



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Aplicación de la micromorfología al estudio de  
suelos forestales del Sistema Ibérico

Application of micromorphology to the study of  
forest soils of the Iberian System

Autor/es

Nerea Fibla Cebrián

Director/es

Rosa María Poch Claret  
David Badía Villas

Escuela Politécnica Superior de Huesca  
Año 2019

# Índice

Resumen .....	10
Abstract .....	11
1. Introducción .....	12
2. Objetivos.....	14
2.1. Objetivo general .....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. Área de estudio.....	14
3.1. Perfiles de los suelos de estudio.....	17
3.1.1. Perfil del Pinar del Moncayo .....	18
3.1.2. Perfil del Alcornocal de Aniñón .....	20
3.1.3. Perfil del Alcornocal de Sestrica .....	24
3.1.4. Análisis de los perfiles .....	27
4. Metodología .....	29
4.1. Recogida de la muestra en campo .....	29
4.2. Preparación de las láminas delgadas .....	29
4.3. Interpretación de muestras .....	37
5. Resultados .....	42
6. Discusión .....	59
6.1. Podzolización .....	59
6.2. Crioturbación .....	60
6.3. Procesos redox.....	60
6.4. Iluviación de arcilla .....	61
7. Conclusiones .....	63
8. Bibliografía .....	64

## Índice de figuras

Figura 1: Situación del área de estudio.....	15
Figura 2: Punto de muestreo del Moncayo.....	16
Figura 3: Puntos de muestro de Aniñón y Sestrica .....	16
Figura 4: Impregnación de un bloque de muestra.....	30
Figura 5: Bloque de muestra impregnada.....	31
Figura 6: Corte de un bloque de muestra en sierra mecánica.....	31
Figura 7: Corte de una tableta de muestra en sierra mecánica.....	31
Figura 8: Tabletillas de muestras.....	32
Figura 9: Tabletillas en la rectificadora.....	32
Figura 10: Limpieza de las tabletillas en ultrasonido.....	33
Figura 11: Pulido de los portaobjetos definitivos.....	33
Figura 12: Corte del sándwich.....	34
Figura 13: Reimpregnación de muestras.....	34
Figura 14: Láminas delgadas tras el pulido en la rectificadora.....	35
Figura 15: Escala de Michel-Lévy.....	35
Figura 16: Láminas delgadas tras el pulido manual.....	36
Figura 17: Láminas delgadas tras la limpieza final.....	36
Figura 18: Láminas delgada finales de las muestras de “Ah” y “Bt” de Aniñón y “Bt” de Sestrica.....	36
Figura 19: Microscopio petrográfico con luz polarizada cruzada.....	37
Figura 20: Diferencia de observación con luz polarizadora plana y cruzada.....	39
Figura 21: Microscopio petrográfico Olympus (Bx51).....	39
Figura 22: Estimación del tamaño de los agregados.....	40
Figura 23: Secciones de tallos (T) y tejidos parcialmente degradados (TE) del horizonte O del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	44
Figura 24: Excrementos de dípteros del horizonte O del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	44
Figura 25: Secciones flobafenizadas de acículas de pino (S) y fragmentos de carbón (C) en la parte lateral izquierda del horizonte Ah del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	44
Figura 26: Excrementos (Ex) y fragmentos de carbón (C) en la parte superior derecha del horizonte Ah del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	45

Figura 27: Masa basal con fábrica-b cristalítica sericítica y huecos de tipo canales del horizonte E del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	45
Figura 28: Casquete de limo (CL) y materia orgánica amorfa (MOA) en fragmento de arenisca cuarcítica del horizonte E del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	45
Figura 29: Casquete de limo en elemento grueso y hueco en la parte inferior del horizonte E del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). ....	46
Figura 30: Actividad de fauna intensa, excrementos de colémbolos y fábrica-b cristalítica sericítica del horizonte Bhs del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	46
Figura 31: Sección de tallo flobafenizadas del horizonte Bhs del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). ....	46
Figura 32: Revestimiento microlaminado de arcilla en un poro del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	47
Figura 33: Revestimiento (RV) y relleno microlaminado de arcilla (RE) en un poro del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	47
Figura 34: Casquete de limo (CL) y nódulos de óxido de Fe (N) en un fragmento grueso del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). ....	47
Figura 35: Revestimiento de arcilla microlaminada (RV) y nódulos de óxidos de Fe (goethita) (N) encima de un fragmento grueso de arenisca cuarcítica del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). Sólo se encuentra en una cara, sin relación al espacio de poros actual. ....	48
Figura 36: Nódulo fragmentado de óxidos de Fe del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	48
Figura 37: Microestructura migajosa yuxtapuesta a los bloques angulares del horizonte Ah del perfil del Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). ....	51
Figura 38: Canales (CN), cavidades (CV) y poros de empaquetamiento compuesto (P) del horizonte Ah del perfil del Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	51
Figura 39: Fragmento angular de cuarzo con grietas del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	52

Figura 40: Hifas y esclerocios de hongos frescos del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). .....	52
Figura 41: Excrementos con un tamaño de arena muy gruesa dentro de un resto de raíz del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	52
Figura 42: Excrementos cónicos de fauna con un tamaño de arena media del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). .....	53
Figura 43: Microestructura en bloques subangulares del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	53
Figura 44: Fisuras bien acomodadas entre bloques subangulares del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). .....	53
Figura 45: Fragmento de roca cuarcítica con alteración de las plagioclasas a la sericita del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	54
Figura 46: Fábrica-b moteada en mosaico y nódulo de óxido de hierro en la parte superior derecha del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). .....	54
Figura 47: Nódulos órticos agregados de óxido de hierro alrededor de un grano de cuarzo del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	54
Figura 48: Hiporrevestimiento de arcilla alrededor de canales y cavidades del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).	55
Figura 49: Revestimiento microlaminado de arcilla en cavidades y fisuras del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).	55
Figura 50: Relleno de arcilla denso e incompleto en un canal del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	55
Figura 51: Microestructura en bloques angulares de 1 cm del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	56
Figura 52: Fábrica-b moteada en mosaico del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). .....	56
Figura 53: Resto de raíz parcialmente descompuesta con excrementos de ácaro en su interior, con un tamaño de arena gruesa del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	56
Figura 54: Secciones de raíces parcialmente descompuestas del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	57

Figura 55: Nódulo órtico agregado de óxido de hierro con un tamaño de arena gruesa del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	57
Figura 56: Hiporrevestimiento de arcilla muy deformado (microlaminación alterada) alrededor de cavidades y canales del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). ....	57
Figura 57: Revestimiento microlaminado de arcilla gruesa alrededor de un canal del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).....	58
Figura 58: Relleno de arcilla suelto y discontinuo en una cavidad del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). ....	58

## Índice de tablas

Tabla 1: Características de los suelos de estudio .....	17
Tabla 2: Características macromorfológicas de los suelos de estudio .....	27
Tabla 3: Propiedades físicas de los suelos de estudio .....	28
Tabla 4: Propiedades químicas de los suelos de estudio .....	29
Tabla 5: Resultados micromorfológicos del perfil del Moncayo. ....	42
Tabla 6: Resultados micromorfológicos de los perfiles de Aniñón y Sestrica .....	49

## Lista de acrónimos

Al: Aluminio.

Al-OxA: Compuestos de Al activos o amorfos extraídos por una solución ácida de oxalato de amonio.

Al+1/2Fe: Compuestos de Al, Fe activos o amorfos extraídos por una solución ácida de oxalato de amonio.

Ah: Horizonte de acumulación materia orgánica.

Are total: Arena total.

Bhs: Horizonte de acumulación iluvial de materia orgánica y/o sesquióxidos de Fe/Al.

Bt: Horizonte de acumulación de arcilla iluvial.

C: Fragmentos de carbón.

C/N: Relación Carbono/Nitrógeno.

CA: Calcio.

CN: Canales.

CaCO<sub>3</sub> eq: Carbonato de calcio equivalente.

CC: Capacidad de Campo.

CE: Conductividad eléctrica.

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

CL: Casquete de limo.

Corg: Carbono orgánico.

CV: Cavidades.

DR: Distribución relacionada.

E: Horizonte de lavado.

EE: Estabilidad Estructural.

EC: Empaquetamiento compuesto.

Ex: Excrementos.

Fe-OxA: Compuestos de Fe activos o amorfos extraídos por una solución ácida de oxalato de amonio.

Fe: Hierro.

g/f: Grueso/fino.

K: Potasio.

Limo F: Limo fino.

Limo G: Limo grueso.

MEK: Metil Etil Cetona.

Mg: Magnesio.

MO: Materia orgánica.

MOA: Materia orgánica amorfa.  
N: Nódulo.  
Na: Sodio.  
Nt: Nitrógeno total.  
O: Horizonte formado por una capa de hojarasca.  
Oct-Co: Octoato de cobalto.  
P: Poros de empaquetamiento compuesto.  
pH H<sub>2</sub>O: pH medido en agua.  
pH KCl: pH medido en cloruro de potasio.  
PI: Parte inferior.  
PMP: Punto de Marchitez Permanente.  
PPL: Luz polarizada plana.  
PS: Parte superior.  
Q.: *Quercus*.  
R: Relación.  
RE: Relleno.  
RV: Revestimiento.  
S: Secciones flobafenizadas de acículas de pino.  
T: Secciones de tallos.  
TE: Tejidos parcialmente degradados.  
t.m.: Término municipal.  
WR: Repelencia del agua.  
XPL: Luz polarizada cruzada.

## Resumen

La micromorfología es una técnica que estudia los componentes y procesos de los suelos, a escala microscópica, y en muestras inalteradas. En este trabajo se aplica dicha técnica al estudio de tres perfiles de suelos: un Podzol (Moncayo) bajo pinar (*Pinus sylvestris*) con régimen údico y dos Luvisoles (Sierra de la Virgen) bajo alcornocal (*Quercus suber*) con régimen xérico, todos ellos en el Sistema Ibérico aragonés. Entre los resultados obtenidos para el Podzol destaca la presencia de nódulos opacos, órticos, de óxidos de hierro, en la base del perfil, lo que se relaciona con un proceso de óxido-reducción actual; también se observan casquetes de limo sobre los elementos gruesos, edaforrasgo que evidencia el proceso de crioturbación, probablemente actual. También en el Podzol (horizonte Bt) se identifican revestimientos y rellenos de arcilla microlaminada que se intercala con limos finos en los huecos. Muchos de estos revestimientos están fragmentados y mezclados con la masa basal del suelo, lo que indicaría que son paleorrasgos, posiblemente previos a la actual podzolización. En ambos Luvisoles también identificamos nódulos de óxidos de Fe, así como hiporrevestimientos, revestimientos y rellenos de arcilla deformados y fragmentados que los identifica como paleoprocesos bajo el actual régimen de humedad xérico.

Palabras clave: micromorfología, suelo, pinar, alcornocal, podzolización, argiluvación, paleoprocesos, Sistema Ibérico, Aragón.

## **Abstract**

Micromorphology is a technique that studies the components and processes of soils, on a microscopic scale, and in undisturbed samples. In this work, this technique is applied to the study of three soil profiles: one Podzol (Moncayo) under pine (*Pinus sylvestris*) with udic regime and two Luvisols (Sierra de la Virgen) under cork oak (*Quercus suber*) with xeric regime, all of them in the Aragonese Iberian System. Among the results obtained for the Podzol, the presence of opaque, orthic nodules of iron oxides stands out at the base of the profile, which is related to a current oxide-reduction process; also silt caps are observed on the thick elements, edaforrasgo that evidences the process of cryoturbation, probably current. Also in the Podzol (Bt horizon) coatings and fillers of micro-laminated clay are identified, which are intercalated with fine silt in the holes. Many of these coatings are fragmented and mixed with the basal mass of the soil, which would indicate that they are paleorrasgos, possibly prior to the current podzolization. In both Luvisols we also identify nodules of Fe oxides, as well as deformed and fragmented hyporrequatures, coatings and clay fillings that identify them as paleoprocesses under the current xeric moisture regime.

Keywords: micromorphology, soil, pine, cork oak, podzolization, argilluviation, paleoprocesses, Iberian System, Aragon.

## 1. Introducción

La micromorfología es una técnica que estudia los suelos en su estado natural, es decir, sin ninguna perturbación (Bullock, 1985) a escala microscópica (Gómez, *et al.*, 2014). El estudio se realiza a través de láminas delgadas con un grosor variable de 20 a 30  $\mu\text{m}$  que se observan a través de un microscopio de luz polarizada cruzada (Yannitto, 2007).

Aunque la micromorfología de suelos parezca una técnica muy reciente, sus bases se asentaron en 1938 por Walter Kubiëna, profesor de Geología y Ciencias del Suelo de la Escuela Superior de Ciencias del Suelo de Viena. Decía que el suelo era un conjunto y su estudio parcial o modificado no permitía su conocimiento global, por ello se debía emplear el uso del microscopio en el estudio de los suelos (García, 2015).

Para llevar a cabo el estudio de los suelos, se realizan pretratamientos físicos y/o químicos (destrucción de estructura y eliminación de componentes) que alteran las muestras, lo que provoca que se pierdan características importantes del suelo (Churchman, 2013). En cambio, como ya se ha dicho anteriormente, la micromorfología no aplica ningún pretratamiento ni modificación de la estructura de las muestras, lo que permite estudiar los suelos sin ninguna alteración (Gómez *et al.*, 2014).

La micromorfología facilita la comprensión de los suelos ya que permite relacionar espacialmente sus componentes individuales a escala de microsítio, y por lo tanto tiene aplicaciones, entre otras, en génesis de suelos (al poderse inferir mecanismos de formación), o en física de suelos, por mostrar la relación entre componentes sólidos y el espacio poroso. Por lo tanto, la micromorfología es una herramienta muy completa y útil con la que poder determinar los procesos que han ocurrido en el suelo de forma natural y antrópica (Gómez *et al.*, 2014). Además, hace de unión de los estudios macroscópicos y los análisis realizados en el laboratorio (Yannitto, 2007).

Así mismo, la micromorfología es una técnica clave para entender la formación del suelo (Porta *et al.*, 2003), obtener información sobre la distribución espacial y la composición, lo que permite clasificar el suelo y compararlo con otros suelos (Bullock, 1985).

La preparación de las láminas delgadas requiere seguir un protocolo, que consiste en: la recolección de las muestras en el campo, su secado, impregnación con resina, corte y pulido hasta alcanzar el grosor deseado (Bullock, 1985).

Para realizar correctamente un estudio de micromorfología se debe seguir el protocolo anterior e indicar la orientación de la muestra para evitar confusiones, que den

lugar a interpretaciones erróneas debido a la inversión accidental de la muestra de suelo (Yannitto, 2007).

Los suelos de estudio se han escogido debido a su singularidad dentro de Aragón, ya que no son habituales en este territorio. Además, los procesos de formación que presentan los suelos son escasos, por lo que son suelos interesantes para estudiar a través de la micromorfología. Tras realizar los análisis pertinentes en el campo los suelos de estudio se identificaron como Podzol y Luvisol (Badía, *et al.*, 2013; Badía, 2018a; Badía, 2018b).

El primer suelo de estudio es un Podzol, lo que significa que este perfil tiene un horizonte eluvial donde hay una fuerte acidez que produce que la materia orgánica se descomponga lentamente, liberando compuestos orgánicos ácidos de bajo peso molecular que alteran los minerales y liberan elementos como el hierro (Fe) y el aluminio (Al), que son lixiviados por el agua en forma de queluvios con los compuestos orgánicos, y que se acumulan en horizontes iluviales. Es decir, la podzolización es la queluviación de óxidos de Fe y Al con materia orgánica hacia horizontes más profundos (Dorrnsoro, 2018b). Estos suelos se forman en zonas húmedas como son las zonas boreales y templadas, aunque localmente también aparecen en los trópicos (Ibáñez y Manríquez, 2012b). Cabe decir que este suelo ya ha sido estudiado con anterioridad (Ruiz, 2015), pero la micromorfología puede ayudar en su identificación, ya que este suelo morfológicamente no se corresponde con un podzol, al apreciarse un proceso de iluviación de arcillas, pero analíticamente sí, debido a que se detecta un aumento de materia orgánica, Fe y Al en profundidad que no se corresponde con un carácter fluvéntico.

El segundo suelo de estudio es un Luvisol, esto significa que en el perfil se produce una translocación de las arcillas desde los horizontes superficiales a los horizontes más profundos. Este proceso se conoce como argiluviación de arcillas y consiste en que el agua de lluvia se infiltra en los horizontes superficiales, pone las partículas de arcilla en suspensión y se mueven a través de los poros hasta los horizontes más profundos, donde encuentran horizontes secos, que absorben el agua y las partículas de arcilla se adhieren a las paredes del poro y a las caras de los agregados (Dorrnsoro, 2018b; Badía, 2011; IGN, 2018). Son suelos que se forman bajo un clima templado y mediterráneo (Ibáñez y Manríquez, 2012a), en regímenes de humedad percolantes y sin carbonato de calcio. Además, en Sestrica se encuentra el único sitio de Aragón donde se puede encontrar un bosque mediterráneo compuesto por alcornoques (*Quercus suber*), lo que es de gran interés debido a que no es su área de distribución habitual y se caracteriza por contar con seis especies de *Quercus* diferentes: *Q. ilex*

*rotundifolia* (encina), *Q. coccifera* (coscoja), *Q. suber* (alcornoque), *Q. faginea* (quejigo), *Q. petraea* (roble) y *Q. pyrenaica* (rebollo) (Pérez, 2011). Estos suelos han sido estudiados anteriormente por Martínez (1997) y Díaz-Fernández, *et al.* (1996), la micromorfología de estos suelos puede complementar estos estudios.

Por todo lo anterior, estos suelos se consideran interesantes para estudiar debido a que los Podzoles son típicos de climas más húmedos y los Luvisoles son suelos escasos en Aragón, es decir, es anómalo encontrarlos en estas zonas. Por consiguiente, un estudio micromorfológico puede ayudar a identificar los procesos de formación de los suelos y comprobar si los procesos son activos o inactivos. Además, se puede determinar si se trata de suelos jóvenes o paleosuelos, ya que no se entiende la aparición de estos suelos con el clima actual.

## **2. Objetivos**

### **2.1. *Objetivo general***

Aplicar técnicas microscópicas para interpretar propiedades y confirmar o no procesos de formación de suelos representativos bajo sistemas forestales del Sistema Ibérico en Aragón.

### **2.2. *Objetivos específicos***

Verificar los procesos edáficos observados en el campo a través de la micromorfología.

Correlacionar los resultados físico-químicos del laboratorio con los obtenidos a través de la micromorfología.

Identificar posibles procesos de formación (podzolización y argiluviación) en suelos ácidos del Sistema Ibérico:

- Podzoles del Moncayo ( pinares de reforestación en el Santuario de la Virgen del Moncayo, término municipal (t.m.): Tarazona).
- Luvisoles bajo alcornocales en la Sierra de la Virgen (t.m.: Aniñón y Sestrica).

Determinar si los procesos de formación dados en los suelos de estudio son paleoprocesos o procesos actuales.

## **3. Área de estudio**

El área de estudio son diferentes tipos de suelos del Sistema Ibérico, en total se van a analizar dos perfiles (Figura 1).

