán ser consideradas iguales a la hora de plantear usos y prácticas de manejo. Superficies resultantes de procesos combinados de erosión y depósito serán más difíciles de interpretar.

Atendiendo a la geometría de las formas y de manera general podemos describir el relieve en sus formas principales con el fin de relacionar suelos y paisaje (fig. 2):

- **Interfluvios o divisorias de aguas.** Pueden ser crestas, tabulares o plataformas y en sillars de montar.

- **Laderas o vertientes:** Elementos inclinados con respecto a la horizontal que enlazan divisoria de aguas con fondos. Una ladera es un sistema forma-proceso, dado que su desarrollo y morfología dependen de la forma y de los procesos que actúan sobre la propia ladera.

- **Fondos:** Superficies de depósito en las que confluyen aguas de escorrentía. En ellos se encuentran las terrazas fluviales. Se distinguen fondos de valle, asociados a un canal de desagüe y fondos cerrados o depresiones que, se denominan endorreicas, por no presentar salida de aguas. Según sea su sección transversal, los fondos de valle pueden ser en uve (V), planos, o en forma de cuna (U).

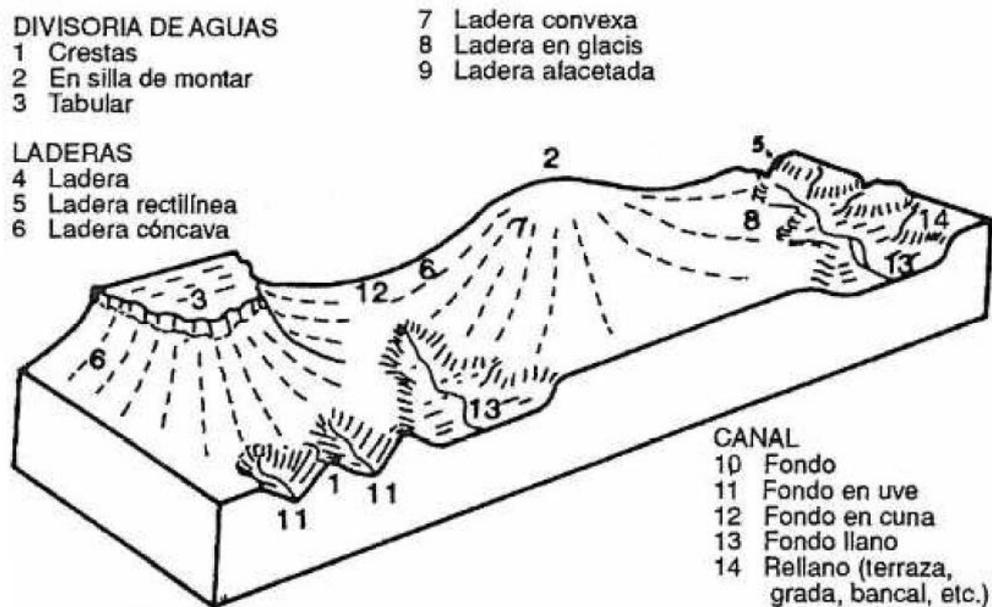


Fig.2: Unidades geomorfológicas utilizadas en SINERADES (CBDSA,1983)

1.5.3.3. Laderas; características y procesos

La posición, la forma, el gradiente, uniformidad y la orientación relativa de una ladera o vertiente a lo largo de una pendiente afecta directamente a los procesos o acciones fundamentales que repercutirán en la evolución del suelo (fig. 3).

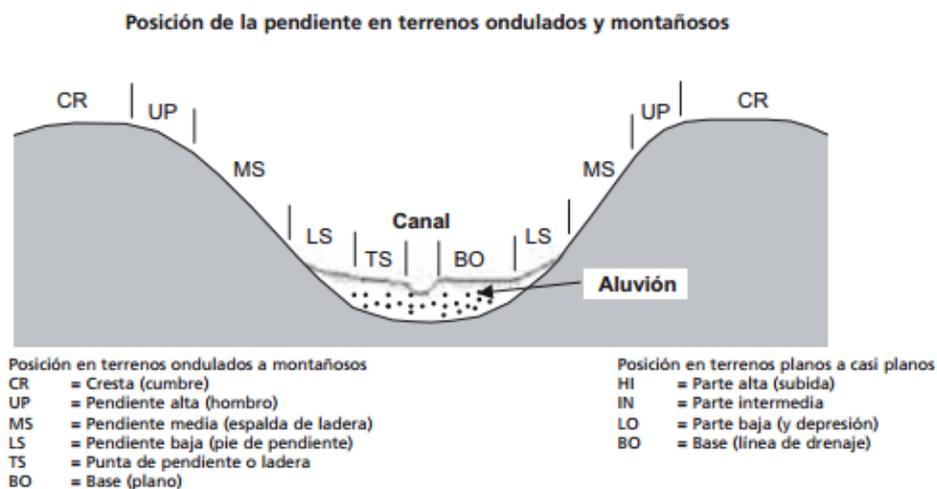


Fig.3: Posición de la pendiente en laderas (Fuente: Guía FAO para descripción de suelos, 2009)

La interpretación de la inclinación de una ladera puede hacerse atendiendo a la siguiente figura (figura 4).

Clase	Descripción	%
01	Plano	0-0,2
02	Nivel	0,2-0,5
03	Cercano al nivel	0,5-1,0
04	Muy ligeramente inclinado	1,0-2,0
05	Ligeramente inclinado	2-5
06	Inclinado	5-10
07	Fuertemente inclinado	10-15
08	Moderadamente escarpado	15-30
09	Escarpado	30-60
10	Muy escarpado	> 60

Fig.4: Clases de gradiente de la pendiente. (Fuente: Guía FAO para descripción de suelos, 2009)

En el perfil de una ladera o vertiente se pueden diferenciar tres tramos, un tramo convexo en la parte superior, un segmento rectilíneo central y un tramo cóncavo en la parte basal y que enlaza con el fondo. La figura 5 muestra diferentes tipos de vertientes atendiendo a la forma según su perfil y su forma en planta.

Forma de pendiente y direcciones de la superficie

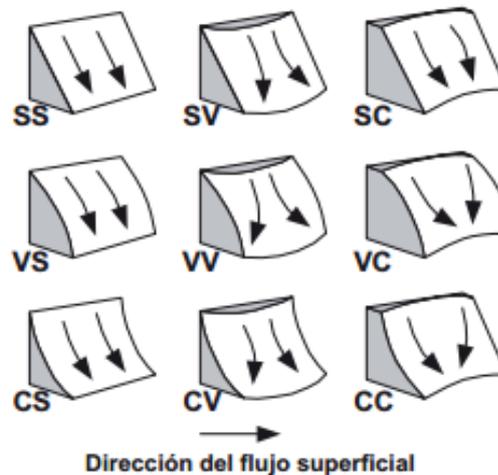


Fig.5: Forma de la pendiente y direcciones de la superficie, S: Lineal; C: Cóncava; V: Convexa.

(Fuente: Guía FAO para descripción de suelos, 2009)

El desarrollo de cada uno de estos tramos depende de diversos factores, entre ellos el clima. En zonas áridas y semiáridas la parte basal alcanza un mayor desarrollo, mientras que en zonas templado-húmedas predominan las laderas de forma convexa.

Las laderas rectilíneas son superficies de erosión que se modelan sobre un sustrato rocoso y su inclinación depende de la litología.

Según criterios morfológicos, las vertientes se pueden dividir en simples o complejas atendiendo a la uniformidad o irregularidad del perfil según la máxima pendiente (Fig. 6).

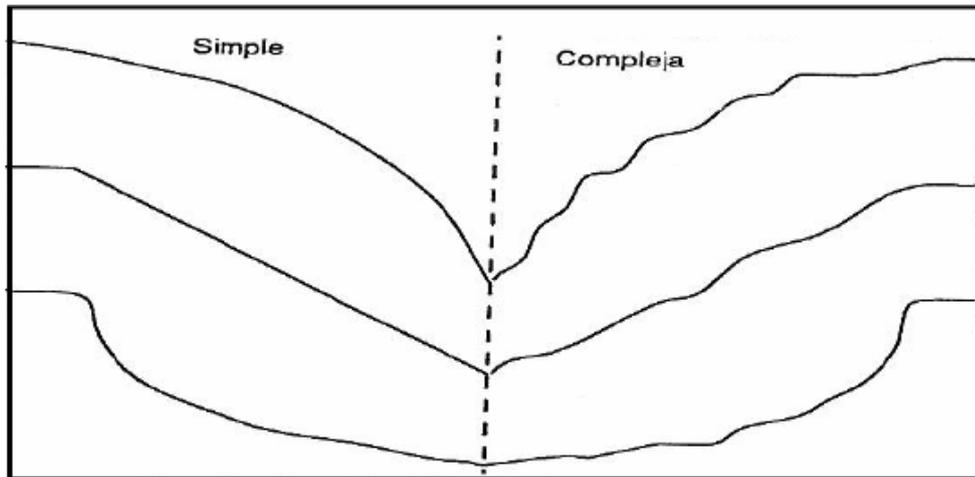


Fig.6: Tipos de vertientes según la regularidad o irregularidad del perfil longitudinal

(Fuente: Guía FAO para descripción de suelos, 2009)

Además, es importante la influencia de la longitud de la pendiente (observada desde su parte superior) y de la orientación, que afecta por ejemplo a la precipitación, insolación y régimen de temperatura, entre otros. La orientación que una pendiente presenta se codifica como N para el norte, S para el sur, E para el este y W para el oeste.

Atendiendo a la evolución del suelo, el relieve y sus características ejercen acciones fundamentales que se materializan en una clara dependencia de los constituyentes y propiedades del suelo con el propio relieve o ladera en el caso de nuestro estudio:

1.- Transporte de materiales por la acción de la gravedad; que depende de su posición en el paisaje, por la que el suelo se somete a la acción de la erosión, como ocurre en zonas altas y sobre todo en áreas que presentan fuertes inclinaciones (posición que se considera residual y que se conforma por suelos esqueléticos), suelos situados a media ladera y sometidos a un continuo transporte de materiales sólidos y soluciones (presentando pequeños o moderados espesores de suelo) y por último, suelos en la ruptura de las pendientes a los que siguen los fondos, en los que se produce la deposición de materiales arrastrados (formando suelos en constante acumulación, espesos y de texturas finas).

Según Weyman y Weyman (1977), la interpretación del origen de la forma de una ladera puede relacionarse con la velocidad de meteorización y la de transporte:

A.- Laderas de desarrollo limitado por el transporte, en las que la tasa de transporte es inferior a la de meteorización, produciéndose un progresivo aumento del espesor del suelo.

B.- Laderas de desarrollo limitado por la meteorización, que dan lugar a suelos de escaso espesor.

2.- Influencia directa en la cantidad de agua que accede y pasa a través del perfil de suelo; la posición del suelo en el relieve condiciona la situación de la capa freática y, en consecuencia las condiciones de drenaje y permeabilidad del suelo además de los rasgos morfológicos asociados a ellas, síntomas de oxido-reducción, como moteado, concreciones, etc.

La clase de drenaje de un suelo viene condicionada por su textura, estructura, permeabilidad, capacidad de almacenamiento de agua, posición geomorfológica y evapotranspiración. Atendiendo a la influencia del relieve, en las áreas altas se produce un drenaje de tipo vertical rápido, oblicuo en laderas e impedido en las depresiones.

3.- Modifica las características del clima edáfico; la temperatura y en la humedad en función de la inclinación (intensidad calorífica de las radiaciones recibidas), orientación (regulando el tiempo de incidencia de la radiación solar) y altitud (que influye sobre los elementos climáticos en general). En consecuencia todo ello también afectará al desarrollo de la vegetación y a la actividad microbiana.

Los principales efectos sobre el suelo según las características de la forma del relieve se resumen en el siguiente cuadro (Porta et al., 2003):

Características de la forma	Efecto sobre el suelo
Inclinación de la ladera	Radiación recibida Velocidad de escorrentía Erosión Depósito de materiales
Longitud de la ladera	Escorrentía Erosión
Orientación de la ladera	Efecto solana-umbría: topoclima Radiación recibida Temperatura del suelo Exposición al viento Exposición a la lluvia Vegetación, infiltración y escorrentía Erosión Contenido de materia orgánica y espesor del horizonte A Morfología del perfil
Posición de la forma	Erosión, depósito Características de los materiales depositados Profundidad capa freática: estacionalidad Morfología del perfil Profundidad del suelo Contenido de sales solubles

Tabla 1: Efectos sobre el suelo según las características de la forma

1.6. TOPOSECUENCIA

Las sucesiones regulares de suelos, idénticas en la misma curva de nivel, pero que varían de forma continua a lo largo de la pendiente, se designan como catenas. Este término fue introducido por Milne (1935) para expresar las relaciones entre la ladera y sus suelos asociados. En una catena los suelos se diferencian debido a variaciones de relieve y en el drenaje, desarrollándose a partir del mismo material original y bajo las mismas condiciones climáticas, en cambio, la definición de toposecuencia no hace referencia a la naturaleza del material

original. El concepto de catena supone que los suelos tengan la misma edad, lo cual resulta difícilmente sostenible en la mayor parte de las laderas, debido a la acción de procesos erosivos.

Watson (1960) encuentra que la definición de catena resulta algo confusa, y se inclina por el término toposecuencia como más amplio y menos restrictivo que la catena.

En una toposecuencia todos los factores formadores del suelo no varían, a excepción del relieve, existiendo una dependencia entre el grado de evolución del suelo y su posición en el paisaje. Así pues, la topografía es uno de los factores principales que determinan la distribución espacial o el patrón de los suelos en una zona. León (1984) propuso la toposecuencia (secuencia de rangos de pendiente) como la unidad de investigación para el estudio de la génesis y la distribución de suelos tropicales de ladera.

Los conceptos de catena y toposecuencia son aproximaciones dinámicas y respectivamente, de los métodos actuales de estudio muy detallado en suelos de ladera, con el empleo de transectos como forma estratificada de muestreo en campo. Suponen el desarrollo de secuencias espaciales específicas de suelos, en relación con su posición en una pendiente y/o litología expuesta, condiciones que determinan importantes consecuencias sobre el drenaje interno y externo de los suelos en formación y sobre el movimiento general de materiales, que individualiza sus horizontes y dinámica.

1.7. LOS SUELOS DEL MONCAYO

El Parque Natural del Moncayo es una zona que ha recibido la atención desde varios puntos de vista: geomorfológico (Pellicer, 1996), y botánico (Ballarín, 1996). Sin embargo es escasa la información disponible sobre sus suelos. Hay que remontarse a las primeras descripciones de Guerra (1968) que, para el piso montano, es el primera en hablar de tierras pardo-podsolizadas. Por su parte, Hoyos *et al.* (1983) comenta, que en los suelos del Moncayo, el grado de alteración de los suelos varía en función de factores como la ubicación topográfica, o el clima, provocando diferentes grados de evolución a lo largo de la ladera. El último trabajo publicado sobre los suelos de Moncayo (Carceller y Vallejo, 1996), asegura que el proceso de podsolización está presente y es gradual a lo largo de la ladera.

La combinación de la litología, geomorfología, vegetación y climatología del Parque Natural del Moncayo, hace prever que los suelos, muestren una alta diversidad, a la vez que una peculiaridad propia de la transición entre el mundo mediterráneo y atlántico.

La escasa información sobre los suelos, unido a la hipótesis de encontrar suelos más propios de zonas atlánticas que son poco comunes en Aragón, suponen las principales motivaciones para la realización del estudio.

La motivación del presente estudio se debe a que la zona del Moncayo, debido a que se trata de un Parque Natural, es de interés el conocimiento de los suelos presentes en la zona, para su manejo y conservación. Además al tratarse de un punto de interés para la comunidad científica, son frecuentes las visitas por parte de la Universidad de Zaragoza en múltiples asignaturas de grado.

2. OBJETIVOS

El **OBJETIVO GENERAL** de este TFG consiste en caracterizar (morfológica, física y químicamente) las principales tipologías de suelos del piso montano (1000-1600 m) del P.N. Moncayo desarrollados sobre las areniscas cuarcíticas. Para ello se describirán y se muestrearán cinco perfiles de suelos representativos del citado dominio, y se caracterizarán según la metodología indicada posteriormente.

Los **OBJETIVOS ESPECÍFICOS** de este TFG consisten en:

- Describir morfológicamente los perfiles edáficos más representativos del Moncayo junto a sus factores formadores: vegetación, morfología, litología, clima y tiempo.
- Determinación de parámetros físicos: Elementos gruesos, Capacidad de Campo (CC), textura y estabilidad estructural.
- Determinación de parámetros químicos: pH y contenido de materia orgánica (M.O). Capacidad de Intercambio Cationico (CIC), la relación C/N y saturación de bases.
- Diferenciar tipos de humus forestales (Jabiol, 2007).
- Dar nombre (clasificar) a los suelos típicos del Moncayo estudiados siguiendo las taxonomías vigentes: World Reference Base Soils (FAO, 2014) y Keys to Soil Taxonomy (SSS, 2014).

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1. INTRODUCCIÓN

El Parque Natural del Moncayo se declaró mediante el Decreto 73/1998 de la Diputación General de Aragón, que aprobaba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) de la Comarca del Moncayo. Con esta figura han quedado legalmente protegidas bajo la figura de Parque 9.848 Has de la Sierra.

Sin embargo, esta figura de protección no es un elemento nuevo, ya que desde largo tiempo atrás la Administración ha considerado de especial relevancia la necesidad de proteger el Moncayo. En 1927, el monte “Dehesa del Moncayo”, de 1.500 Has, se declaró por Real Orden “Sitio Natural de Interés Nacional”. Esta figura de protección se reclasificó en 1978 como Parque Natural de la Dehesa del Moncayo.

El proceso de elaboración del PORN se inició en 1990, con la contratación del estudio técnico necesario sobre una superficie de 24.000 Has, que afectaba a 12 términos municipales de la Sierra. En este estudio se demostró el importante valor ecológico de amplias zonas de la Sierra situadas fuera del Parque Natural de la Dehesa del Moncayo y que merecían, al menos, la misma figura de protección.

En 1994, la Diputación General de Aragón inició el procedimiento administrativo de aprobación del PORN. En todo momento se buscó el consenso con los propietarios de los terrenos (principalmente la Administración local) de forma que la declaración de una posible figura de protección no perjudicase los aprovechamientos legalmente constituidos y que no supusieran una lesión importante al valor natural actual. Así, tras un largo proceso de reuniones y modificaciones para pulir el texto del PORN y la superficie a incluir en el Parque, se llegó por fin en 1998 a la aprobación del PORN mediante el Decreto ya mencionado, en cuyo texto se incluía la declaración del nuevo Parque Natural.

Incluye la ladera norte del macizo del Moncayo y el Parque Natural de la Dehesa del Moncayo.

Es la máxima altura de la cordillera Ibérica (2.373 m.), y presenta escalonada una gradación bioclimática muy diversa. Desde restos de glaciares en la cumbre hasta bosques frondosos de haya, carrasca, roble, pino y enebro. Cuenta también con abundantes manantiales.

La frondosidad de su vegetación, que contrasta con las llanuras semiárida de la Depresión del Ebro, la abundancia de manantiales y cursos de agua y sus altas y nevadas cumbres le confieren una belleza paisajística que le hacen acreedor de un régimen especial de

protección. Así fue entendido, ya en 1927, declarándolo Sitio Natural de Interés Nacional, pasándose a denominarse, a partir de 1978, Parque Natural de la Dehesa del Moncayo, siendo modificado al actual en el Decreto 73/1998 del Gobierno de Aragón.

3.2. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del Parque Natural del Moncayo, cuya parte estudiada se localiza en la provincia de Zaragoza en la Comunidad Autónoma de Aragón (Fig. 7) La toposecuencia de suelos objeto de estudio se encuentra a situada a lo largo del piso montano del Moncayo. Los suelos estudiados comprenden entre las coordenadas UTM (HUSO 30T) 0598480/4626904 y 0610764/4619198.

