



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

Caracterización de los tipos de humus en el piso
montano del Moncayo

Characterization of the humus types in the Moncayo
montane stage

Autor

David BescósAllué

Director

David BadíaVillas

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2021

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de fin de estudios lleva detrás la colaboración de varias personas, que de no haber estado no hubiera sido posible llevar a cabo su conclusión.

Al Dr. David Badía Villas, director de este trabajo, por su inmensa paciencia en todos estos años y por su amabilidad y disponibilidad total.

A Asunción Belén Aguado y Asunción Callizo, las técnicas de laboratorio, por su ayuda y amabilidad durante las horas de laboratorio.

A Antonio Girona García y Oriol Ortiz Perpinyá por la colaboración durante la recogida de muestras en el Moncayo.

Y, por último, a Jesús Núñez Goded, por darme este último empujón tan necesario.

Gracias a todos.

RESUMEN

El presente trabajo caracteriza los diferentes tipos de humus que se encuentran en los suelos de la vertiente noreste del macizo del Moncayo, la vertiente aragonesa, y en concreto en los bosques de pinar (*Pinus halepensis*, *Pinus sylvestris* y *Pinus uncinata*) y hayedo (*Fagus sylvatica*). Para ello se han realizado muestreos de los horizontes O y Ah, a diferentes cotas altitudinales y para cada uno de los tipos de bosque citados (pinar y hayedo). Con este muestreo se busca encontrar una posible relación de la variación de altitud y tipo de bosque con el tipo de humus que se desarrolla en el suelo.

Con las muestras ya en laboratorio se han realizado varios análisis físico-químicos (pH, estabilidad estructural, diámetro medio de agregados,...) con el fin de identificar cada tipo de humus.

El análisis de resultados muestra como la altitud modifica la morfología y, por tanto, la denominación del humus forestal, a diferencia del tipo de bosque. Así, a baja cota el humus tiene la secuencia OL-OF-Ah (Mull) mientras a la mayor cota pasa a OL-OF-OH-Ah (Amphi).

Palabras clave: *Moncayo, humus, pinar, hayedo, diferencia altitudinal.*

ABSTRACT

The present work wants to characterize the different types of humus found on the northeast hillside of the Moncayo massif, the Aragonese hillside, and specifically in the soils related to pine forest areas (*Pinus halepensis*, *Pinus sylvestris* and *Pinus uncinata*) and beech forest (*Fagus sylvatica*).

For this, samples of the O horizon and the Ah horizon have been carried out at different elevational levels and for each of the types of forest mentioned. This sampling seeks to find a possible relationship between the variation in height and the dominant species in the forest with the type of humus that develops on the ground.

With the samples already in the laboratory, several physical-chemical analyzes have been carried out (pH, structural stability, average diameter of aggregates...) that has helped us to know what form of humus it is.

The analysis of the results shows how the altitude modifies the morphology and, therefore, the name of the forest humus, unlike the type of forest. Thus, at a low elevation the humus has the sequence OL-OF-Ah (Mull) while at the highest elevation it passes to OL-OF-OH-Ah (Amphi).

Keywords: *Moncayo, humus, pine forest, beech forest, altitude variability.*

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES HISTÓRICOS	1
1.2	CLASIFICACIÓN	2
1.2.1	Formas de humus terrestres. Identificación y subdivisión	4
1.2.2	Formas de humus semiterrestres. Identificación y subdivisión	16
2	JUSTIFICACIÓN	18
3	OBJETIVOS	19
3.1	OBJETIVOS GENERALES	19
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4	ÁREA DE ESTUDIO	20
4.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA	20
4.1.1	Geográficas	20
4.1.2	Climáticas	21
4.1.3	Botánicas	21
4.2	CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS	23
4.3	FIGURAS DE PROTECCIÓN	24
5	MATERIAL Y METODOS	25
5.1	PUNTOS DE MUESTREO	25
5.2	PREPARACION DE LAS MUESTRAS	28
5.3	MEDICION DE PARAMETROS	29
5.3.1	Horizonte órgano-mineral	29
5.3.1.1	pH: actual y potencial	29
5.3.1.2	Conductividad eléctrica (CE)	30
5.3.1.3	Repelencia: persistencia e intensidad	31
5.3.1.4	Estabilidad estructural de agregados	31
5.3.1.5	Densidad aparente	32
5.3.1.6	Diámetro medio de agregados	32
5.3.1.7	Elementos gruesos	34
5.3.1.8	Relación C/N	35
5.3.2	Horizontes orgánicos	35
5.3.2.1	Densidad aparente	35
5.3.2.2	Producción de biomasa	36
5.3.2.3	Relación C/N	36