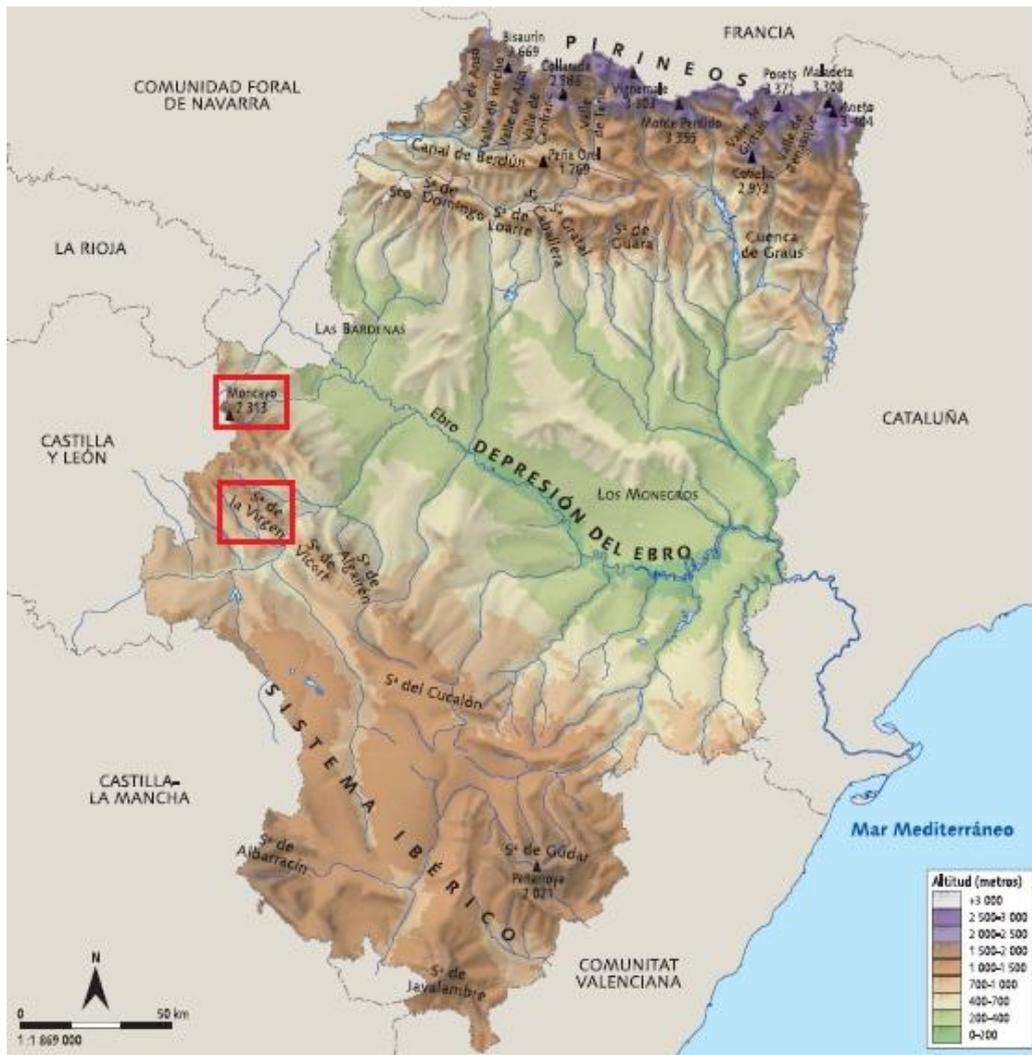


Figura 1: Situación del área de estudio (Oxford Educación, 2011).

El primer perfil, se corresponde con un Podzol, donde se quiere caracterizar el proceso de podzolización (lavado y acumulación de sesquióxidos de hierro y aluminio, y materia orgánica).

Esta zona de estudio se sitúa dentro del Parque Natural del Moncayo (Zaragoza), concretamente en el santuario de la Virgen del Moncayo, que pertenece al municipio de Tarazona (Figura 2). Se encuentra a una altitud de 1.590 m. La precipitación media anual es de 978 mm y la temperatura media es de 6,3°C. La litología es arenisca cuarcítica triásica. La geomorfología es una ladera rectilínea moderadamente escarpada con orientación Noreste. La vegetación principal es una reforestación centenaria de pino royo (*Pinus sylvestris*) con sotobosque de acebo (*Illex aquifolium*), mirtilo (*Vaccinum myrtillus*) y brezos (*Erica vagans*, *Erica arborea*) (Badía, et al., 2013).

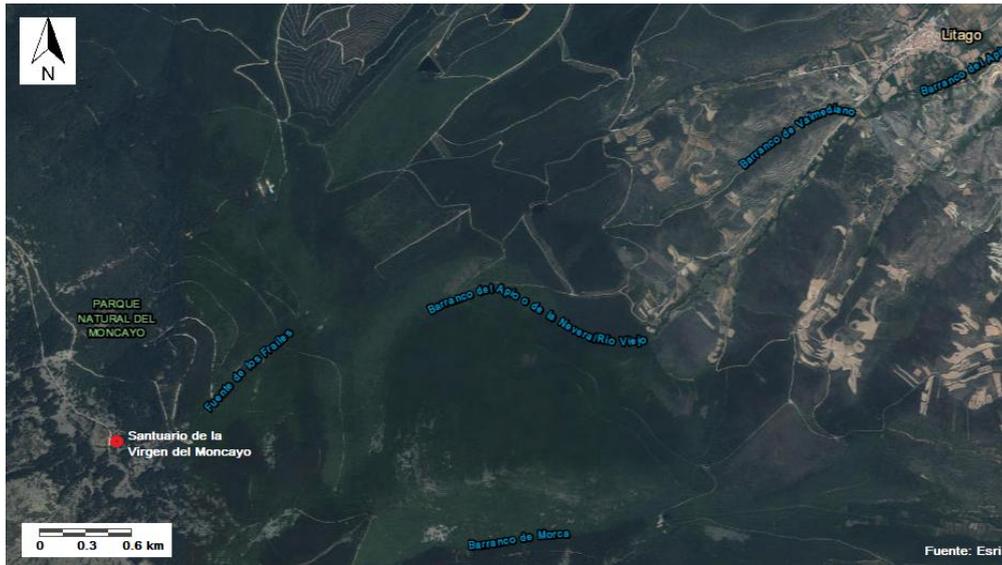


Figura 2: Punto de muestreo del Moncayo (Esri, 2018; Elaboración propia).

El segundo perfil, se corresponde con una zona de alcornoques situada en Aniñón y Sestrica (Zaragoza), concretamente en el piedemonte de la Sierra de la Virgen del Sistema Ibérico (Figura 3). Estos suelos se han clasificado como Luvisoles, en los que se han identificado analíticamente procesos de argiluvación.



Figura 3: Puntos de muestro de Aniñón y Sestrica (Esri, 2018; Elaboración propia).

El clima de esta zona se caracteriza con una precipitación media anual es de 450 mm y una temperatura media anual es de 12°C (Badía, 2018a; Badía, 2018b).

La zona de estudio perteneciente al municipio de Aniñón, se encuentra a una altitud de 977 m. La litología es coluvio de cantos y gravas. La geomorfología es pie de ladera con orientación Oeste. La vegetación principal son encinas (*Quercus ballota*) y

alcornoques (*Q. suber*) con sotobosque de brecina (*Calluna vulgaris*), jaras (*Cistus laurifolius*) y gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*) (Badía, 2018a; Badía, 2018b).

La zona de estudio perteneciente al municipio de Sestrica, se encuentra a una altitud de 802 m. La litología son cuarcitas del Cámbrico inferior con granos de cuarzo de tamaño limo, moscovita y óxidos de hierro. La geomorfología es ladera rectilínea con orientación Este. La vegetación principal son alcornoques (*Q. suber*) con sotobosque de brecina (*Calluna vulgaris*), jaras (*Cistus laurifolius*, *Cistus salvifolius*) y jarillas (*Halimium umbellatum subespecie viscosum*) (Badía, 2018a; Badía, 2018b).

En la tabla 1 se muestran las características más destacables de los suelos de estudio.

**Tabla 1: Características de los suelos de estudio (Badía, et al., 2013; Badía, 2018a; Badía, 2018b).**

	<b>Moncayo</b>	<b>Sierra de la Virgen</b>	
<b>Coordenadas UTM</b>	30 T X0598480 Y4626904	31 T X606990 Y4595253	31 T X6136541 Y4495755
<b>T.m.</b>	Tarazona	Aniñón	Sestrica
<b>Altitud (m)</b>	1590	977	802
<b>Temperatura media anual (°C)</b>	6,3	12	12
<b>Precipitación anual (mm)</b>	978	450	450
<b>Material parental</b>	Depósito de gelifluxión por arenisca cuarcítica	Coluvio de cantos y gravas (cuarcitas)	Cuarcitas del Cámbrico inferior
<b>Geomorfología</b>	Ladera rectilínea en la mitad superior y moderadamente escarpado en la mitad inferior Orientación: NE Pendiente del 30%	Piedemonte Orientación: O Pendiente del 10%	Ladera rectilínea Orientación: E Pendiente del 10%
<b>Vegetación</b>	Reforestación de pino silvestre con sotobosque de acebo, mirtilo y brezos	Encinas y alcornoques con sotobosque de brecina, jaras y gabuya	Alcornoques con sotobosque de brecina y jaras

### **3.1. Perfiles de los suelos de estudio**

A continuación se muestran los perfiles de los suelos de estudios, donde se aportan fotos e información sobre macromorfología; análisis físicos y químicos; y clasificación WRB (2015) del suelo.

### 3.1.1. Perfil del Pinar del Moncayo

Situación: Santuario de la Virgen del Moncayo; pasada la ermita de San Gaudioso. T.M.: Tarazona.

Coordenadas U.T.M.: 30 T 0598480; 4626904.

Altitud: 1590 msnm.

Geomorfología: Ladera rectilínea; mitad superior; moderadamente escarpado (30 % de pendiente). Orientación Noreste.

Material original: Depósito de geliflucción dominado por arenisca cuarcítica.

Uso del suelo y vegetación: Reforestación centenaria de pino royo (*Pinus sylvestris*), con sotobosque de acebo (*Ilex aquifolium*), mirtilo (*Vaccinium myrtillus*), brezos (*Erica vagans*, *Erica arborea*).

Erosión: Ligera, en forma de arroyada difusa.

Profundidad efectiva: 150 cm.

Pedregosidad superficial: Poco pedregoso (5%).  
Afloramientos.

Drenaje: Bien drenado.

Clima atmosférico: 978 mm/año; 6,3° C media anual.

Clima del suelo (STS): Régimen de humedad: Údico.  
Régimen de temperatura: Frígido.

Agua almacenable (a CC): 98 mm/1,5 m.

Autor(es) descripción: David Badía, Paloma Ibarra, Alberto Ruiz, Esperanza Jarauta. Fecha: 7/11/2013.

Clasificación tentativa:

IUSS (2014): Podzol álbico, úmbrico, esquelético (franco).

SSS (2014): Haplorthod típico.



Paisaje



<b>Descripción macromorfológica de los horizontes (FAO, 2006)</b>	
<b>O</b> (-6-0 cm)	Capa de hojarasca, con predominio de material profundamente transformado (OH=Oa).
<b>Ah</b> (0-18 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Gris parduzco (7,5YR 3,5/1), en seco y negro (10YR 2/1), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (40 % en volumen), areniscas permo-triásicas de tamaño de gravas gruesas y cantos, de forma angular plana, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco arcillo arenoso. ESTRUCTURA: fuerte, granular, mediana y muy fina. COMPACIDAD: Muy poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (6%) ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Micelios de hongos en la parte superior del horizonte. 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): Nula. ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Ondulado, abrupto. DIAGNÓSTICO: HORIZONTE úmbrico (<20 cm: someriumbrico).
<b>E</b> (18-30 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (7,5YR 6/2) en seco y pardo amarillento oscuro (7,5YR 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: Sin estructura. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Abundante. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De finas medianas, abundantes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): Nula. ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Ondulado, abrupto. DIAGNÓSTICO: Material ÁLBICO.
<b>Bhs</b> (30-85 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): marrón (7,5YR 4/4), en seco y pardo oscuro (7,5YR 3/3), 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: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (3%) ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Abundante. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De muy finas a medianas, abundantes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): Nula. ACUMULACIONES: Abundantes de materia orgánica; sesquióxidos de hierro y aluminio. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Irregular gradual. DIAGNÓSTICO: HORIZONTE ESPÓDICO (con los 2,5 cm superiores ligeramente más rojos, 5YR 4/4 en seco).
<b>C</b> (85-110 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): pardo pálido (10YR 6/3), en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/3), 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%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Finas, pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): Negativa. ACUMULACIONES: Pocas, de sesquióxidos de hierro y aluminio. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes.

### Datos analíticos

Propiedades químicas									
Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Corg (%)	M.O. (%)	Nt (%)	C/N	Fe- OxA (%)	Al- OxA (%)	Al+1/2Fe (%)
Ah (0-18 cm)	4,1	3,0	10,0	19,3	0,497	22,1	0,143	0,121	0,192
E (18-30 cm)	4,0	2,8	1,2	2,3	0,098	11,5	0,065	0,057	0,089
Bhs (30-85 cm)	5,0	4,0	3,1	5,4	0,226	18,5	0,802	0,988	1,389
C (85-110 cm)	5,1	4,1	1,5	2,7	0,133	12,7	0,144	0,225	0,296

Complejo de cambio (AcONH <sub>4</sub> )							
Horizontes (profundidad)	Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Suma cationes (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Cationes basificantes (V, %)
Ah (0-18 cm)	4,28	1,62	0,095	0,168	6,16	43,0	14,3
E (18-30 cm)	1,78	0,19	0,095	0,113	2,18	8,9	24,4
Bhs (30-85 cm)	2,03	1,18	0,095	0,131	3,44	27,1	12,7
C (85-110 cm)	1,42	0,30	0,095	0,095	1,91	13,7	14,0

Análisis granulométrico							
Horizontes (profundidad)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo Grueso (%)	Limo Fino (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
Ah (0-18 cm)	13,62	36,16	12,74	14,09	23,39	Franco Arcillo Arenoso	75,0
E (18-30 cm)	14,26	47,80	15,56	15,43	6,96	Franco Arenoso	60,3
Bhs (30-85 cm)	17,34	39,40	13,83	16,73	12,70	Franco Arenoso	60,0
C (85-110 cm)	17,67	43,96	17,07	14,30	7,01	Franco Arenoso	85,1

Estructura y Porosidad				
Horizontes (profundidad)	EE (%)	CC (%)	CC (mm)	WR (segundos)
Ah (0-18 cm)	92,4	25,2	15,75	>3.600
E (18-30 cm)	76,6	16,1	15,98	2
Bhs (30-85 cm)	93,8	18,3	31,6	>3.600
C (85-110 cm)	95,2	15,8	8,18	1

### 3.1.2. Perfil del Alcornocal de Aniñón

Situación: A2. T.M.: Aniñón (Comarca de Calatayud, Zaragoza).

Coordenadas U.T.M. X/Y: 31 T 606990 4595253.

Altitud: 977 msnm.

Geomorfología: Pie de ladera (10 % de pendiente). Oeste.

Material original: Coluvio de cantos y gravas (cuarcitas).

Uso del suelo y vegetación: encinas (*Q. ballota*) y alcornoques (*Quercus suber*), con sotobosque de brechina (*Calluna vulgaris*), jaras (*Cistus laurifolius*) y gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*).

Erosión: Ligeramente, por arroyada difusa.

Profundidad efectiva: 200 cm.

Pedregosidad superficial: Extremadamente pedregoso (50 % de grava y cantos).

Drenaje: Bien drenado.

Clima atmosférico: 450 mm/año; 12 °C media anual.

Clima del suelo (STS): Régimen de humedad: Xérico

Régimen de temperatura: Mésico.

Reserva de agua disponible: 202,9 mm/1,5 m.

Humus: OL (1 cm), de espesor variable en el espacio.

Autor(es) descripción: David Badía *et al.* Fecha: 25/1/2018.

Clasificación tentativa:

IUSS (2014): Abruptic Chromic Skeletic LUVISOL (Loamic, Epidystric, Ochric).

SSS (2014): Ultic Haploxeralf, franco-esquelético, mezclado, activo, mésico.



Paisaje



<b>Descripción macromorfológica de los horizontes (FAO, 2006)</b>	
<b>Ah</b> (0-5 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Marrón grisáceo (7,5YR 5/2), en seco y pardo oscuro (7,5YR 3/2), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: muy frecuentes (20 % en volumen), cuarcitas, de tamaño de grava y cantos, de forma subangular tabular y angular, con orientación horizontal, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Limo-arenosa. ESTRUCTURA: débil, bloques subangulares, gruesos. COMPACIDAD: Muy poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (5%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Micelios fúngicos, pocos. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De muy finas y finas, frecuentes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, neto. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: Ninguno (por espesor).

<p><b>BA</b> (5-30 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja pálido (7,5YR 7/3), en seco y marrón pálido (7,5YR 5/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (30 % en volumen); cuarcitas, de tamaño de grava y cantos, de forma subangular tabular y angular, con orientación horizontal u oblicua, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Limo-arenosa. ESTRUCTURA: débil, bloques subangulares, de tamaño mediano. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1-2%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Finas, frecuentes; medianas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, gradual. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE CÁMBICO o material alábico.</p>
<p><b>Bw</b> (30-70 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja pálido (7,5YR 7/3), en seco y marrón pálido (7,5YR 5/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (40%), cuarcitas, de tamaño de grava a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: limo-arenosa. ESTRUCTURA: moderada, bloques subangulares, de tamaño mediano a grueso. COMPACIDAD: Moderadamente compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1-2%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Medianas y gruesas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, neto. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE CÁMBICO o material alábico.</p>
<p><b>Bw/Bt</b> (70-90 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja pálido (7,5YR 7/4), en seco y pardo fuerte (7,5YR 5/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (50%), cuarcitas, de tamaño de grava a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, aumentando en profundidad. TEXTURA AL TACTO: Limo-Arcillosa. ESTRUCTURA: Moderada, bloques angulares, de tamaño mediano. COMPACIDAD: Muy compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Gruesas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: No aparentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, gradual. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE ÁRGICO.</p>
<p><b>Bt1</b> (90-120 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja (7,5YR 6/6), en seco y rojo amarillento (5YR 5/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (60%), cuarcitas, de tamaño de grava gruesa a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, de distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Arcillosa. ESTRUCTURA: inexistente por abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: Muy compacto. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (&lt;1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Gruesas, muy pocas; medianas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: No aparentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, gradual. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE ÁRGICO.</p>
<p><b>Bt2</b> (90-120 cm)</p>	<p>ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja (7,5YR 6/6), en seco y rojo amarillento (5YR 5/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (60%), cuarcitas, de tamaño de grava gruesa a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, de distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Arcillosa. ESTRUCTURA: inexistente por abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: Muy compacto. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (&lt;1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Gruesas, muy pocas; medianas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: No aparentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, gradual.</p>

	HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE ÁRGICO.
<b>C</b> (150-200 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja (7,5YR 6/6), en seco y rojo amarillento (5YR 5/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (80%), cuarcitas, de tamaño de grava gruesa a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, aumentando en profundidad. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: inexistente por abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: Muy compacto. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (<1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Gruesas, muy pocas; medianas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: No aparentes. LÍMITE INFERIOR: contacto lítico.