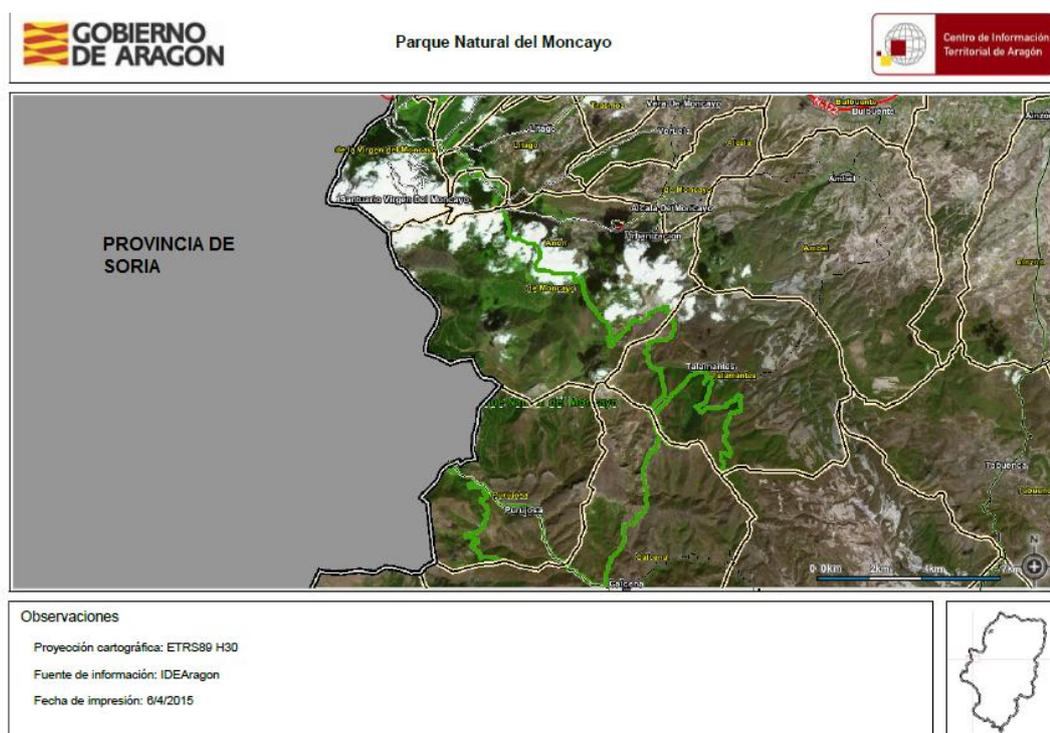


Fig. 7: Localización del Parque Natural del Moncayo dentro de Aragón. (Fuente: Visor 2D IDEAragon, 2015)

los principales vientos húmedos. Y por último, el marcado gradiente térmico altitudinal, que señala claramente la transición entre la Depresión del Ebro y este relieve montañoso.

La especial ubicación topo-geográfica del Parque Natural del Moncayo le convierte en uno de los más claros exponentes de los ecosistemas de montaña de transición entre el mundo Mediterráneo y Atlántico (Martínez del Castillo, 2012).

3.3.2. El clima atmosférico

Para la caracterización del clima atmosférico se han utilizado los datos de temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial (medida según el método de Thornthwaite) de las estaciones termopluviométricas más cercana a la zona de estudio. Los datos se han obtenido en el servidor de cartografía del SIGA del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (<http://sig.magrama.es/siga/>).

Para la estimación del régimen de precipitaciones se ha optado por la consulta bibliográfica sobre trabajos anteriores de la zona de estudio. Cuadrat *et al.* (1983) correlacionaron tanto la precipitación como la temperatura con la altitud de la vertiente norte del Moncayo:

$$\text{Temperatura (}^{\circ}\text{C)}: -0.0059 \cdot \text{altitud (m)} + 15.83$$

$$\text{Precipitación (mm)} = 0.4725 \cdot \text{altitud (m)} + 147.87$$

De tal forma, obtenemos los siguientes resultados.

Zona	Altitud (m)	P (mm)	T(°C)
Pinar del Santuario	1577	893,0	6.5
Hayedo	1280	752,6	8.2
Robledal	1058	647,7	9.5
Rebollar	1017	628,4	9.8
Pinar de La Tonda	960	601,5	10.1

Tabla 2: Temperaturas y precipitaciones medias anuales de las zonas de los suelos estudiados.

3.3.3. El clima edáfico

El clima edáfico puede caracterizarse a partir de los regimenes de humedad y temperatura del suelo, y se clasifican según Soil Taxonomy (SSS, 2014).

El régimen de temperatura del suelo se puede estimar a partir de datos climáticos con una precisión adecuada. La temperatura media anual del suelo a una profundidad de 50 cm ($T^{a50\text{ cm}}$) caracteriza el régimen de temperatura edáfico, que es estimado a través de la adición de 1°C a la temperatura atmosférica media anual (T^{atm}), mediante la siguiente aproximación:

$$T^{a50\text{ cm}} = T^{\text{atm}} + 1^{\circ}\text{C}$$

Los regímenes de temperatura más comunes en España y según Soil Taxonomy (SSS, 2010) son:

1.- Frígido (FR): La temperatura media anual del suelo inferior a 8°C y la diferencia de temperaturas de suelo entre la media de verano (Junio, Julio y Agosto) y la media de invierno (Diciembre, Enero y Febrero) es mayor a 6°C ya sea a una profundidad de 50 cm de la superficie del suelo o a un contacto dénsico, lítico o paralítico.

2.- Mésico (ME): La temperatura media anual del suelo es de 8°C o mayor pero menor de 15°C , y la diferencia entre las temperaturas del suelo entre la media de verano y la de invierno es mayor de 6°C a 50 cm o a un contacto dénsico, lítico o paralítico.

3.- Térmico (TE): La temperatura media anual del suelo es de 15°C o mayor pero menor de 22°C , y la diferencia entre las temperaturas del suelo entre la media de verano y la de invierno es mayor de 6°C a una profundidad de 50 cm o a un contacto dénsico, lítico o paralítico.

Salvo en el perfil ubicado a más altitud, correspondiente al Santuario de la Virgen del Moncayo, al resto de suelos les corresponde un **régimen de temperatura mésico** debido a que la temperatura es mayor de 8°C , pero menor a 15°C . En el caso del pinar, al tratarse de una temperatura media anual de 7.5°C , le corresponderá un **régimen térmico frígido**.

El régimen de humedad del suelo se constituye como uno de los factores clave en la clasificación de la Soil Taxonomy. Como en la determinación del régimen de temperatura, el régimen de humedad debería determinarse experimentalmente, a partir de medidas de campo. La falta de este tipo de información ha obligado a desarrollar modelos de simulación para realizar estimaciones a partir de datos climáticos.

El régimen de humedad del suelo, establecido de forma cuantitativa en Soil Taxonomy (SSS, 2014), se obtiene calculando el balance hídrico anual del suelo, que representa las pérdidas y ganancias de agua en el perfil. Los parámetros climáticos más relevantes para realizar este balance son la precipitación y la evapotranspiración potencial

Debido a la escasez de una secuencia de datos histórica sobre precipitaciones a lo largo de toda la toposecuencia, se optó por la consulta de trabajos anteriores con el fin de encontrar información de utilidad para determinar el régimen de humedad. Alberto *et al.* (1984), establece una relación entre la vegetación predominante, y el régimen de humedad de la zona de forma que en el dominio entre el robledal y hayedo dominaría el régimen údico. En resumen:

Vegetación dominante	Régimen de temperatura	Régimen de humedad
Pino royo	Frígido	Údico
Haya	Mésico	Údico
Roble	Mésico	Údico
Rebollar	Mésico	Údico
Pinar de La Tonda	Mésico	Údico ó Xérico

Tabla 3: Relación entre vegetación y régimen de humedad del suelo

En el caso del pino silvestre, de repoblación pero en el dominio montano, mantendremos la opción de régimen de humedad údico.

3.4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

3.4.1. Introducción

La Sierra del Moncayo, situada entre las provincias de Soria y Zaragoza a unos 75 kilómetros al WNW de esta última ciudad, se eleva sobre el borde meridional de la Depresión del Ebro. Ocupando con sus 2313 metros el primer lugar en cuanto a altitud en la Cordillera Ibérica, integrado dentro de la denominada rama oriental o aragonesa y formando el llamado anticlinorio del Moncayo

En un contexto regional, el Moncayo se encuentra ubicado en el borde Norte de la Cordillera Ibérica, rodeado de la Depresión del Ebro, contribuyendo con una amplia diversidad de materiales de diferente edad (figura 9).

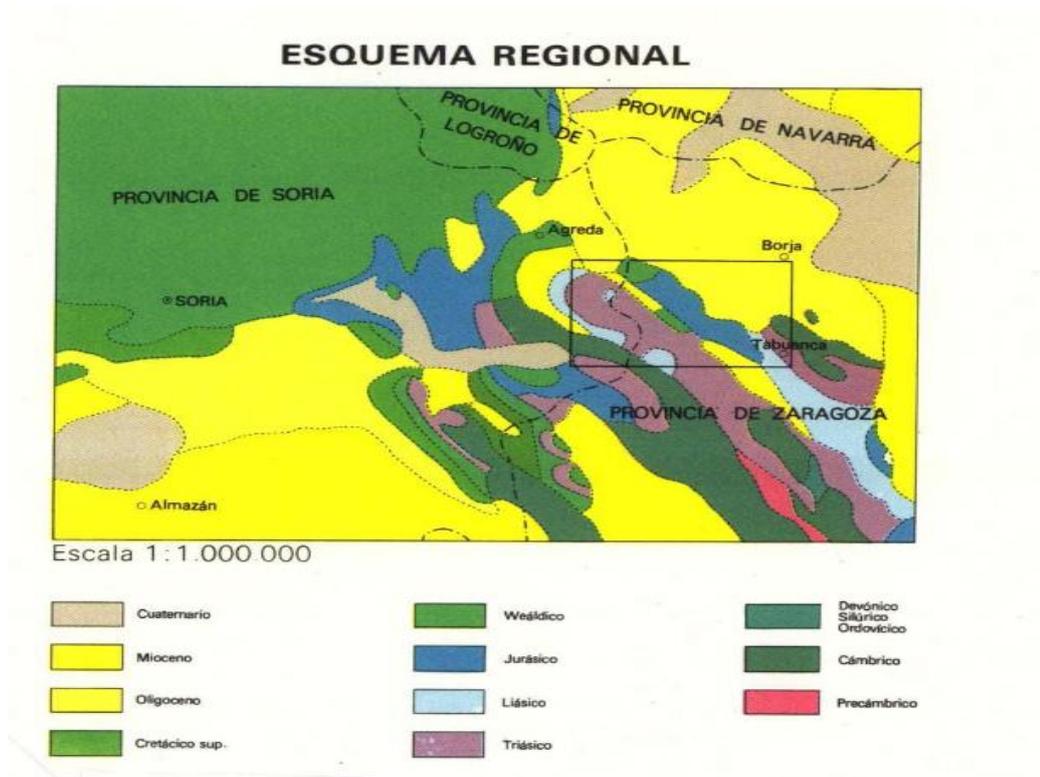


Fig. 9: Esquema regional geológico. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Hoja 352 Tabuena (1980).

3.4.2. Marco Geográfico y Geológico del Anticlinorio del Moncayo

El Moncayo constituye el techo de la Cordillera Ibérica (2.315 m.). Sus cumbres, nevadas buena parte del año, son por su aislamiento y poderoso resalte, obligado punto de referencia en un contexto espacial muy amplio (en los días claros, la silueta blanquiazul del macizo se reconoce perfectamente desde Zaragoza, a más de 80 km.).

Los materiales paleozoicos que constituyen el núcleo anticlinorio del Moncayo, forman parte de una potente serie detrítica cuya edad varía desde el cámbrico inferior hasta el Devónico Superior y que Aragonés *et al.* (1980) atribuyen al Ordovícico inferior. Estos materiales, que en las proximidades de la paleo-superficie Triásica se hallan completamente rubefactados (Carmona *et al.* 1989) estaban básicamente formados por cuarcitas, generalmente masivas, y pizarras en otros lugares. La composición fundamental de las pizarras y areniscas según Carceller *et al.* (1996) es: cuarzo (40-50%), mica (30-40%), feldespato potásico (10-13%), y hematites (5-7%); las cuarcitas están formadas por cuarzo en una proporción de más del 95%.

Sobre el núcleo paleozoico, se encuentra la cobertura mesozoica formada por las facies Buntsandstein, que es una potente serie detrítica de unos 400 metros (conglomerados en la base, areniscas y lutitas) (Arribas, 1985); la composición mineralógica varía conforme ascendemos en la serie. Así tenemos que los conglomerados y areniscas cuarcíticas de la base del Bunts están formadas mayoritariamente por cuarzo, mientras que si ascendemos en la serie, la composición de areniscas y limotitas se enriquecen micas y feldespatos (Carceller *et al.* 1996), la composición mineralógica en porcentaje de las areniscas y limotitas es el siguiente: entre un 60-70% de cuarzo; 8-18% de micas; 8-20% del feldespato potásico fundamentalmente y entre un 0 y 4% de hematites.

Desde la Tonda (1.498 m.) hasta el Alto de San Miguel (2.315 m.), la sierra forma una barrera de 15 km. de longitud y 7-8 km. de anchura. El perfil longitudinal se muestra muy maduro, las formas son pesadas; cabezos cupulares y collados se suceden con cadencia monótona. El relieve se eleva progresivamente de sureste a noroeste y una vez alcanzada la cota máxima, se hunde bruscamente hacia el norte en dos grandes escalones, marcados por el collado del Arroyo de Castilla y las plataformas de Cueva de Agreda.

El relieve es muy acusado, contrastando las alturas de la región occidental, donde se localiza la Sierra del Moncayo, cuyos picos más altos sobrepasan los 2300m., con las de la región Nororiental o Depresión del Ebro, donde la altura media es de unos 60m. La red fluvial es poco importante, estando compuesta por los ríos Huecha e Isuela, que nacen de las laderas de la Sierra del Moncayo, que constituye una importante divisoria. Los núcleos de población son poco numerosos e importantes, debiéndose mencionar las localidades de Tabuena, Talamantes, Vera del Moncayo, Bulbunte y Borja (esta última en la hoja Tarazona de Aragón).

El Moncayo actúa como divisoria hidrográfica entre las cuencas atlántica y mediterránea, concretamente entre el Duero y el Ebro, caracterizadas por una tendencia evolutiva diferente. La cuenca del Ebro, más, se agranda a costa de la cuenca meseteña del Duero donde el potencial erosivo es menor (Ibáñez, 1983).

El Moncayo se define, pues, como una sierra alargada de SW a SE, caracterizada por la doble disimetría longitudinal y transversal. El sector de cumbres presenta formas heredadas poco modificadas por los procesos erosivos cuaternarios.

3.5. VEGETACIÓN

El Moncayo introduce unas importantes variaciones de ambientes ecológicos sobre el estepoide desértico del Valle del Ebro. Esto lo convierte en uno de los enclaves naturales más interesantes de la provincia de Zaragoza e incluso de Aragón. Desde el punto de vista paisajístico se puede apreciar un escalonamiento de las formaciones vegetales, componiendo lo que en biogeografía se denomina pisos bioclimáticos (Fig. 10).

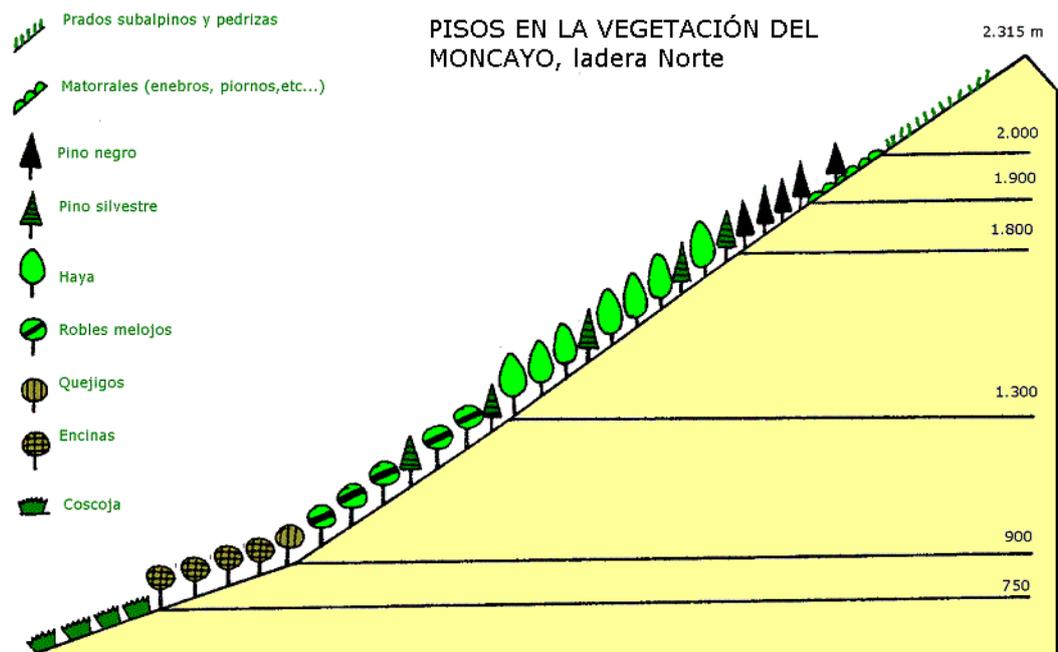


Fig.10: Transección fitotopográfica de la vertiente N del Moncayo.

En el Moncayo, empezando desde la falda de Veruela, se puede distinguir la siguiente serie, que denominaremos por la especie más representativa:

1. Piso del coscojar: hasta los 750m.
2. Piso de la encina: hasta los 900m.
3. Piso de los robles: hasta los 1300m.
4. Piso del haya con abundante pino silvestre: hasta los 1800m.
5. Piso del matorral: por encima de 1800m.

1.-Coscojar: Representa la transición entre los matorrales ralos del estepoide central, con los encinares ya más montanos del Moncayo. Formación muy abierta y asentada en suelos pobres presidida por la coscoja (*Quercus coccifera*). Su área se ve reducida por la actividad humana, que la ha cortado para la leña y para ampliar pastos y cultivos. Otras especies que aparecen en este piso son: *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicia*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula spica*, *Thymus vulgaris* y *Genista scorpius*

2. Encinar: La vegetación dominante es la encina (*Quercus rotundifolia*). Sin embargo, esta formación está reducida a pequeñas manchas en las que los pies de las carrascas están reducidos a portes similares a los de la coscoja, con las que a veces se confunden, por su porte arbóreo en las zonas de mejores suelos y fondos de laderas de barrancos. Constituyen el primer bosque montano, al escarparse por altura de la aridez, pero manteniendo el carácter semipervivente de sus hojas típicas del clima mediterráneo. Debemos destacar dentro de la vegetación del piso la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*), y otras plantas espinosas como el endrino (*Prunus spinosa*), el majuelo (*Crataegus monogyna*) y el rosal silvestre (*Rosa canina*).

3.- Robledal: Supone un cambio paisajístico notable al aparecer ya formaciones de árboles caducifolios, que hacen variar la fisonomía invernal y primaveral. La formación dominante es la del melojo (*Quercus pyrenaica*). Las hojas profundamente lobuladas lo distinguen del quejigo (*Quercus petraea*). Buena parte de su área está ocupada por pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) de repoblación. En las zonas más degradadas aparecen amplias manchas de *Cistus laurifolius*. También aparecen los brezos (*Erica vagans*) de flores rosadas, *Erica arborea* de mayor porte y aspecto retamoide y que indican los enclaves de suelos más lavados de nutrientes (Yetano, 1988).

4.-Hayedo: A superior cota, se encuentra el hayedo. Se trata de uno de los hayedos (*Fagus sylvatica*) más meridionales de Europa, de ahí su importancia desde el punto de vista biogeográfico. Le acompañan especies de arbustos como el acebo (*Ilex aquifolium*), serbal de cazadores (*Sorbus aucuparia*) y saúco rojo (*Sambucus racemosa*). Pasando los 1600m, las hayas se achaparran, sufren de heladas frías y el bosque termina por desaparecer. Comienzan a destacar el pino silvestre, algún abeto (*Abies alba*) y rodales de pino negro (*Pinus mugo*).

5.-Piso del matorral: Este matorral está formado por plantas almohadilladas como el piorno (*Cytisus purgans*), arándanos (*Vaccinium myrtillus*) y enebros (*Juniperus communis*).

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Una vez localizada la zona de muestreo, se realizó una exploración del área con el fin de seleccionar los puntos de muestreo convenientes para realizar el estudio. Se siguió el gradiente altitudinal de la ladera, con el correspondiente cambio de vegetación, buscando zonas que se correspondieran con el mismo material parental (areniscas cuarcíticas) y además fueran representativas del polipedión. En la misma salida se localizaron zonas de la vertiente aragonesa del anticlinorio que cumplieran con las características prefijadas, seleccionando un total de cinco perfiles edáficos.

Los suelos fueron muestreados en la vertiente nororiental del Parque Natural del Moncayo, perteneciente a la provincia de Zaragoza, situado en la Cordillera Ibérica.

Los suelos se muestrearon en diferentes zonas de vegetación dentro del fuerte gradiente altitudinal del Macizo, situado en las estribaciones del P.N del Moncayo, en diferentes comunidades vegetales.