5.3.2.4	Identificación de formas de humus	36
5.4	TRATAMIENTO ESTADISTICO	36
6	RESULTADOS	37
6.1	HORIZONTE ORGANO-MINERAL, Ah	37
6.1.1	pH	37
6.1.2	Conductividad eléctrica CE	38
6.1.3	Repelencia	39
6.1.4	Relación C/N	39
6.1.5	Estabilidad estructural	40
6.1.6	Densidad aparente	40
6.1.7	Diámetro medio de agregados	41
6.1.8	Elementos gruesos	41
6.2	HORIZONTE ORGÁNICO	42
6.2.1	Producción de biomasa	42
6.2.2	Relación C/N	42
6.3	CARACTERIZACIÓN DE CADA ZONA DE MUESTREO	43
7	DISCUSIÓN	47
8	CONCLUSIONES	49
9	BIBLIOGRAFÍA	50
10	ANEXOS	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Zonas de muestreo de pinar

Tabla 2: Zonas de muestreo de hayedo

Tabla 3: Datos de diámetro medio de agregados correspondiente a la muestra nº1 del hayedo bajo

Tabla 4: Media de pH actual 1:2,5 y 1:5 para cada zona de muestreo

Tabla 5: Media de pH potencial para cada zona de muestreo

Tabla 6: Media de conductividad eléctrica para cada zona de muestreo

Tabla 7: Media de valores de repelencia, tanto del test de persistencia de la gota de agua como del de intensidad a diferentes concentraciones de etanol

Tabla 8: Media de relación c/n para cada zona de muestreo

Tabla 9: Media de estabilidad estructural para cada zona de muestreo

Tabla 10: Media de densidad aparente para cada zona de muestreo

Tabla 11: Media de diámetro medio de agregados para cada zona de muestreo

Tabla 12: Media de elementos gruesos para cada zona de muestreo

Tabla 13: Media de producción de biomasa para cada zona de muestreo

Tabla 14: Relación c/n por horizontes de cada zona de muestreo

Tabla 15: Ficha de pinar bajo

Tabla 16: Ficha de pinar medio

Tabla 17: Ficha de pinar alto

Tabla 18: Ficha de hayedo bajo

Tabla 19: Ficha de hayedo medio

Tabla 20: Ficha de hayedo alto

Tabla 21: Tipos de humus en cada zona de muestreo.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Situación geográfica del parque natural del Moncayo

Figura 2: Distribución altitudinal de la vegetación en el macizo del Moncayo

Figura 3: Zona de muestreo en interior de un bosque de hayas

Figura 4: Secuencia de decapado de un punto de muestreo

Figura 5: Extracción de cilindro geológico para muestra de horizonte organo-mineral

Figura 6: Muestras disueltas en agua preparadas para medición de pH y conductividad eléctrica

Figura 7: Tamizador de húmedo después de una prueba

Figura 8: Ejemplo de diferentes tamaños de agregados en una muestra de pinar medio

Figura 9: Diferentes diámetros de agregados separados por la torre de tamices

Figura 10: Ejemplo de elementos gruesos recogidos en un punto de muestreo

Figura 11: Recopilación de muestras en Eppendorfs antes de ser enviadas al laboratorio para su análisis

1 INTRODUCCIÓN

Las formas de humus son la parte más superficial del suelo que está fuertemente influenciada por la materia orgánica y que coincide con la secuencia de horizontes orgánicos (OL, OF, OH, H) y el horizonte organo-mineral subyacente (A, AE, Ah). Los restos de vegetación como hojas, raíces, madera,... forman el principal aporte de la producción primaria de los ecosistemas forestales (Zanella et al., 2011). En este trabajo se van a seguir las denominaciones anteriormente descritas propuestas por Zanella et al. (2011), si bien FAO mantiene las clásicas denominaciones Oi, Oe, Oa (FAO, 2009) equivalentes a los citados OL, OF y OH.

Las formas de humus son el reflejo de la mayoría de las transformaciones biológicas que tienen lugar en los ecosistemas terrestres. La diversidad de formas de humus terrestres se puede atribuir a la existencia de diferentes patrones para la captura y el uso de los recursos por los ecosistemas. Son el resultado estable y visible de la mayor parte de la vida animal y microbiana en el suelo y condicionan el desarrollo de las comunidades de plantas, animales y microorganismos terrestres (Ponge, 2003).