#### Datos analíticos

Propiedades químicas							
Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CaCO <sub>3</sub> eq (%)	M.O. (%)	Nt (%)	C/N	CE 1:5 (μS/cm)
Ah (0-5 cm)	5,6	5,2	0,0	6,89	0,2525	15,8	59,0
BA (5-30 cm)	4,8	3,9	0,0	0,84	0,0341	14,4	31,5
Bw (30-70 cm)	5,2	4,1	0,0	0,57	0,0251	13,1	21,1
Bw/Bt (70-90 cm)	5,8	4,4	0,0	0,42	0,0202	11,9	15,6
Bt1 (90-120 cm)	5,8	4,2	0,0	0,34	0,0243	8,2	14,2
Bt2 (120-150 cm)	5,6	4,1	0,0	0,27	0,0182	8,8	15,0
C (150-200 cm)	5,4	4,0	0,0	0,16	0,0190	4,7	14,9

#### Complejo de cambio (AcNH<sub>4</sub>)

Horizontes (profundidad)	Ca (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )	K (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )	Suma cationes (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )	Cationes basificantes (%)
Ah (0-5 cm)	5,08	0,87	0,37	0,04	6,36	13,7	46,4
BA (5-30 cm)	0,52	0,24	0,06	0,03	0,85	3,1	27,4
Bw (30-70 cm)	0,82	0,36	0,07	0,03	1,28	3,5	36,6
Bw/Bt (70-90 cm)	2,80	1,21	0,14	0,03	4,18	7,6	55,0
Bt1 (90-120 cm)	3,45	1,82	0,17	0,03	5,47	10,1	54,2
Bt2 (120-150 cm)	2,46	1,49	0,13	0,01	4,09	8,7	47,0
C (150-200 cm)	1,81	1,18	0,10	0,01	3,10	8,0	38,8

#### Propiedades físicas

Horizontes (profundidad)	Estabilidad Estructural (%)	Are Total (2-0,05 mm) (%)	Limo G (0,05-0,02 mm) (%)	Limo F (0,02- 0,002 mm) (%)	Arcilla (<0,002 mm) (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
Ah (0-5 cm)	78,1	75,5	1,5	14,7	8,3	Franco-arenosa	31,9
BA (5-30 cm)	58,4	59,5	22,5	13,9	4,1	Franco-arenosa	38,8
Bw (30-70 cm)	42,2	53,9	23,1	17,1	5,9	Franco-arenosa	59,4
Bw/Bt (70-90 cm)	15,2	41,7	22,8	16,7	18,8	Franca	52,3
Bt1 (90-120 cm)	13,1	43,2	19,7	14,1	23,0	Franca	43,1
Bt2 (120-150 cm)	16,0	47,7	20,0	12,4	19,9	Franca	45,5

C (150-200 cm)	18,1	54,5	14,3	14,1	17,1	Franco-arenosa	50,2
----------------	------	------	------	------	------	----------------	------

Agua del suelo calculada					
Horizontes (profundidad)	Humedad a Saturación	CC 0,03MPa (%)	PMP 1,5MPa (%)	Agua útil (%)	Agua útil (mm)
Ah (0-5 cm)	77,3	27,1	9,4	17,7	8,4
BA (5-30 cm)	36,9	16,3	2,0	14,3	30,6
Bw (30-70 cm)	34,7	18,7	1,9	16,8	38,2
Bw/Bt (70-90 cm)	46,2	27,1	4,1	23,0	30,7
Bt1 (90-120 cm)	41,9	23,6	3,0	20,6	49,2
Bt2 (120-150 cm)	44,8	25,4	5,4	20,0	45,8
C (150-200 cm)	40,5	22,7	1,4	21,3	74,2

### 3.1.3. Perfil del Alcornocal de Sestrica

*Situación: S3. T.M.: Sestrica (Comarca de Aranda, Zaragoza).*

*Coordenadas U.T.M. X/Y: 31 T 06136541; 4495755.*

*Altitud: 802 msnm.*

*Geomorfología: Ladera rectilínea (10 % de pendiente). Este.*

*Material original: Cuarzitas (con ocasionales limolitas) del Cámbrico inferior. Las cuarzitas con granos de cuarzo (tamaño limo), probable moscovita (mica blanca) y óxidos de hierro.*

*Uso del suelo y vegetación: alcornoques (Quercus suber), con sotobosque de brechina (Calluna vulgaris) y jaras/jarillas (Cistus laurifolius, C. salvifolius, Halimium umbellatum subsp. viscosum).*

*Erosión: Ligera, por salpicadura y arroyada difusa.*

*Profundidad efectiva: 130 cm.*

*Pedregosidad superficial: Muy pedregoso (25 % de grava y cantos).*

*Drenaje: Bien drenado.*

*Clima atmosférico: 450 mm/año; 12 °C media anual.*

*Clima del suelo (STS): Régimen de humedad: Xérico.*

*Régimen de temperatura: Mésico.*

*Reserva de agua disponible: 136,3 mm/perfil.*

*Humus: OL (1 cm) + OH (1 cm), espesor variable en el espacio.*

*Autor(es) descripción: David Badía et al. Fecha: 25/1/2018.*

*Otros: Alcornocal en explotación.*

*Clasificación tentativa:*



IUSS (2014): *Abruptic Chromic Skeletic LUVISOL (Loamic Epidystric, Ochric)*.

SSS (2014): *Ultic Haploxeralf, franco-esquelético, mezclada, activa, méxico*.

Paisaje



<b>Descripción macromorfológica de los horizontes (FAO, 2006)</b>	
<b>Ah</b> (0-5 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Marrón grisáceo (7,5YR 4/2), en seco y pardo oscuro (7,5YR 3/2), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: abundantes (50 % en volumen), cuarcitas, de tamaño de grava, de forma angular, con orientación horizontal, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Limo-arenosa. ESTRUCTURA: moderada, bloques subangulares, gruesos. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (5%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: Micelios fúngicos, frecuentes. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: De muy finas y finas, frecuentes; medianas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, neto. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: Ninguno (por espesor).
<b>Bw1</b> (5-30 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja pálido (7,5YR 7/4), en seco y marrón pálido (7,5YR 5/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (30 % en volumen); cuarcitas, de tamaño de grava, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Limo-arenosa. ESTRUCTURA: moderada, bloques subangulares, de tamaño mediano. COMPACIDAD: Moderadamente compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1-2%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Finas, frecuentes; medianas y gruesas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula ACUMULACIONES: Inexistentes. CEMENTACIONES: matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, gradual. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE CÁMBICO o material álbico.
<b>Bw2</b> (30-70 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja pálido (7,5YR 7/4), en seco y marrón pálido (7,5YR 5/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (40%), cuarcitas, de tamaño de grava a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, aumentando en profundidad. TEXTURA AL TACTO: limo-arenosa. ESTRUCTURA: moderada, bloques subangulares, de tamaño mediano a grueso. COMPACIDAD: Moderadamente compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1-2%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No

	aparente. RAICES: Medianas y gruesas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Plano, neto. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE CÁMBICO.
<b>Bt</b> (70-100 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Rojo amarillento (5YR 5/6), en seco y marrón pálido (5YR 4/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (50%), cuarcitas, de tamaño de grava a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, aumentando en profundidad. TEXTURA AL TACTO: Arcillosa. ESTRUCTURA: fuerte, bloques angulares, de tamaño mediano. COMPACIDAD: Muy compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Gruesas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Cútanos. LÍMITE INFERIOR: Plano, gradual. HORIZONTE de DIAGNÓSTICO: HORIZONTE ÁRGICO.
<b>Ct</b> (100-130 cm)	ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Rojo amarillento (5YR 6/6), en seco y marrón pálido (5YR 5/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (80%), cuarcitas, de tamaño de grava gruesa a cantos, de forma angular, con orientación horizontal u oblicua, aumentando en profundidad. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: inexistente por abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: Muy compacto. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (<1%). ACTIVIDAD BIOLÓGICA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Gruesas, muy pocas; medianas, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl): nula. ACUMULACIONES: No hay. CEMENTACIONES: Matriz no cementada. REVESTIMIENTOS: Cútanos. LÍMITE INFERIOR: contacto lítico.
<b>R</b> (130-200 cm)	Cuarcitas fragmentadas, con estratos finos de limolitas blancas en la base del perfil, a los 2 m de espesor.

#### Datos analíticos

Propiedades químicas							
Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CaCO <sub>3</sub> eq (%)	M.O. (%)	Nt (%)	C/N	CE 1:5 (μS/cm)
Ah (0-5 cm)	6,4	6,3	0,0	6,40	0,282	13,2	94,0
Bw1(5-30 cm)	5,2	4,0	0,0	0,51	0,016	17,5	30,7
Bw2 (30-70 cm)	5,3	3,9	0,0	0,49	0,021	13,3	22,1
Bt (70-100 cm)	6,1	4,6	0,0	0,45	0,026	10,0	32,2
Ct (100-130 cm)	6,2	4,5	0,0	0,38	0,019	10,5	25,0

Complejo de cambio (AcONH <sub>4</sub> )							
Horizontes (profundidad)	Ca (cmol <sub>+</sub> ,kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol <sub>+</sub> ,kg <sup>-1</sup> )	K (cmol <sub>+</sub> ,kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol <sub>+</sub> ,kg <sup>-1</sup> )	Suma cationes (cmol <sub>+</sub> ,kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol <sub>+</sub> ,kg <sup>-1</sup> )	Cationes basificantes (%)
Ah (0-5 cm)	6,83	1,5	0,23	0,04	8,60	11,4	75,4
Bw1(5-30 cm)	0,90	0,62	0,03	0,04	1,59	3,9	40,8
Bw2 (30-70 cm)	1,09	0,82	0,04	0,03	1,98	4,4	45,0
Bt (70-100 cm)	4,40	4,88	0,09	0,06	9,43	14,1	66,9
Ct (100-130 cm)	4,20	4,95	0,10	0,05	9,30	13,5	68,9

Propiedades físicas							
Horizontes (profundidad)	Estabilidad Estructural (%)	Arena Total (2-0,05 mm) (%)	Limo G (0,05 -0,02 mm) (%)	Limo F (0,02 -0,002 mm) (%)	Arcilla (<0,002 mm) (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
Ah (0-5 cm)	37,7	75,5	9,8	9,0	5,7	Franco-arenosa	38,5
Bw1 (5-30 cm)	7,6	71,2	10,8	13,2	4,8	Franco-arenosa	23,0
Bw2 (30-70 cm)	4,7	66,7	11,7	14,0	7,6	Franco-arenosa	31,1
Bt (70-100 cm)	3,2	45,2	10,7	13,2	30,9	Franco-arcillo-arenosa	43,3
Ct (100-130 cm)	2,3	49,9	7,9	12,6	29,6	Franco-arcillo-arenosa	57,7

Agua del suelo calculada					
Horizontes (profundidad)	Humedad a Saturación	CC 0,03MPa (%)	PMP 1,5MPa (%)	Agua útil (%)	Agua útil (mm)
Ah (0-5 cm)	83,3	18,6	6,7	11,9	5,1
Bw1 (5-30 cm)	34,3	9,6	0,5	9,1	24,5
Bw2 (30-70 cm)	32,7	10,5	0,5	10,0	38,6
Bt (70-100 cm)	50,8	17,0	2,8	14,2	33,8
Ct (100-130 cm)	50,4	18,0	3,5	14,5	34,3

Para el cálculo del agua útil (mm) se ha estimado una densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.4. Análisis de los perfiles

A continuación, se muestra un resumen de la información contenida en los perfiles anteriores. En las tablas 2, 3 y 4 se muestran las características macromorfológicas, propiedades físicas y químicas de los suelos de estudios, respectivamente.

Tabla 2: Características macromorfológicas de los suelos de estudio (Badía, *et al.*, 2013; Badía, 2018a; Badía, 2018b).

Perfil	Horizonte	Espesor (cm)	Color seco	Color húmedo	Estructura	Compactación	Acumulación
Moncayo	Ah	0-18	Gris parduzco 7.5YR 3/1	Negro 10YR 2/1	Fuerte, granular, mediana y muy fina	Muy poco compacto	-

Moncayo	E	18-30	Pardo amarillento oscuro 7.5YR 6/2	Pardo amarillento oscuro 7.5YR 4/2	Sin estructura	Poco compacto	-
	Bhs	30-85	Marrón 7.5YR 4/4	Pardo oscuro 7.5YR 3/3	Débil, subangular, fina	Poco compacto	MO, Fe y Al
Aniñón	Ah	0-5	Marrón grisáceo 7,5YR 5/2	Pardo oscuro 7,5YR 3/2	Débil, bloques subangulares, gruesos	Muy poco compacto	-
	Bt	70-90	Naranja pálido 7.5YR 7/4	Pardo fuerte 7.5YR 5/6	Moderada, bloques angulares, de tamaño mediano	Muy compacto	Arcilla
Sestrica	Bt	70-100	Rojo amarillento 5YR 5/6	Marrón pálido 5YR 4/6	Fuerte, bloques angulares, de tamaño mediano	Muy compacto	Arcilla

\* Donde, MO: Materia Orgánica.

**Tabla 3: Propiedades físicas de los suelos de estudio (Badía, et al., 2013; Badía, 2018a; Badía, 2018b).**

Perfil	Horizonte	Espesor (cm)	Elementos gruesos (% p/p)	Clase textural (USDA)	EE (%)	CC (%)
Moncayo	Ah	0-18	75	Franco-arcillo-arenosa	92,4	25,2
	E	18-30	60,3	Franco-arenosa	76,6	16,1
	Bhs	30-85	60	Franco-arenosa	93,8	18,3
Aniñón	Ah	0-5	31,9	Franco-arenosa	78,1	27,1
	Bt	70-90	52,3	Franco	15,2	27,1
Sestrica	Bt	70-100	43,3	Franco-arcillo-arenosa	3,2	50,8

\* Donde, EE: Estabilidad Estructural, CC: Capacidad de Campo.

Tabla 4: Propiedades químicas de los suelos de estudio (Badía, *et al.*, 2013; Badía, 2018a; Badía, 2018b).

Perfil	Horizonte	Espesor (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Corg (%)	C/N	Suma cationes (cmol/kg)	CIC (cmol/kg)	Cationes basicantes (%)
Moncayo	Ah	0-18	4,1	3,0	10,0	22,1	6,16	43,0	14,3
	E	18-30	4,0	2,8	1,2	11,5	2,18	8,9	24,4
	Bhs	30-85	5,0	4,0	3,1	18,5	3,44	27,1	12,7
Aniñón	Ah	0-5	5,6	5,2	4,0	15,8	6,36	13,7	46,4
	Bt	70-90	5,8	4,4	0,24	11,9	4,18	7,6	55,0
Sestrica	Bt	70-100	6,1	4,6	0,26	10,0	9,43	14,1	66,9

\* Donde: Suma cationes: Ca, Mg, K y Na, CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico (1M NH<sub>4</sub>O a pH 7), Cationes basicantes: (suma cationes/CIC)\*100.

## 4. Metodología

### 4.1. *Recogida de la muestra en campo*

La recogida de muestras se realizó de todos los horizontes del perfil del suelo. Concretamente en el Moncayo se recogieron muestras de cinco horizontes, en Aniñón una muestra de dos horizontes subsuperficiales y en Sestrica de un horizonte subsuperficial. Para ello se realizó una calicata, y se recogió una muestra de cada horizonte que se introdujo en una bolsa hermética e impermeable (Aguilar, *et al.*, 2018).

### 4.2. *Preparación de las láminas delgadas* (Benyarku y Stoops, 2005)

Antes de empezar a preparar las láminas delgadas, se deben preparar las muestras. En primer lugar, las muestras deben estar bien identificadas, para ello se registran al llegar al laboratorio. La identificación del registro y la orientación debe estar presente durante todo el proceso, para evitar confusiones.

Seguidamente las muestras se secan, no es necesario que se elimine toda la humedad, pero sí una gran medida ya que el agua no es compatible con la resina. Para

ello, se dejan secar las muestras al aire durante un par de semanas y antes de realizar la impregnación se hace un segundo secado en estufa a 40°C.

Después se realiza la impregnación de las muestras. Se debe tener en cuenta que las muestras de suelo deben impregnarse porque son materiales no consolidados y en este estado no se puede obtener una lámina delgada. Tras el endurecimiento de la resina se obtiene un material consolidado con el cual se puede obtener la lámina de suelo.

Antes de proceder a la impregnación, se debe colocar alrededor del bloque de muestra un par de capas de plástico, con ayuda de precinto, después se introduce en una caja de cartón. Esto se realiza para evitar que la resina se salga y no llegue a impregnar la muestra.

La preparación de la resina para impregnar los bloques de suelo se debe realizar en la cámara de impregnación con la campana extractora encendida. Para ello, se necesitan los siguientes reactivos: 1.000 mL de resina de poliéster, 250 mL de estireno, 5 mL de catalizador peróxido Metil Etil Cetona (MEK) y 2 gotas de activador Octoato de cobalto (Oct-Co).

Para preparar correctamente la resina y evitar interferencias más adelante, se debe tener en cuenta que el catalizador es de color oscuro y puede dejar motas en la muestra si no se mezcla bien, esto se debe hacer con cuidado para evitar en la medida de lo posible que queden burbujas de aire.

Se echa la resina en el bloque de muestra preparado previamente. Después, se deja secar la resina en la campana extractora o en el desecador; este proceso suele tardar alrededor de un mes (Figura 4).



**Figura 4: Impregnación de un bloque de muestra.**

Si se aprecia que el nivel de resina disminuye, se debe revisar que el recipiente no tiene ninguna fuga, si hay una fuga se volverá a poner varias capas de plástico y se rellenará hasta que el nivel de resina no disminuya, lo que indica que todos los poros de la muestra están llenos de resina.

Una vez la resina se haya secado y por tanto la muestra se haya endurecido, se procederá a sacar la muestra de la caja de cartón, retirar las capas de plástico e identificar el bloque de muestra, con un rotulador indeleble (Figura 5).



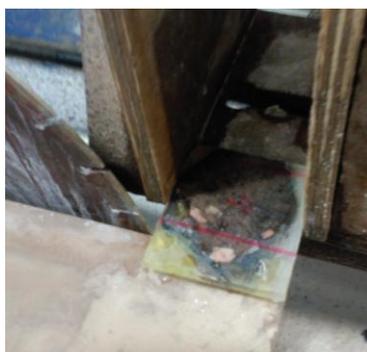
**Figura 5: Bloque de muestra impregnada.**

Una vez realizado todo lo anterior, la preparación de la muestra ha finalizado y ya se pueden procesar los bloques de los cuales se obtendrá la lámina delgada. En primer lugar se va a llevar a cabo el corte del bloque de muestra. De modo que, se coloca el bloque de muestra en la sierra mecánica donde se realizan varios cortes, con lo que se pretende tener un bloque más homogéneo (Figura 6). También, se debe valorar en qué lado de la muestra se aprecian aspectos más interesantes para sacar de ahí la tableta que más tarde se interpretará.



**Figura 6: Corte de un bloque de muestra en sierra mecánica.**

La tableta se debe ajustar a las medidas del portaobjetos que se utiliza para mirar la muestra en el microscopio (Figura 7).



**Figura 7: Corte de una tableta de muestra en sierra mecánica.**

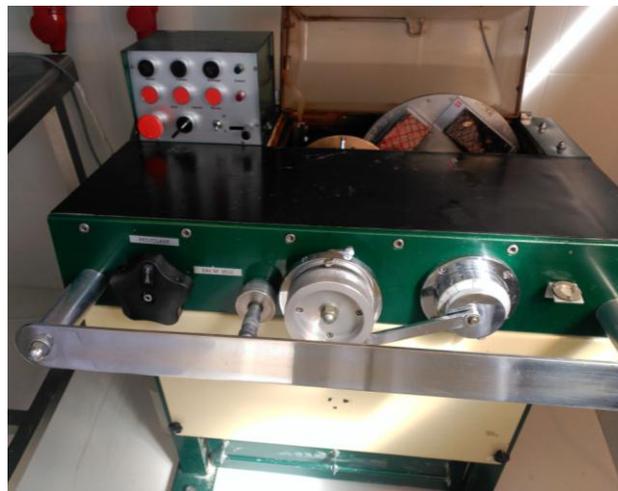
Cuando la tableta tenga el tamaño deseado se debe identificar y poner la orientación de la muestra (Figura 8).



**Figura 8: Tabletillas de muestras.**

Posteriormente, se procede a realizar el primer pulido y limpieza. Por lo que se debe pegar la tableta a un portaobjetos de vidrio, para ello se utiliza adhesivo de cianocrilato y unas pesas. Una vez que la tableta está pegada al portaobjeto, en un cuaderno se hace un esquema de las características más resaltables de la tableta (raíz, poro de gran tamaño, etc.) y se le asigna un número de identificación, que se escribe en el portaobjetos.

Inmediatamente se raya la superficie de la tableta con un rotulador indeleble y se introduce en la rectificadora, donde se pule la tableta (Figura 9). Se debe tener en cuenta que la rectificadora trabaja con cuatro muestras a la vez.



**Figura 9: Tabletillas en la rectificadora.**

La desaparición de todas las líneas de la tableta indica que la superficie de la muestra está igualada en todos sus puntos. Por lo tanto, ya se puede sacar la tableta de la rectificadora. Como esta máquina utiliza aceite para refrigerar, se debe introducir papel de filtro entre la tableta y el vidrio para que absorba el aceite.

Después, se procederá a la limpieza de la muestra en ultrasonidos (Figura 10); para ello se introduce la tableta en un vaso con hexano durante 5 minutos. Esto se lleva a cabo en una campana extractora.



**Figura 10: Limpieza de las tabletas en ultrasonido.**

Una vez que la tableta está limpia, se deja en la campana extractora unos minutos, para que se evapore el hexano, después se pone entre papeles y se deja secar. Con esto se pretende eliminar todo el aceite que haya podido quedar en la tableta.

El siguiente paso es el pegado y el corte de las tabletas. En primer lugar, se deben preparar los portaobjetos. De tal forma que se introducen cuatro portaobjetos en la rectificadora, para que elimine las posibles impurezas, ya que este será el vidrio final, donde estará la lámina con la muestra de suelo (Figura 11).



**Figura 11: Pulido de los portaobjetos definitivos.**

Cuando se saquen de la rectificadora se deben secar con papel absorbente y limpiar en la campana extractora con acetona.

Una vez que los portaobjetos están listos, se procede al pegado, para ello se sacan las tabletas de los papeles en los que se estaban secando y con ayuda de un pincel y acetona se limpian las impurezas que hayan podido quedar.