Los puntos elegidos, su localización (toponimia) y sus factores de formación se muestran en la Tabla 4:

Perfil	Vegetación dominante	Relieve	Litología	Altitud	Sequum
Santuario	Pinar (<i>Pinus sylvestris</i>)	Ladera cóncava, orientación NO Pendiente local 10%	Arenisca cuarcítica triásica.	1577msnm	O-A-E-Bhs-C
La Tonda (Talamantes)	Pinar de repoblación (<i>Pinus nigra</i>)	Ladera rectilínea NNE Pendiente local 32%	Areniscas permatriásicas en depósito detrítico de solifluxión.	960msnm.	O-Ah-AB-B-C-R
Robledad alto	Rebollar (<i>Quercus petraea</i>)	Ladera cóncava, orientación NE Pendiente local 35%	Cuarcitas triásicas	1058msnm.	Ah1-Ah2-Bwk-BCg-Cg
Rebollar bajo	Rebollar (<i>Quercus pyrenaica</i>)	Ladera cóncava (Glacis) N Pendiente local 5%.	Depósito detrítico Plio-cuaternario	988 msnm.	O-Ah-E-Bt1-Bt2-2C1g-2C2g
Castilla	Hayedo (<i>Fagus sylvatica</i>)	Ladera rectilínea orientación N Pendiente local 40%	Areniscas cuarcíticas triásicas	1280 msnm.	O-Ah-E-Bhs-BC-C1-C2

4.2. DESCRIPCIÓN DE CAMPO

4.2.1. Descripción de perfiles edáficos

Para la descripción de suelos se realizaron las correspondientes fotografías y se recopiló la información sobre las características morfológicas necesarias en una ficha de campo siguiendo las normas de SINERADES (C.B.D.S.A., 1983). Además se utilizó instrumental de campo; cinta métrica, cuchillo, piqueta, clisímetro y reactivos con el fin de realizar pruebas pertinentes para completar las descripciones de campo.

4.2.2. Toma de muestras

Se tomaron muestras de cada horizonte con la ayuda de una piqueta, que posteriormente se introducían en bolsas de plástico resistentes debidamente etiquetadas y en cantidades de 2-3 kg por cada horizonte, con el fin de tener material correctamente identificado y suficiente para el posterior análisis en laboratorio. Además se toman muestras inalteradas siguiendo el mismo procedimiento de guardado-etiquetado.

4.3. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LOS SUELOS

Los análisis de las muestras fueron realizados en base a los métodos aprobados por la Comisión de Métodos Oficiales de Análisis y Laboratorios (M.A.P.A., 1994). Parte de las determinaciones (elementos gruesos, densidad aparente, humedad residual, color, estabilidad estructural, CRAD, pH, conductividad eléctrica, carbonatos, sodio, potasio, magnesio y calcio) se llevaron a cabo en el laboratorio nº11 de producción vegetal de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH). La granulometría, hierro y aluminio amorfos, así como el Nitrógeno y la relación Carbono/Nitrógeno fueron externalizados.

4.3.1. Preparación de las muestras de suelos para el análisis

El proceso de preparación previa de las muestras para su análisis requiere de varias fases con el fin de conseguir muestras que sean homogéneas, estén debidamente secadas y

tamizadas, además de etiquetadas con una referencia única por cada perfil/horizonte y ordenadas para su correcta conservación y determinaciones.

Secado de muestras: consiste en dejar secar “al aire” las muestras de suelo, hasta que la humedad ambiental se iguale con el de las muestras. Este proceso duro alrededor de 2-3 semanas y se realizó extendiendo las muestras sobre papel de periódico con la intención de favorecer el proceso, en un lugar ventilado y sin humedad.

Tamizado de muestras: para deshacer los terrones y agregados se utilizó un rodillo de madera y una maza de goma, que los disgregara, pero sin llegar a romper los elementos gruesos o los posibles nódulos de las muestras de suelo. A continuación se hace pasar la muestra de suelo sucesivas veces por un tamiz de 2 mm con el fin de separar la fracción de tierra fina de los elementos gruesos (gravas, raíces, piedras, etc.) hasta que se consigue material sobradamente suficiente para realizar las determinaciones.



Fig.11: Tamizado de las muestras de suelos

Pulverizado de muestras: algunas determinaciones requieren tierra pulverizada y homogeneizada. Para ello se tomaron entorno a 100 g de la fracción tamizada a 2 mm y se pulverizaron con un molinillo eléctrico.

Conservación y almacenaje: la fracción de tierra fina < 2 mm, así como la pulverizada se almacenaron en tarrinas de 500 mL con tapa que posteriormente fueron etiquetadas. Las muestras inalteradas de suelo se seleccionaron al tamaño deseado para la determinación de la densidad aparente e igualmente se guardaron en tarrinas identificadas, con objeto de que no sufrieran posibles alteraciones durante el manejo o transporte. Los elementos gruesos se almacenaron en bolsas de plástico etiquetadas.

Este conjunto de muestras fueron ordenados por perfiles edáficos y almacenados en el laboratorio, en un lugar de fácil acceso para la puesta en marcha del proceso de análisis de las muestras.

4.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS

4.4.1. Reacción del suelo o pH: actual y potencial

La medida de concentración de H⁺ en la solución del suelo es un parámetro indicativo de los procesos de hidrólisis, movilidad de nutrientes, actividad biológica, etc (Badía y Martí, 2002). Se basa en la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo, que es función de la actividad de los iones de hidrógeno a ambos lados de la membrana.

Para la realización del procedimiento fue necesario:

- Vasos de plástico
- pHmetro
- KCl 0.1N (para el pH potencial)

4.4.1.1. pH (H₂O) o pH actual

Se cogen 10 gramos de suelo seco al aire en un vaso de plástico y se mezclan con 25mL de agua destilada. Es importante mantener una relación de 1:2,5 en peso. Las determinaciones han de hacerse por duplicado.

Se remueve de manera periódica durante unos 30-40 minutos. El pHmetro debe estar previamente calibrado con soluciones tampón o *buffer*. Finalmente, sumergir con cuidado el electrodo del pHmetro en la suspensión suelo:agua y leer el valor correspondiente de pH. El resultado obtenido es el valor de pH actual o pH (H₂O) del suelo.

Clases	pH(H ₂ O) 1:2.5
Muy ácida	4.2-5.0
Ácida	5.1-6.2
Neutra	6.6-7.5
Básica	7.6:8.7
Muy básica	>8.7

Tabla 5: Descripción de la reacción del suelo, según AFES (1995).

El pH actual mide los H⁺ de la solución acuosa del suelo. Así, a menor pH, mayor es la velocidad de la mayoría de los procesos químicos del suelo; en cambio, frena la actividad biológica.

4.4.1.2. pH (KCl) o pH potencial

De la misma forma, se realiza una prueba con KCl (0.1N) en la proporción 1:2.5. El valor obtenido es el valor de pH potencial. Aporta información sobre la capacidad de intercambio Catiónico y la composición catiónica del complejo de cambio.

4.4.2. Repelencia al agua

Método: Test del WPDTWATER DROP PENETRATION TIME TEST

El test WDPT requiere colocar una gota de agua en la superficie del suelo y determinar el tiempo que tarda en infiltrarse (Letey, 1969). Si la gota de agua no penetra instantáneamente significa que la tensión del suelo es inferior a la tensión de la gota (72,75 dinas/cm. a 20°C) (Doerr., 1998). El tiempo que tarda la gota en infiltrarse la gota refleja el tiempo en que la tensión del suelo permanece superior a la de la gota (cuanto persiste la hidrofobicidad).

La persistencia de la repelencia al agua de un suelo puede variar entre unos pocos segundos hasta horas. En base a la clasificación de Cerdà y Doerr (2007), a su vez fundamentada en los criterios de Bisdorn *et al.* (1993) podemos clasificar el horizonte del suelo en:

Clasificación	Cerdá & Doerr (2007)
Hidrofílico	<5
Ligeramente hidrofóbico	De 5 a 60
Fuertemente hidrofóbico	De 60 a 600
Severamente hidrofóbico	De 600 a 3600
Extremadamente hidrofóbico	>3600

Tabla 6: Clases de persistencia de la repelencia al agua según Cerdá & Doerr (2007).

Se recomienda añadir un mínimo de 3 gotas de agua destilada a 20-25°C (Doerr, 1998) mediante una micropipeta (o, en su defecto, de una pipeta o una jeringa) dejando caer la gota (0,05 mL) desde una distancia inferior a 1,5 cm para evitar que la energía cinética de la propia gota desvirtúe el choque entre las tensiones superficiales de las dos superficies. Debe observarse la gota con el cronómetro en mano para determinar con plena exactitud (del orden de décimas de segundo) el momento en que se debe parar el tiempo de medida.

Una vez determinado el tiempo de penetración de cada gota se puede obtener la media y desviación estándar del conjunto de las réplicas. En el caso de gran disparidad de resultados (por ejemplo CV superiores al 30%) pueden hacerse más réplicas.

4.4.3. Materia Orgánica (Método oxidación vía húmeda)

El método se basa en la oxidación de la materia orgánica del suelo por el ión Cr^{+6} en medio ácido y valoración del exceso de ácido crómico por medio de una sal de hierro (Sal de Mohr).

Es necesario realizar todas las pruebas por duplicado, salvo el blanco, que conviene hacerlo por triplicado.

Se pesan 300 mg (en caso de que sea muy orgánico, menos) de suelo secado al aire y triturado. Colocarlas en tubos de ensayo "pyrex". Se añaden 10mL de ácido crómico 0.4N, con una pipeta automática. Calentar los tubos con la muestra y reactivo de 150 °C en un digestor durante cinco minutos. Enfriar rápidamente en agua fría.

Posteriormente, se trasvasa el contenido de los tubos a un erlenmeyer de 250mL diluyendo con agua hasta 100mL.

A continuación, añadir 3 ó 4 gotas de indicador de difenilamina y valorar con solución de Sal de Mohr 0.2N.

Para calcular el porcentaje de carbono orgánico se utilizará la siguiente expresión:

$$\%C = \frac{B - U}{B} * \frac{1.2}{n}$$

B=mL de sal de Mohr consumidos en la prueba de blanco

U=mL de sal de Mohr consumidos por la muestra de suelo.

N=peso en g de la muestra de suelo.

Para obtener el porcentaje de materia orgánica, hay que utilizar el factor de Van Bemmelen.

$$\%MO = 1.724 * (\%C) \text{ si } \%C < 5.8\%$$

En caso de que la muestra sea muy orgánica su factor de conversión pasa a 2.0 así pues:

$$\%MO = 2 * (\%C) \text{ si } \%C > 5.8\%$$

A continuación se muestran los contenidos de materia orgánica oxidable característicos de algunos ecosistemas:

Clases	Materia orgánica (%)	Horizontes y capas
Inapreciable	<0.2	R
Muy bajo	0.2-1	C,B
Bajo	1.1-2	Ap de secano
Medio	2.1-5.0	Ap de regadío
Abundante	5.1-10.0	Ah de praderas y bosques
Muy abundante	<10.0	Ah,H

Tabla 7: Contenido de materia orgánica y horizontes en los que suelen encontrarse.

4.4.4. Estabilidad estructural

El método seleccionado fue el propuesto por Kemper y Koch (1996) y cuyo protocolo se actualiza en Schiner et al., 1996. Se valora la estabilidad estructural de los agregados al someterlos a la acción de las fuerzas mecánicas por tamizado en medio húmedo. Se considera que este tratamiento simula las fuerzas de fraccionamiento que son ejercidas sobre el suelo por el agua de escorrentía o cuando se encuentra en condiciones de inmersión.

Una vez recogidas las muestras del suelo, las muestras se secan al aire y tamizadas a 2mm. Se pasan por un tamiz de luz de 1mm para poder trabajar con agregados comprendidos entre 1 y 2 mm.

El material que se usó para este análisis fue:

-Tamizador: Consta de un recipiente con motor monofásico (imagen x), excéntrica de nylon, mecanismo de balanceo y tapa de seis orificios para la introducción de los tamices. La velocidad de rotación excéntrica es de 46 rpm.



Fig. 12: Tamizador empleado en laboratorio.

Cubetas: Seis cubetas de acero inoxidable, unidas en grupos de tres.

-Tamices: Seis tamices de 38mm de diámetro y 0.25mm de luz de malla, en los que se coloca la muestra para realizar el tamizado en húmedo.

-Vasos de aluminio.

-Reactivo: Pirofosfato sódico decahidratado.

Para la determinación de la estabilidad estructural se parte de agregados secos al aire comprendidos entre 1 y 2 mm. Estos agregados se someten a agitación y tamizado en húmedo con agua destilada en el tamizador automático. Después de realizar el proceso, sólo debe quedar en el tamiz la fracción de arena mayor de 0.25 mm. Es necesario realizar dos o tres réplicas por muestra.

Se han pesado 4 g de agregados y se han colocado en uno de los recipientes del tamizador. Se añadieron 80mL de agua destilada en cada cubeta a una temperatura entre 22-25°C y se ha tapado la máquina. A continuación, se colocaron los diferentes los tamices en los orificios del tape de la máquina y se ha encendido el motor durante aproximadamente 5 minutos. Pasado ese tiempo, se ha lavado los agregados que han quedado en el tamiz con agua destilada y se han trasvasado a los recipientes o vasos metálicos. Se tararon los recipientes antes de su secado (M1) y una vez secos (M2).

Una vez enfriadas las muestras, los agregados que aún quedaban estables se han disuelto en 50 mL de pirofosfato sódico durante 2h (Imagen 2). Al cabo de este tiempo se ha pasado el contenido del recipiente a través de un tamiz y si algún agregado permaneció estable, se rompió con una varilla de goma deformable. Se ha continuado lavando hasta que en el tamiz quedaron partículas de arena mayores a los 0.25 mm. Se lavaron las partículas de arena con agua destilada pasándolas a un recipiente metálico y se han secado hasta alcanzar un peso estable (M3), a una temperatura de 105°C. Para el cálculo de la estabilidad estructural se ha seguido la siguiente fórmula:

$$\%SAS = (M2 - M3) / (W(M3 - M1)) * 100$$

W= Peso inicial del suelo (4 g).

M1= Tara del recipiente (g).

M2= Tara del recipiente más peso de los agregados estable y de arena (g).

M3= Tara de arena más masa de arena (g)

M2-M3= Masa de los agregados estables.

M3-M1= Masa de arena (g).



Fig. 13: Inmersión de los agregados en pirofosfato durante su la determinación de su Estabilidad Estructural

Es importante que a la hora de realizar el tamizado en húmedo, el agua esté comprendida en una temperatura entre 20-30 °C, ya que se ha observado que la estabilidad decrece cuando la temperatura del agua usada está fuera de este intervalo (Kemper y Rosenau, 1986).

La estabilidad estructural aumenta tal y como transcurre el tiempo de almacenaje de la muestra suelo; se recomienda no superar las tres semanas entre el muestreo del suelo y análisis (Kemper y Koch, 1966; Murer *et al.*, 1993).

Para la interpretación de los resultados se propone:

SAS (%)	Interpretación
80-100	Agregados muy estables
60-80	Agregados estables
40-60	Agregados moderadamente estables
20-40	Agregados poco estables
0-20	Agregados muy poco estables

Tabla 8: Interpretación de los valores de estabilidad estructural (%SAS), según el método de tamizado en húmedo de Kemper & Kock (1966).

4.4.5. Color

La determinación de color se realiza con la carta de colores Munsell (Imagen 3) que permite clasificar el suelo en función de tres componentes:

- Matiz, color espectral dominante (R: Rojo; Y:Amarillo; YR: Naranja).
- Brillo: Luminosidad, variación en tintes (Negro: 0; blanco puro: 10).
- Chroma: Saturación, fuerza del color espectral. (Colores neutros: 0; colores fluorescentes: 30).

Para realizar la medida de color de las diferentes muestras, deben estar completamente secas al aire. Posteriormente se tamizan a 2 mm de malla para separar la tierra fina de los elementos gruesos. La medida del color se ha realizado en seco y posteriormente en húmedo, con la ayuda de una pipeta Pasteur.



Fig. 14: Tabla de color Munsell.

4.4.6. Capacidad de campo. (Método Sand Box)

El suelo tiene la capacidad de almacenar agua para ir cediéndola a las plantas. La cantidad máxima que puede retener es conocida como agua a capacidad de campo. En el laboratorio se identifica la capacidad de campo con la tensión de 33 kPa.

El método *Sand Box* permite utilizar tanto muestra de suelo tamizada como inalterada. El material necesario para la determinación de este parámetro es:

- Cilindros metálicos, biselados en uno de sus lados, para la toma de muestras, de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura y tapas para los cilindros.
- Filtro de tela y gomas de sujeción para los cilindros y filtro de tela para el tanque de extracción de humedad.
- Equipo de membrana Eijelkamp, compuesto por (1) un cajón de arena donde humectar el suelo, (2) un cajón de caolín para someter la muestra del suelo a una succión de 33 kPa, compresor, panel de control (con manómetros y manoreductores).

Una vez en el laboratorio, los cilindros se prepararon para su humectación. Para ello se cogió cada cilindro y, con las puestas, se invirtieron en su sentido en el horizonte del suelo, quedando la parte bisalada hacia arriba, se retiraron la tapa de ese lado y se colocó un filtro de tela cuadrado de unos 10cm de lado sujetándolo con una goma alrededor del cilindro. Se le dio la vuelta al cilindro y se retiró la tapa superior. Ya preparados los cilindros, se sumergieron en el tanque de humectación, con los filtros hacia abajo y posteriormente se añadió agua destilada hasta que la altura llegara a la mitad del cilindro (Imagen 4).



Fig. 15: Cilindros en proceso de humectación.

Cuando la parte superior de la muestra se quedo húmeda, se dejaron transcurrir 24 horas en proceso de humectación. Una vez humectadas se colocaron en el tanque de extracción de humedad o Sand-Box de Eijelkamp apretando ligeramente para que se clavarán en torno a 1mm en el caolín (Figura 16).



Fig. 16: Muestras preparadas para iniciar el proceso de succión con caolín.

Antes de introducir las muestras en el tanque de extracción, era necesario colocar un filtro de tela grande que ocupara la superficie de succión y que tuviera una fina capa de agua de un torno 1 mm de espesor.

Se dejaron las muestras 24 horas con el aparato encendido y a la succión deseada.

Se sacaron las muestras y se pesaron (M1) y a continuación se introdujeron en una estufa a 105 °C. Una vez secas las muestras se dejaron enfriar durante 10 minutos y se volvieron a pesar (M2). Después de vaciar los cilindros pesamos todas las taras (M3).

Así tendremos:

$$CC(\%) = \frac{M1 - M2}{M2 - M3} * 100$$

La CC se expresa en % (p/p).

Para sacar la CC en mm se emplea la siguiente fórmula:

$$CC(mm) = \frac{CC(\%)}{100} * \frac{100 - EG(\%)}{100} * E * Da$$

Donde:

- EG= Elementos gruesos
- E= Espesor
- Da= Densidad aparente

4.4.7. Elementos gruesos

Para el cálculo de los elementos gruesos se requirió de un tamiz de malla de 2mm para separar la tierra fina de los elementos gruesos (piedras, gravas, raíces, etc.) Para deshacer los terrones y agregados se empleó un rodillo de madera o goma que disgregue pero sin romper los elementos gruesos o los nódulos de la muestra de suelo.

Tras haber pasado toda la tierra por el cedazo, se pesaron por separado la fracción de tierra fina y de los elementos gruesos. Se calculó el porcentaje de elementos gruesos mediante la expresión:

$$\% \text{Elementos gruesos} = (\text{Peso elementos gruesos} / \text{Peso total tierra seca}) * 100$$

4.4.8. Granulometría (Método de sedimentación discontinua)

Esta técnica tiene por objetivo determinar la distribución por tamaño de las partículas elementales del suelo. Se basa en la separación de estas partículas por sedimentación, en condiciones, controladas, una vez han sido individualizadas (Robinson, 1992).

El material necesario para este método consta de:

- Baño de textura (con pipeta Robinson, vasos de sedimentación, termostato), vasos de precipitado de litro, varillas de agitación, placas calefactoras, pipetas, embudos de 10cm de diámetro, agitador de rotación orbital y tamices.
- Solución dispersante de calgón (50 g/L).

El procedimiento consta de varias fases:

Individualización de partículas.

Se pesaron 20 g de suelo tamizado a 2mm y seco a la estufa y se disponen en jarra de litro. Se añadieron 30 ml de agua de una vez y unos 5 ó 10 ml de agua oxigenada al 30% colocado sobre una placa calefactora (imagen 6). El proceso se repite mientras a la adición de agua oxigenada tenga una respuesta enérgica hasta un máximo de 30 ml. La cantidad de materia orgánica que contenga cada muestra nos condiciona el tiempo de duración de la prueba y la cantidad de agua oxigenada empleada.