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Durante el siglo XIX los científicos se dieron cuenta de que el tipo y el ritmo de descomposición de estos componentes orgánicos, como también la incorporación de materia orgánica en horizontes minerales, variaba con el tipo de bosque. Estas observaciones permitieron a Müller definir tres tipos iniciales de formas de humus: Muld (más tarde pasaría a llamarse Mull), Mor y Mullartiger Torf (hoy llamado Moder); caracterizados por sus condiciones climáticas, geológicas y condiciones biológicas de formación (Jabiol et al., 2013). Muchos autores han contribuido al desarrollo de un sistema de clasificación de formas de humus basado principalmente en los componentes vivos de las capas superficiales de suelo. Las contribuciones más destacables han sido las de Hesselmann, (1926), Hartmann, (1944), Kubiëna, (1953), Babel, (1971) y Delecour, (1983).

Todos estos conceptos aun forman las bases de las modernas clasificaciones de formas de humus (Baize y Girard, 2009); (Baritz, 2003); (Brunner, H et al., 2002); (Green et al., 1993); (Humusformen, 2004); (Zanella et al., 2009); (Nestroy et al., 2000); (van Delft et al., 2006); (Zanella et al., 2001).

Un amplio grupo de especialistas europeos se congregó en Trento (Italia) en 2003 y formaron el “European Humus Group” con el propósito de armonizar los sistemas nacionales de clasificación establecidos y obtener una clasificación europea unificada de formas de humus (Zanella et al., 2006; 2011). Al final de dicho encuentro, y después de numerosas visitas de campo y discusiones, los miembros del grupo se pusieron de acuerdo en un principio muy importante: el proceso de clasificación solo tiene que tener en consideración “referencias” (objetos observables en el campo) que muestren evidencias morfo-funcionales de la capa o del conjunto de horizontes orgánicos

1.2 CLASIFICACIÓN

La presente clasificación, la *European Humus Forms Reference Base* (Zanella et al., 2009), ha sido concebida para suelos forestales, así como para suelos de pastizales y zonas de humedales, con un impacto humano entre insignificante y fuerte. No es adecuado para ecosistemas agrícolas, porque el laboreo destruye la organización natural y altera radicalmente el funcionamiento de los horizontes superficiales.

La clasificación de las formas de humus se basa en la secuencia y características morfológicas, incluyendo evidencias morfológicas de actividad biológica, de horizontes orgánicos y órgano-minerales observados y descritos en el campo. En algunos casos, se requieren algunos datos químicos básicos (pH, contenido de carbono orgánico,...).

Las claves de clasificación utilizan horizontes de diagnóstico y otros datos complementarios de la capa superficial del suelo.

La primera dicotomía de la clasificación separa las formas de humus no saturadas de las saturadas; en concreto:

- Formas de humus terrestres: nunca están sumergidas o saturadas de agua, o solo durante unos días al año. Los horizontes órgano-minerales A o AE (no hidromórficos) caracterizan estas formas. En un segundo y más detallado paso de la clasificación, los Terroforms (las formas de humus terrestre más típicas) se separan de los Entiforms (las formas de humus que descansan directamente sobre el lecho rocoso o material parental) y los Paraforms (las más atípicas).

- Formas de humus semiterrestres: se encuentran sumergidas o saturadas de agua. Los Hidroforms están sumergidos o saturados de agua por períodos relativamente cortos (menos de 6 meses al año) y se caracterizan por horizontes órgano-minerales hidromórficos Ag o AEg.

Los Histoforms y los Epihistoforms están sumergidos o saturados de agua durante períodos prolongados (generalmente más de 6 meses por año) y se caracterizan por horizontes organo-minerales Aa u orgánicos H.

Dentro de cada grupo de los Humus terrestres (Terroforms, Entiforms y Paraforms) y dentro del grupo de Hidroforms de los semiterrestres, se identifican los mismos cinco tipos biológicos: Mull, Amphi, Moder, Tangel y Mor. Dentro de los Histoforms y Epihistoforms, el tipo biológico Tangel no está presente, pero un régimen de humedad del suelo característico genera el tipo biológico Anmoor. Estos tipos biológicos pueden considerarse como el primer nivel taxonómico de la clasificación.

Para Terroforms e Histoforms, los grupos más importantes y conocidos de formas de humus, se ha creado un segundo nivel de clasificación. Aquí, cada unidad del primer nivel (Mull, Moder,...) se divide en dos o más subtipos biológicos (es decir, Eumull, Mesomull, Hemimoder, Dysmoder...), aspecto que vamos a concretar en la siguiente sección.

1.2.1 Formas de humus terrestres. Identificación y subdivisión

Las formas de humus terrestres corresponden a la capa superficial del suelo nunca o por pocos días al año sumergida o saturada de agua. Su investigación y descripción requiere un vocabulario específico; su clasificación se basa en el conocimiento de algunas capas de diagnóstico utilizadas como referencia.