En la cámara de impregnación se prepara la resina para realizar el sándwich, que consiste en pegar la tableta al vidrio que se acaba de pulir. Para ello se necesita lo siguiente: 100 mL de resina de poliéster, 15 gotas de catalizador peróxido MEK y 1 gota de activador Oct-Co.

A la hora de preparar la resina, se debe tener cuidado de no generar burbujas en el mezclado de los reactivos, ya que puede suponer una interferencia final en la observación de la muestra.

Para realizar el pegado se pone un poco de resina sobre la tableta y el portaobjetos pulido, seguidamente se hace un movimiento rápido y de bisagra, además se colocan pesos encima, para evitar que queden burbujas de aire. Se deja secar aproximadamente un día.

Una vez esté listo el sándwich, se procede al corte. De manera que se deben eliminar los restos de resina que hayan quedado por los bordes, con ayuda de acetona y una espátula. A continuación, se introduce el sándwich en la sierra (Figura 12), donde se parte por la mitad, de los dos lados, te quedas con el vidrio que había sido pulido anteriormente. Se debe poner el número de identificación asignado anteriormente.



**Figura 12: Corte del sándwich.**

Si tras el corte se observan poros de gran tamaño, se realiza una reimpregnación. Si la tableta se encuentra en perfecto estado se procede al pulido final. En caso de que se deba reimpregnar la muestra se realiza una limpieza en ultrasonidos con hexano durante 5 minutos y se deja secar durante 1 hora entre papeles. Una vez seca se limpia la superficie con un pincel y acetona.

Se prepara la resina de la misma forma que para realizar el sándwich y se extiende cuidadosamente sobre la superficie percatándose de que los agujeros quedan bien tapados y se deja secar (Figura 13).



**Figura 13: Reimpregnación de muestras.**

Una vez estén secas las muestras, se realiza una rectificación por lo que se raya la superficie de la tableta y se pone en la rectificadora, para garantizar que la superficie está completamente recta.

Por último, se realiza el pulido final. Primero se realiza un pulido en la rectificadora. De manera que se introduce la muestra en la rectificadora, donde se realiza un primer pulido con un disco de diamante de diámetro 96 mm, después se realiza otro pulido con un disco de diamante de diámetro 46 mm. Este último se debe hacer con cautela ya que en cualquier momento puedes pulir más de la cuenta, ya que la lámina final, tiene un tamaño de 30  $\mu\text{m}$  (Figura 14).

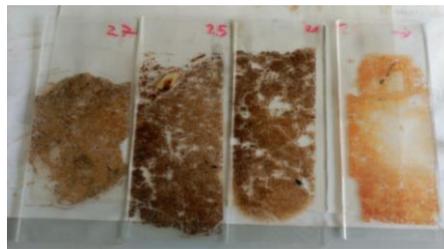


Figura 14: Láminas delgadas tras el pulido en la rectificadora.

Para saber si se ha llegado al tamaño requerido, se utiliza un microscopio de luz polarizada cruzada, donde se mira los colores del cuarzo, que deben ser grisáceos. Para saber de qué color tienen que ser los minerales cuando se alcanzan el grosor deseado, se utiliza la escala de Michel-Levy, que se basa en el ángulo de extinción y los colores de interferencia (Figura 15).

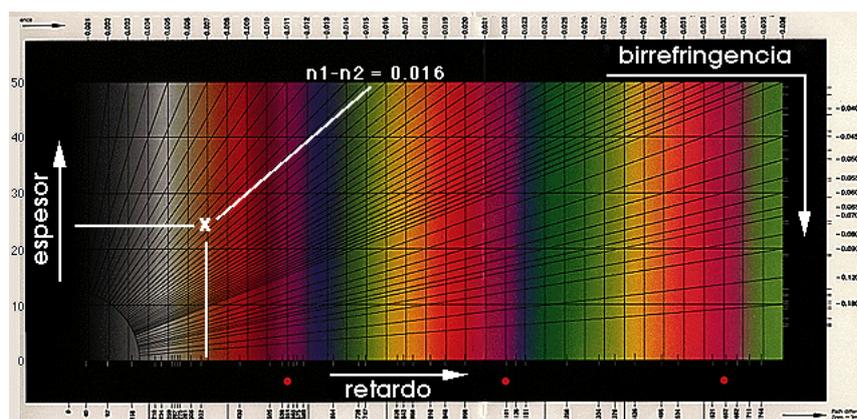
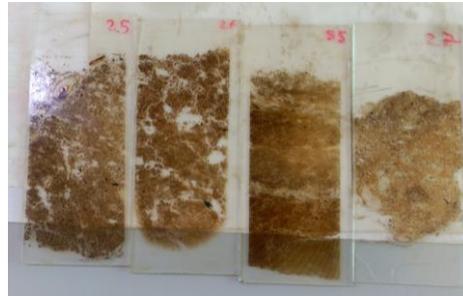


Figura 15: Escala de Michel-Lévy (Dorransoro, *et al.*, 2015)<sup>1</sup>.

Seguidamente se realiza un pulido manual, con lijas de aceite de 600 y 360, este pulido se realiza para quitar las secciones que tienen un mayor espesor de 30  $\mu\text{m}$  (Figura

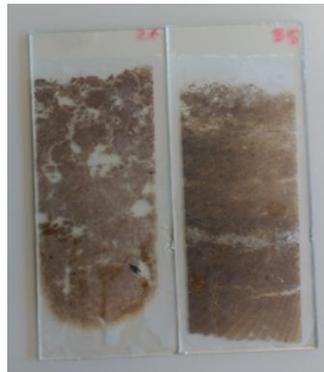
<sup>1</sup> Donde  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción de las ondas, los puntos rojos marcan los órdenes de los colores de interferencia.

16). Esto se debe hacer despacio y cuidadosamente para evitar dañar la lámina final. Para ver si la lámina tiene el grosor deseado en toda su superficie se utiliza el microscopio de luz polarizada cruzada.



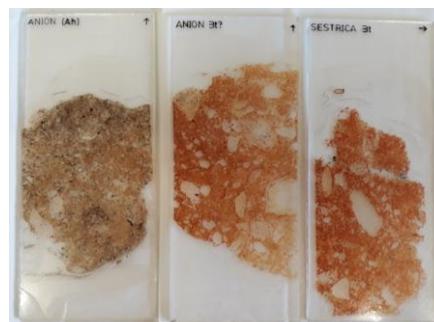
**Figura 16: Láminas delgadas tras el pulido manual.**

Una vez la lámina esta pulida, se hace una limpieza final en ultrasonidos con hexano durante 5 minutos y se deja secar entre papeles (Figura 17).



**Figura 17: Láminas delgadas tras la limpieza final.**

Finalmente, se escribe el nombre inicial de la muestra y la orientación (Figura 18). Se pone un papel encima de la lámina para evitar que se raye y se guarda entre papel de burbujas, para evitar que la lámina se rompa.



**Figura 18: Láminas delgada finales de las muestras de “Ah” y “Bt” de Aniñón y “Bt” de Sestrica.**

### 4.3. Interpretación de muestras

En primer lugar, se debe saber que el microscopio utilizado en la observación de las láminas delgadas se diferencia de un microscopio normal porque cuenta con un sistema de luz polarizada (polarizador y analizador), una platina giratoria graduada con sistema de centraje y la lente de Bertrand (Marco, 2018) (Figura 19).

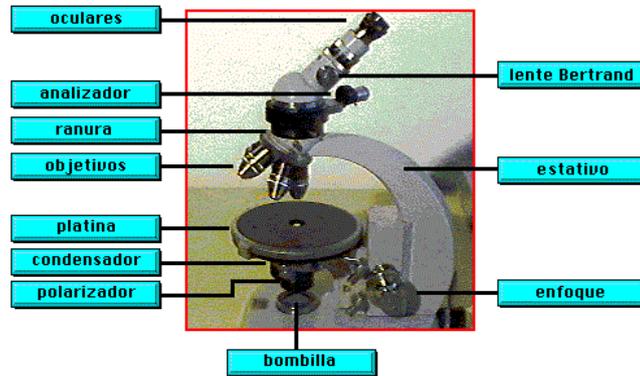


Figura 19: Microscopio petrográfico con luz polarizada cruzada (Dorronsoro, *et al.*, 2015).

La luz polarizada puede ser de dos tipos (Dorronsoro, *et al.*, 2015; Loaiza, *et al.*, 2015):

- La luz polarizada plana es producida por el polarizador, que se encuentra debajo de la muestra, hace que la vibración de la luz sea de este a oeste, por lo que es una vibración horizontal. Con esta luz, se puede estudiar:
  - Tamaño: los granos de un mismo mineral pueden tener un tamaño variable en función de las condiciones de formación.
  - La morfología: depende de la estructura cristalina del mineral.
  - El hábito: es la tendencia de la forma geométrica que adoptan los minerales, durante su formación.
  - El relieve relativo: es el contraste entre el índice de refracción de un mineral y de un bálsamo de Canadá o resina epoxi u otros minerales en contacto.
  - El color: es el resultado de la combinación de la reflexión, absorción y transmisión de la luz al incidir sobre el mineral, es decir, es la suma de las longitudes de onda no absorbidas por la luz que traspasa el mineral.
  - El pleocroísmo: es la capacidad de algunos minerales de absorber la luz de diferentes formas dependiendo de la dirección de vibración de la luz.

- La exfoliación: es la tendencia de fracturación de los minerales, depende del enlace químico y la estructura cristalina.
  - Alteraciones: son cambios en las condiciones fisicoquímicas de formación del mineral.
  - Otras propiedades: son inclusiones de sólidos, líquidos y/o gases en los minerales, es útil para determinar su formación.
- La luz polarizada cruzada es producida por el analizador, que se sitúa entre la muestra y los oculares, la vibración de la luz es de norte a sur, es decir, es una vibración vertical. El analizador puede estar enchufado o no en función de las propiedades que se quieran observar, por lo tanto cuando combinas el polarizador y el analizador se obtiene una vibración perpendicular de la luz. Se puede estudiar:
- La anisotropía óptica: los minerales anisotrópicos refractan la luz de diferente manera en función de cómo vibre, esto se debe a que los minerales tienen una estructura interna irregular.
  - El ángulo de extinción: hay cuatro posiciones de extinción distanciadas 90°, se corresponde con la vibración de la luz del polarizador y analizador. Sólo se observa en minerales anisotrópicos.
  - Los colores de interferencia: es el color del mineral anisotrópico con la luz polarizada cruzada. Para ello se utiliza la escala de Michel-Lévy (Figura 15), donde se muestran los colores de interferencia de los minerales en función de la birrefringencia (separación de la luz en dos), el retardo (nm) (es la diferencia entre el recorrido del rayo rápido y lento) y el espesor de la lámina ( $\mu\text{m}$ ). Esta escala divide los colores de interferencia en órdenes, según el retardo, la primera es de 0 a 550 nm, la segunda es de 550 a 1.100 nm, la tercera 1.100 a 1.650 nm, la cuarta es de 1.650 a 2.200 nm y así sucesivamente.
  - Las maclas: son la agregación regular de cristales individuales de un mineral que presenta diferentes orientaciones y son característicos de cada mineral.
  - Elongación: es la dirección de vibración del rayo rápido y lento del mineral.

Como se observa en la figura 20, cuando se trabaja sólo con el polarizador se observan los colores que absorben la luz, en cambio si también se trabaja con el analizador se debería ver oscuridad ya que al vibrar en dirección perpendicular al

polarizador la luz no pasa, aunque a veces se observan colores de interferencia debido a cristales anisótricos (Dorrnsoro, *et al.*, 2015).



**Figura 20: Diferencia de observación con luz polarizadora plana y cruzada (Dorrnsoro, 2018a).**

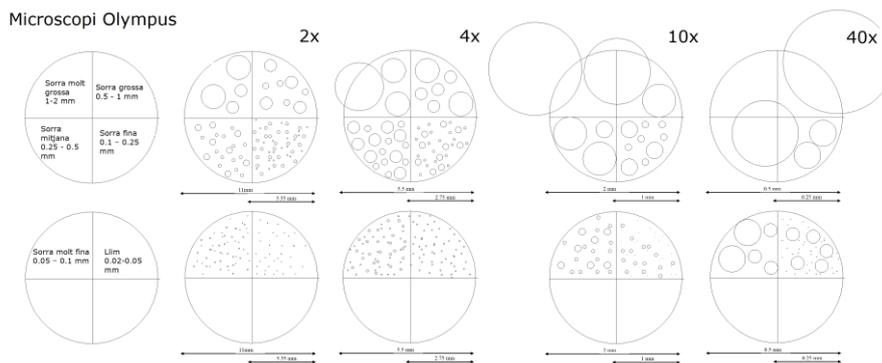
Para realizar la interpretación de las láminas delgadas, en primer lugar, se mira la lámina a simple vista, donde se mira si hay roturas en el vidrio, si hay suciedad y si el pulido es regular. Se coloca la lámina hacia abajo sobre un fondo blanco para observar los poros, la microestructura, trazas de mesofauna y la homogeneidad de la lámina (Poch, 2015).

Posteriormente, se revisa la lámina delgada con el microscopio petrográfico Olympus (Bx51) (Figura 21), con el polarizador paralelo y cruzado. Para observar la orientación de la lámina correctamente se debe colocar al revés en la platina. Mientras se examina la lámina se pueden anotar las características microscópicas más destacables del suelo (Poch, 2015).



**Figura 21: Microscopio petrográfico Olympus (Bx51) (Group Virtual Expo, 2018).**

Seguidamente, se estiman los porcentajes y tamaños de los distintos elementos que conforman el suelo. Estas estimaciones se realizan respecto a la superficie total de la lámina delgada. Para ello se utilizan diagramas de estimación (Poch, 2015). Se clasifica como: arena muy gruesa (1-2 mm), arena gruesa (0,5-1 mm), arena migajosa (0,25-0,5 mm), arena fina (0,1-0,25 mm), arena muy fina (0,05-0,1 mm), limo (0,02-0,05 mm) (Figura 22).



**Figura 22: Estimación del tamaño de los agregados (Laboratorio de micromorfología de la Universidad de Lérida, 2018).**

Posteriormente, se realiza la descripción de las láminas delgadas, donde se determina la organización del suelo, para ello, se mira la disposición, la forma, el tamaño y la densidad de los componentes del suelo. Seguidamente, se estima la morfología, el tamaño, la disposición, la abundancia y la organización de los poros. Después, se estudia el porcentaje, el tamaño, la morfología, la organización y el grado de alteración de los componentes minerales, orgánicos y antrópicos que contiene el suelo. Posteriormente, se analiza la fracción fina del suelo, a través del color, la birrefringencia (orientación y distribución de los colores de interferencia) y su abundancia relativa. A continuación, se calcula la relación entre los elementos gruesos y finos. Por último, se describen los edaforrasgos, que son alteraciones postdeposicionales de algunos materiales del suelo, como: revestimientos de arcilla, nódulos e impregnaciones de hierro, rasgos de actividad biológica, etc. (Stoops, 2003; Gómez, *et al.*, 2014).

Para llevar a cabo la descripción de los componentes descritos anteriormente se ha rellenado la siguiente ficha de interpretación micromorfológica de muestras.

Lámina n.			
Horizonte / Material		Profundidad (cm):	
Descrita por:		Fecha:	

**MICROESTRUCTURA**

	Forma	Tamaño	Grado separación
Primaria			
Secundaria			

**POROSIDAD**

Porosidad		% total			
Tipos de poros	Forma	Tamaño	Distribución	Acomodación*	Volumen %**

\* Sólo para poros planares. \*\* Tiene que sumar el total.

#### MASA BASAL

Límite g/f	μm
Relación g/f	
Distribución relacionada g/f	

#### COMPONENTES GRUESOS

Componente	Naturaleza	Tamaño	Forma	Volumen* %	Grado de alteración	Tipo de alteración	Orientación	Distribución

\* tiene que sumar el % de elementos gruesos que resulta de aplicar la relación g/f a 100-%poros

#### MICROMASA

<b>Observación con PPL:</b>	
Color	
Limpidez	
Composición	
<b>Observación con XPL:</b>	
Fábrica b	

#### MATERIAL ORGÁNICO

Tipo	Tamaño	Volumen (%)	Naturaleza	Grado descomposición

#### EDAFORRASGOS

	Naturaleza, tipo, forma, cantidad (absoluta o relativa), tamaño, distribución, orientación, grado de orticidad*
1	
2	
3	
4	

\* El grado de exhaustividad al describir el edaforrasgo va a variar en función de los objetivos de la descripción.

Para rellenarla, se debe tener en cuenta los principales aspectos a describir, que son: microestructura, porosidad, masa basal, micromasa, material orgánico y edaforrasgos (Loaiza, *et al.*, 2015; Stoops, 2003).

Por último, para ilustrar las descripciones de las láminas se hacen fotografías con el programa informático "Stream Essentials" (Olympus®). Las imágenes se realizan con luz polarizada plana (PPL) y luz polarizada cruzada (XPL).

## 5. Resultados

Los resultados del perfil del Moncayo, se exponen en la tabla 5.

Tabla 5: Resultados micromorfológicos del perfil del Moncayo.

Horizonte	Microestructura	Porosidad	Masa basal	Componentes gruesos	Micromasa	Materia orgánica	Edaforrasgos
O	Migajosa, con agregados muy separados	60% con poros de EC	-	Cuarzo	Arcilla, MOA y limo fino. Fábrica-b indiferenciada	Raíces, tallos y acículas, sin restos de carbón	Paso de fauna y excremento de dípteros
Ah	Migajosa, con agregados muy separados	50% con poros de EC	R g/f 1:2 y DR g/f porfírica cerrada	Cuarzo	Arcilla, MOA y limo fino. Fábrica-b indiferenciada	Raíces y acículas, flobafenizados y carbonizados	Paso de fauna y excrementos
E	Apedial, de tipo vesicular y de canales	25%	R g/f 1:1 y DR g/f porfírica de espacio simple	Cuarzo, biotita, areniscas cuarcíticas y micáceas	Arcilla, MOA y limo fino. Fábrica-b cristalítica sericítica (micácea)	Secciones de raíces frescas o flobafenizadas	Casquetes de limo encima de elementos gruesos y huecos en la parte inferior
Bhs	Granular, con agregados muy separados	50% con poros de EC	R g/f 1:2 y DR g/f porfírica de espacio simple	Cuarzo, areniscas cuarcíticas y micáceas	Arcilla, MOA, limo fino y óxidos de Fe. Fábrica-b cristalítica sericítica (micácea)	Secciones de raíces frescas o flobafenizadas	Casquetes de limo encima de los elementos gruesos y huecos en la parte inferior
Bt	Apedial, de tipo vesicular y de canales	30%	R g/f 2:1 y DR g/f porfírica cerrada.	Cuarzo, areniscas cuarcíticas y micáceas	Arcilla, MOA, limo fino y óxidos de Fe. Fábrica-b cristalítica sericítica (micácea)	Ausente	Revestimiento y rellenos de arcilla microlaminada, intercalados con limos finos. Fragmentos de revestimientos de arcilla microlaminada y Fe encima de elementos gruesos. Mezclas de los horizontes por fauna. Nódulos de óxidos de Fe.

Donde, EC es empaquetamiento compuesto; R es relación; DR es distribución relacionada; MOA es materia orgánica amorfa.

En primer lugar, se debe tener en cuenta que en el perfil del Moncayo que se encuentra en el apartado 3.1.1. "Perfil del pinar del Moncayo"18 en el campo se apreció un horizonte Bhs, en cambio a través de la micromorfología se ha determinado que ese horizonte en su parte superior es Bhs (24-35 cm) y en su parte inferior es Bt (50-60 cm).

Como se puede ver en la tabla 2, los horizontes O y Ah tienen unas características muy parecidas, ya que presentan una microestructura migajosa con agregados muy separados y poros de empaquetamiento compuesto; el principal elemento grueso es el cuarzo; la micromasa está formada por arcilla, materia orgánica amorfa y limo fino; su fábrica-b es indiferenciada y los edaforrasgos son el paso de fauna y excrementos (Figura 24 y Figura 26). La principal diferencia entre estos horizontes es que en la materia orgánica del horizonte O no se encuentran restos de carbón (Figura 23) y en el horizonte Ah se encuentran raíces y acículas flobafenizadas y carbonizadas (Figura 25).