Dispersión de la muestra.

Una vez destruida la materia orgánica se añadió agua destilada hasta unos 600 ml y 15 ml de dispersante calgón. Posteriormente se trasvasaba a botellas de litro y se colocaban en los agitadores orbitales (Imagen 7) durante seis horas.

Fraccionamiento de la muestra

Separación de arenas gruesas:

Pasadas las seis horas, se filtraron las muestras a un tamiz PVC de 0.2 mm, previamente tarado, situado sobre un embudo y en la boca del vaso de sedimentación de litro. Se lavaron las arenas gruesas retenidas por el tamiz y se completó el volumen de suspensión hasta un litro. Las arenas que eran más gruesas se quedaron retenidas en el tamiz PVC y se pusieron a secar en estufa a 50 C. Una vez secas, se pesaron.

Separación de arcillas y limos totales:

Una vez enrasado el litro de suspensión, se removía durante dos minutos con un agitador. Sin mover el recipiente, se dejó sedimentar durante 46 segundos (a 20 C). Veinte segundos antes de que se cumpliera el tiempo, se introducía la pipeta Robinson hasta los 10 cm de profundidad. Se pipeteaba en el momento justo 20 ml de suspensión, vaciando todo el contenido en platito de aluminio previamente tarado. Posteriormente se dejaron a secar en estufa a 105°C y se volvieron a pesar una vez secos. El peso neto obtenido es la cantidad de limos (gruesos y finos) más arcillas que hay presentes en 20 ml de suspensión.

Separación de arcillas y limos finos:

En esta ocasión se pipeteó transcurrido 4 minutos 48 segundos (a 20°C) desde que se sacó la varilla de agitación repitiendo el proceso anteriormente descrito.

Separación de arcillas:

Remover de nuevo la suspensión y dejó reposar durante 8 horas (a 20°C). Una vez pasado ese tiempo se volvió a pipetear dándonos la cantidad de arcilla en 20 ml de suspensión.

Separación de arenas finas:

Una vez que se extrajo la muestra de arcilla, sin remover, se decantó el vaso de sedimentación para eliminar la solución líquida transparente. Se volvía a llenar con agua hasta una altura de 10 cm y se dejaba reposar 5 minutos decantando de nuevo. Este proceso se repetía hasta que algua se quedaba totalmente clara pasados los 5 minutos de sedimentación.

Para expresar los resultados deben mostrarse los contenidos de arena, limo y arcilla en porcentaje respecto al suelo seco. Posteriormente se determinaba la clase textural con los triángulos de textura del sistema USDA (Figura 1).

4.4.9. Capacidad de intercambio Catiónico (Método de agitación centrifugación)

Cuando las partículas sólidas del suelo entran en contacto con la solución acuosa de éste, las especies iónicas presentes en la fase líquida pueden ser captadas en la fase sólida, liberándose a su vez otros iones que inicialmente se encontraban asociados a esta última. Es el denominado fenómeno de intercambio catiónico es el denominado complejo de cambio o complejo adsorbente, constituido por las arcillas y la materia orgánica humificada. El complejo de intercambio Catiónico posee carga negativa lo cual le permite adsorber cationes. La cantidad total de cationes que puede retener en su superficie el complejo de cambio recibe el nombre de capacidad de intercambio Catiónico (CIC). En ocasiones se habla de CIC_{total} para distinguir las aportaciones de la CIC_{humus} y $CIC_{arcillas}$. Conocer la CIC es importante porque afecta al movimiento de la retención de cationes del suelo, a la nutrición de la planta, al poder de recuperación del suelo, a su pH potencial y a su capacidad amortiguadora.

El material requerido para este método fue:

- Centrífuga y tubos de centrífugas de 50 ml, probeta de 50 ml, erlenmeyers de 100 ml.
- Acetato amónico 1N, a pH 7.
- Alcohol etílico o etanol al 80% v/v
- NaCl 1N

Se pesaron 5g de suelo en un tubo centrífuga de 50 ml. Posteriormente se añadieron 33 ml de acetato amónico 1N a pH 7. Posteriormente se introducen en la centrífuga (Imagen 6) a 2000 rpm durante 5 minutos. Es necesario repetir hasta dos veces más la operación.

A continuación toca el lavado con alcohol 80% repitiendo la misma operación otras tres veces. Este tercer extracto sirve para determinar la CIC total.



Fig. 17: Centrifugador con muestras

La concentración de amonio se midió en el extracto de NaCl por destilación Kjeldahl. Con el destilado obtenido se valora con ácido sulfúrico para que vire de un color rosa a uno azulado.

La CIC se expresa en meq/100 g de suelo o en cmol/kg



Fig. 18: Proceso de destilación del amonio a través de un destilador Kjeldahl.

$$CIC \left(\frac{cmol}{kg} \right) = \frac{V * N}{v} * \frac{100}{P} * 100$$

V= Volumen, en ml, de ácido sulfúrico consumidos.

N= Normalidad del ácido sulfúrico consumido para valorar.

v= Volumen de alícuota tomado del extracto total.

P= Peso, en gramos, de la muestra de suelo utilizada.



Fig. 19: Valoración de amonio

Algunos valores de CIC, de horizontes superficiales del suelo, se ofrecen en la Tabla 9.

Clases	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
cmol*Kg⁻¹	<6	6-12	13-25	26-40	>40

Tabla 9. Clases de CIC, en superficie (30cm), según Herrero *et al.* (1993).

Cuando el conjunto de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ y Na⁺ (cationes básicos o alcalinotérreos) representan toda la carga catiónica que puede retener el complejo de cambio, se considera que el suelo está *saturado* en cationes de cambio. Y se denomina *tasa de saturación* (%V=S/T=Suma de cationes básicos/CICtotal*100) de un suelo al porcentaje de posiciones de intercambio catiónico de su complejo de cambio que están ocupadas por estos cationes distintos al H⁺ o aquellos que pueden producirlo (Al³⁺, Fe³⁺, Fe²⁺). Se exponen los calificativos de AFES (1995) para la tasa de saturación del complejo de cambio (Tabla 10).

Clases	Desaturado	Oligosaturado	Mesosaturado	Subsaturado	Saturado
V (%)	<20	20<V<50	50<V<80	80<V<95	>95

Tabla 10. Descripción de la tasa de saturación del complejo de cambio, según AFES (1995)

4.4.10. Sodio y Potasio (por fotometría de llama)

La determinación del sodio y del potasio en extractos del suelo (sean solubles o intercambiables) se establece por fotometría de llama.

Para este método se requiere:

- Fotómetro de llama, matraces aforados, pipetas y vasos.
- Solución madre de 500 mg/L de sodio.
- Solución madre de 500 mg/L de potasio.
- Diluciones patrón de sodio y potasio preparadas con agua ultrapura para la determinación de los iones solubles y con AcONH_4 para los iones intercambiados.

Se siguieron los pasos detallados a continuación:

Construcción de la curva patrón de Na^+ y K^+

Se enciende el fotómetro un rato antes de comenzar y ajustamos al cero con agua ultrapura. Posteriormente se introdujo la solución patrón escogida de más concentración y hacer corresponder el indicador al valor “60” de la escala. Lavar con agua y pasar la concentración “0”. A continuación, se pasó el resto de soluciones patrón en orden (figura 20), creciendo de concentración anotando los valores correspondientes de la escala del aparato.



Fig. 20: Proceso de construcción de la curva patrón.

Determinación de la concentración de Na^+ y K^+ en las muestras problema

Inmediatamente después de leer las soluciones patrón se debe de pasar a los problemas. Los valores obtenidos se interpolan en la curva patrón para obtener los mg/L correspondientes. Es conveniente hacer las lecturas de los patrones y muestras lo más rápidamente posible para evitar desajustes del aparato.

Los valores obtenidos se interpolan en la curva patrón obteniéndose en meq/L, teniendo el factor de conversión, si existe,

$$\frac{\text{meq Na}}{L} = \frac{\text{mg Na}}{1000 \text{ mL}} * \frac{\text{mL dilución}}{\text{mL extracto}} * \frac{1000 \text{ mL ext}}{1L \text{ ext}} * \frac{1 \text{ meq Na}}{23 \text{ mg Na}}$$

$$\frac{\text{meq K}}{L} = \frac{\text{mg K}}{1000 \text{ mL}} * \frac{\text{mL dilución}}{\text{mL extracto}} * \frac{1000 \text{ mL ext}}{1L \text{ ext}} * \frac{1 \text{ meq Na}}{39.1 \text{ mg Na}}$$

4.4.11. Calcio y Magnesio (por complexometría)

El método está basado en la formación de quelatos con los cationes divalentes del extracto y el ácido etilendiaminotetra-acético (EDTA), aprovechando las diferentes constantes de equilibrio según el pH de la solución.

El material necesario consta de:

- Cápsulas de evaporación, bureta, erlenmeyers de 100mL, pipetas, matraz aforado de 100 y 25 ml y probeta de 100 ml.
- Agua ultrapura
- Ácido nítrico (NO₃H), concentrado.
- Ácido clorhídrico concentrado.
- Ácido acético.
- CNK al 1%
- Solución amortiguadora de CINNH₄-NH₄OH a pH 10.
- Solución de hidróxido de sodio NaOH, 4N a pH 12.
- Indicador de calcón (para el calcio).
- Indicador negro de eriocromo T (para el calcio+magnesio).
- Solución de EDTA disódico 0.01N.

4.4.11.1. **Determinación del Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺**

Medimos una alícuota (entre 5 y 25 ml) de la solución a analizar que contenga el orden de 0.1 meq de Ca+Mg como máximo. Posteriormente se colocaron en erlenmeyer de 100 ml y añadimos agua hasta 25 ml; después se añadieron 2 ml de solución de CNK y 2ml de solución amortiguadora de pH 10. A continuación se añadió indicador negro de eriocromo adquiriendo una tonalidad rosácea y se valoró con EDTA 0.01N, hasta que hubo un viraje a un tono azulado.

4.4.11.2. **Determinación del Ca⁺⁺**

Al igual que para el procedimiento anterior, se midieron alícuotas entre 5 y 25 ml del extracto a analizar y se colocaron en erlenmeyer de 100 ml.

Se añadió agua hasta 25 ml añadiendo 2ml de solución a pH 12. Se añadió indicador de calcón adquiriendo una tonalidad rosada de la disolución. Se valoró con EDTA hasta adquirir un tono azulado.



Fig. 21: Proceso de determinación de Ca⁺⁺ por valoración con EDTA

Para calcular el calcio y magnesio presentes se establecen en base a :

$$\text{Volumen de EDTA} \times \text{Normalidad del EDTA} = \text{meq de Ca}^{++} \text{ o Ca}^{++} + \text{Mg}^{+}$$

4.4.12. **Densidad aparente**

Debido a la gran cantidad de elementos gruesos que había en los perfiles analizados, y por lo tanto presentaba dificultades para determinar la densidad aparente por el método del cilindro, se optó por determinar la densidad aparente de los horizontes a través de las clases texturales mediante la siguiente tabla (Tabla 11) proporcionada por la USDA.

Clase textural	Densidad aparente (g/cm ³)
Arena	1.7-1.8
Arena gruesa	1.6-1.7
Arena y arena fina	1.55-1.65
Arena muy fina	
Arena franca	1.6-1.7
Arena franca gruesa	1.55-1.65
Arena franca, arena franca fina	1.55-1.6
Arena franca muy fina	
Franco arenosa	1.55-1.6
Franco arenosa gruesa, franco arenosa y franco arenosa fina	1.5-1.6
Franco arenosa muy fina	1.45-1.55
Franco y franco limosa	1.45-1.55
Limo	1.4-1.55
Franco arcillosa	1.35-1.45
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa	1.4-1.5
Arcillosa arenosa	1.35-1.45
Arcillosa limosa	1.4-1.5
Arcillosa	1.35-1.45

Tabla 11: Clases texturales del suelo y densidad aparente. Fuente: USDA, 2014.

Para aquellos horizontes que presentaban un mayor porcentaje de materia orgánica, se dieron unos valores de densidad aparente que oscilaban entre 0.84 y 0.88 g/cm³ (Rubio, 2010).

4.4.13. Determinación de tipos de humus forestal

Para la clasificación de humus forestal se procedió a utilizar la guía de Jabiol *et al.* (2007) en una salida de campo. Se procedió a la toma de fotos y a determinar el tipo de humus que había en cada perfil *in situ*.



Fig. 22: Detalle de humus forestal bajo pinar.

4.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Los horizontes diagnóstico y los se han clasificado según World Reference Base Soils (IUSS, 2014) a nivel de unidades y Soil Taxonomy (USDA, 2014).

4.6. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

Para el desarrollo de este trabajo se han utilizado los programas informáticos que se enumeran a continuación.

1. Microsoft Office Word 2007: Tratamiento de texto
2. Microsoft Office Excel 2007: Tratamiento estadístico, gráficas y cálculos.
3. R Commander: Tratamientos estadístico y gráficas.
4. Paint 6.0 (Service Pack de Windows): Tratamiento, elaboración de imágenes y mapas.
5. Adobe Illustrator: Elaboración de esquemas, dibujos y gráficos.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. IDENTIFICACION DE LOS PERFILES DE LA TOPOSECUENCIA DE SUELOS SOBRE ARENISCAS CUARCITICAS

Se han descrito y muestreado un total de 5 perfiles edáficos a lo largo de una toposecuencia de suelos en el dominio montano y sobre areniscas cuarcíticas del Parque Natural del Moncayo (Provincia de Zaragoza). La nomenclatura utilizada para designar los perfiles corresponde a la letra M (de Moncayo) seguido del número de perfil 0, el más elevado, y 4 el más bajo de la toposecuencia (Tabla 12)

Situación	Perfil	Altitud (msnm)	Posición en la ladera	Coordenadas UTM
Santuario de la Virgen del Moncayo	M0	1577	<i>Rectilínea</i>	30 T 0598480; 4626904
Hayedo	M1	1280	<i>Rectilínea</i>	30 T 0598093; 4628828
Robledal Alto	M2	1058	<i>Rectilínea</i>	30 T 0600243; 4628086
Rebollar Bajo	M3	1017	<i>Rectilínea</i>	30 T 06061146; 4627798
Pinar de La Tonda	M4	960	<i>Rectilínea</i>	30 T 0610764; 4619198

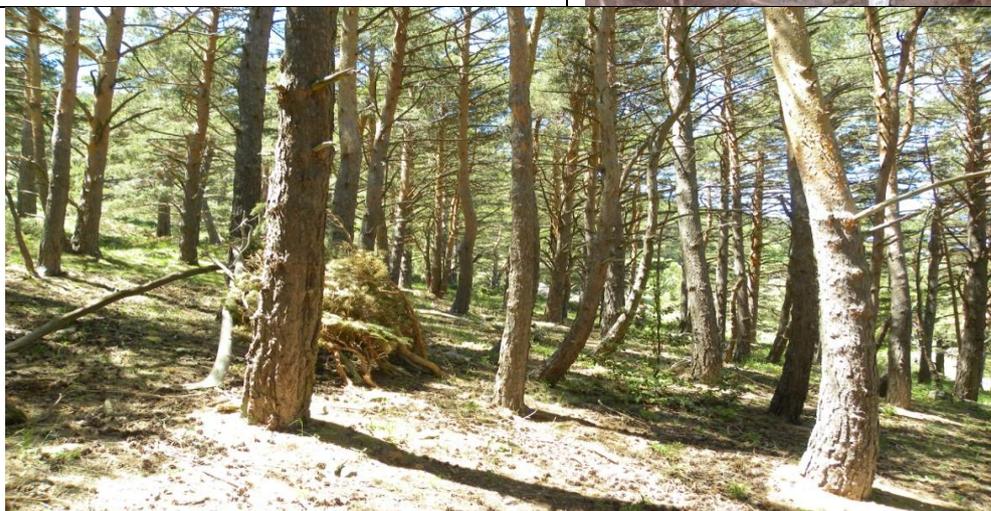
Tabla 12: Ubicación de los suelos seleccionados para la elaboración de la toposecuencia.

5.2. RESULTADOS ANALÍTICOS Y DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA DE LOS PERFILES

A continuación aparecen las fichas detalladas de cada uno de los perfiles estudiados a lo largo de la toposecuencia de suelos, de mayor altitud a menor.

PERFIL M0

SITUACIÓN: Santuario de la Virgen del Moncayo
TÉRMINO MUNICIPAL: Calcena.
COMARCA: Comarca del Aranda
COORDENADAS U.T.M.: 30 T 0598480; 4626904.
MAPA: IGME Tabuena, 352
ALTITUD: 1577 msnm
GEOMORFOLOGÍA: Alta ladera. Pendiente 10% NE
MATERIAL ORIGINAL: Arenisca cuarcítica
USO DEL SUELO Y VEGETACION: *Pinus nigra*
PROFUNDIDAD EFECTIVA: >200 cm.
EROSIÓN: Superficial
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL: 5%
AFLORAMIENTOS ROCOSOS: 5%
DRENAJE: Bien drenado. Sin encharcamiento
CLIMA DEL SUELO (STS)
Régimen de humedad: Údico
Régimen de temperatura: Frígido.
AUTORES DESCRIPCIÓN: David Badía, Alberto Ruiz, Paloma Ibarra y Esperanza Jarauta.
FECHA DESCRIPCIÓN: 7-11-2013
CLASIFICACIÓN TENTATIVA:
FAO(2014): Podzol álbico, someriumbrico, esquelético.
SSS (2014)Typic haplorthod



Descripción macromorfológica de los horizontes.

Ah (0-18cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): Gris oscuro (10YR 4/1), en seco y negro (10YR 2/1), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Muy frecuentes (30 % en volumen), areniscas permatriásicas de tamaño de gravas gruesas y cantos, de forma angular plana, sin orientación definida, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franco arcillo arenoso. **ESTRUCTURA:** fuerte, migajosa, mediana. **COMPACIDAD:** Poco compacto. **MATERIA ORGÁNICA:** Muy abundante (10-20%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De muy finas a finas y medianas, muy abundantes y frecuentes. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada. **ACUMULACIONES:** Inexistentes. **CEMENTACIONES:** matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Irregular.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Horizonte úmbrico.

E (18-30 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): Gris parduzco (10YR 6/2) en seco y pardo oscuro grisáceo (10YR 4/2) en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** abundantes (50 % en volumen), areniscas cuarcíticas, de tamaño grava media y gruesa, de forma angular tabular y angular plano, orientación horizontal, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso. **ESTRUCTURA:** débil, subangular, mediana. **COMPACIDAD:** Poca. **MATERIA ORGÁNICA:** Poca (1-2%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De finas medianas, abundantes. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Irregular

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte albico.

Bhs (30-85 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): pardo amarillento oscuro (10YR 5/4), en seco y marrón (10YR 3/4), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** abundantes (50 % en volumen), areniscas cuarcíticas, de tamaño grava media y gruesa, de forma angular tabular y angular plano, orientación horizontal, distribución regular **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso. **ESTRUCTURA:** débil, subangular, fina. **COMPACIDAD:** Poca. **MATERIA ORGÁNICA:** Abundante (3%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De muy finas a medianas, abundantes. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada.. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Irregular gradual.

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte espódico.

C (85-200cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): pardo pálido (10YR 7/3), en seco y marrón (10YR 3/4), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Abundantes (60 % en volumen), areniscas cuarcíticas, de tamaño grava a bloques, de forma angular plano, orientación horizontal, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso. **ESTRUCTURA:** moderada, granular, fina. **COMPACIDAD:** moderada. **MATERIA ORGÁNICA:** Poca (1-2%). **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** Finas, pocas. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl):- **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Neto plano.