Las formas terrestres se dividen en Terroforms, Entiforms y Paraforms:

- Los Terroforms corresponden a formas típicas de humus terrestre, estas nunca descansan directamente sobre el lecho de roca o material parental y nunca se ven influenciadas de manera dominante por raíces o madera en descomposición.

- Los Entiforms se caracterizan por horizontes orgánicos (OF + OH < 5 cm) y/u órgano-minerales (A < 3 cm) delgados que se encuentran directamente sobre lechos de roca duros, fragmentados o sobre material parental arenoso.

- Los Paraforms son formas de humus atípicas que resultan de la influencia fuerte de raíces vivas (Rhizoforms) o madera en descomposición (Lignoforms) sobre la transformación biológica de la capa superior del suelo.

- Horizontes de diagnóstico:

Se ha establecido en 3 mm el mínimo de grosor para horizontes de descripción, de diagnosis y de muestreo. Por debajo de ese límite, el horizonte se considera que es discontinuo si está presente a parches o ausente, si es indiscernible de otros horizontes vecinos.

La vaguedad de las transiciones entre horizontes orgánicos y órgano-minerales (o minerales, en ausencia de organo-minerales) es una característica diagnóstica importante. Se describen tres tipos de transición: Una muy brusca en menos de 3 mm, otra transición intermedia, que se da entre 3 – 5 mm, y una transición difusa si se da en más de 5 mm.

Horizontes de diagnóstico en formas de humus terrestres (suelos aireados).

Dos tipos de horizontes de diagnóstico (O para orgánico y A para órgano-mineral) se han distinguido en suelos aireados (suelos que nunca o pocos días al año están sumergidos o saturados de agua).

- Horizontes orgánicos

Raíces excluidas, siguiendo la tasa de restos reconocibles y componentes húmicos, los horizontes orgánicos se han agrupado en tres horizontes de diagnóstico, OL, OF y OH.

Los sufijos se utilizan para designar tipos específicos de horizontes de materia orgánica y luego se detallan en tipos.

En la actualidad, los nombres y sufijos de estos horizontes orgánicos no concuerdan con las propuestas del Grupo de Trabajo de la IUSS WRB (2007) o del Soil Survey Staff (2010) (Soil Survey Staff, 2010).

Las discrepancias y los hábitos históricos impiden una nomenclatura común. Sin embargo, se puede establecer la siguiente correspondencia aproximada, considerando los códigos de paridad Europeo= IUSS Working Group WRB (2007) o Soil Survey Staff (2010): OL = Oi; OF = Oe; OH = Oa.

Se está realizando un intento general de homogeneizar el vocabulario y los procedimientos para la clasificación de la capa superficial del suelo (Broll et al., 2006).

OL (de Orgánico y Hojarasca, litter). Horizonte caracterizado por la acumulación de, principalmente, hojas/agujas, ramitas y materiales leñosos. La mayoría de los órganos vegetales originales son fácilmente perceptibles a simple vista. Las hojas o agujas pueden estar descoloridas y ligeramente fragmentadas. El componente húmico

es como mucho del 10% en volumen, los restos reconocibles representan el resto del volumen, hasta el 100% en el lecho no descompuesto.

Tipos OL (sufijos: n, v):

- OLn = hojarasca nueva (edad < 1 año), sin hojas o agujas fragmentadas ni transformadas/decoloradas.
- OLv = hojarasca vieja (de más de 3 meses), ligeramente alterada, decolorada, blanqueada, ablandada, pegada, enmarañada, esqueletizada, a veces solo hojas y/o agujas ligeramente fragmentadas.

OF (de fragmentado). Horizonte caracterizado por la acumulación de hojarasca parcialmente descompuesta (es decir, fragmentada, blanqueada, manchada, esqueletizada), principalmente de hojas/agujas transformadas, ramitas y materiales leñosos, pero sin ningún órgano vegetal completo. La proporción de componente húmico es de entre el 10% y el 70% en volumen.

Dependiendo de la forma de humus, la descomposición se lleva a cabo principalmente por la fauna del suelo (OFzo, zoogénico) o por los hongos que descomponen la celulosa-lignina (OFnoz, no zoogénico).

- Material transformado zoogénica o no zoogénicamente

El material transformado zoogénicamente está compuesto por restos reconocibles y componentes húmicos procesados por animales, por ejemplo, hojas, acículas, y otros residuos vegetales más o menos degradados por los animales presentes en el suelo del bosque, mezclado con excrementos de estos animales.