En cuanto al horizonte E, la micromasa es la misma que en los horizontes superiores y la materia orgánica está flobafenizada como en el horizonte Ah. Sus diferencias con los horizontes superiores son que la microestructura es apedral de tipo vesicular y de canales; respecto a los elementos gruesos a parte del cuarzo también se encuentran biotita, areniscas cuarcíticas y micáceas; la fábrica-b es cristalítica sericítica (micácea) (Figura 27); los edaforrasgos son casquetes de limo encima de elementos gruesos y huecos en la parte inferior (Figura 28 y Figura 29).

Respecto al horizonte Bhs, la microestructura presenta agregados muy separados y poros de empaquetamiento como en los horizontes O y Ah, por otro lado, la fábrica-b (Figura 30), la materia orgánica (Figura 31) y los edaforrasgos son los mismos que en el horizonte E. Las diferencias con el horizonte E es que la microestructura es granular, la micromasa además de todos los elementos del horizonte E también está compuesta por óxidos de Fe; y los elementos gruesos de este horizonte son los mismos que en el horizonte E a excepción de la biotita que no está presente.

En relación al horizonte Bt, la microestructura es la misma que en el horizonte E, los elementos gruesos, la micromasa y la fábrica-b son los mismos que en el horizonte Bhs. Las diferencias con los horizontes superiores es que no hay presencia de materia orgánica y los edaforrasgos son diferentes ya que se aprecian revestimientos y rellenos de arcilla microlaminada, que se intercalan en los huecos con limos finos (Figura 32 y Figura 33); fragmentos de revestimientos de arcilla microlaminada y Fe encima de los elementos gruesos (Figura 34 y Figura 35); mezclas de los horizontes por actividad de la fauna; y nódulos de óxidos de Fe muy impregnados y contrastados (Figura 36).

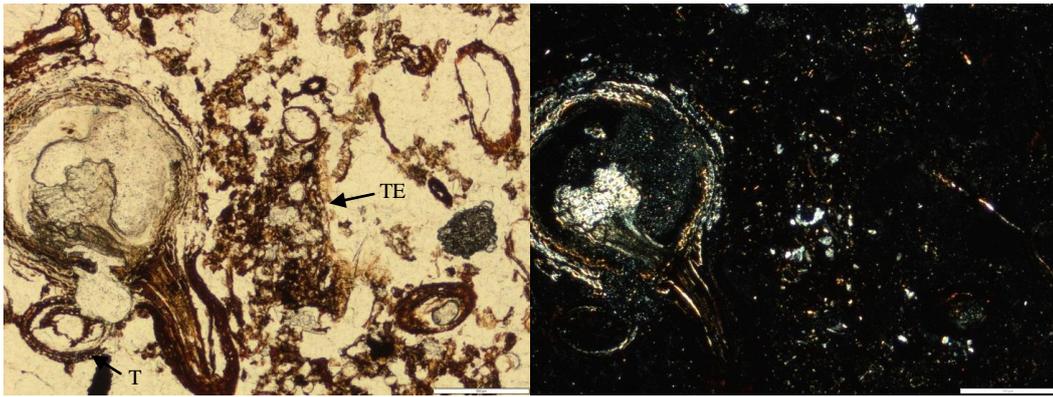


Figura 23: Secciones de tallos (T) y tejidos parcialmente degradados (TE) del horizonte O del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

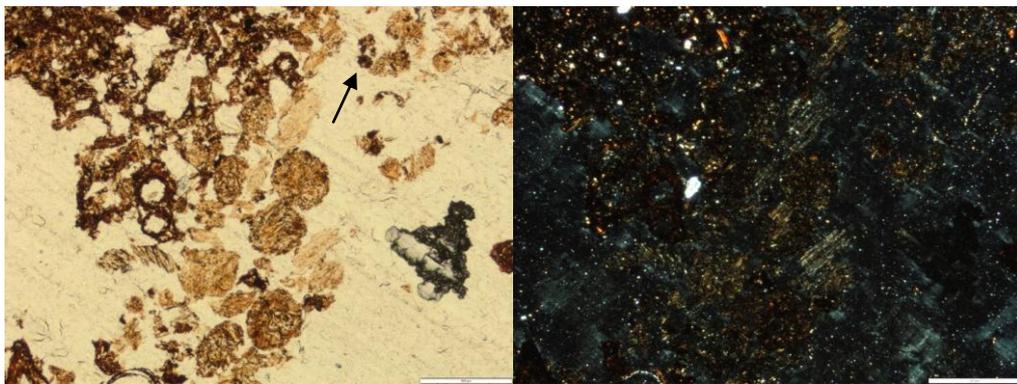


Figura 24: Excrementos de dípteros del horizonte O del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

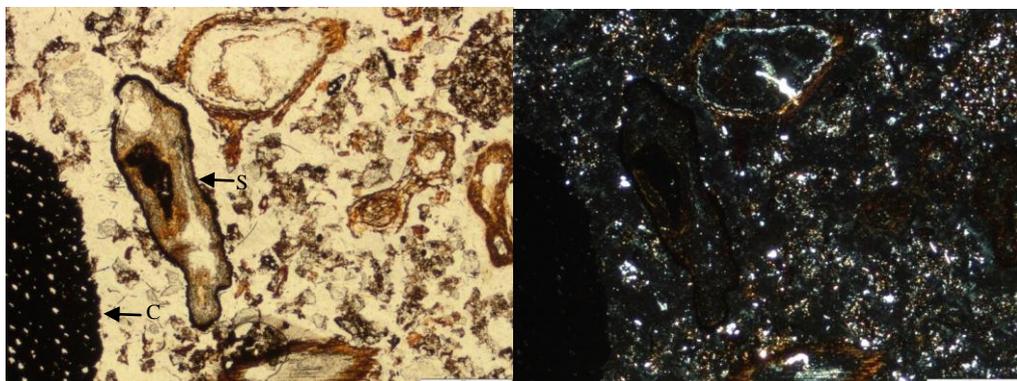


Figura 25: Secciones flobafenizadas de acículas de pino (S) y fragmentos de carbón (C) en la parte lateral izquierda del horizonte Ah del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

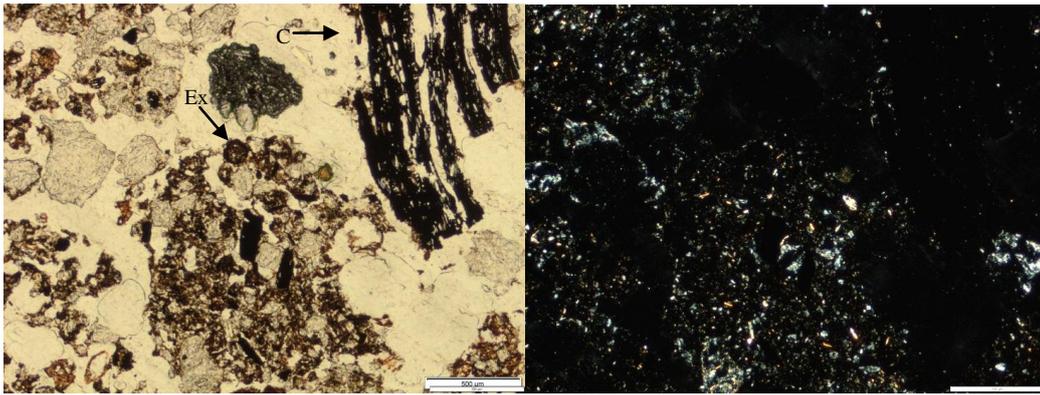


Figura 26: Excrementos (Ex) y fragmentos de carbón (C) en la parte superior derecha del horizonte Ah del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

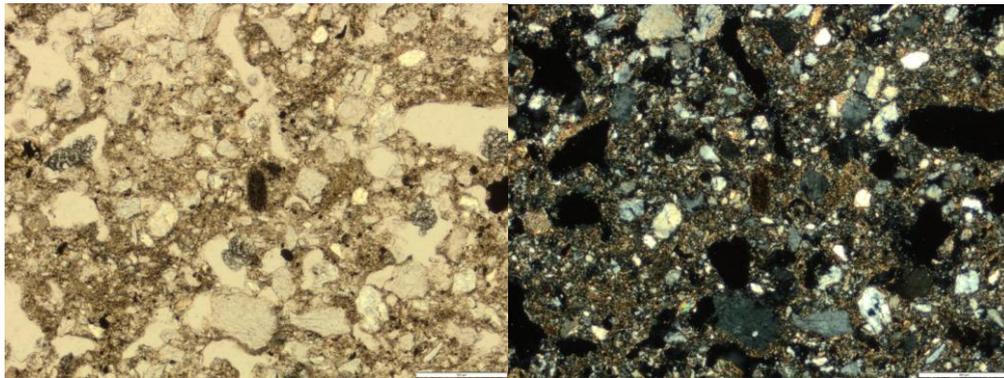


Figura 27: Masa basal con fábrica-b cristalítica sericítica y huecos de tipo canales del horizonte E del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

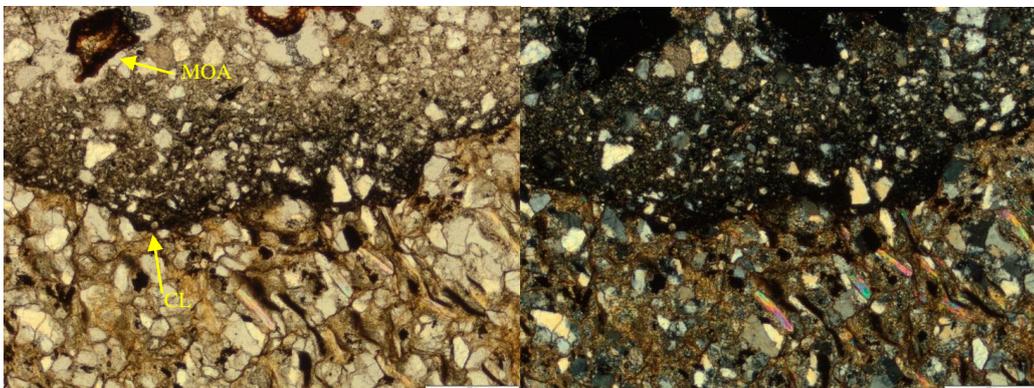


Figura 28: Casquete de limo (CL) y materia orgánica amorfa (MOA) en fragmento de arenisca cuarcítica del horizonte E del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

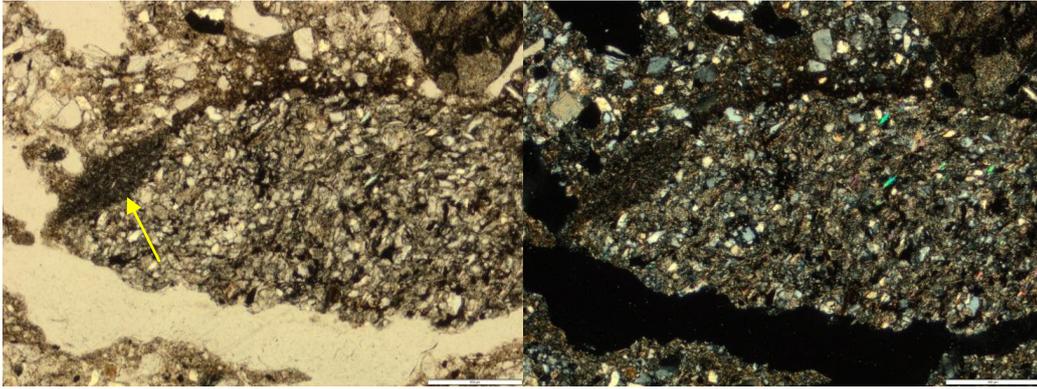


Figura 29: Casquete de limo en elemento grueso y hueco en la parte inferior del horizonte E del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

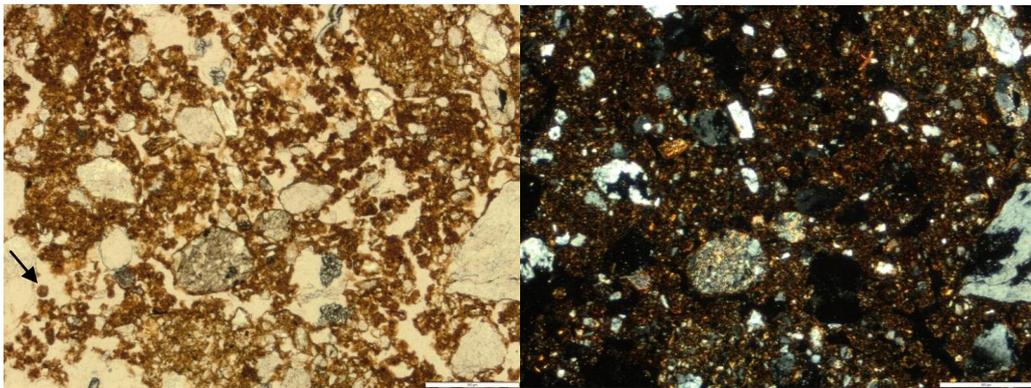


Figura 30: Actividad de fauna intensa, excrementos de colémbolos y fábrica-b cristalítica sericítica del horizonte Bhs del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

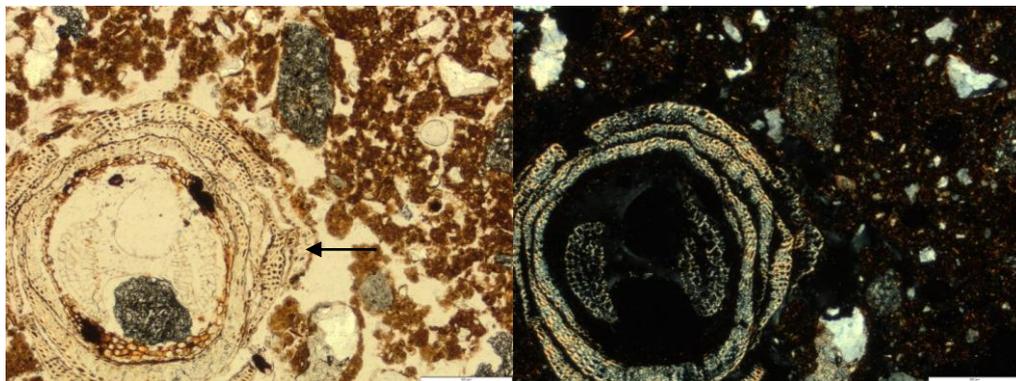


Figura 31: Sección de tallo flobafenizadas del horizonte Bhs del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

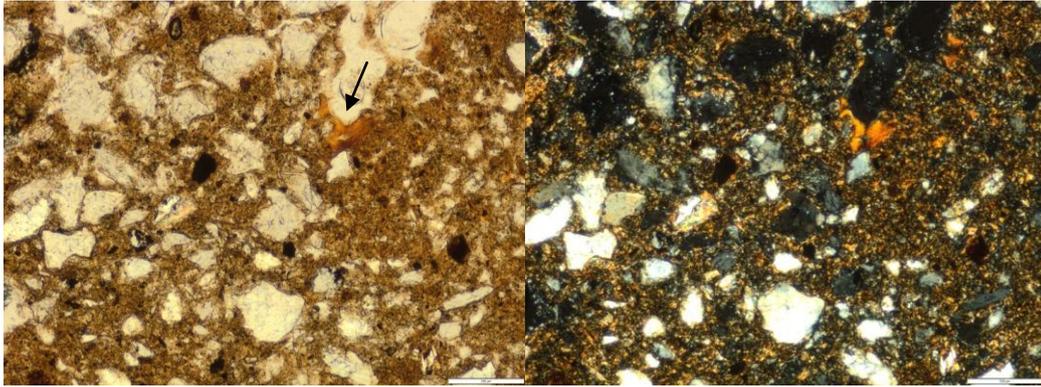


Figura 32: Revestimiento microlaminado de arcilla en un poro del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 200  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

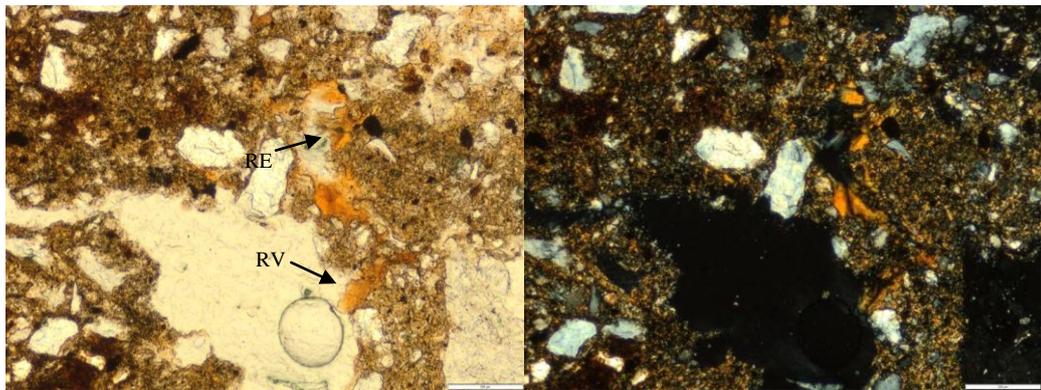


Figura 33: Revestimiento (RV) y relleno microlaminado de arcilla (RE) en un poro del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 200  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

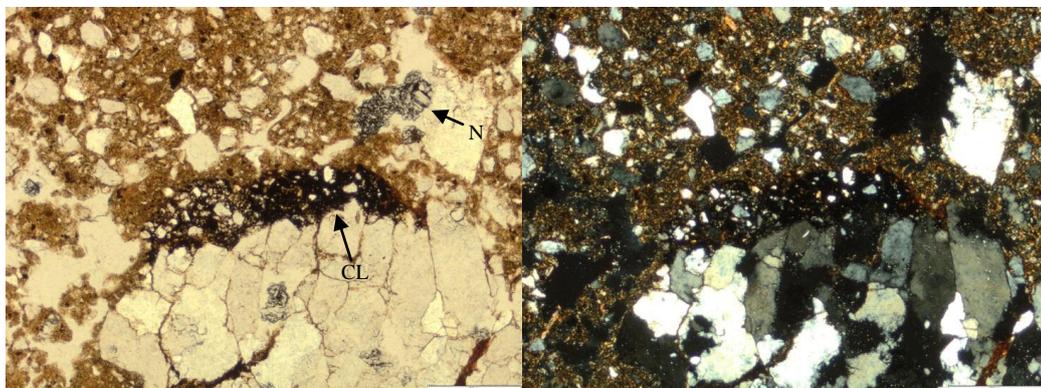


Figura 34: Casquete de limo (CL) y nódulos de óxido de Fe (N) en un fragmento grueso del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 200  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

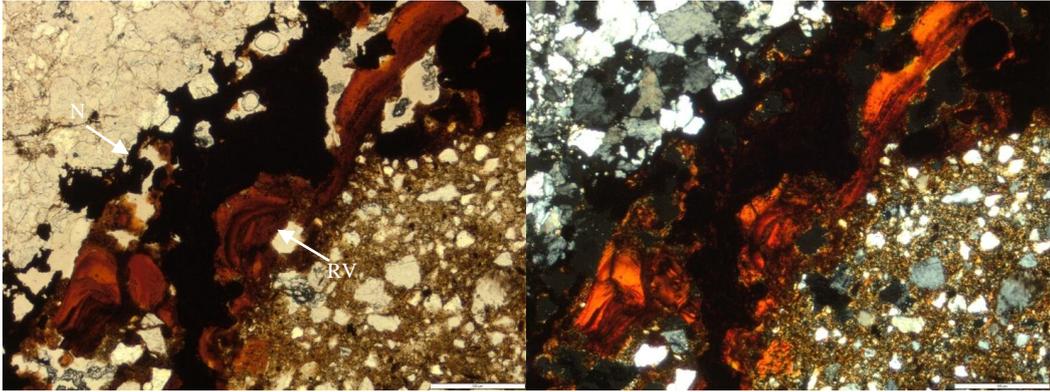


Figura 35: Revestimiento de arcilla microlaminada (RV) y nódulos de óxidos de Fe (goethita) (N) encima de un fragmento grueso de arenisca cuarcítica del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha). Sólo se encuentra en una cara, sin relación al espacio de poros actual.