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Ninguno

Datos analíticos:

Santuario

Propiedades químicas						
Horizontes (profundidad)	pH H ₂ O	pH KCl	C oxid (%)	MO (%)	Nitrógeno (%)	C/N
Ah (0-18cm)	4,1	3,1	9,5	19,0	0,5	22,1
E (18-30cm)	4,0	2,9	1,1	2,0	0,1	11,5
Bhs (30-85cm)	5,2	4,0	4,2	7,2	0,2	18,5
C (85-100cm)	5,1	4,1	1,7	2,9	0,1	12,7

Tabla 13. Resultados de las propiedades químicas (M0)

Complejo de cambio (AcONH ₄)							
Horizontes (profundidad)	Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	Na (cmol/Kg)	K (cmol/Kg)	Suma cationes (cmol/Kg)	CIC (cmol/Kg)	Saturación bases (%)
Ah (0-18cm)	4,3	1,6	0,1	0,2	6,2	43,0	14,3
E (18-30cm)	1,8	0,2	0,1	0,1	2,2	8,9	24,4
Bhs (30-85cm)	2,0	1,2	0,1	0,1	3,4	27,1	12,7
C (85-100cm)	1,4	0,3	0,1	0,1	1,9	13,7	14,0

Tabla 14. Resultados de complejo de cambio (perfil M0)

Extracciones selectivas	Hierro		Aluminio		Al ox+ ½ Fe Amorfo extraído con oxalato de amonio (mg/Kg) (%)
	Horizontes (profundidad)	Fe Amorfo extraído con oxalato de amonio (mg/Kg)	Fe (%)	Al Amorfo extraído con oxalato de amonio (mg/Kg)	
Ah (0-18cm)	1431	0,14	1206	0,12	0,19
E (18-30cm)	647	0,07	570	0,06	0,09
Bhs (30-85cm)	8022	0,80	9879	0,99	1,39
C (85-100cm)	1438	0,14	2245	0,22	0,30

Tabla 15. Resultados extracciones selectivas de hierro y aluminio (perfil M0).

Granulometría							
Horizontes (profundidad)	Arena Fina (%)	Arena Gruesa (%)	Limo Fino (%)	Limo Grueso (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (%)
Ah (0-18cm)	36,2	13,6	14,1	12,7	23,4	Franco arenoso limoso	75,0
E (18-30cm)	47,8	14,3	15,4	15,6	7,0	Franco arenoso	60,4
Bhs (30-85cm)	39,4	17,3	16,7	13,8	12,7	Franco arenoso	59,9
C (85-100cm)	44,0	17,7	14,3	17,1	7,0	Franco arenoso	85,1

Tabla 16. Resultados granulométricos (perfil M0).

Propiedades físicas				
Horizontes (profundidad)	Estabilidad estructural (%)	CC 0.03MPa (%)	CC (mm)	Repelencia al agua (s)
Ah (0-18cm)	92,4	25,2	9,5	60
E (18-30cm)	76,6	16,1	11,9	1
Bhs (30-85cm)	93,9	15,5	52,9	>1h.
C (85-100cm)	95,2	18,3	12,7	3

Tabla 17. Resultados propiedades físicas (perfil M0)

PERFIL M1

SITUACIÓN: Camino del Barranco de Castilla (200m de la carretera).

TÉRMINO MUNICIPAL: Tarazona

COMARCA: Tarazona y el Moncayo

COORDENADAS U.T.M.: 30 T 0598093; 4628828.

MAPA: IGME Tabuena, 352

ALTITUD: 1280 msnm

GEOMORFOLOGÍA: Ladera rectilínea Pendiente 40% N

MATERIAL ORIGINAL: Cuarcitas paleozoicas

USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN: *Fagus sylvatica*, *Erica arborea*, *Ilex aquifolium*, *Vaccinium myrtillus*

PROFUNDIDAD EFECTIVA: 180cm

EROSIÓN: Ligera reptación

PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL: 20%

AFLORAMIENTOS ROCOSOS: No

DRENAJE: Bien drenado. Sin encharcamiento

CLIMA DEL SUELO (STS):

Régimen de humedad: Údico

Régimen de temperatura: Mésico.

AUTORES DESCRIPCIÓN: David Badía

FECHA DESCRIPCIÓN: 30/12/2013

CLASIFICACIÓN TENTATIVA:

FAO (2014): Cambisol dístrico (húmico).

SSS (2014): Spodic Dystrudept.



Descripción macromorfológica de los horizontes

Ah (0-45 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): Gris claro (10YR 6/1), en seco y gris oscuro (10YR 4/1), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Muy frecuentes (50 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a cantos, de forma angular tabular y plana, sin orientación, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso. **ESTRUCTURA:** moderada, granular, fina. **COMPACIDAD:** Poco compacto. **MATERIA ORGÁNICA:** Muy abundante (6%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** Micelios, hongos. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** Gruesas y muy gruesas, finas y muy finas, abundantes. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): Negativa. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Ondulado neto.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Horizonte úmbrico.

E (45-55 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): Gris claro (10YR 7/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Muy frecuentes (50 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a cantos, de forma angular tabular y plano, sin orientación definida, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franco-arenoso. **ESTRUCTURA:** débil, granular, fuerte, fina. **COMPACIDAD:** Poco compacto. **MATERIA ORGÁNICA:** Abundante (3%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No detectada. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** finas y muy finas, muy pocas. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): Negativa. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** ondulado

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte albico

Bhs (55-80cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): pardo amarillento oscuro (10YR 7/5), en seco y marrón (10YR 4/4), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** abundantes (40 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a cantos, de forma angular plana y tabular, sin orientación definida, distribución regular **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso. **ESTRUCTURA:** Moderada, subangular, mediana. **COMPACIDAD:** Poco compacto. **MATERIA ORGÁNICA:** Abundante (5%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De finas a muy finas, muy pocas **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Ondulado neto

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte espódico

BC (80-110cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): marrón pálido (10YR 8/4), en seco y marrón (10YR 4/4), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Abundantes (60 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a cantos, de forma angular tabular y plano, sin orientación definida, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franca **ESTRUCTURA:** Sin estructura. **COMPACIDAD:** Poco compacto. **MATERIA ORGÁNICA:** Abundante (3%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** Presencia de lombrices. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De gruesas a finas, abundantes. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Ondular gradual

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte cámbico

C1 (110-150 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): marrón pálido (10YR 8/4), en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/6), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** abundantes (60 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a cantos, de forma angular plano y tabular, sin orientación definida, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso. **ESTRUCTURA:** Sin estructura definida. **COMPACIDAD:** Poca. **MATERIA ORGÁNICA:** Abundante (3%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** Presencia de lombrices. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De medianas a muy finas, frecuentes **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Ondular gradual

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Ninguno

C2 (150-180 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): marrón pálido (10YR 7/5), en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 5/6), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Muy abundantes (80 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a cantos, de forma angular esferoidal, plano y tabular, sin orientación definida, distribución regular **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso **ESTRUCTURA:** Sin estructura definida. **COMPACIDAD:** Poca. **MATERIA ORGÁNICA:** Abundante (3%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** Presencia de lombrices. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De finas a muy finas, frecuentes **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Ondular gradual

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Ninguno

Datos analíticos:

Hayedo

Propiedades químicas						
Horizontes (profundidad)	pH H₂O	pH KCl	C oxid (%)	MO (%)	Nitrógeno (%)	C/N
Ah (0-55cm)	4,3	3,0	2,3	4,0	0,1	20,2
E (45-55cm)	4,4	3,2	0,9	1,6	0,08	11,9
Bhs (55-80cm)	4,3	3,7	1,0	1,7	0,08	12,5
BC (80-110cm)	4,9	3,7	0,8	1,4	0,07	12,4
C1 (110-150cm)	4,7	3,7	0,6	1,0	0,06	10,2
C2 (150-180cm)	4,9	3,8	0,9	1,6	0,02	10,2

Tabla 18. Resultado propiedades químicas (perfil M1)

Complejo de cambio (AcONH₄)							
Horizontes (profundidad)	Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	Na (cmol/Kg)	K (cmol/Kg)	Suma cationes (cmol/Kg)	CIC (cmol/Kg)	Saturación bases (%)
Ah (0-55cm)	0,1	0,1	0,1	0,2	3,3	15,5	34,5
E (45-55cm)	0,2	0,2	0,2	0,1	1,7	14,1	31,3
Bhs (55-80cm)	0,04	0,04	0,1	0,2	1,8	18,5	18,9
BC (80-110cm)	0,4	0,4	0,1	0,2	1,8	15,6	27,9
C1 (110-150cm)	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1	18,3	21,8
C2 (150-180cm)	0,2	0,2	0,1	0,2	1,4	17,2	18,4

Tabla 19. Resultados de complejo de cambio (perfil M1)

Extracciones selectivas		Hierro		Aluminio		Al ox+ 1/2 Fe Amorfo extraído con oxalato de amonio (mg/Kg) (%)
Horizontes (profundidad)	Fe Amorfo extraído con oxalato de amonio (mg/Kg)	Fe (%)	Al Amorfo extraído con oxalato de amonio (mg/Kg)	Horizontes (profundidad)		
Ah (0-55cm)	416	0,04	298	0,03	0,05	
E (45-55cm)	830	0,08	409	0,04	0,08	
Bhs (55-80cm)	4649	0,47	1032	0,10	0,34	
BC (80-110cm)	2134	0,21	716	0,07	0,18	
C1 (110-150cm)	1654	0,17	679	0,07	0,15	
C2 (150-180cm)	7122	0,71	193	0,19	0,02	

Tabla 20. Resultados extracciones selectivas de hierro y aluminio (perfil M1)

Granulometría							
Horizontes (profundidad)	Arena Fina (%)	Arena Gruesa (%)	Limo Fino (%)	Limo Grueso (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (%)
Ah (0-55cm)	57,7	6,3	14,4	12,9	8,7	Franco arenoso	79,3
E (45-55cm)	52,4	10,1	18,0	11,9	7,7	Franco arenoso	64,7
Bhs (55-80cm)	50,9	6,6	18,6	11,3	12,6	Franco arenoso	56,3
BC (80-110cm)	48,4	11,5	18,9	10,2	11,1	Franco arenoso	59,8
C1 (110-150cm)	48,2	8,0	18,2	10,3	15,4	Franco arenoso	74,3

Tabla 21. Resultados granulométricos (perfil M1)

Propiedades físicas				
Horizontes (profundidad)	Estabilidad estructural (%)	CC 0.03MPa (%)	CC (mm)	Repelencia al agua (s)
Ah (0-55cm)	25,8	15,5	12,1	2
E (45-55cm)	27,9	14,1	11,6	1
Bhs (55-80cm)	80,8	18,5	37,7	1
BC (80-110cm)	67,9	15,6	19,4	1
C1 (110-150cm)	42,0	18,3	29,1	1
C2 (150-180cm)	40,3	17,2	0	1

Tabla 22. Resultados propiedades físicas.

PERFIL M2:

SITUACIÓN: Robledal cerca de barranco
TÉRMINO MUNICIPAL: Litago
COMARCA: Tarazona y el Moncayo
COORDENADAS U.T.M.: 30 T 0600243;
4628086
MAPA: IGME Tabuena, 352
ALTITUD: 1058 msnm
GEOMORFOLOGÍA: Ladera cóncava Pendiente
35% SE
MATERIAL ORIGINAL: Cuarcitas triásicas
USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN: Quercus
pyrenaica, Cistus laurifolius, Erica arborea,
PROFUNDIDAD EFECTIVA: 120cm
EROSIÓN: Ninguna
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL: 75%
AFLORAMIENTOS ROCOSOS: No
DRENAJE: Moderado. Sin encharcamiento
CLIMA DEL SUELO (STS):
Régimen de humedad: Údico
Régimen de temperatura: Mésico.
AUTOR DESCRIPCIÓN: David Badía
FECHA DESCRIPCIÓN 30-12-2013
CLASIFICACIÓN TENTATIVA:
FAO (2014): Cambisol dístrico (húmico).
SSS (2014)Typic dystrudept.



Descripción macromorfológica de los horizontes

Ah (0-5 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): (10YR 7/2), en seco (10YR 3/3), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (30 % en volumen), cuarcitas cubiertas de limo, de tamaño grava fina a grava gruesa, de forma angular tabular, plana y esferoidal, sin orientación, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco. ESTRUCTURA: Fuerte, bloques subangulares, fina. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (2%) ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Poca. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De finas a muy finas, frecuentes TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): Negativa ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano neto. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Horizonte ócrico
Ah2 (5-20 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): (10YR 8/3), en seco y marrón (10YR 4/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (80 % en volumen), cuarcitas cubiertas de limo, de tamaño grava fina a gruesa, de forma angular plana y tabular, sin orientación definida, distribución regular TEXTURA AL TACTO: Franco. ESTRUCTURA: Moderada, bloques subangulares, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (2%) ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Poca. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De finas a muy finas, pocas TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): Negativa. ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano gradual. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte ócrico
Bw (20-60 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): (10YR 7/3), en seco y (10YR 4/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (80 % en volumen), cuarcitas cubiertas de limo, de tamaño grava fina a gruesa, de forma angular tabular y plano, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco. ESTRUCTURA: Moderada, bloques angulares, fina COMPACIDAD: Moderada. MATERIA ORGÁNICA: Poca (2%) - ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De finas a muy finas, pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): Negativa. ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS:

Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** plano neto

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte cámbico

BCg
(60-80 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR**
(de la matriz del suelo): (10YR 8/3), en seco y (10YR 4/6), en húmedo.
MANCHAS: Presentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Frecuentes (10 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a gruesa, de forma angular plano y tabular, sin orientación definida, distribución regular **TEXTURA AL TACTO:** Franco-arenosa **ESTRUCTURA:** Sin estructura definida. **COMPACIDAD:** Muy compacto. **MATERIA ORGÁNICA:** Muy poca (1%) **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** De finas a muy finas, pocas **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): Negativa. **ACUMULACIONES:** Inexistentes. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Ondular gradual

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Ninguno.

Cg
(80-120 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR**
(de la matriz del suelo): (10YR 7/4), en seco y (10YR 2/1), en húmedo.
MANCHAS: De tonos muy contrastados. **ELEMENTOS GRUESOS:** Frecuentes (10 % en volumen), cuarcitas, de tamaño grava fina a gruesa, de forma angular tabular y plano, sin orientación definida, distribución regular. **TEXTURA AL TACTO:** Franco **ESTRUCTURA:** Sin estructura. **COMPACIDAD:** Muy compacto. **MATERIA ORGÁNICA:** Muy poca (1%) - **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** Finas a muy finas, pocas. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): Negativa. **ACUMULACIONES:** Inexistentes. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** -

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Ninguno.

Datos analíticos:

Robledal alto

Propiedades químicas				
Horizontes (profundidad)	pH H₂O	pH KCl	Carbono orgánico (%)	MO (%)
Ah1 (0-5cm)	5,2	4,3	5,4	9,4
Ah2 (5-20cm)	5,2	3,8	2,6	4,4
Bw (20-60cm)	5,0	3,8	1,0	1,7
BCg (60-80cm)	4,9	3,8	0,3	0,6
Cg (80-120cm)	4,8	3,8	0,3	0,5

Tabla 23. Resultados propiedades químicas (perfil M2)

Complejo de cambio (AcONH₄)							
Horizontes (profundidad)	Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	Na (cmol/Kg)	K (cmol/Kg)	Suma cationes (cmol/Kg)	CIC (cmol/Kg)	Saturación bases (%)
Ah1 (0-5cm)	6,0	1,0	0,1	0,5	7,5	18,6	40,4
Ah2 (5-20cm)	2,5	0,6	0,1	0,4	3,6	11,0	32,9
Bw (20-60cm)	1,7	0,4	0,1	0,4	2,5	8,9	28,4
BCg (60-80cm)	1,1	0,1	0,1	0,2	1,5	6,4	23,6
Cg (80-120cm)	1,2	0,2	0,1	0,1	1,6	6,5	24,8

Tabla 24. Resultados complejo de cambio (perfil M2)

Extracciones selectivas	Hierro		Aluminio		Al ox+ 1/2 Fe Amorfo extraído con oxalato amónico (%)
	Horizontes (profundidad)	Fe Amorfo extraído con oxalato amónico (mg/Kg)	Fe (%)	Al Amorfo extraído con oxalato amónico (mg/Kg)	
Ah1 (0-5cm)	1656	0,17	778	0,08	0,16
Ah2 (5-20cm)	1690	0,17	843	0,08	0,17
Bw (20-60cm)	2019	0,20	959	0,10	0,20
BCg (60-80cm)	845	0,09	720	0,07	0,11
Cg (80-120cm)	1243	0,12	704	0,07	0,13

Tabla 25. Resultados extracciones selectivas de hierro y aluminio (perfil M2)

Granulometría							
Horizontes (profundidad)	Arena Fina (%)	Arena Gruesa (%)	Limo Fino (%)	Limo Grueso (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (%)
Ah1 (0-5cm)	32,0	5,2	24,6	19,1	19,0	Franco	24,0
Ah2 (5-20cm)	33,8	5,4	20,8	19,7	20,2	Franco	37,2
Bw (20-60cm)	34,0	6,4	22,3	17,2	20,0	Franco	38,9
BCg (60-80cm)	40,6	6,5	22,4	15,1	15,5	Franco	38,2
Cg (80-120cm)	38,9	9,7	19,6	15,7	16,2	Franco	50,0

Tabla 26. Resultados granulométricos (perfil M2).

Horizontes (profundidad)	Estabilidad estructural	CC 0.03MPa (%)	CC (mm)	Repelencia al agua (s)
Ah1 (0-5cm)	89,9	29,9	9,7	8
Ah2 (5-20cm)	78,4	23,9	19,2	1
Bw (20-60cm)	28,4	20,1	71,4	1
BCg (60-80cm)	9,9	17,9	32,0	1
Cg (80-120cm)	9,0	17,3	50,2	1

Tabla 27. Resultados propiedades físicas (perfil M2).

PERFIL M3

SITUACIÓN: Ladera en Monte La Mata.

TÉRMINO MUNICIPAL: Trasmoz.

COMARCA: Comarca del Aranda

COORDENADAS U.T.M.: 30 T 06061 146; 4627798.

MAPA: IGME Tabuena, 352

ALITUD: 1017 msnm

GEOMORFOLOGÍA: Ladera media-baja.
Pendiente 30% NO

MATERIAL ORIGINAL: Areniscas cuarcíticas

USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN: Quercus petraea

PROFUNDIDAD EFECTIVA: >50 cm.

EROSIÓN: -

PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL: 50%

AFLORAMIENTOS ROCOSOS: No

DRENAJE: Bien drenado. Sin encharcamiento

CLIMA DEL SUELO (STS):
Régimen de humedad: Údico.
Régimen de temperatura: Mésico.

AUTORES DESCRIPCIÓN: David Badía, Alberto Ruiz, Paloma y Esperanza

FECHA DESCRIPCIÓN: 7-11-2013

CLASIFICACIÓN TENTATIVA:
FAO (2014): Umbrisol esquelético
SSS(2014): Humic Dystrudept



Descripción macromorfológica de los horizontes

Ah (0-30 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): pardo (10YR 5/3), en seco y pardo oscuro (10YR 3/3), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (15-20 % en volumen), areniscas cuarcíticas, de tamaño grava fina a grava gruesa, de forma angular tabular y esferoidal, orientación horizontal, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco. ESTRUCTURA: fuerte, granular, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (5%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Abundante. Galerías vacías y rellenas. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De finas a gruesas, abundantes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): No detectada. ACUMULACIONES: Hierro y aluminio. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: plano, gradual. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Horizonte úmbrico.
C (30-50 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR: Pardo pálido (10YR 7/3) en seco y en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR 4/4). MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (80 % en volumen), areniscas cuarcíticas, de tamaño cantos, de forma angular tabular y angular plano, orientación horizontal, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco. ESTRUCTURA: fuerte, granular, fina. COMPACIDAD: Moderada. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Galerías vacías y llenas. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De finas a gruesas, abundantes TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): No detectada. ACUMULACIONES: Hierro y aluminio. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, gradual. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Ninguno.

Datos analíticos:

Rebollar bajo

Propiedades químicas				
Horizontes	pH	pH	Carbono orgánico	M.O
(profundidad)	H ₂ O	KCl	(%)	(%)
Ah				
(0-30cm)	5,5	4,2	3,0	5,2
C				
(30-50cm)	5,1	3,7	0,4	0,7

Tabla 28. Resultados propiedades químicas (perfil M3)

Complejo de cambio (AcONH₄)							
Horizontes	Ca	Mg	Na	K	Suma	CIC	Saturación
(profundidad)	(cmol/Kg)	(cmol/Kg)	(cmol/Kg)	(cmol/Kg)	cationes	(cmol/Kg)	bases (%)
					(cmol/Kg)		
Ah							
(0-30cm)	4,3	1,1	0,2	0,6	6,1	16,9	36,1
C							
(30-50cm)	1,4	0,04	0,1	0,2	1,7	5,5	31,8

Tabla 29. Resultados complejo de cambio (perfil M3)

Granulometría							
Horizontes (profundidad)	Arena Fina (%)	Arena Gruesa (%)	Limo Fino (%)	Limo Grueso (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (%)
Ah (0-30cm)	34,7	13,5	23,9	18,3	9,6	Franco	59,1
C (30-50cm)	33,1	14,4	19,9	21,2	11,5	Franco	81,6
Extracciones selectivas							
Horizontes (profundidad)	Hierro		Aluminio		Al ox+ 1/2 Fe amorfo extraído con oxalato amónico (%)		
	Fe Amorfo extraído con oxalato amónico (mg/Kg)	Fe (%)	Al Amorfo extraído con oxalato amónico (mg/Kg)	Al (%)			
Ah (0-30cm)	2797	0,02	1853	0,18			0,3
C (30-50cm)	589	0,06	384	0,04			0,07

Tabla 31. Resultados extracciones selectivas (perfil M3).