Dentro de los horizontes órgano-minerales, la actividad animal lleva a diferentes tipos de horizontes A, dependiendo de la habilidad de los animales a excavar en el suelo mineral y de mezclar la materia orgánica con la mineral.

El material transformado de forma no zoogénica está hecho de restos reconocibles y de componentes húmicos procesados por hongos u otros agentes no faunísticos, por ejemplo, hojas, agujas y otros restos vegetales más o menos degradados en fibras por hongos.

Los deshechos animales recientes o están ausentes o no son reconocibles a simple vista. Las hifas fúngicas pueden ser reconocidas como filamentos blancos, negros, marrones o amarillos impregnando el sustrato orgánico u organo-mineral. Se pueden detectar signos de actividad animal (excrementos, huellas viejas,...) pero son siempre marginales.

OF tipos (sufijos: zo, noz):

- OFzo = contenido en material transformado zoogénicamente: superior al 10% del volumen del horizonte, raíces excluidas.
- OFnoz = contenido en material no transformado zoogénicamente: 90% o más del volumen del horizonte, raíces excluidas.

OH (de humus). Se trata de un horizonte caracterizado por una acumulación de material transformado zoogénicamente, es decir, hojarasca negra, marrón grisácea, marrón, marrón rojiza bien descompuesta, compuesta principalmente por excrementos envejecidos de animales. Una gran parte de las estructuras y materiales originales no son discernibles, el componente húmico asciende a más del 70% en volumen. Un horizonte OH se diferencia del horizonte OF por una transformación más avanzada (fragmentación, humificación,...) debido a la acción de los organismos del suelo.

- Horizontes órgano-minerales (horizontes A)

Los diferentes horizontes de diagnóstico A se identifican en el campo observando la masa del suelo a simple vista o con una lupa de mano de aumento de 5-10 X, evaluando la estructura (Soil Survey Division Staff. S. Department of Agriculture, 1993); (Schoeneberger et al., 2002); (Barham et al., 2006) y consistencia, y midiendo la

acidez (pH agua) según ISO 10390 (ISO 10390, 1994). Se pueden distinguir cinco horizontes A de diagnóstico:

Horizontes zoogénicos A:

- 1) Biomacroestructurado A (código: maA).
- 2) Biomesoestructurado A (meA).
- 3) Biomicroestructurado A (miA).

Horizontes A no zoogénicos:

- 4) Grano suelto A (sgA).
- 5) Masivo A (msA).

- Horizonte A biomacroestructurado

Para ser identificada como un horizonte A biomacroestructurado (maA), una capa debe presentar al menos cuatro de las siguientes propiedades:

1. Estructura (FAO, 2006): presencia de estructura.
2. Grado de la estructura (FAO, 2006): moderado o fuerte; tamaño si tiene forma granular: medio (2-5 mm) y / o grueso; tamaño si tiene forma de bloque subangular: fino (5-10 mm) o fino (5-10 mm) y muy fino (< 5 mm).
3. Presencia de partículas, observables en el lugar en suelo no perturbado, así como después de apretar suavemente una muestra de suelo en la palma de la mano: todos los tamaños de partículas están presentes, pero el volumen de partículas mayores de 4 mm es mayor que el volumen de todas las demás partículas o unidades de suelo.
4. Lombrices de tierra vivas, o madrigueras y / o restos de lombrices de tierra.
5. Las lombrices de tierra se abren paso dentro del horizonte subyacente.
6. pH del suelo (al agua) > 5.

Las raíces y las hifas de hongos (visibles o no) juegan un papel importante en la formación y estabilidad de los agregados. Las lombrices de tierra vivas o sus madrigueras y restos siempre están presentes en el horizonte.

- Horizonte A biomesoestructurado

El horizonte A biomesoestructurado (meA) muestra todas las siguientes propiedades:

1. Estructura (FAO, 2006), observable en el lugar en suelo no perturbado: nunca ausencia de estructura.
2. Grado de la estructura (FAO, 2006): moderado o fuerte (rara vez débil); tamaño si forma granular: fina (1-2 mm) y / o mediana (2-5 mm); tamaño si tiene forma de bloque subangular: muy fino (<5 mm).
3. Presencia de partículas, observable en el lugar en suelo no perturbado, así como después de apretar suavemente una muestra de suelo en la palma de la mano: el volumen de partículas cuyo diámetro está comprendido entre $1 < \varnothing \leq 4$ mm es mayor que el volumen de todas las demás partículas o partes del suelo.
4. Lombrices de tierra, artrópodos o enquitreidos vivos o sus excrementos.