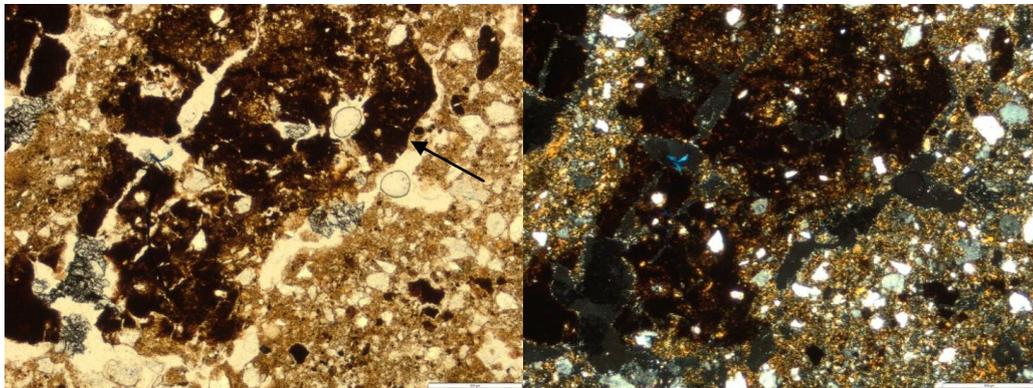


Figura 36: Nódulo fragmentado de óxidos de Fe del horizonte Bt del perfil del Moncayo. La escala gráfica es de 500  $\mu\text{m}$ ; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

Los resultados del perfil del Aniñón y Sestrica, se exponen en la tabla 6.

**Tabla 6: Resultados micromorfológicos de los perfiles de Aniñón y Sestrica.**

Horizonte	Microestructura	Porosidad	Masa basal	Componentes gruesos	Micromasa	Materia orgánica	Edaforrasgos	
Aniñón	Ah	PS migajosa con agregados muy juntos yuxtapuestos a los bloques angulares muy separados de la PI	40% con poros de EC, canales y cavidades	R g/f 1:2 y DR g/f porfírica cerrada	Cuarzo y fragmentos de roca	Arcilla, MOA y limos finos. Fábrica-b indiferenciada	Hifas y esclerocios de hongos, raíces parcialmente descompuestas por fauna y células vegetales	Excrementos y poros de empaquetamiento compuesto debidos a la formación de microagregados por la fauna
	Bt	Bloques subangulares muy separados	20% con fisuras bien acomodadas, canales y cavidades	R g/f 4:1 y DR g/f moteada al azar	Cuarzo y fragmentos de roca cuarcítica	Arena, limos finos y óxidos de Fe. Fábrica-b moteada en mosaico	Ausente	Nódulos de óxidos de Fe. Hiporrevestimientos de arcilla. Revestimientos microlaminados de arcilla. Rellenos de arcilla. Los rasgos de arcilla están deformados y fragmentados.
Sestrica	Bt	Bloques angulares muy separados	30% con cavidades, fisuras con acomodación moderada y canales	R g/f 4:1 y DR g/f moteada al azar	Cuarzo y fragmentos de roca cuarcítica	Arena, limos finos y óxidos de Fe. Fábrica-b moteada en mosaico	Células vegetales y raíces parcialmente descompuestas por fauna	Nódulos de óxidos de Fe. Hiporrevestimientos de arcilla. Revestimientos de arcilla microlaminada. Rellenos de arcilla. Los rasgos de arcilla están deformados y fragmentados y los fragmentos de revestimientos están mezclados con la masa basal.

Donde, PS es parte superior; PI es parte inferior; EC es empaquetamiento compuesto; R es relación; DR es distribución relacionada; MOA es materia orgánica amorfa.

Como se puede ver en la tabla 3, en los horizontes Ah y Bt de Aniñón se encuentran los mismos elementos gruesos, cuarzo y fragmentos de roca cuarcítica (Figura 39 y Figura 45). La porosidad de los horizontes está compuesta por canales y cavidades, además, en el horizonte Ah también se aprecian poros de empaquetamiento (Figura 38), en cambio en el horizonte Bt no hay poros de empaquetamiento, pero se encuentran fisuras bien acomodadas (Figura 44).

En el resto de características micromorfológicas difieren. En el horizonte Ah la microestructura en la parte superior es migajosa con agregados muy juntos que se yuxtaponen a los bloques angulares muy separados de la parte inferior (Figura 37). En cambio en el horizonte Bt la microestructura son bloques subangulares muy separados (Figura 43).

La micromasa del horizonte Ah está compuesta por arcilla, limos finos y materia orgánica amorfa, la abundancia de esta última hace que la fábrica-b sea indiferenciada. La materia orgánica que se encuentra son hifas y esclerocios de hongos, raíces parcialmente descompuestas por fauna y células vegetales (Figura 40 y Figura 41). En el horizonte Bt la micromasa está compuesta por arena, limos finos y óxidos de Fe. Su fábrica-b es moteada en mosaico (Figura 46). En este horizonte no hay presencia de materia orgánica.

Los edaforrasgos del horizonte Ah son excrementos cónicos o cilíndricos que rellenan canales y cavidades, además de poros de empaquetamiento compuesto debido a la formación de microagregados por la fauna (Figura 42). Los edaforrasgos del horizonte Bt son nódulos de óxido de Fe órticos y anórtico típicos (Figura 47); hiporrevestimientos y revestimientos microlaminados de arcilla que se encuentran alrededor de cavidades, canales y fisuras (Figura 48 y Figura 49); por último, se encuentran frecuentes rellenos de arcilla en canales son densos e incompletos y en fisuras son típicos y en medialuna (Figura 50).

En el horizonte Bt de Sestrica la microestructura es la misma que en la parte inferior del horizonte Ah de Aniñón, bloques angulares muy separados (Figura 51). La porosidad es la misma que en horizonte Bt de Aniñón, cavidades, canales y fisuras, pero las fisuras tienen una acomodación moderada. Los elementos gruesos son los mismos que en el horizonte A y Bt de Aniñón, cuarzo y fragmentos de roca cuarcítica. La micromasa es la misma que en el horizonte Bt de Aniñón, arenas, limos finos y óxidos de Fe y fábrica-b moteada en mosaico (Figura 52). La materia orgánica que se encuentra en este horizonte son células vegetales (Figura 53) y raíces parcialmente descompuestas (Figura 54), elementos que también se aprecian en el horizonte Ah de Aniñón.

Los edaforrasgos del horizonte Bt de Sestrica coinciden con los del horizonte Bt de Aniñón, ya que son nódulos de óxidos de hierro órticos y anórticos típicos (Figura 55); hiporrevestimientos y revestimientos típicos microlaminados de arcilla alrededor de cavidades, canales y fisuras (Figura 56 y Figura 57); por último, se encuentran escasos rellenos sueltos y discontinuos de arcilla en cavidades y canales (Figura 58). En los dos horizontes Bt los rasgos de arcilla están deformados y fragmentados. Pero en el horizonte Bt de Sestrica, algunos de los fragmentos de revestimientos están mezclados con la masa basal.

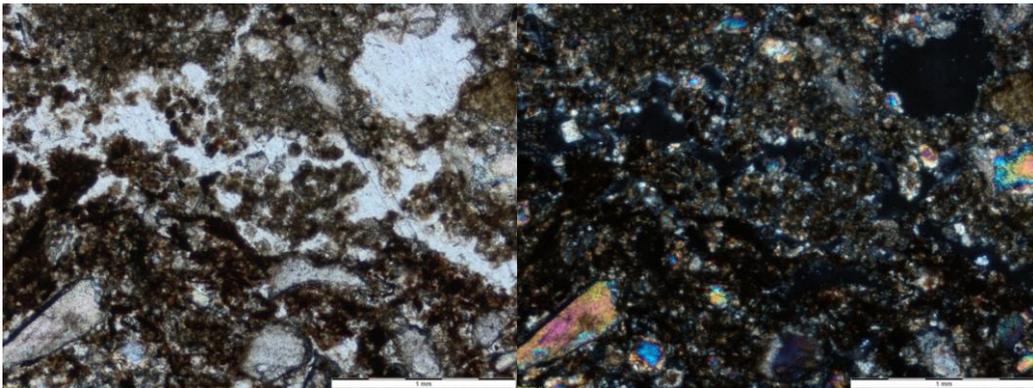


Figura 37: Microestructura migajosa yuxtapuesta a los bloques angulares del horizonte Ah del perfil del Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

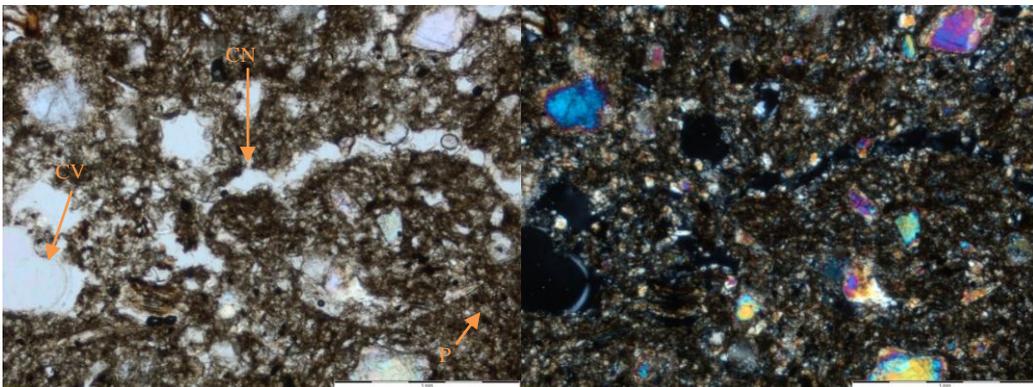


Figura 38: Canales (CN), cavidades (CV) y poros de empaquetamiento compuesto (P) del horizonte Ah del perfil del Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

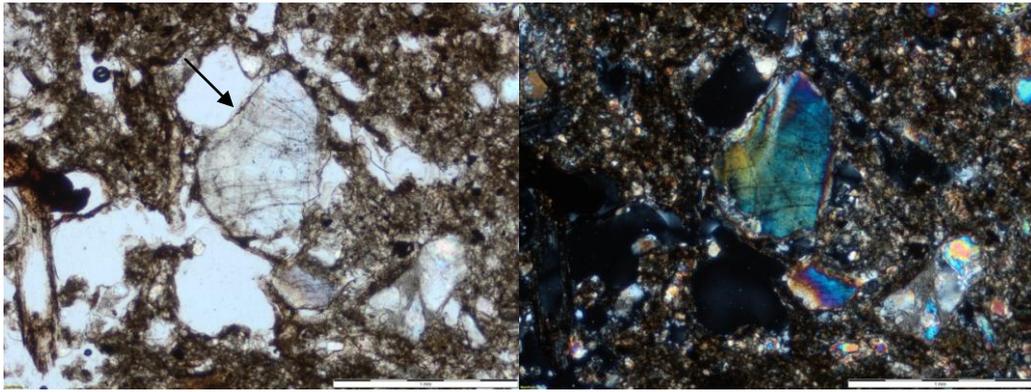


Figura 39: Fragmento angular de cuarzo con grietas del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

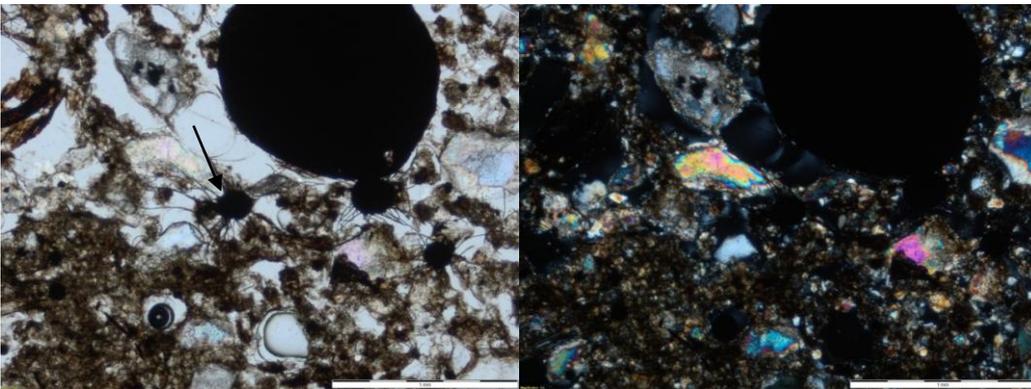


Figura 40: Hifas y esclerocios de hongos frescos del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

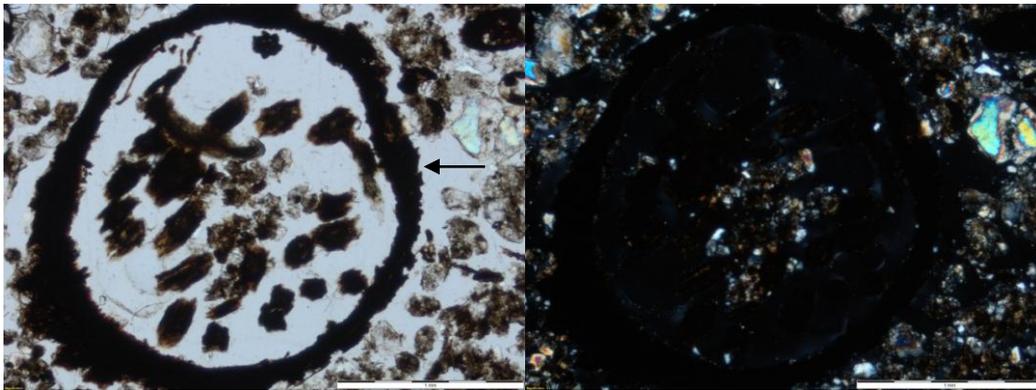


Figura 41: Excrementos con un tamaño de arena muy gruesa dentro de un resto de raíz del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

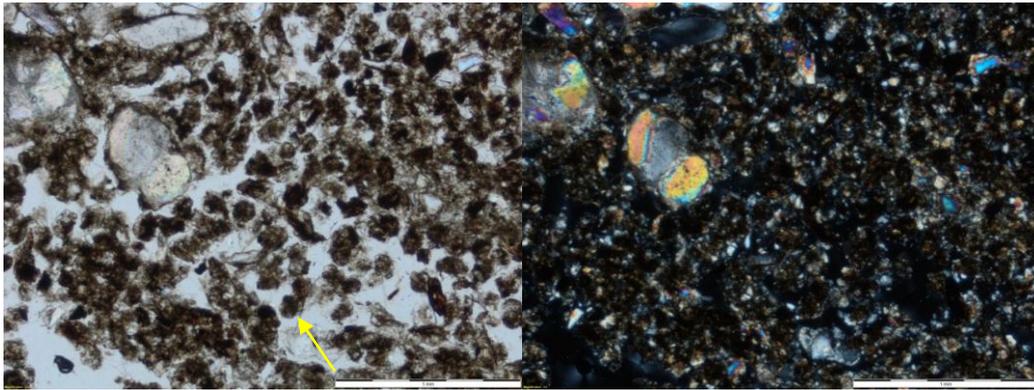


Figura 42: Excrementos cónicos de fauna con un tamaño de arena media del horizonte Ah del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

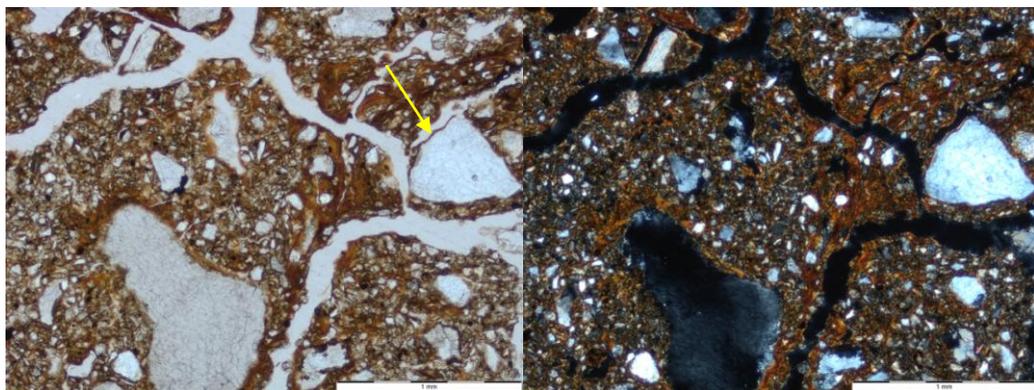


Figura 43: Microestructura en bloques subangulares del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

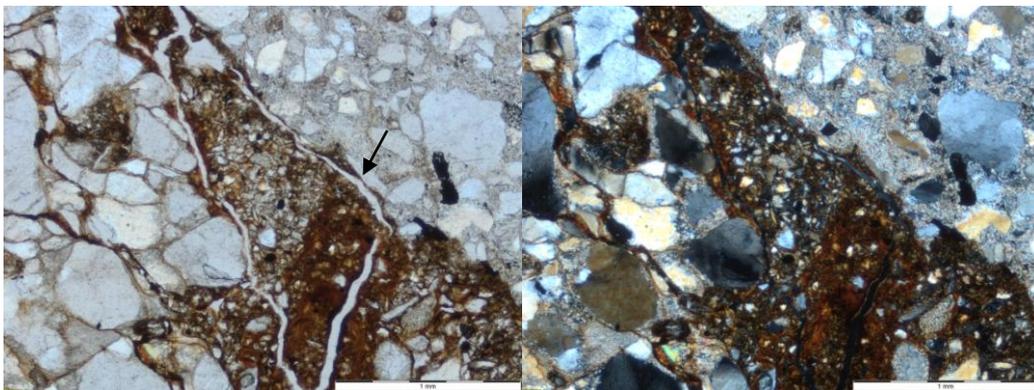


Figura 44: Fisuras bien acomodadas entre bloques subangulares del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

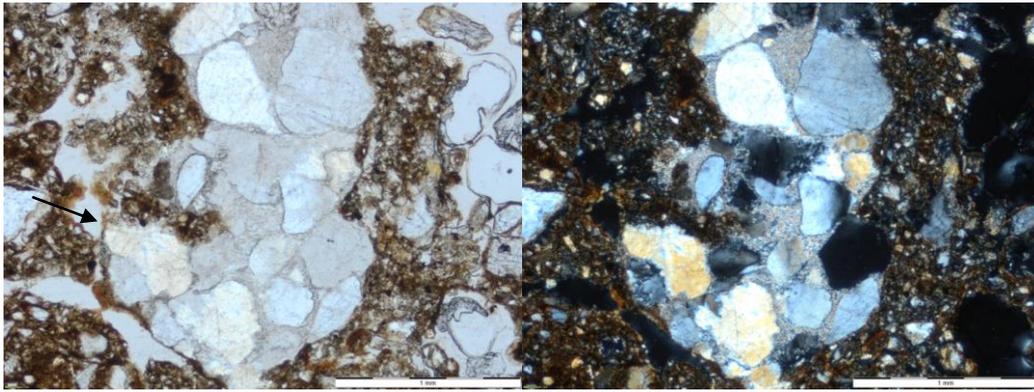


Figura 45: Fragmento de roca cuarcítica con alteración de las plagioclasas a la sericita del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

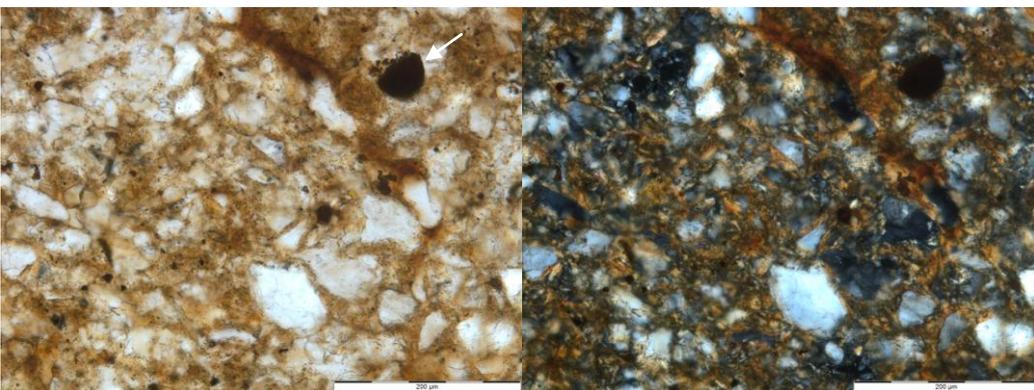


Figura 46: Fábrica-b moteada en mosaico y nódulo de óxido de hierro en la parte superior derecha del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