Propiedades físicas				
Horizontes (profundidad)	Estabilidad estructural	CC		Repelencia agua (s)
		0.03MPa (%)	CC (mm)	
Ah (0-30cm)	96,1	22,8	23,8	1
C (30-50cm)	31,0	17,8	14,2	4

Tabla 32. Resultados propiedades físicas

PERFIL M5

SITUACIÓN: Pinar de La Tonda.

TÉRMINO MUNICIPAL: Talamantes.

COMARCA: Comarca Del Aranda

COORDENADAS U.T.M.: 30 T 0610764;
4619198.

MAPA: IGME Tabuenca, 352

ALTITUD: 960 msnm

GEOMORFOLOGÍA: Ladera con depósito
detrítico de solifluxión.

PENDIENTE: 32% NNE

MATERIAL ORIGINAL: Areniscas cuarcíticas
permatriásicas

USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN: Pinar de
replantación (*Pinus sylvestris*).

PROFUNDIDAD EFECTIVA: >120 cm.

EROSIÓN: Por gravedad y reptación.

PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL: >70%

AFLORAMIENTOS ROCOSOS: No hay.

DRENAJE: Bien drenado. Sin encharcamiento.

CLIMA DEL SUELO (STS):

Régimen de humedad: Údico.

Régimen de temperatura: Mésico.

AUTORES DESCRIPCIÓN: David Badía Villas,
Alberto Ruiz Lorente.

FECHA DESCRIPCIÓN: 14-11-2013

CLASIFICACIÓN TENTATIVA:

FAO (2014): Cambisol dístrico (húmico).

WRBS (2014): Humic dystrupet.



<p>Ah (0-30 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): marrón (7.5YR 5/3), en seco y marrón oscuro (7.5YR 3/3), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (30 % en volumen), areniscas cuarcíticas de tamaño de cantos, de forma angular tabular y plana, orientación horizontal, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco. ESTRUCTURA: fuerte, migajosa, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (3%) ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Abundante. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De finas medianas, abundantes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): No detectada. ACUMULACIONES: Hierro y aluminio. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Irregular.</p> <p>HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Horizonte úmbrico</p>
<p>AB (30-70 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): rosáceo (7.5YR 7/3) en seco y marrón (7.5YR 4/3) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (30 % en volumen), areniscas permatriásicas, de tamaño grava gruesa y cantos, de forma angular, sin orientación definida, distribución irregular. TEXTURA AL TACTO: Franco. ESTRUCTURA: fuerte, subangular, fina, mediana y gruesa. COMPACIDAD: Moderada. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (3%) ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Muy finas, frecuentes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): No detectada. ACUMULACIONES: Hierro y aluminio. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Neto plano.</p> <p>HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte cámbico</p>
<p>B (70-120 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): rosáceo (7.5YR 7/3), en seco y marrón (7.5YR 5/3), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: abundantes (40 % en volumen), areniscas permatriásicas, de tamaño grava gruesa y cantos, de forma angular, sin orientación definida, distribución irregular de tamaño grava gruesa y cantos, de forma angular, sin orientación definida, distribución irregular TEXTURA AL TACTO: Franco arenoso. ESTRUCTURA: Fuerte, subangular, gruesa y muy fina. COMPACIDAD: Moderada. MATERIA ORGÁNICA: Poca (2%) ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De muy fina, pocas TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): No detectada. ACUMULACIONES: Hierro y aluminio. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Neto plano</p> <p>HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Horizonte espódico</p>

C (120 cm) **ESTADO DE HUMEDAD:** Ligeramente húmedo. **ESTADO REDOX:** oxidado. **COLOR** (de la matriz del suelo): pardo amarillento oscuro (7.5YR 7/4), en seco y marrón oscuro (7.5YR 3/4), en húmedo. **MANCHAS:** Inexistentes. **ELEMENTOS GRUESOS:** Abundantes (50 % en volumen), areniscas permatriásicas, de tamaño grava a cantos, de forma angular tabular, sin orientación definida, distribución diaclasada. **TEXTURA AL TACTO:** Franco arenoso. **ESTRUCTURA:** Fuerte, subangular, gruesa y muy fina. **COMPACIDAD:** moderada. **MATERIA ORGÁNICA:** Muy poca (1%) - **ACTIVIDAD BIOLÓGICA:** No aparente. **ACTIVIDAD ANTRÓPICA:** No aparente. **RAICES:** Muy Finas, muy pocas. **TEST DE CAMPO** (reacción de la matriz al HCl): No detectada. **ACUMULACIONES:** Hierro y aluminio. **CEMENTACIONES:** Matriz no cementada. **REVESTIMIENTOS:** Inexistentes. **LÍMITE INFERIOR:** Neto plano.

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Ninguno.

Datos analíticos:

Pinar de La Tonda

Propiedades químicas				
Horizontes (profundidad)	pH H ₂ O	pH KCl	C oxid (%)	MO (%)
Ah (0-25cm)	6,1	6,1	1,8	3,0
AB (25-50cm)	5,5	5,5	0,4	0,7
B (50-70cm)	5,4	5,4	0,2	0,4
C (70-120cm)	5,4	5,4	0,4	0,6

Tabla 33. Resultados propiedades químicas (perfil M4)

Complejo de cambio (AcONH₄)							
Horizontes (profundidad)	Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	Na (cmol/Kg)	K (cmol/Kg)	Suma cationes (cmol/Kg)	CIC (cmol/Kg)	Saturación bases (%)
Ah (0-25cm)	6,9	0,2	0,1	0,4	7,642	16,6	46,0
AB (25-50cm)	1,8	0,2	0,1	0,1	2,196	7,6	28,8
B (50-70cm)	1,7	0,1	0,1	0,1	2,004	6,2	32,4
C (70-120cm)	1,8	0,2	0,1	0,1	2,292	6,8	33,5

Tabla 34. Resultados complejo de cambio (perfil M4)

Extracciones selectivas	Hierro		Aluminio		Al ox+ 1/2 Fe ox (%)
	Fe Amorfo extraído con oxalato amónico (mg/Kg)	Fe (%)	Al Amorfo extraído con oxalato amónico (mg/Kg)	Al (%)	
Ah (0-25cm)	3434	0,34	2352	0,24	0,41
AB (25-50cm)	1621	0,16	868	0,09	0,17
B (50-70cm)	1237	0,12	502	0,05	0,11
C (70-120cm)	1821	0,18	761	0,08	0,17

Tabla 35. Resultados extracciones de hierro y aluminio (perfil M4)

Granulometría							
Horizontes (profundidad)	Arena Fina (%)	Arena Grueso (%)	Limo Fino (%)	Limo Grueso (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (%)
Ah (0-25cm)	20,4	26,3	27,6	14,5	20,4	Franco	73,5
AB (25-50cm)	28,7	21,7	21,7	16,6	28,7	Franco	72,5
B (50-70cm)	26,7	26,4	22,3	14,4	26,7	Franco arenoso	80,2
C (70-120cm)	31,9	22,3	17,0	11,4	31,9	Franco arenoso	94,1

Propiedades físicas				
Horizontes (profundidad)	Estabilidad estructural	CC 0.03MPa (%)	CC (mm)	Repelencia al agua (s)
Ah (0-25cm)	83,4	22,1	14,7	1
AB (25-50cm)	23,2	19,4	15,4	1
B (50-70cm)	15,9	17,6	10,8	2
C (70-120cm)	19,5	16,3	7,5	1

Tabla 37. Resultados propiedades físicas (perfil M4)

5.3. PROPIEDADES MORFOLÓGICAS

5.3.1. Color

Todos los perfiles presentan un matiz homogéneo de 10Y, salvo el perfil ubicado en La Tonda (7,5YR), matiz derivad del material originario (areniscas cuarcíticas)

En general, los horizontes estudiados presentan brillos medio-altos y chromas bajos, siendo estos dos parámetros los que diferenciarán básicamente unos horizontes de otros en cuanto a color se refiere. La homogeneidad es constante a lo largo del transecto de suelos estudiados salvo el perfil ubicado a cota inferior, a 960 msnm, en La Tonda, debido a que sus materiales son provenientes del Buntsandstein, adquiriendo unos tonos más rojizos.

Basándonos en el brillo y la textura del suelo (FAO, 2014) los bajos valores de chroma en los horizontes superficiales del suelo, indican que estos horizontes, serán muy ricos en materia orgánica.

En los perfiles del Santuario y del Hayedo ubicados a mayor altura, con 1577 y 1280 msnm respectivamente, analizando los valores de brillo y croma tanto en seco como en húmedo, según USDA (2014), se puede apreciar la presencia de materiales álbicos (horizontes E) en los perfiles de estos suelos en cotas más elevadas.

5.3.2. Estructura

Una de las propiedades edáficas que permite diferenciar un suelo del material geológico es la estructura (Porta *et al.*, 2003). El desarrollo estructural en los horizontes superficiales es fuerte o moderado debido a la a la cantidad de arcilla que presentan varios de ellos o, por el manto vegetal que se sustentan sobre estos suelos. Predominan las estructuras migajosas (o ar compuesta) y granulares finas debido al alto contenido de materia orgánica en estos horizontes superiores.

El grado de estructuración disminuye o se mantiene en profundidad, al mismo tiempo que disminuye el contenido en materia orgánica y predominan las formas angulares o subangulares, apareciendo horizontes que conservan la morfología del material parental.

5.3.3. Compacidad

Todos los horizontes superficiales presentan una compacidad baja debido principalmente al alto porcentaje de materia orgánica que poseen. Los horizontes con altas cantidades de materia orgánica son poco compactos y favorecen la infiltración de agua y la aireación del suelo reduciendo por lo tanto el grado de erosión. Los horizontes C presentan una compacidad fuerte, lo que podría suponer una barrera al paso del sistema radicular.

5.4. PROPIEDADES FÍSICAS

5.4.1. Elementos gruesos

En general, el contenido de elementos gruesos de todos los perfiles analizados es bastante alto llegando en algunos casos a superar el 90% en los horizontes más profundos.

La naturaleza de los elementos son areniscas cuarcíticas.

Los elementos gruesos presentan un tamaño que va de grava fina a bloques, presentando mayoritariamente formas angulares tabulares y planas con una distribución regular. Estas formas se deben a la meteorización física por acción del agua provocando la fragmentación de los elementos gruesos en bloques con cantos rectilíneos.

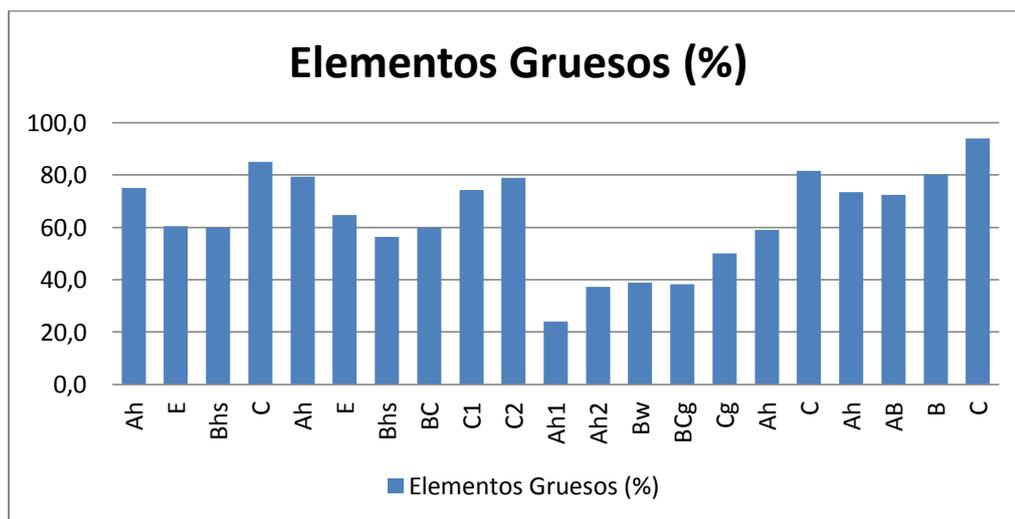


Figura 23: Porcentaje de elementos gruesos por horizontes de los 5 perfiles estudiados. El orden de los horizontes de los perfiles empieza por el ubicado a mayor altitud (M0), y termina con el situado a menor altitud (M4).

5.4.2. Repelencia al agua

Los suelos analizados no presentan problemas de hidrofobicidad siendo calificados según Cerdá (2007) como hidrofílicos.

Cabe a destacar que en el perfil ubicado a mayor altitud, el relativo al Pinar del santuario, presenta horizontes extremadamente hidrofóbicos llegando a ser un problema a la hora de realizar algunas pruebas de laboratorio. La causa de este fenómeno puede deberse a la presencia de elevadas cantidades de materia orgánica en mal estado provocando repelencia al agua en estos horizontes.

González (2010) afirma que uno de los factores clave en la hidrofobicidad de suelos es la vegetación dominante del entorno del suelo. En el caso del perfil M0 predomina *Pinus sylvestris* que según esta tesis, afirma que las zonas en las que hay predominancia de especies del género *Pinus* hay más posibilidad del desarrollo de repelencia de agua por parte de los horizontes del suelo.

5.4.3. Granulometría

En los suelos estudiados predominan las texturas francas y franco arenosas. En la mayoría de los horizontes la fracción arena (predominando la arena fina sobre la gruesa) se encuentra encima de la fracción limo y ambas por encima de la fracción de arcilla.

En los horizontes M0 y M1 se puede apreciar que los horizontes eluviales (E) tienen un bajo porcentaje de arcillas y posteriormente, el horizonte de iluviación o acumulación (Bhs) presenta unos mayores porcentajes de arcillas. Esto puede deberse a la podsolización que es más fuerte en las partes altas del macizo. Este fenómeno se conocen como iluviación de arcillas causada por las abundantes precipitaciones infiltran las arcillas de los horizontes superiores a otros más profundos a través de los macroporos del suelo.

En el resto de perfiles hay un porcentaje de arcillas también reducido, siendo semejante en todos los horizontes de cada perfil. Los bajos porcentajes de arcillas en los perfiles, puede deberse a la pérdida que se da por ferrólisis, debido a acumulaciones de agua, que tiene como resultado final la destrucción de las arcillas. Además Bohn *et al.* (1993) afirma que los bajos niveles de pH, sufren una rápida descomposición de las arcillas.

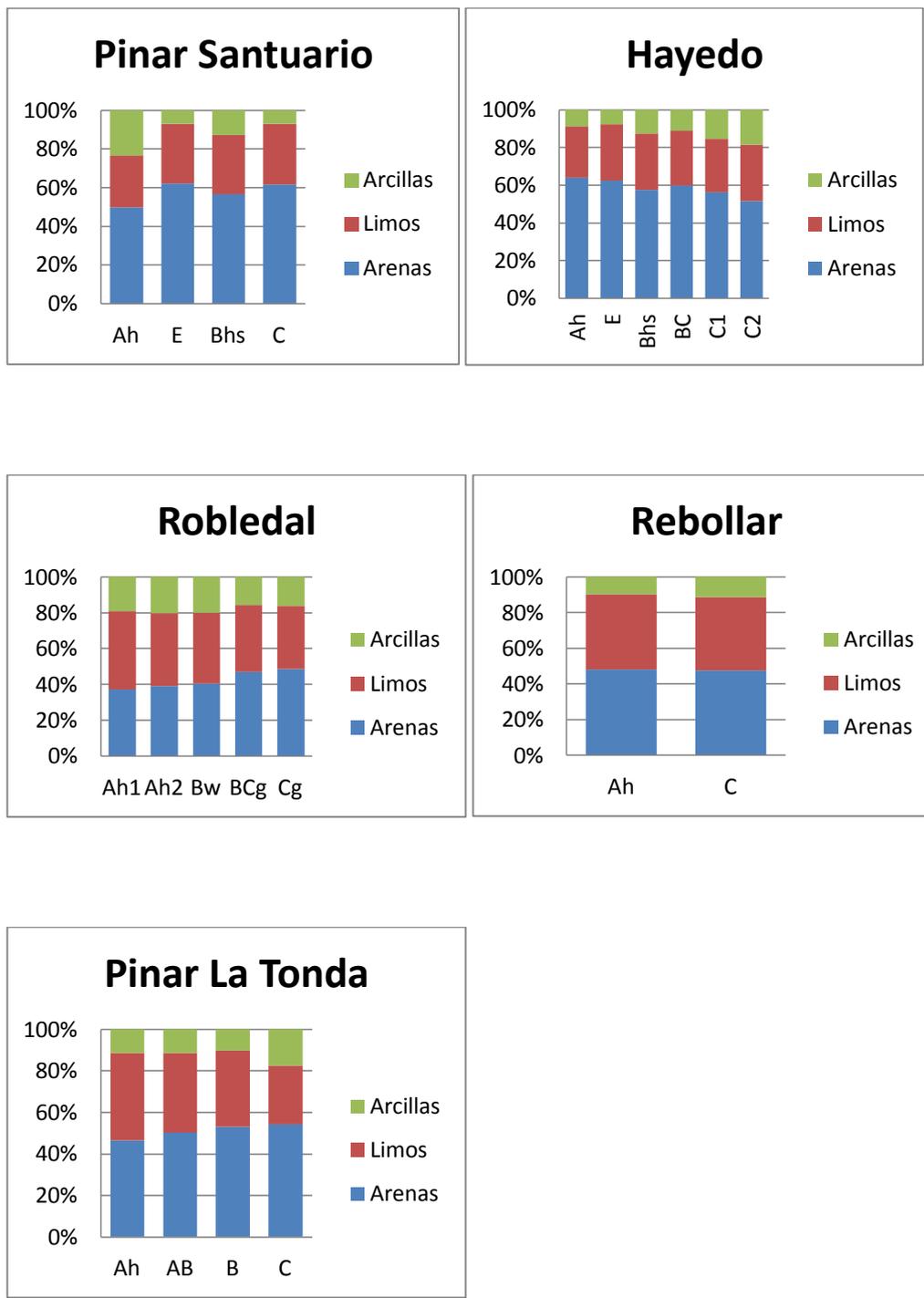


Figura 24: Distribución de las fracciones granulométricas por perfiles

5.4.4. Capacidad de Campo

Conocemos la Capacidad de Campo (CC) como el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego a saturación o de haber sido mojado abundantemente y posteriormente dejarlo drenar libremente evitando todo tipo de pérdidas por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice.

Depende principalmente de la composición granulométrica y la cantidad de materia orgánica entre otros factores, correlacionándose de la siguiente manera con los suelos seleccionados.

	ARENA	LIMO	ARCILLA	MO
CC	-0.76	0.57	0.54	0.62

Tabla 38: Correlación “R” entre las diferentes fracciones granulométricas y la materia orgánica con la CC

Como puede observarse hay una significativa ($p < 0,01$) correlación negativa entre la fracción arena con la CC, al contrario de lo que sucede con la arcilla y con los limos, debido a que los tamaños de las partículas son más pequeños y retienen el agua con más fuerza. La materia orgánica también presenta una correlación positiva y significativa con la CC.

Se puede sacar una regresión lineal múltiple que explica la correlación existente que hay entre la capacidad de campo de un perfil del suelo, y las fracciones granulométricas (incluyendo elementos gruesos) del suelo considerando la materia orgánica. La ecuación de la recta es la siguiente ($R^2=0,87$):

$$CC(\%) = 68,41 - 0,68 * Arena(\%) - 0,23 * Limo(\%) - 0,56 * Arcilla(\%) - 0,005 * EG(\%) + 0,56 * MO(\%)$$

A través de la recta se puede observar la influencia negativa de la fracción arena en la capacidad de campo y a la vez, como la materia orgánica favorece un aumento de la misma.

5.4.5. Estabilidad estructural

Una cualidad edáfica derivada de la estructura es la estabilidad estructural de los agregados, que puede definirse como el resultado de la fuerza de unión entre las partículas elementales de los agregados del suelo, siendo de gran importancia en la protección de pérdida de suelo por erosión (Cerdá, 1998).

En los suelos muestreados se aprecia una estabilidad estructural muy elevada que va disminuyendo en profundidad hasta los horizontes de material más inalterados. Esto se debe a que existe una correlación entre la materia orgánica y la estabilidad estructural ($R=0.62$). La materia orgánica otorga una mayor estructura a los horizontes del suelo y por lo tanto, una mayor estabilidad estructural de sus agregados.