- Horizonte A biomicroestructurado

El horizonte A biomicroestructurado (miA) muestra al menos cinco de las siguientes propiedades:

1. Ausencia de partículas > 4 mm; observable tanto in situ, en suelo no perturbado, como después de apretar suavemente una muestra de suelo en la palma de la mano: pueden estar presentes partículas de diferentes tamaños, pero el volumen de partículas de menos de 1 mm es mayor que el volumen de todas las demás partículas o partes del suelo; exprimiendo suavemente el suelo, casi todas las partículas grandes se reducen fácilmente en unidades más pequeñas.

2. Grado de la estructura (FAO, 2006): moderado, fuerte. Forma: granular. Tamaño: muy fino (<1 mm).
3. Presencia de granos minerales (generalmente sin recubrir) (componentes minerales >10%).
4. Porcentaje de partículas orgánicas de color oscuro > 10%.
5. Presencia de microartrópodos vivos, enquitreidos o sus excrementos.
6. pH agua <5.

El horizonte presenta una importante cantidad de gránulos fecales, excrementos de enquitreidos, microartrópodos y partículas no reconocibles de materia orgánica. Este horizonte se observa en suelos franco arenosos a arenosos; la gran cantidad de granos minerales (> 50%) parece prevenir la formación de una estructura de mayor tamaño o masiva. Las hifas y las raíces también son muy comunes.

- Horizonte A de grano suelto

Para ser identificada como un horizonte A de grano suelto (sgA), una capa debe mostrar al menos cuatro de las siguientes propiedades:

1. Masa de suelo no perturbada: consistencia suelta, no unida.
2. Estructura (FAO, 2006): grano suelto.
3. Presencia de granos minerales limpios (= sin recubrimiento).
4. Porcentaje de partículas orgánicas finas de color oscuro <10%.
5. pH agua <5.

- Horizonte A masivo

Para ser identificada como un horizonte A masivo (msA), una capa debe mostrar al menos tres de las siguientes propiedades:

1. Matriz de suelo no perturbado: heterogéneo pero de una sola pieza, no se detectan planos o zonas de debilidad en la masa.
2. Estructura (FAO, 2006): masiva. Si el suelo está seco, cuando al aplicar una presión de moderada a fuerte con los dedos, la muestra de suelo se fragmenta progresivamente en unidades artificiales más finas; estas unidades finas tienen una composición mineral, organo-mineral u orgánica variable; si el suelo está húmedo, la muestra se puede transformar en materia tierna, plástica y no elástica.
3. Presencia de granos minerales limpios (sin recubrimiento). Es necesaria una lupa de 5-10 aumentos para detectar la composición de los gránulos o granos (excrementos de animales <5% del volumen del suelo), siendo el tamaño de las unidades bioestructuradas más comunes <1 mm.
4. pH del suelo (al agua) <5.

Las fuerzas de cohesión dependen principalmente de las condiciones físicas o químicas más que de la agregación biológica.

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL Y MORFOLÓGICA DE TERROFORMS

Sobre una base morfo-funcional, los Terroforms se subdividen en cinco tipos biológicos (Mull, Moder, Amphi, Mor y Tangel), a continuación se identifican y describen gracias a sus características diagnósticas.

- MULL

Se da en un clima templado y/o material parental silíceo o calcáreo no ácido y/u hojarasca fácilmente biodegradable (C/N <30) y/o ninguna limitación ambiental importante.

Para ser identificado como Mull, la capa superior del suelo debe mostrar las siguientes propiedades:

1. Ausencia de cualquier horizonte OH.

2. Presencia de un A biomacro o que haya presencia de un A biomeso y en este caso, al menos dos de las siguientes características:

- presencia en el horizonte A de lombrices de tierra vivas o sus heces, excepto en suelos congelados o desecados.
- presencia de una transición muy marcada (<3 mm) entre horizontes orgánicos y organo-minerales.
- pH agua del horizonte A ≥ 5 .

- MODER

Se da en climas desde templados a moderadamente fríos, generalmente sobre sustrato ácido.

Para ser identificado como Moder, la capa superior del suelo debe mostrar las siguientes propiedades:

1. Presencia de horizonte OH (aunque sea discontinuo).
2. Ausencia de horizonte OFnoz.
3. Ausencia de un horizonte A biomacro.
4. Ausencia de un horizonte A biomeso y uno de los siguientes:
 - sin transición brusca de horizonte OH / A (transición ≥ 5 mm).
 - pH agua del horizonte A <5 .

o

4. Presencia de un horizonte A biomicro, o un horizonte A masivo, o uno A de grano suelto, y uno de los siguientes:

- o sin transición brusca de horizonte OH / A (transición ≥ 5 mm).
- o pH agua del horizonte A <5 .