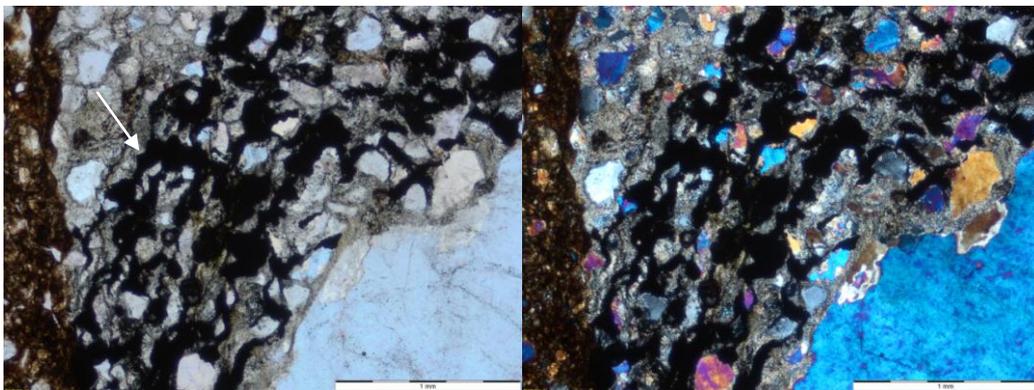


Figura 47: Nódulos órticos agregados de óxido de hierro alrededor de un grano de cuarzo del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

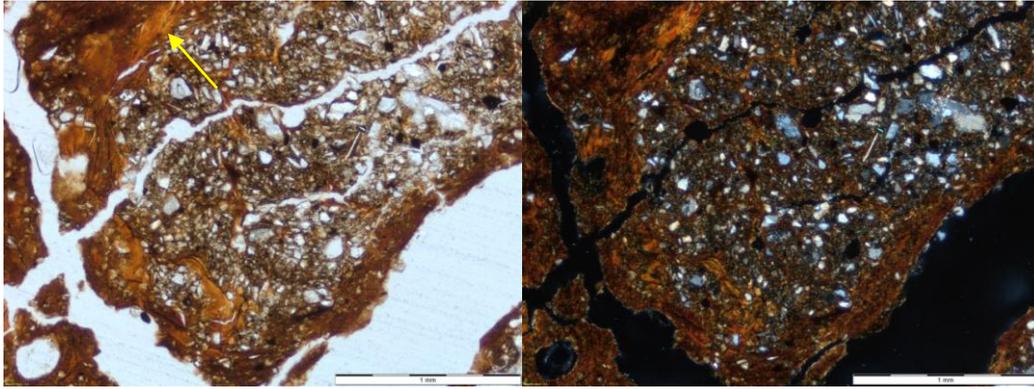


Figura 48: Hiporrevestimiento de arcilla alrededor de canales y cavidades del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

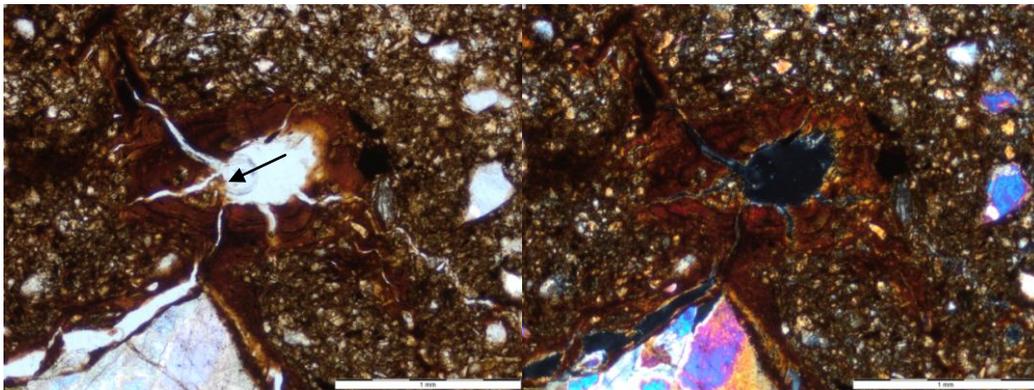


Figura 49: Revestimiento microlaminado de arcilla en cavidades y fisuras del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

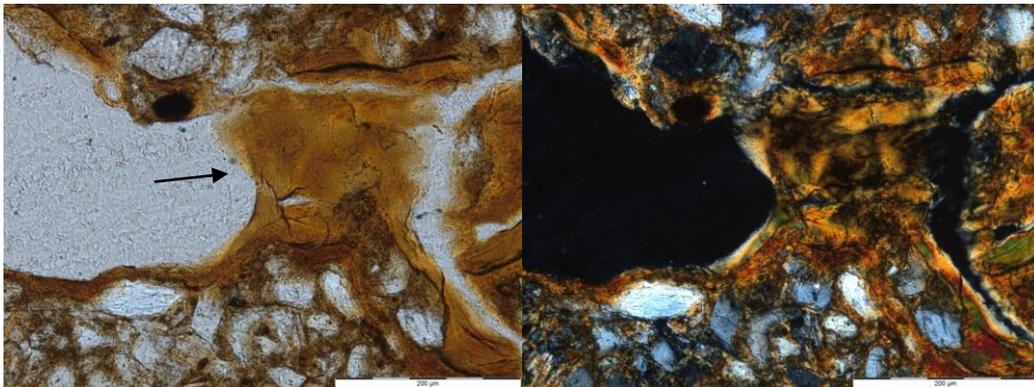


Figura 50: Relleno de arcilla denso e incompleto en un canal del horizonte Bt del perfil de Aniñón. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

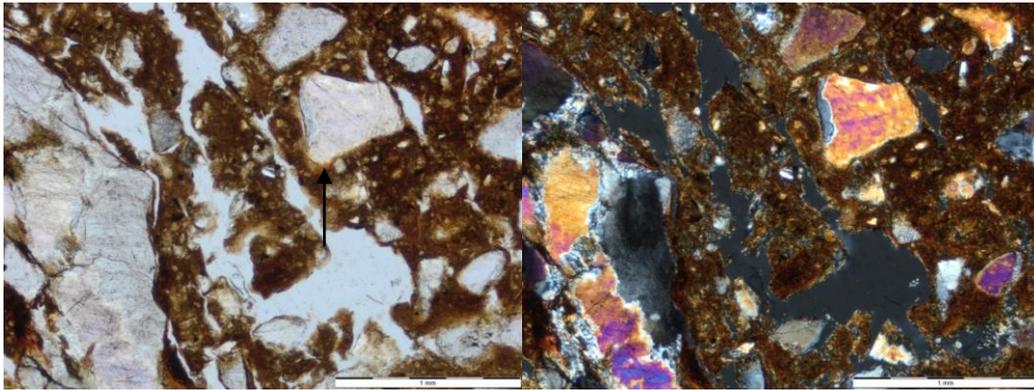


Figura 51: Microestructura en bloques angulares de 1 cm del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

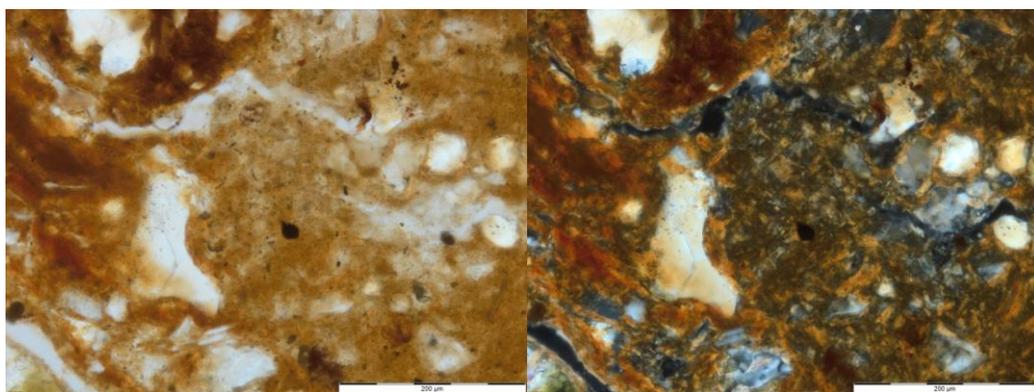


Figura 52: Fábrica-b moteada en mosaico del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

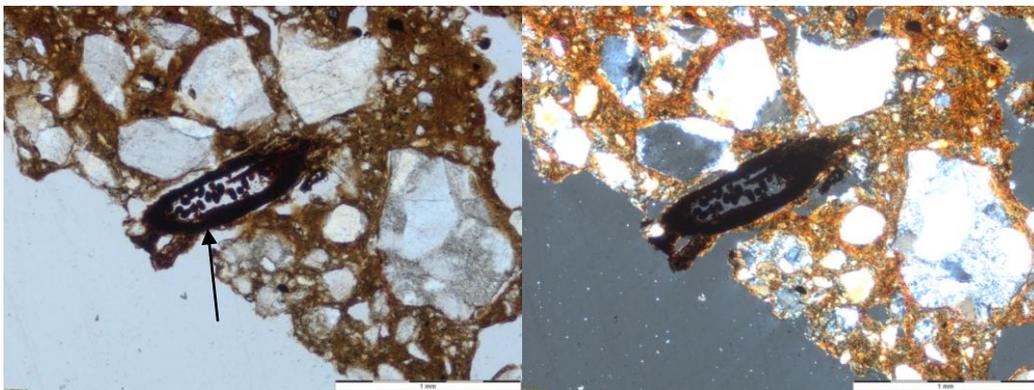


Figura 53: Resto de raíz parcialmente descompuesta con excrementos de ácaro en su interior, con un tamaño de arena gruesa del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

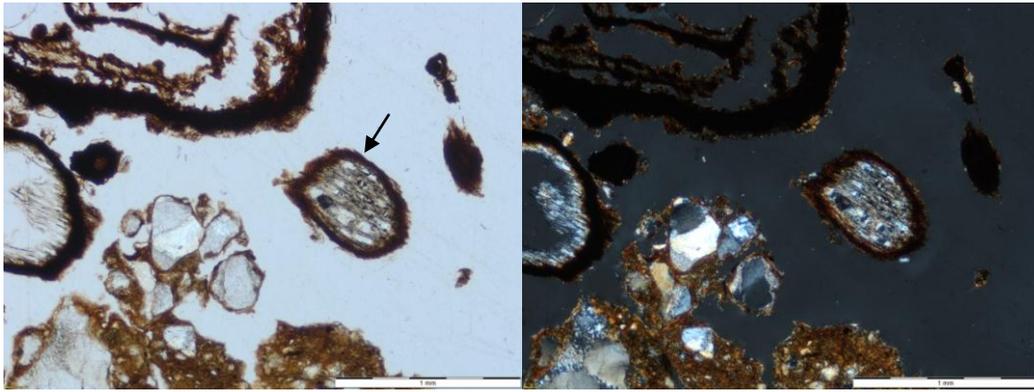


Figura 54: Secciones de raíces parcialmente descompuestas del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

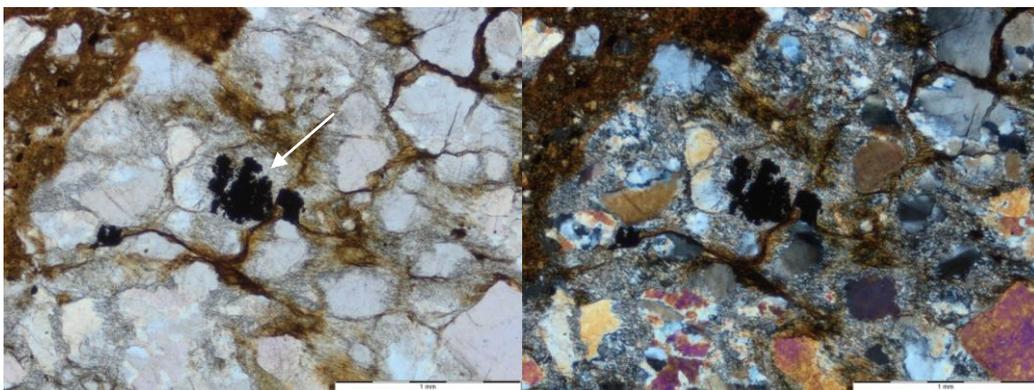


Figura 55: Nódulo óxico agregado de óxido de hierro con un tamaño de arena gruesa del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 1 mm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).

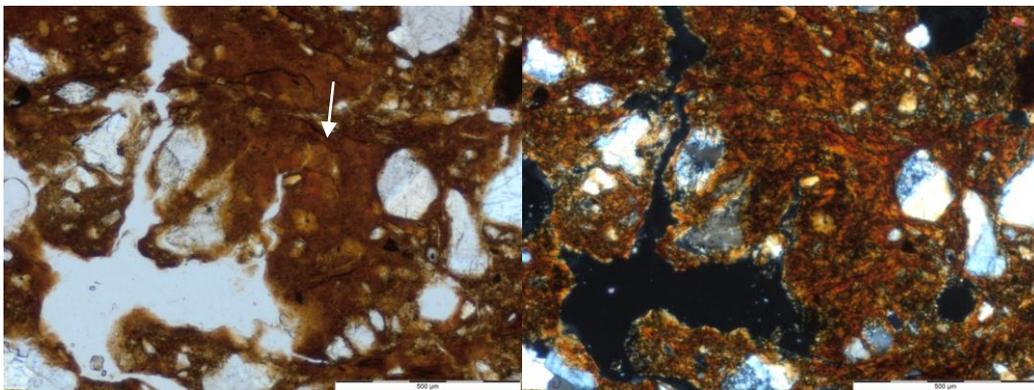
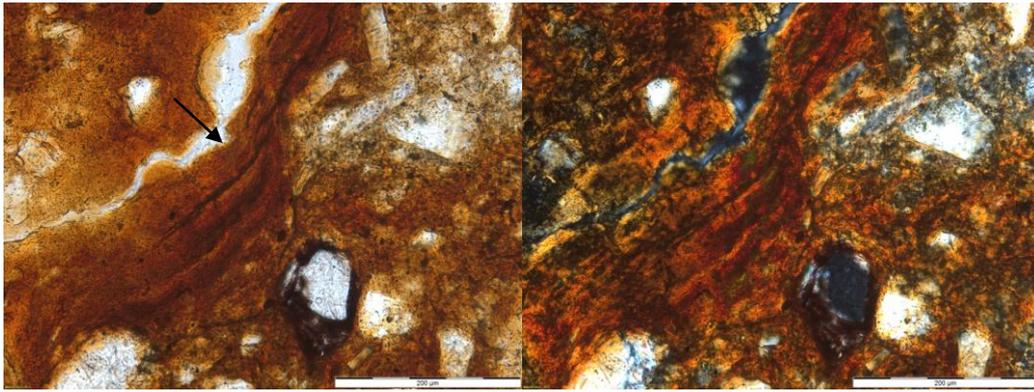
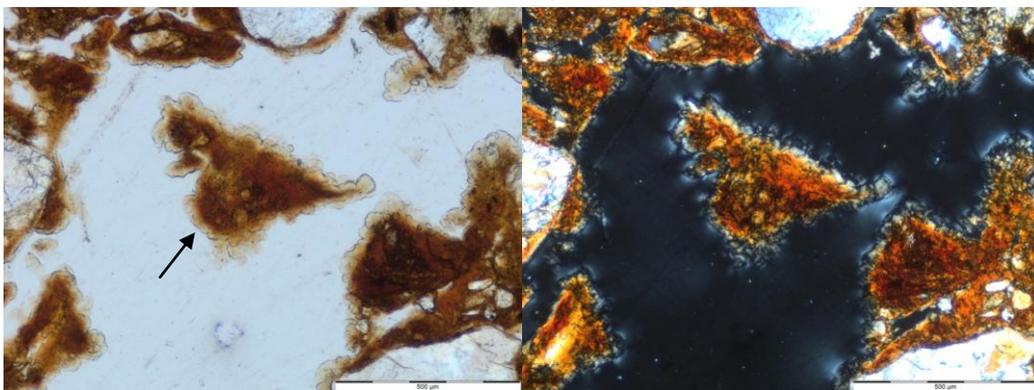


Figura 56: Hiporrevestimiento de arcilla muy deformado (microlaminación alterada) alrededor de cavidades y canales del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).



**Figura 57: Revestimiento microlaminado de arcilla gruesa alrededor de un canal del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 200 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).**



**Figura 58: Relleno de arcilla suelta y discontinuo en una cavidad del horizonte Bt del perfil de Sestrica. La escala gráfica es de 500 µm; en PPL (izquierda) y XPL (derecha).**

Si se comparan los perfiles entre sí, se observa que la microestructura de los horizontes superficiales, O y Ah, en los dos perfiles es migajosa y se aprecian poros de empaquetamiento compuesto. Además, los edaforrasgos que se encuentran son excrementos de fauna. La micromasa del horizonte Ah de Aniñón coincide con los horizontes O, Ah y E del Moncayo, aunque su fábrica-b sólo coincide con los horizontes O y Ah debido a la abundante materia orgánica. El cuarzo se encuentra presente en todos los horizontes de los perfiles. Los edaforrasgos comunes que se encuentran en los horizontes Bt de los dos perfiles son revestimientos microlaminados y rellenos de arcilla y nódulos de óxidos de Fe.

Como se observa en el perfil del Moncayo que se encuentra en el apartado 3.1.1. "Perfil del pinar del Moncayo"<sup>18</sup> en el campo se apreció un horizonte Bhs, en cambio a través de la micromorfología se ha determinado que ese horizonte en su parte superior es Bhs (24-35 cm) y en su parte inferior es Bt (50-60 cm).

Además, en los horizontes E y Bhs del Moncayo se han encontrado casquetes de limo encima de elementos gruesos y huecos en la parte inferior, esto se puede deber a procesos de crioturbación.

En las muestras de Aniñón y Sestrica los rasgos de arcilla están deformados lo que puede indicar que el proceso de iluviación no está activo, es decir, que son paleorrasgos formados en climas distintos durante el cuaternario, que han sido alterados posteriormente.

En los dos perfiles, Moncayo y Sierra de la Virgen (Aniñón y Sestrica), se han apreciado nódulos de óxidos de Fe, que pueden estar asociados a procesos de oxidación-reducción.

Como se pueden comprobar en las tablas 2, 3 y 4, los resultados obtenidos a través de la micromorfología se corroboran con los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio.

## **6. Discusión**

En los suelos de estudio se han observado diferentes procesos, por ello se va a discutir si son procesos de formación de los suelos.

### **6.1. Podzolización**

El proceso de podzolización se caracteriza por tener una fuerte acidez, que produce que la materia orgánica se descomponga lentamente y libere compuestos orgánicos ácidos que alteran los minerales y liberan elementos insolubles como Fe y Al, que son transportados por el agua de lluvia y al juntarse con la materia orgánica forman queluvios en horizontes más profundos (horizontes iluviales). Por ello, los horizontes iluviales están enriquecidos con los elementos de los horizontes superiores (materia orgánica, óxidos de Fe y Al eluviados) (Dorrnsoro, 2018b).

El pH del suelo del Moncayo es ácido, ya que oscila entre 4 y 5. Además en su horizonte Bt se encuentran nódulos de hierro muy impregnados y contrastados (Figura 36). A través de la micromorfología no se ha podido determinar si los nódulos de Fe contenían materia orgánica, aunque analíticamente se observaron acumulaciones de materia orgánica, Fe y Al en el horizonte iluvial (Bhs).

Este tipo de suelos, se encuentran principalmente en zonas templadas y boreales del hemisferio norte, en terrenos planos y con colinas, bajo brezales y/o bosques de coníferas. En el campo se identifica porque el horizonte eluvial tiene una apariencia de ceniza gris, el horizonte iluvial presenta materia orgánica negra y/o óxidos de Fe rojizos y la roca madre es material meteorizado de roca sílicea (IUSS Working Group WRB, 2015). Todo ello coincide con el perfil del Moncayo, ya que sitúa bajo una vegetación de pino royo con sotobosque de acebo, mirtillo y brezos. Además el horizonte Ah tiene un color gris parduzco, en el horizonte Bhs se encuentran acumulaciones de materia orgánica y

sesquióxidos de Fe y Al, y el material original es un depósito de geliflujión dominado por arenisca cuarcítica.

## **6.2. Crioturbación**

La crioturbación es un proceso de movilización de material del suelo como consecuencia de la acción de hielo y deshielo repetida a lo largo del tiempo (Porta, *et al.*, 2014).

La presencia de casquetes es un indicador de suelos afectados por crioturbación, característica que se observa en suelos de ambiente periglacial, por el mayor poder dispersante del agua de deshielo (Paladino, *et al.*, 2017). Además, la crioturbación se relaciona con la presencia de fisuras debajo de los elementos gruesos, ya que es donde se forman las lentes de hielo, que al aumentar de volumen hace ascender los elementos gruesos. Tras fundirse el hielo, los huecos son rellenados por materia orgánica o material suelto del horizonte (Kovda y Lebedeva, 2013). En el horizonte E y Bhs del Moncayo se encuentran casquetes de limo y huecos debajo que están sin rellenar (Figura 29), lo que indica que los procesos de crioturbación que se dan en este perfil son recientes.