5.5. PROPIEDADES QUÍMICAS

5.5.1. pH

En este estudio los suelos presentan unos valores de pH ácidos o muy ácidos debido sobre todo a la propia acidez del material litológico y a la elevada pluviosidad (Carceller, 1988) que debe producir un fuerte lavado de bases. Las lluvias producen el lavado de bases del suelo y por percolación, se va llevando los elementos que pueden proporcionar alcalinidad al suelo, tendiendo el suelo a la acidez.

El pH del suelo expresa la actividad de los iones de hidrógeno en la solución del suelo. Esto afecta a la disponibilidad de nutrientes de minerales para las plantas así como a muchos procesos del suelo. En nuestros suelos, al ser de naturaleza ácida, los nutrientes estarán disponibles para la absorción por parte de las plantas presentes, aunque se producirá una pérdida importante de cationes absorbentes por la frecuencia de lluvias en la zona.

Estos resultados de pH ácido coinciden con los estudios realizados por Hoyos *et al.* (1983) sobre el mismo material litológico. Este pH bajo provoca que dé lugar a materia orgánica mal humificada, liberando una considerable cantidad de oxi-hidróxidos de hierro y aluminio.

La diferencia entre pH actual (H_2O) y el potencial (KCl) son elevadas, presentando por tanto una fuerte acidez potencial.

FitzPatrick (1980) afirma que la acidez del suelo se debe principalmente a los iones de hidrógeno y aluminio que hay en el suelo. El aluminio, liberado por hidrólisis de los minerales primarios, se precipita dejando sueltos iones libre H^+ .

5.5.2. Materia orgánica

El rango de materia orgánica a lo largo de la toposecuencia es muy variable encontrando valores entre 19 y 0.4%. Conforme bajamos en profundidad el contenido en MO disminuye.

Los horizontes más superficiales presentan un alto porcentaje en materia orgánica ya que procede principalmente de la descomposición de los restos de vegetación en la superficie del suelo.

En el perfil M0, en su horizonte más superficial, podemos observar un porcentaje muy elevado de materia orgánica. Según Carceller (1996) se debe a las condiciones impuestas por la altitud, la acidez del suelo y las características de la hojarasca del pino, rica en fenoles difícilmente biodegradables y la inexistencia de lumbrícos, contribuyen a un lento *turnover* de la materia orgánica y en consecuencia una acumulación de en superficie de un espesor considerable de restos poco transformados.

Además, tanto en el perfil M0, como en el M1, se produce un acúmulo de materia orgánica coincidiendo así con los resultados del trabajo realizado por Carceller (1996).

Las precipitaciones de la zona tienen una clara influencia en la cantidad de materia orgánica de estos suelos. A mayor lluvia, mayor vegetación encontramos así los suelos en zonas de precipitaciones abundantes acostumbran a tener más materia orgánica que aquellos que son de zonas más secas. La temperatura también influye en la acumulación de materia orgánica y en consecuencia, la altitud. La materia orgánica tiende a una descomposición más rápida a elevadas temperaturas mientras que en zonas más frías o a más altitud, la descomposición tiende a ser más lenta y por lo tanto a experimentar una mayor acumulación de materia orgánica. De esta forma podemos apreciar que el horizonte superficial que más materia contiene (19%) es del suelo que a más altitud se encuentra (1577msnm) mientras que el que menos acumula (3%) se encuentra a una altitud considerablemente más baja (960msnm).

La materia orgánica tiene un efecto positivo sobre la fertilidad de los suelos ya que interviene en la configuración de numerosas características físicas y químicas del suelos, como por ejemplo la CIC que presenta un factor de correlación $R=0.95$, la unión de partículas de limo y arcilla, aumenta el agua disponible del suelo, favorece la asimilabilidad de elementos nutritivos, libera nutrientes asimilables por las plantas, etc.

5.5.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y saturación de bases

Los resultados de CIC a lo largo de los suelos, son medio-bajos en la mayoría de los perfiles a excepción del horizonte Ah del perfil M0 siendo extraordinariamente alto. Esto es debido a la alta cantidad de materia orgánica que se acumula en dicho horizonte. La presencia de materia orgánica está altamente relacionada con la CIC de los horizontes (Fig. 25).

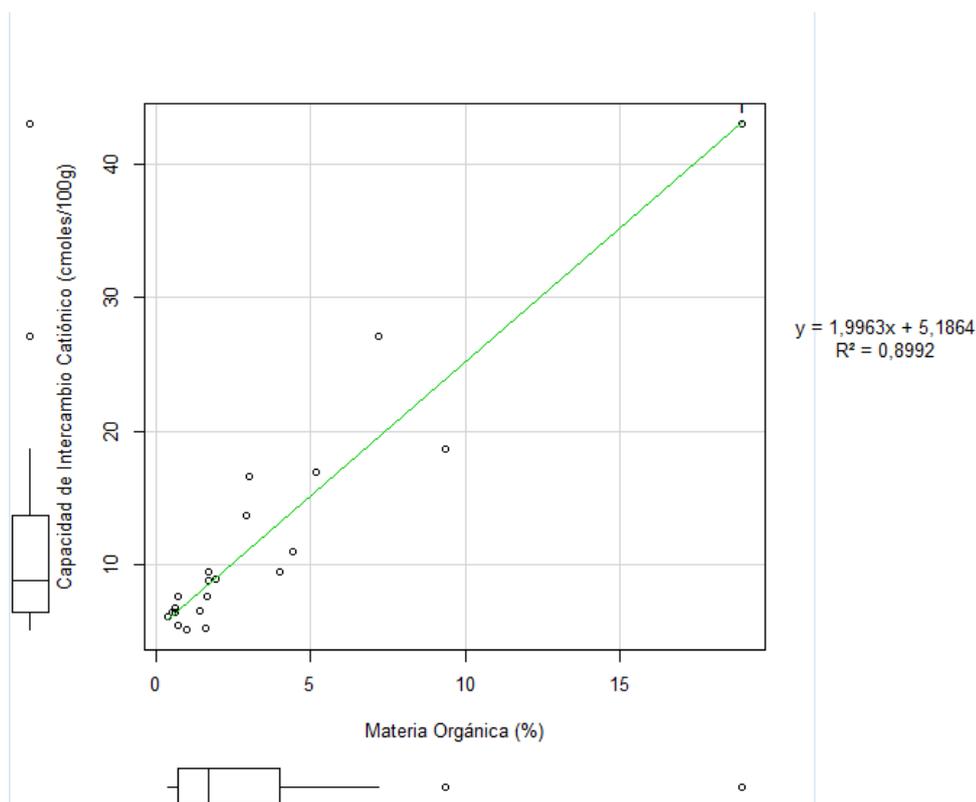


Fig. 25: Diagrama de dispersión en el que se aprecia la correlación entre la CIC con la MO de las muestras tomadas

En suelos ácidos, como es nuestro caso, el aluminio y el hierro fuertemente adsorbidos en algunas arcillas bloquean algunos de los sitios con cargas negativas, reduciendo así la CIC.

Según FitzPatrick (1980) la CIC es la principal propiedad de intercambio que tiene importancia para ser usada como criterio de diferenciación en la categorización de suelos.

Como se puede apreciar, el porcentaje de saturación de bases, presenta una tendencia aumentar conforme se desciende en altitud. Esto se debe a lo mencionado antes, los suelos, al ser más lavados, tienen una mayor pérdida de cationes. Además, los suelos a mayores altitudes, liberan una mayor cantidad de óxidos de hierro y aluminio, debido a una mala descomposición de la materia orgánica, lo cual favorece la pérdida de cationes.

Saturación de Bases

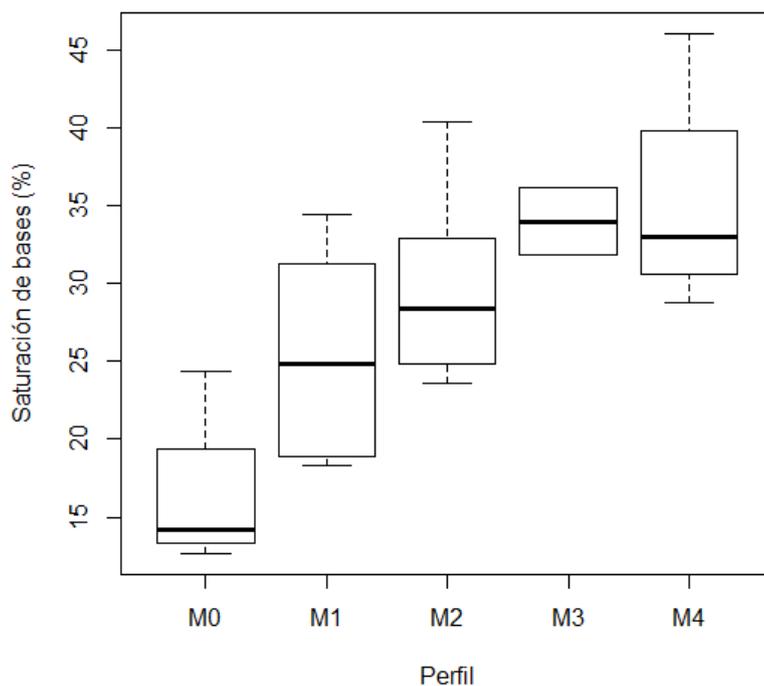


Fig. 26: Diagrama de caja de la saturación de bases de los perfiles estudiados, ordenados de mayor altura (M0) a menor (M4). Se aprecia que los perfiles de abajo presentan un mayor porcentaje de saturación de bases.

5.5.4. Cationes basificantes

Las constantes precipitaciones que se dan en el área de estudio, junto a la alta permeabilidad que proporciona la textura gruesa y la elevada pedregosidad permiten una gran lixiviación de cationes basificantes.

El calcio es el tercer nutriente más empleado por las plantas. Principalmente las plantas lo usan para para construir las paredes de las células. El calcio ayuda a controlar el pH del suelo. Es el principal ocupante del complejo de cambio y además, es el principal ocupante del complejo de cambio (Plaster, 1997). Se puede observar una clara correlación entre la capacidad de intercambio Catiónico y la presencia de calcio en nuestros suelos. Por lo tanto, el calcio (junto al Magnesio) es uno de los cationes predominantes en el complejo de cambio coincidiendo así con los análisis de Hoyos (1983).

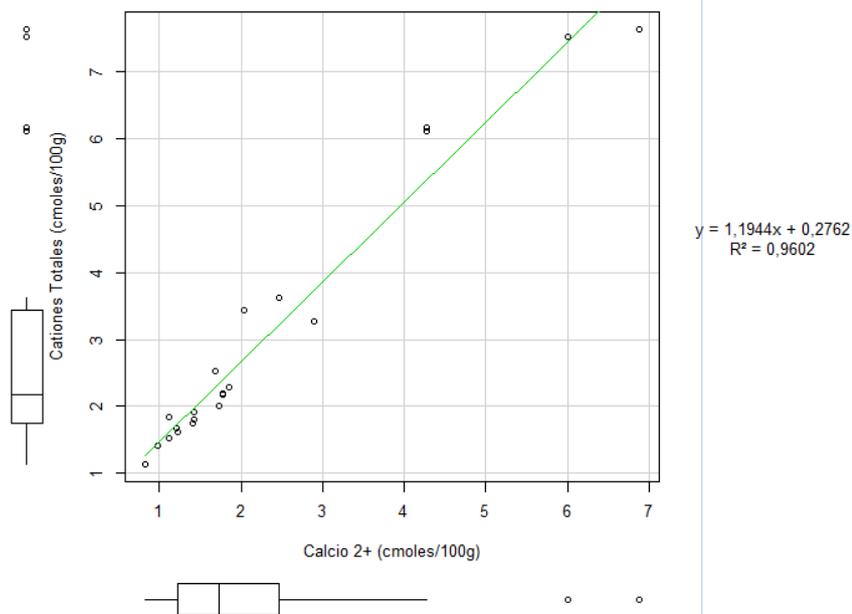


Fig.27: Diagrama de dispersión en el que se observa una relación en que aquellos horizontes que presentan una mayor cantidad de cationes totales (eje y), son aquellos que presentan mayores cantidades de calcio (eje x), siendo así el principal catión del complejo de cambio.

5.5.5. Nitrógeno y relación C/N

En cuanto a la presencia de nitrógeno y la relación C/N, se analizaron solamente los perfiles de los suelos ubicados a mayor altura debido a que eran donde se presentaban mayores porcentajes de materia orgánica.

La presencia de nitrógeno está íntimamente ligada con la presencia de materia orgánica pues, es la fuente principal de este nutriente.

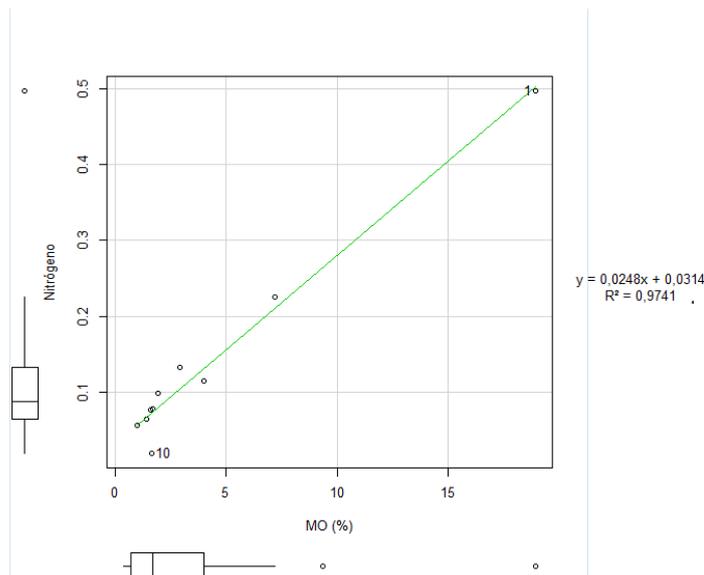


Fig.28: Diagrama de dispersión en el que se aprecia la íntima relación entre la MO (eje x) y el nitrógeno (eje y), siendo así la MO, la principal fuente de este elemento en los suelos.

En cuanto a la relación C/N, podemos observar, que al igual que con la materia orgánica, se aprecia claramente un salto siendo elevada al principio, para posteriormente reducirse en el horizonte de eluviación (E) y finalmente volver a subir en el horizonte espódico (Bhs). Esto indica que en estos perfiles se están dando el proceso de podsolización. Al igual que el nitrógeno está relacionado con la presencia de materia orgánica, la relación C/N presenta una evidente relación con la presencia de ésta.

5.5.6. Acumulaciones de Hierro y Aluminio

En los suelos estudiados encontramos una considerable cantidad de hierro y aluminio en formas solubles, debido al bajo pH que encontramos en prácticamente todos los horizontes de los perfiles estudiados. La presencia de hierro y aluminio en estas formas, podría indicar un síntoma de podsolización en algunos perfiles de los analizados.

Según Hoyos (1983), la presencia de materia orgánica mal humificada, así como los valores de pH muy bajos que se da, contribuyen a la formación de liberación de una cantidad considerable de oxi-hidróxidos de hierro y aluminio que pueden emigrar a horizontes inferiores.

Cabe a destacar la presencia de horizontes de acumulación de hierro y aluminio en los perfiles M0 y M1. La presencia de grandes cantidades de humus en los horizontes superficiales de estos suelos, favorece la presencia de ácidos orgánicos, formando complejos coloidales junto con las arcillas y el hierro presente, que por lixiviación son desplazados hasta cierta

profundidad, donde finalmente floculan como consecuencia de la actividad bacteriana, lo cual explicaría estas acumulaciones (Buurman y Jongmans, 2005).

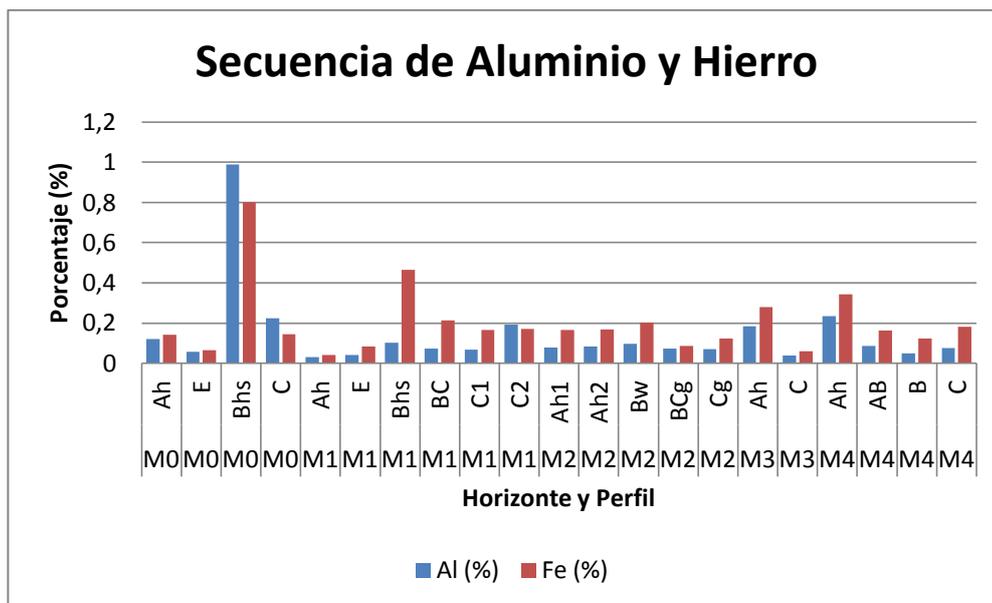


Fig.29: Secuencia de aluminio y hierro en todos los horizontes de los perfiles muestreados, apreciándose una clara acumulación en los horizontes espódicos (Bhs) de los perfiles a mayor cota (M0 y M1).

5.6. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

5.6.1. Caracterización de tipo de humus forestal

Los tipos de humus forestales siguieron los criterios de clasificación de la guía de Jabiol, dando lugar a la siguiente clasificación (Tabla 39).

Perfil (altitud)	Secuencia de horizontes orgánicos (Jabiol)	Clasificación húmica (Jabiol)
Santuario (1577m)	OL-OF-OH	Mor
Hayedo (1280m)	OL-OF-OH	Hémimor
Robledal alto (1058m)	OL	Dysmull
Rebollar bajo (1017m)	OL	Dysmull
Pinar de La Tonda (960m)	OL	Oligomull

Tabla 39: Clasificación húmica según Jabiol *et al.*

A la hora de observar los tipos de humus en la salida de campo, se apreció que en aquellos perfiles de la toposecuencia ubicados a mayor altura (Santuario) se producen mayores acumulaciones de materia orgánica, dando lugar a un humus mor. La descomposición queda

ralentizada debido a las bajas temperaturas ubicadas de cotas más altas. Este tipo de humus suele abundar en suelos ácidos y en presencia de vegetación de coníferas (*Pinus sylvestris*).

A cotas ligeramente más bajas (hayedo) se pudo apreciar un ligero mayor grado de descomposición de los restos vegetales depositados en el suelo. Se observó que había una transición más bruta del humus con el perfil más superficial del suelo, observándose restos de actividad biológica en el suelo, lo cual hace indicar que se trata de un humus tipo hémimor.

Bajando la toposecuencia observamos que en los siguientes perfiles (robleal y rebollar) al haber una escasa diferencia de altitud (41m), presentaban unas características idénticas en cuanto al humus presente. Se aprecia un salto más brusco entre la hojarasca fresca y el horizonte superficial (Ah) de los perfiles, indicando que se trata de un dysmull.

Por último, el perfil ubicada a menor altura (Pinar La Tonda), se puede observar que hay una mayor degradación de los componentes húmicos del suelo. La poca cantidad de hojas en descomposición hace indicar que se degradan a un mayor ritmo, probablemente por una mayor temperatura media anual.

Además, en la clasificación del humus, se considera el pH y la agregación del Ah y la nitidez del límite entre el horizonte O y el Ah, La principal diferencia entre mor y mull reside en el pH (menor o mayor de 5, respectivamente) y la agregación (micro y macroagregación, respectivamente); en ambos casos (a diferencia del moder), el límite es abrupto (en general <3 mm)

5.7. PROCESOS FORMADORES DEL SUELO

A continuación se enumeran los procesos formadores más importantes observados en los suelos:

1. **Transformaciones:** Corresponden a los procesos que producen cambios en la composición y forma de los compuestos orgánicos y/o inorgánicos que afectan a nuestros suelos.

1.1. Meteorización química (hidrólisis y ferrólisis): Nuestros suelos presentan un contenido relevante de óxidos de hierro y aluminio. Además se intuye una importante liberación de cationes de calcio y magnesio, provocados por una vegetación acidificante y las abundantes lluvias, acelerando la meteorización de la roca madre. Estos cationes son perdidos por la lixiviación provocada por las precipitaciones. La

ferrólisis finaliza con la destrucción de las arcillas justificando así los bajos valores que tenemos en los perfiles estudiados.