- AMPHI

Se da con condiciones climáticas contrastantes (verano seco, otoño lluvioso), generalmente sobre sustrato calcáreo y/o dolomítico.

Para ser identificado como Amphi, la capa superior del suelo debe presentar las siguientes propiedades:

1. Presencia simultánea de horizontes OH y A biomacro o A biomeso.
2. Ausencia de un horizonte OFnoz.
3. Espesor del horizonte A \geq la mitad del espesor del horizonte OH.
4. Ausencia de un horizonte A masivo o de grano suelto.
5. Presencia de un horizonte A biomacro y uno de los siguientes:
 - lombrices de tierra vivas en el horizonte A.
 - transición brusca entre OH y A.
 - pH agua del horizonte A \geq 5.

o

5. Presencia de un horizonte A biomeso y uno de los siguientes:
 - o lombrices de tierra vivas en el horizonte A.
 - o sin transición brusca entre OH y A.
 - o pH agua del horizonte A \geq 5.

- MOR

Se da en clima frío y/o sustrato silíceo ácido, hojarasca poco degradable (riqueza en resinas, cutícula, C/N > 40).

Para ser identificado como Mor, la capa superior del suelo debe presentar las siguientes propiedades:

1. Nunca un horizonte A biomeso o uno biomacro.

2. Presencia de OFnoz y uno de los siguientes:

o pH agua de E o AE o horizonte A < 4.5 .

o A ausente, o A biomicro, masivo, o de grano suelto.

o

2. Presencia de un horizonte OH en una transición muy brusca (< 3 mm) al horizonte A, AE o E y uno de los siguientes:

- pH agua de E o AE o horizonte A < 4.5 .

- A ausente, o A biomicro, masivo, o de grano suelto.

- TANGEL

Se da en climas montañosos sobre piedra caliza dura y/o roca dolomita/fragmentos de roca.

Para ser identificado como Tangel, la capa superior del suelo debe presentar las siguientes propiedades:

1. Presencia de horizontes zoogénicos orgánicos gruesos (OFzo + OH > 5 cm).

2. Fragmentos de roca caliza y/o dolomita/roca dura en la parte inferior del perfil de humus.

3. Clima frío (cinturones subalpinos o montanos superiores).

4. Ausencia de OFnoz.

5. Presencia de un delgado (espesor $< 1/2$ OH) A masivo, de grano suelto o biomeso.

o

5. pH agua ≥ 5 del horizonte A delgado (espesor $< 1/2$ OH).

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL Y MORFOLÓGICA DE ENTIFORMS

Los Entiforms se dividen en Litoforms, Peyroforms y Psammoforms:

-Los Litoforms corresponden a formas de humus que se encuentran directamente sobre roca dura consolidada y continua; espesor de los horizontes organo-minerales (A o AE) < 3 cm.

-Los Piroforms son formas de humus que se encuentran directamente sobre o entre fragmentos de roca ($\emptyset > 2$ cm). Espesor de horizontes organo-minerales (A o AE) < 3 cm.

-Los Psammoforms son formas de humus que se encuentran directamente sobre material parental arenoso, franco-arenoso o arenoso-esquelético (fragmentos de roca, $\emptyset \leq 2$ cm); espesor de horizontes organo-minerales (A o AE) < 3 cm.

Según la secuencia de horizontes de diagnóstico, los litoforms, peyroforms y psammoforms se subdividen sobre una base morfo-funcional en cinco tipos biológicos (Tangel, Amphi, Mull, Moder y Mor), correspondientes al primer nivel de clasificación morfológica y funcional de Entiforms.

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL Y MORFOLÓGICA DE PARAFORMS

Los Paraforms se dividen en Rizoforms y Lignoforms:

-Los Rizoforms corresponden a formas de humus bajo la influencia dominante de raíces y/o rizomas.

-Los Lignoforms son formas de humus en las que la madera en descomposición comprende más de 1/3 del volumen de los horizontes OL y OF. La capa superior del suelo rica en madera asume el característico aspecto marrón rojizo de la madera degradada.

Según la secuencia de horizontes de diagnóstico, las Rizoforms y Lignoforms se subdividen morfo-funcionalmente en cinco tipos biológicos (Tangel, Amphi, Mull,

Moder y Mor), correspondientes al primer nivel de clasificación morfológica y funcional de los Paraforms.