Este proceso se corresponde con el clima actual, ya que la temperatura media anual de la zona es 6,3°C y la precipitación media anual es de 978 mm. Además, el régimen de temperatura actual de este perfil es frígido, lo que indica que la temperatura media anual del suelo es inferior a 8°C, aunque la diferencia de temperaturas entre verano e invierno es superior a los 6°C (Ruiz, 2015).

## **6.3. Procesos redox**

Los procesos redox del suelo son su capacidad reductora u oxidativa. A estos procesos van ligados otros factores como la aireación, el pH, el agua y la materia orgánica. Estos procesos afectan principalmente a O, N, Fe, Mn, S y C. En suelos bien aireados el oxígeno se reduce ya que acepta los electrones de los elementos químicos del suelo que ceden electrones y se ven oxidados. En los suelos encharcados el medio es oxidado y los elementos químicos son reducidos, los óxidos de Fe y Mn son más solubles y por tanto más móviles (Ibáñez, 2008).

Los nódulos son rasgos edáficos equidimensionales que no están relacionados con la matriz del suelo y que no están formados por cristales. Los nódulos de óxidos de hierro se pueden encontrar en diferentes ambientes, si el suelo ha estado varias semanas saturado de agua se forman nódulos amarillos muy impregnados con tonalidades de pardo a pardo oscuro, este color se debe a la goethita un óxido de hierro de orden bajo. En la parte más profunda de los perfiles los nódulos son irregulares (órticos), en la parte

superficial los nódulos son lisos y abruptos (disórticos), si los nódulos son abruptos y la masa basal es diferente a la de los agregados se dice que son heredados (anórticos) (Stoops, 2015).

En el perfil del Moncayo, los nódulos de óxidos de Fe se encuentran en el horizonte Bt a una profundidad de 50-60 cm y son nódulos típicos (Figura 36). En el perfil de Aniñón, los nódulos de óxidos de Fe aparecen en el horizonte Bt a una profundidad de 70-90 cm. Los nódulos son órticos y anórticos típicos (Figura 47). En el perfil de Sestrica, los nódulos de óxidos de Fe se encuentran en el horizonte Bt a una profundidad de 70-100 cm y son nódulos anórticos típicos y órticos agregados (Figura 55). En todos los perfiles los nódulos son de color pardo y están muy impregnados y contrastados.

La formación de los nódulos de Fe está ligada al drenaje del suelo, en el suelo del Moncayo el régimen de humedad es údico, indica que es un clima húmedo y tiene un régimen de precipitaciones bien distribuido a lo largo del año. En Aniñón y Sestrica el régimen de humedad es xérico, indica un clima mediterráneo con inviernos húmedos y fríos y veranos cálidos y secos. En ambos casos en los meses que la precipitación es mayor se pueden producir lixiviaciones (Dorronsoro, *et al.*, 2010). Por lo que la formación de nódulos de óxidos de Fe se corresponde con el drenaje actual de los suelos estudiados.

#### **6.4. Iluviación de arcilla**

El proceso de iluviación de arcilla consiste en la migración de la arcilla de los horizontes superficiales a los horizontes más profundos del suelo. Este proceso comienza con la infiltración del agua de lluvia sobre los horizontes superficiales que junto a condiciones físico-químicas específicas hacen que las partículas de arcilla entren en suspensión y migren a través de los poros a los horizontes más profundos del suelo, cuando se toma con un horizonte seco, absorbe el agua y las partículas de arcilla se adhieren a las paredes del poro de forma paralela (Dorronsoro, 2018b).

Según Acevedo-Sandoval, *et al.* (2004) las características micromorfológicas principales del proceso de argiluvación son los rellenos y revestimientos microlaminares de color amarillo debido al hierro que a veces contienen. En el perfil del Moncayo los revestimientos son de color amarillo y rojo, lo que indica que son arcillas 2:1 y que probablemente contienen hierro. En cambio en los perfiles de Aniñón y Sestrica los revestimientos son de color marrón.

En el perfil del Moncayo se encuentran revestimientos y rellenos (Figura 33). Están formados por arcilla microlaminada que se intercala con limos finos en los huecos. Algunos revestimientos están fragmentados y mezclados con la masa basal del suelo,

esto indica que son rasgos envejecidos. Por ello, la identificación de rasgos de iluviación de arcilla en este perfil no puede explicarse como actual o al menos ocurriendo a la vez que la podzolización, ya que las condiciones de formación no son compatibles, debido a que la iluviación de arcilla se produce a un pH comprendido entre 6,5 y 5 (Sauer, *et al.*, 2013) y la podzolización se produce a un pH comprendido entre 3,5 y 4,5 (Ibáñez y Manríquez, 2012b). Además en la iluviación de arcillas hay menos óxidos de Fe y Al en el suelo (Ibáñez y Manríquez, 2012a), en cambio en la podzolización hay más óxidos de Fe y Al que no permiten la movilización de arcillas (Ibáñez y Manríquez, 2012b), por lo que se deduciría que la iluviación de arcillas es un proceso anterior a la podzolización. El reemplazo del proceso de argiluvación por el de podzolización pudo deberse a la sustitución del hayedo por el pinar de reforestación, ya que en el pinar se acumula una mayor cantidad de materia orgánica lo pudo ayudar acidificar el suelo (D'Amico, *et al.*, 2013).

En el perfil de Aniñón se aprecian hiporrevestimientos y revestimientos de arcilla microlaminada alrededor de cavidades, canales y fisuras (Figura 48 y Figura 49). También hay rellenos de arcilla densos e incompletos en canales y típicos y en medialuna en fisuras (Figura 50). Estos se encuentran parcialmente deformados y fragmentados.

En el perfil de Sestrica se encuentran hiporrevestimientos y revestimientos de arcilla microlaminada alrededor de cavidades, canales y fisuras (Figura 56 y Figura 57). En cavidades y canales se aprecian rellenos de arcilla sueltos y discontinuos (Figura 58). Estos se encuentran deformados y fragmentados. Algunos fragmentos de los revestimientos están mezclados con la masa basal, lo que podría corresponder a un rasgo de envejecimiento.

Avery (1985) propone una serie de pautas para identificar paleo-árgicos. El primer criterio por el que se identifican es el color húmedo, si la clase textural es franco-arcillo-limoso o más fino debe tener un tono 7,5YR y un croma de 4 o más, si la clase textural es más gruesa debe tener un tono 5YR y un croma de 5 o más, es decir, los suelos tienen que tener un color rojizo. Por otro lado, los suelos deben mostrar características micromorfológicas que lo distinguan de un horizonte árgico ordinario, que son la extensión y el grado de orientación de la fracción de arcilla y los nódulos de óxido de hierro, las arcillas deben estar orientada y los nódulos deben ser densos y rojos. Además, estos suelos se sitúan bajo horizontes superficiales E o B que pueden estar mezclados por crioturbación.

En cuanto al color, el horizonte Bt del Moncayo tiene una clase textural franco-arenosa y su color húmedo es 7,5YR 3/3. El horizonte Bt de Aniñón tiene una clase

textural franco y su color húmedos es 7,5 YR 5/6. El Horizonte Bt del suelo de Sestrica tiene una clase textural franco-arcillo-arenosa y su color húmedo es 5YR 4/6. En resumen, todos los suelos presentan un color marrón. Respecto a la orientación de las arcillas, en todos los perfiles se encuentran orientadas. En referencia a los nódulos de óxidos de hierro en el horizonte Bt del Moncayo son rojos y densos, en cambio en Aniñón y Sestrica no son rojos pero si son densos. Sobre los horizontes superiores en los todos los suelos de estudio encontramos horizontes B, en el Moncayo sí que se encuentran crioturbados, pero en Aniñón y Sestrica no, aunque los revestimientos fragmentados se encuentran mezclados con la masa basal. Además los rasgos de arcilla se encuentran deformados y fragmentados.

## 7. Conclusiones

Tras el estudio de los suelos forestales del Sistema Ibérico, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Los procesos de formación de los suelos de estudio son:

- La podzolización en el pinar del Moncayo. Se reconoce por la acumulación de materia orgánica y sesquióxidos de Fe y Al, que solamente se aprecian en lámina delgada por la presencia de nódulos opacos, sin llegar a determinar su composición exacta a través de la micromorfología. Por tanto, este proceso se ha identificado por un pH ácido, un horizonte Ah de color gris parduzco, la presencia de un horizonte E, la distribución de MO y de óxidos de Fe y Al en profundidad, una vegetación de bosque de pino royo con sotobosque de brezos y un material parental de arenisca cuarcítica.
- La crioturbación en el pinar del Moncayo. Se reconoce por la presencia de casquetes de limo y huecos debajo de elementos gruesos. Este proceso está activo debido a que el régimen de temperatura actual es frígido.
- Los procesos redox en el pinar del Moncayo y en el alcornocal de Aniñón y Sestrica. Se identifican por los nódulos de óxidos de Fe de color pardo que están muy impregnados y contrastados. Este proceso está activo ya que se corresponde con el régimen de humedad actual de los perfiles.
- La argiluvación en el pinar del Moncayo y en el alcornocal de Aniñón y Sestrica. Se reconoce por la presencia de hiporresvestimientos, revestimientos y rellenos de arcilla microlaminada. En el Moncayo se encuentran revestimientos y rellenos de arcilla que se intercalan con limos finos y son de color rojo y amarillo por el hierro que incorpora, y que se interpretan como

paleorrasgos debido a que los revestimientos están fragmentados y se mezclan con la masa basal. En Aniñón y Sestrica los hiporrevestimientos, revestimientos y rellenos de arcilla son de color marrón, debido a que no incorporan hierro. Este proceso de formación también está inactivo, es decir, es un paleoproceso, ya que el régimen de humedad actual (xérico) no permitiría la iluviación de arcilla.

En resumen, el perfil del Moncayo ha sido formado por procesos de argiluvación y podzolización posterior. El perfil de Aniñón y Sestrica ha sido formado por procesos de argiluvación. Actualmente, en el suelo del Moncayo se encuentran activos los procesos de crioturbación, podzolización y redox, y en el suelo de Aniñón y Sestrica se encuentran activos procesos redox.

## 8. Bibliografía

Acevedo-Sandoval, O., Ortiz-Hernández, E., Cruz-Sánchez, M., Cruz-Chávez, E., y Flores-Castro, K. (2004). Mineralogía, petrografía y micromorfología de horizontes árgicos endurecidos en Luvisoles. *Terra Latinoamericana*, 22, 143-151.

Aguilar, J., Dorronsoro-Fernández, C., Fernández, J., Dorronsoro Díaz, C., Martín, F y Dorronsoro, B. (2018). Micromorfografía de suelos: Programa interactivo multimedia para el autoaprendizaje de la descripción de láminas delgadas de suelos. En *Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada*. [Recuperado el 4 de octubre de 2018 de: <http://edafologia.ugr.es/micgraf/index.htm>]

Avery, B.W. (1985). Argillic horizons and their significance in England and Wales. En J. Boardman (Ed.), *Soils and Quaternary Landscape Evolution* (pp. 69-86). Chichester: John Wiley & Sons.

Badía, D. (2018a). *Descripción del perfil de Aniñón*.

Badía, D. (2018b). *Descripción del perfil de Sestrica*.

Badía, D. (2011). Los Grupos de Suelos de Referencia (GSR) en Aragón: Principales características y distribución. En *iARASOL, programa interactivo para el estudio y clasificación del suelo de Aragón*. [Recuperado el 3 de noviembre de 2018 de: <http://www.suelosdearagon.com/contenido.php?padre=9%7C31&IDContenido=31>]

Badía, D., Ibarra, P., Ruiz, A. y Jarauta, E. (2013). *Descripción del perfil del Pinar del Moncayo*.

Benyarku, C. A., y Stoops, G. (2005). Guidelines for preparation of rock and soil thin sections and polished sections. *Quaderns DMACS*, 33.

Bullock, P. (1985). The role of micromorphology in the study of Quaternary soil processes. En J. Boardman (Ed.), *Soils and Quaternary Landscape Evolution* (pp. 45-68). Chichester: John Wiley & Sons.

Churchman, G. J. (2013). The key role of micromorphology in studies of the genesis of clay minerals and their associations in soils and its relevance to advances in the philosophy of soil science. *Tubitak*, 22, 376-390.

D'Amico, M.E., Freppaz, M, Filippa, G. y Zanini, E. (2013). Vegetation influence on soil formation rate in a proglacial chronosequence (Lys Glacier, NW Italian Alps). *Catena*, 113, 122-137.

Díaz-Fernández, P. M., Gallardo Muñoz, M. I. y Gil, L. (1996). Alcornocales marginales en España. Estado actual y perspectivas de conservación de sus recursos genéticos. *Ecología*, 10, 21-47.

Dorronsoro, C. (2018a). Interés del estudio mineralógico de las arenas gruesas de los suelos. En *Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada*. [Recuperado el 4 de octubre de 2018 de: <http://edafologia.ugr.es/arenas/micrfoto.htm>]

Dorronsoro, C. (2018b). Micromorfología de suelos. Segunda parte: programa interactivo multimedia para el autoaprendizaje de preparaciones microscópicas de suelos. En *Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada*. [Recuperado el 3 de noviembre de 2018 de: <http://edafologia.ugr.es/miclogia/podzol.htm>]

Dorronsoro Díaz, B., Dorronsoro Díaz, C., Dorronsoro Fernández, C. (2010). Taxoil\_2010: Programa para el autoaprendizaje online de clasificación de suelos según la Soil Taxonomy. En *Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada*. [Recuperado el 12 de febrero de 2019 de: [http://www.edafologia.net/programas\\_suelos/practclas/taxoil/comun/f68745rht.htm](http://www.edafologia.net/programas_suelos/practclas/taxoil/comun/f68745rht.htm)]

Dorronsoro Díaz, C., Dorronsoro Díaz, B., Dorronsoro Fernández, C., y García Navarro, A. (2015). Mineralogía óptica: estudio de los minerales con el microscopio petrográfico. En *Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Granada*. [Recuperado el 4 de octubre de 2018 de: <http://edafologia.ugr.es/optmine/index.htm>]

Esri (2018). *Mapa Geológico de España a escala 1/50.000 MAGNA*. [Recuperado el 13 de enero de 2019 de: <http://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=92d3a8e400b44daf911907d3d7c8c7e9>]

García González, M. T. (2015). Colección de láminas delgadas de suelos del Prof. W.L. Kubiëna. En *Instituto de Ciencias Agrarias (ICA) y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*. [Recuperado el 3 de octubre de 2018 de: <https://www.ica.csic.es/Kubiena/>]

Gómez de la Rúa, D., de León Hernández, J., Navarro Mederos, J. F., Marrero Salas, E., Abreu Hernández, I., y Cuenca Sanabria, J. (2014). La micromorfología de suelos en contexto arqueológico. Una aplicación en el archipiélago canario: Fiquineo - Peña de Las Cucharas (Teguise, Lanzarote). En *XX Coloquio de Historia Canario-Americana* (pp. 1298-1315). Las Palmas de Gran Canaria: Cabildo de Gran Canaria.

Group Virtual Expo (2018). Microscopio óptico/para análisis/con cámara digital/polarizador BX51-P. En *Direct Industry*. [Recuperado el 8 de octubre de 2018 de: <http://www.directindustry.es/prod/olympus/product-17434-866189.html>]

Ibáñez, J. J. (2008). El potencial redox de los suelos. En *Un Universo invisible bajo nuestros pies: Los suelos y la vida*. [Recuperado el 12 de febrero de 2019 de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/28/83434>]

Ibáñez, J. J. y Manríquez Cosío, F. J. (2012a). Luvisoles (WRB, 1998). En *Un Universo invisible bajo nuestros pies: Los suelos y la vida*. [Recuperado el 12 de enero de 2019 de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/02/28/141085>]

Ibáñez, J. J. y Manríquez Cosío, F. J. (2012b). Podzoles (WRB). En *Un Universo invisible bajo nuestros pies: Los suelos y la vida*. [Recuperado el 12 de enero de 2019 de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/08/24/142310>]

IGN (Instituto Geográfico Nacional) (2018). Suelos. En *Instituto Geográfico Nacional*. [Recuperado el 3 de noviembre de 2018 de: [https://www.ign.es/espmap/mapas\\_bio\\_bach/Bio\\_Mapas\\_02.htm](https://www.ign.es/espmap/mapas_bio_bach/Bio_Mapas_02.htm)]

IUSS Working Group WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015: Sistema internacional de clasificación de suelo para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. *Informes sobre recursos mundiales de suelo, 106*. Roma: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

Kovda, I. y Lebedeva, M. (2013). Modern and relict features in clayey cryogenic soils: Morphological and micromorphological identification. *Spanish Journal of Soil Science (SJSS)*, 3, 130-147.

Laboratorio de micromorfología de la Universidad de Lérida (2018). *Fotografía de estimación del tamaño de agregados en microscopio petrográfico Olympus (Bx51)*. Lérida: Universidad de Lérida.

Loaiza, J.C., Stoops, G., Poch, R.M. y Casamitjana, M. (2015). *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias*. Medellín: Fondo Editorial Pascual Bravo.

Marco Pascual, C. (2018). Microscopio virtual de luz polarizada. En *Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo*. [Recuperado el 3 de octubre de 2018 de: [https://www.unioviedo.es/celia\\_marcos/microscopio\\_virtual/#](https://www.unioviedo.es/celia_marcos/microscopio_virtual/#)]

Martínez Cabeza, A. (1997). El alcornocal de Sestrica (Una singularidad aragonesa poco conocida). En Institución Fernando el Católico (Ed.), *Actas del IV Encuentro de Estudios Bilbilitanos* (pp. 31-40). Calatayud: Centro de Estudios Bilbilitanos.

Oxford Educación (2011). *El medio físico en Aragón*. [Recuperado el 13 de enero de 2019 de: [http://oupegestor.com/ficheros/cc\\_autonomicos/c\\_sociales\\_geo\\_hist/1eso\\_ccss\\_pa\\_mec/aragon/libro\\_alumno/25\\_1\\_ESO\\_CCSS\\_Arag\\_Geo.pdf](http://oupegestor.com/ficheros/cc_autonomicos/c_sociales_geo_hist/1eso_ccss_pa_mec/aragon/libro_alumno/25_1_ESO_CCSS_Arag_Geo.pdf)]

Paladino, I, R., Moretti, L. M., Morras, H. J. M., Irigoien, J. y Mnograso Czalbowski, N. (2017). Micromorfología en dos suelos de península Potter, Antártida marítima. En *XX Congreso Geológico Argentino, sesión técnica 3: Geomorfología y suelos* (pp 44-49). Argentina: San Miguel de Tucumán.

Pérez Bujarrabal, E. (2011). Los alcornocales de Sestrica. *Aragón turístico y monumental*, 370, 62-66.

Poch i Claret, R. M. (2015). Descripción de láminas delgadas de suelos y sedimentos. En Loaiza, J.C., Stoops, G., Poch, R. M. y Casamitjana, M. (Eds.), *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias* (pp. 309-320). Medellín: Fondo Editorial Pascual Bravo.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, R. M. (2014). *Edafología: Uso y protección de suelos*. 3ª Ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. (3ª ed.) Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Ruiz Lorente, A. (2015). *Toposecuencia de suelos en el piso montano del Parque Natural del Moncayo*. Universidad de Zaragoza.

Sauer, D., Schüllli-Maurer, I, Sperstad, R. y Sørensen, R. (2013). Micromorphological characteristics reflecting soil-forming processes during Albeluvisol development in S Norway. *Spanish Journal of Soil Science (SJSS)*, 3, 38-58.

Stoops, G. (2003). *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*. Madison, Winconsin: Soil Science Society of America, Inc.

Stoops, G. (2015). Análisis de textura de la masa basal mineral y los rasgos edáficos del suelo. En Loaiza, J.C., Stoops, G., Poch, R. M. y Casamitjana, M. (Eds.), *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias* (pp. 87-154). Medellín: Fondo Editorial Pascual Bravo.

Yannitto, V. (2007). Beneficios de la aplicación de la Micromorfología de suelos en Arqueología. *Estrat Crític: Revista d' Arqueologia*, 1, 76-85.