1.2. Meteorización física: En nuestra zona, las condiciones de montaña sub-húmeda y la agresividad climática condicionan e intensifican estos procesos, especialmente en laderas con pendientes como la nuestra. De las propiedades físicas y mineralógicas estudiadas y sus resultados, se comprueba cómo estos procesos ocurren con facilidad en nuestro suelo, altamente condicionados por el factor climatológico. Así, la acción del hielo deshielo, humedad-desección, lluvias intensas, afectan directamente a la estabilidad de los agregados, lo que produce cambios estructurales en la dinámica del suelo. Además la acción del hielo deshielo también está presente en las formas predominantemente angulares en los elementos gruesos de los perfiles estudiados

1.3. Melanización: La presencia de abundante vegetación a lo largo de la ladera y las abundantes precipitaciones, favorece el proceso de la transformación de la materia orgánica a formas húmicas más complejas. De esta forma se dan horizontes Ah en todos los perfiles analizados con el consiguiente oscurecimiento típico de esta transformación.

2. **Translocaciones:** Corresponde a un cambio de posición de un componente y la consiguiente acumulación dentro del perfil, lo que supone la concentración de materiales en ciertos puntos o niveles en el interior del suelo. Las causas que generan estos movimientos dentro de nuestros suelos es principalmente la podsolización.

2.1. Podsolización: El proceso de podsolización sólo en la parte superior de la ladera, pues conforme ascendemos de altitud, las precipitaciones aumentan, la temperatura disminuye. En los perfiles M0 y M1 es donde sin duda, se da un elevado grado de este fenómeno. La presencia de un horizonte eluvial y el correspondiente salto tanto de materia orgánica, como de hierro y aluminio en un horizonte de acumulación, es una prueba evidente de la podsolización de estos suelos.

5.8. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Para la clasificación de los suelos a lo largo de la toposecuencia edáfica se ha empleado el sistema de clasificación de United States Department of Agriculture (2014) y la clasificación de suelos FAO; Base de Referencia Mundial para Recursos de los Suelos (WRB, 2014).

Esos sistemas de clasificaciones se basan en horizontes diagnóstico, propiedades y materiales diagnósticos para clasificar a los suelos en grupos, que para los suelos estudiados son los siguientes:

Se han descrito horizontes superficiales úmbricos y subsuperficiales cámbicos y espódicos, además de materiales álbicos, lo que nos lleva a la siguiente clasificación de los suelos (Tabla 40).

Perfil	WRBS (2014)	USDA (2014)
Pinar del Santuario	Podzol álbico, someriúmbico, esquelético	Typic haplorthod
Hayedo	Cambisol dístrico (húmico)	Spodic dystrudept
Robledal	Cambisol dístrico (húmico)	Typic dystrudept
Rebollar	Umbrisol esquelético	Humic dystrudept
Pinar de La Tonda	Cambisol dístrico (húmico)	Humic dystrudept

Tabla 40: Caracterización de suelos según WRBS (2014) y USDA (2014)

6. CONCLUSIONES

A través del estudio de los suelos situados sobre areniscas cuarcíticas del piso montano del Parque Natural del Moncayo, en la provincia de Zaragoza, se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Propiedades morfológicas:
 - Los suelos estudiados muestran que los perfiles situados en las partes más altas del piso montano, presentan un mayor desarrollo teniendo un *Sequm* más evolucionado (O-Ah-E-Bhs-C).
 - La mayoría de suelos son muy pedregosos, con cantos y gravas de naturaleza cuarcítica y forma angular, indicando su origen periglaciario.

2. Propiedades físicas más destacables son:
 - La repelencia al agua está limitada al perfil de pinar donde es extrema en los horizontes Ah y Bhs, lo que debe relacionarse con la calidad de la materia orgánica.
 - Son suelos con un predominio de textura franco arenosa o franca, lo que junto a la elevada pedregosidad, reduce su capacidad de retención de agua disponible.
 - La Estabilidad estructural es muy alta, especialmente en horizontes superficiales por la presencia de MO.

3. En cuanto a las propiedades químicas de los suelos cabe a destacar:
 - Tienen pH extremadamente ácidos y saturaciones de base inferiores al 50%, debido a las abundantes precipitaciones de la zona y la naturaleza silíceo del material parental (areniscas cuarcíticas).
 - En el perfil de cota superior, bajo pinar, se detecta una intensa translocación de materia orgánica, hierro y aluminio, cumpliendo sobradamente los criterios de horizonte espódico (Podzol albeo). En cambio a cotas inferiores esa translocación es menos intensa, como en el hayedo, o inexistente, como en el Rebollar (Cambisol dístrico).
 - LA CIC está significativamente relacionada con la MOS pero no con la arcilla.

4. En cuanto a la influencia de la altitud cabe a destacar como:
 - El pH y saturaciones de base descienden debido al incremento progresivo de las precipitaciones.
 - La descomposición de la materia orgánica es más lenta, debido a las bajas temperaturas, produciendo acumulación de materia orgánica mal humificada.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AFES, 1995, Référentiel Pédologique. D. Baize et M.C Girard. INRA Éditions. Paris. 332pp.
- Alberto, F ; Arrué, J.L; Machín, J. 1984. El clima de los suelos de la Cuenca del Ebro. Regímenes de humedad. Estación experimental Aula Dei. Zaragoza.
- Aragonés E. et al., 1980: Hoja 352. Tabuena. IGME, Mapa Geológico de España de España 1:50.000 2ª Ed. (MAGNA) Hoja y Memoria. 37pp.
- Arribas Mocoroa, J., 1985. Base litoestratigráfica de las facies Buntsandstein y Muschelkalk en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Zona norte). Estudios Geológicos, 41 . pp. 47-57.
- Ballarín, I y Pelayo, E. 1996. Árboles y arbustos del Moncayo. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes. Diputación General de Aragón. Zaragoza.
- Barret, L.R. y Schaetzl, R.J., 1998. Regressive pedogenesis following a century of deforestation: evidence for depodzolization. Soil Sci 163: 482-497.
- Bisdom, E.B.A., Dekker, L.W., Schoute, J.F.T., 1993. Water repellency of sievefractions from sandy soils and relationships with organic material and structure. Geoderma. 56: 105-118.
- Bohn, B.H.L., McNeal, B.L., O'Connor, G.A., 1993. Química de suelos. De. Limusa. México. 370pp.
- Buurman, P; Jongmans, A.G ; Podzolisation and soil organic matter dynamics. Geoderma N° 125: 71-83pp.
- Carceller, F., 1988. El suelo. In: El Moncayo. Caja de Ahorros de la Inmaculada. Zaragoza.
- Carceller, F., Maluquer, J., Sauras, T., Llovet, J., Vallejo, V.R., Lizeaga, J. 1989. Transecto de suelos: depresión Ebro-Moncayo. Turiaso IX: 331-360.
- Carceller, F., Vallejo, V.R., 1996. Effect of vegetation type on podsolitation processes in soils of Moncayo Mountains (Zaragoza, Spain). Geogaceta, 20(5), 1127-1130. Madrid.
- Carmona, J.M., De las Cuevas, C., Font, X., Carceller, F., Barberá M y Andreu, A., 1984. Turiaso IX: 175-186.
- CBDSA, 1983. Sinerades. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. Comisión del Banco de Datos de Suelos y Aguas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 137 pp. Madrid.
- Cerdà, A., 1998. Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. Catena 32: 73-86
- Cerdá, A., 2007. Repelencia al agua en suelos forestales afectados por incendios y en suelos agrícolas bajo distintos manejos y abandono. Soil Erosion and Degradation Research Group. Universitat de València, Valencia.

- Cerdà, A. & Doerr, S.H. 2007. Soil wettability, runoff and erodibility of major dry-Mediterranean land use types on calcareous soils. *Hydrological Processes*, 21, 2325-2336.
- Cuadrat, J.M; Pellicer, F. 1983. Aproximación al estudio del clima y a su incidencia en el modelado morfoclimático actual entre las sierras entre el Jalón y el Moncayo. *Turiaso IV*: 237-254.
- Cuadrat, J.M. 1988. El Clima del Moncayo. In: El Moncayo. Caja de Ahorros de la Inmaculada. Zaragoza.
- Doerr, S.H., 1998. On standardizing the 'Water Drop Penetration Time' and the 'Molarity of an Ethanol Droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: A case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, Volumen 21, pp 663-668.
- Dokuchaev, V.V. 1883. Russian Chernozem: Selected Works of V.V. Dokuchaev. Moscow. (Trad. Israel Prog. Scientific Transl. By N. Kramer, 1967).
- FAO, 2014. Guía para la descripción de suelos. 4ª Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Fitz Patrick, E.A., 1980. Suelos: Su formación, clasificación y distribución. CECSA ed. 430 pp. México.
- Gaucher, G., 1981. Les facteurs de la Pédogénèse. G. Lelotte, 730 pp. Dijon.
- González, F.A., 2010. Repelencia al agua en suelos mediterráneos: factores, causas e implicaciones hidrológicas. Universidad de Sevilla. 237pp.
- Guerra, A., 1968., Memoria del mapa de suelos de España. Escala 1:100.000. Instituto Edafología y Biología Vegetal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.) Madrid.
- Herrero, C.; Boixadera, Danés, R.; Villar.; J.M. 1993. Mapa de sòls de Catalunya. 1:25.000. Full nº: 360-1-2 Bellvís. D.G.P.I.A.-I.C.C.198pp+mapa. Barcelona.
- Hoyos, M.A., Casa, J., Martín de Vidales, J.L., 1983. Caracterización físico-química y mineralógica de los suelos del Moncayo. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Vol.42 pp. 929-944. Madrid.
- Ibáñez, M.J., 1983. Las grandes cuencas hidrográficas y su relación con la estructura peninsular. *Geographicalia*, núm 17, pp 3-25. Zaragoza
- ITGE., 2006. Atlas Nacional de España. Volumen de Geológica, Geomorfología y Edafología.
- Jabiol, B., Brêthes, A., Ponge, J.-F., Toutain, F., Brun, J.-J. 2007. L'humus sous toutes ses formes. École Nationale du Génie Rural, de Eaux et des Forêts. 2^e édition. 67pp.
- Jenny, H., 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill, 281pp. New York.
- Johnson, W. M., 1963. The pedon and the polypedon. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 212 -15.

- Johnson, M.L., y Hole, F.D., 1994. Soil formation theory: A summary of its principal impacts on geography, geomorphology, soil-geomorphology, quaternary geology and paleopedology. In *Factors of soil formation: A fiftieth anniversary retrospective*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 33: 111-126.
- Johnson, M.L., Keller, E.A. y Rockwell, T.K., 1990. Dynamic pedogenesis: New view on some key soil concepts, and a model for interpreting Quaternary soils. *Quat. Res.* 33: 306-319.
- Kemper, W.D. & Koch, E.J. 1966. Aggregate stability of soils from Western portions of the United States and Canada. *US Dep. Agr. Tech. Bull.*, 1355pp.
- León, P.J., 1984. Caracterización, génesis y clasificación de los suelos de una ladera al NE de la Sabana de Bogotá (Vereda Yerbabuena, Municipio de Chía). ICA-UN. Bogotá.
- Letej, J. 1969. Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tension, *Proceedings of the Symposium on Water-Repellent Soils*, 6–10 May 1968, University of California, Riverside, 43–47.
- MAPA, 1994. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Métodos oficiales de Análisis y Laboratorios*. TOMO III. 662pp. Madrid.
- Martinez del Castillo, E; Serrano-Notivoli, R; Klemen, N; Longares, L.A; Arrechea, E; De Luis, M; Saz, M.A.; 2012. Cuantificación de los gradientes climáticos altitudinales en la vertiente norte del Macizo del Moncayo a partir de una nueva red de estaciones automáticas de ayuda. Universidad de Zaragoza.
- Milne, G. 1935. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African Soils. *Soil Research*, 4: 183-198.
- Murer, E.J; Baumgarten, A ; Eder, G; Gerzabek, M.H; Kandeler, E; Rampazano, N; 1993. An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS). In: *International Workshop on methods research on soil structure/soil biota interrelationships*. *Geoderma*, 56: 539-547.
- Ollier, C. D., 1976. Catenas in different Climates. In: E. Derbyshire. Ed. *Geomorphology and Climate*. John Wiley & Sons: 136-169. Londres.
- Pellicer, F., 1984. Geomorfología de las cadenas ibéricas entre el Jalón y el Moncayo. *Cuader. Estudios Borjanos*. 389pp.
- Pellicer, F. 1996: El relieve. Parque Natural de la Dehesa del Moncayo. Dpto. de Agricultura y Medio Ambiente. Diputación General de Aragón. Zaragoza.
- Pellicer, F. 1988., El relieve. In: *El Moncayo*. Caja de Ahorro de la Inmaculada. Zaragoza.
- Phillips, J.D., 1993. Progressive and regressive pedogenesis and complex soil evolution. *Quat. Res.* 40: 169-176.
- Plaster, E.J; 1997. *La ciencia del suelo y su manejo*. ED: Paraninfo. México.

- Porta J., López, M., Rodríguez, R., 1986. Técnicas y experimentos en edafología. Col. Of. Eng. Agrón- de Catalunya.
- Porta, J., M., Roquero, C., 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa, 960 pp. Madrid.
- Robinson, G.W. 1982. A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. *Journal of Agricultural Science*, 12: 306-321
- Rubio, A.M., 2010. La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Universidad de Sevilla. 96pp.
- Simonson, R.W., 1959. Outline a generalizad theory of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23: 152-156.
- Soil Survey Staff, 1975. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil classification for Making and Interpreting Soil Surveys.* USDA. Handbook N° 436, 754pp.
- Soil Survey Staff.2014. *Keys to Soil Taxonomy.* United States Department of Agriculture. 301pp.
- Thompson, L. M. Y F. R. Troech, 1982. *Los suelos y su fertilidad.* Editorial Reverte, S. A. España.
- Watson, J.P., 1960. Soil Catenas. *Soil and Fertilizers.* 28:307-310.
- Weyman, D. & Weyman, V., 1977. *Landscape Processes.* George Allen & Urwin. 95pp. Londres.
- Yaalon, D.H., 1975. Conceptual models of pedogenesis: can soil-forming functions be solved? *Geoderma*, 14: 198-205.
- Yetano, L.M., 1988. La Flora. In: *El Moncayo.* Caja de Ahorros de la Inmaculada. Zaragoza.

8. ANEXOS

Propiedades morfológicas:

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	Color (seco)	Color (húmedo)	Manchas	Estructura	Compacidad
M0	Ah	18	10YR 4/1	10YR 2/1	-	f, G, md	Muy poca
	E	30	10YR 6/2	10YR 4/2	-	d, Sbk, f	Poca
	Bhs	85	10YR 5/4	10YR 3/4	-	d, Sbk, f	Poca
	C	100	10YR 7/3	10YR 3/4	-	m, G, f	Moderada
M1	Ah	45	10YR 6/1	10YR 4/1	-	m, G, f	Poca
	E	55	10YR 7/2	10YR 4/2	-	d, G, f	Poca
	Bhs	80	10YR 7/5	10YR 4/4	-	m, Sbk, m	Poca
	BC	110	10YR 8/4	10YR 4/4	-	m, Sbk, m	Poca
	C1	150	10YR 8/4	10YR 4/6	-	m, Sbk, m	Poca
	C2	180	10YR 7/5	10YR 5/6	-	m, Sbk, m	Poca
M2	Ah1	5	10YR 7/2	10YR 3/3	-	f, Sbk, f	Poca
	Ah2	20	10YR 8/3	10YR 4/4	-	m, Sbk, md	Poca
	Bw	60	10YR 7/3	10YR 4/6	-	m, Sbk, f	Moderada
	BCg	80	10YR 8/3	10YR 4/4	7,5YR 7/8	m, Sbk, f	Fuerte
	Cg	120	10YR 7/4	10YR 4/6	7,5YR 7/8	m, Sbk, f	Fuerte
M3	Ah	30	10YR 5/3	10YR 3/3	-	f, G, md	Poca
	C	50	10 YR 7/3	10YR 4/4	-	f, G, f	Moderada
M4	Ah	25	7,5YR 5/3	7,5YR 3/3	-	f, mi, md	Poco
	AB	50	7,5YR 7/3	7,5YR 4/3	-	f, Sbk, f-md-g	Moderada
	B	70	7,5YR 7/3	7,5YR 5/3	-	f, Sbk, g-f	Moderada
	C	120	7,5YR 7/4	7,5YR 3/4	-	f, Sbk, g-f	Fuerte

Tabla 41: Resumen de las propiedades morfológicas de los perfiles analizados

Grado de estructura: d (débil), m (moderada), f (fuerte). Clase de estructura: G (granular), Sbk (bloques subangulares), mi (migajosa). Tamaño de estructura: f (fina), md (mediana), g (gruesa).

Propiedades químicas:

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	CIC (cmol/Kg)	Saturación de bases (%)	Cationes basificantes (cmol/Kg)	Fe(%)	Al(%)
M0	Ah	18	4,1	3,1	19,0	43,0	14,3	6,2	0,14	0,12
	E	30	4,0	2,9	2,0	8,9	24,4	2,2	0,07	0,06
	Bhs	85	5,2	4,0	7,2	27,1	12,7	3,4	0,80	0,99
	C	100	5,1	4,1	2,9	13,7	14,0	1,9	0,14	0,22
M1	Ah	45	4,3	3,0	4,0	9,5	34,5	3,3	0,04	0,03
	E	55	4,4	3,2	1,6	5,3	31,3	1,7	0,08	0,04
	Bhs	80	4,3	3,7	1,7	9,5	18,9	1,8	0,47	0,10
	BC	110	4,9	3,7	1,4	6,6	27,9	1,8	0,21	0,07
	C1	150	4,7	3,7	1,0	5,2	21,8	1,1	0,17	0,07
	C2	180	4,9	3,8	1,6	7,7	18,4	1,4	0,07	0,19
M2	Ah1	5	5,2	4,3	9,4	18,6	40,4	7,5	0,17	0,08
	Ah2	20	5,2	3,8	4,4	11,0	32,9	3,6	0,17	0,08
	Bw	60	5,0	3,8	1,7	8,9	28,4	2,5	0,20	0,10
	BCg	80	4,9	3,8	0,6	6,4	23,6	1,5	0,09	0,07
	Cg	120	4,8	3,8	0,5	6,5	24,8	1,6	0,12	0,07
M3	Ah	30	5,5	4,2	5,2	16,9	36,1	6,1	0,28	0,19
	C	50	5,1	3,7	0,7	5,5	31,8	1,7	0,06	0,04
M4	Ah	25	6,1	5,2	3,0	16,6	46,0	7,6	0,34	0,24
	AB	50	5,5	3,8	0,7	7,6	28,8	2,2	0,16	0,09
	B	70	5,4	3,9	0,4	6,2	32,4	2,0	0,12	0,05
	C	120	5,4	4,0	0,6	6,8	33,5	2,3	0,18	0,08

Tabla 42: Resumen de las propiedades químicas de los perfiles analizados

Propiedades físicas:

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	Elementos gruesos (%)	Estabilidad estructural (%)	Capacidad de Campo (%)	Capacidad de Campo (mm)	Repelencia al agua (s)
M0	Ah	18	75,0	92,4	25,2	9,5	60
	E	30	60,4	76,6	16,1	11,9	1
	Bhs	85	59,9	93,9	15,5	52,9	>1h.
	C	100	85,1	95,2	18,3	12,7	3
M1	Ah	45	79,3	25,8	15,5	12,1	2
	E	55	64,7	27,9	14,1	11,6	1
	Bhs	80	56,3	80,8	18,5	37,7	1
	BC	110	59,8	67,9	15,6	19,4	1
	C1	150	74,3	42,0	18,3	29,1	1
	C2	180	79,0	40,3	17,2	0,0	1
M2	Ah1	5	24,0	89,9	29,9	9,7	8
	Ah2	20	37,2	78,4	23,9	19,2	1
	Bw	60	38,9	28,4	20,1	71,4	1
	BCg	80	38,2	9,9	17,9	32,0	1
	Cg	120	50,0	9,0	17,3	50,2	1
M3	Ah	30	59,1	96,1	22,8	23,8	1
	C	50	81,6	31,0	17,8	14,2	4
M4	Ah	25	73,5	83,4	22,1	14,7	1
	AB	50	72,5	23,2	19,4	15,4	1
	B	70	80,2	15,9	17,6	10,8	2
	C	120	94,1	19,5	16,3	7,5	1

Tabla 43: Resumen de las propiedades físicas de los perfiles analizados