1.2.2 Formas de humus semiterrestres. Identificación y subdivisión

Las formas de humus semiterrestres corresponden a las capas más superficiales del suelo (horizontes orgánicos y organo-minerales) sumergidas o saturadas de agua por más de algunos días al año. Estas condiciones de anoxia eliminan el proceso de biodegradación y el grosor de las capas orgánicas pueden incrementarse en varios metros.

Sólo los primeros 40 cm más del suelo son observados y analizados con el fin de clasificar las formas de humus semiterrestres, la parte de debajo del perfil corresponde a Histosols bien detectados y descritos siguiendo los métodos propuestos por la clasificación internacional del suelo (FAO, 2006; AFES, 2009; Soil Survey Staff, 2010). (Jabiol et al., 2009).

Teniendo en cuenta la clasificación de las formas de humus terrestres, se ha elaborado un esquema similar para categorías semiterrestres, utilizando bases conceptuales lo más cercanas posible. Incluso si se ralentiza por la anoxia, el proceso de biodegradación de los restos vegetales puede percibirse en el perfil del suelo como una serie de horizontes superpuestos. Sin embargo, existen grandes diferencias con las formas de humus terrestres.

En circunstancias semiterrestres, la zona de cambio biológico se encuentra en la zona aireada, las capas superiores del horizonte húmico. Las capas orgánicas inferiores están saturadas de agua y, por lo tanto, están sujetas a una degradación mucho más lenta que las capas superficiales.

Como consecuencia, una capa de OH terrestre no puede compararse completamente con un horizonte Hs semiterrestre. Por esa razón, las definiciones de Mull, Moder y Mor semiterrestres difieren de las definiciones terrestres. Las capas orgánicas inalteradas actúan como una especie de material parental, mientras que en las formas terrestres de humus los materiales parentales son estrictamente minerales.

Las formas semiterrestres más típicas son los Histoforms, se encuentran sumergidas o saturadas de agua durante un período prolongado del año (generalmente más de 6 meses). La turba aparece en la parte superior del perfil de humus debido a las condiciones anaeróbicas que ralentizan la transformación biológica de la materia orgánica.

En Hidroforms, los horizontes orgánicos rara vez están sumergidos y la biotransformación de la materia orgánica es relativamente cercana a las condiciones de aireación, con los mismos animales y productos de sus actividades. Sin embargo, los horizontes organo-minerales siempre muestran signos de anoxia periódica.

Los Epihistoforms se introducen para clasificar formas de humus semiterrestres iniciales o de transición con horizontes orgánicos de Histoforms e Hidroforms.

2 JUSTIFICACIÓN

A lo largo de un gradiente altitudinal la producción de biomasa en un bosque puede ir variando tal y como varían la precipitación (mayor a mayor altitud) y la temperatura (menor a mayor altitud, además de una progresiva pérdida de fertilidad de los suelos (Sánchez et al., 2005) todo ello puede influir en la variación del tipo y cantidad de humus con la altitud.

Otro factor que puede influir es la calidad de los restos vegetales (procedentes de planifolios versus aciculifolios) (Burgaz Moreno et al., 1985); (Longares et al., 2004). Para determinar ese tipo de efectos, se estudiarán, en el piso montano del Moncayo, entre unos 1000 y unos 1600 m de altitud, los tipos de humus tanto en hayedo como en pinar.

Con este trabajo a su vez, se busca, mediante el aumento del conocimiento sobre las características del humus en el macizo del Moncayo que conllevará su resolución, contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que aparecen en la Agenda 2030, en concreto con el número 15: gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERALES

Los objetivos generales son:

- Caracterización morfológica y analítica de los tipos de humus de los ecosistemas forestales del piso montano del Moncayo (1000 a 1600 m.s.n.m.) en la vertiente noroeste del mismo, la vertiente aragonesa.
- Determinación de la influencia de la altitud y del tipo de bosque sobre el horizonte orgánico y las posibles variaciones que estos dos factores conllevan.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinación de parámetros físicos del horizonte órgano-mineral (Ah): diámetro medio de agregados, porcentaje de elementos gruesos, densidad aparente, estabilidad estructural.
- Determinación de parámetros químicos del horizonte órgano-mineral (Ah): pH, conductividad, repelencia, relación C/N.
- Determinación de la producción de materia orgánica que cada horizonte orgánico.
- Diferenciación de los tipos de humus forestales e identificación de los tipos de humus recogidos durante el muestreo.
- Contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que aparecen en la Agenda 2030, en concreto con el número 15: gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

4 ÁREA DE ESTUDIO

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

4.1.1 Geográficas

El macizo del Moncayo, situado en la parte occidental de la provincia de Zaragoza (ver figura 1), constituye una figura montañosa con una fuerte disimetría entre sus dos vertientes: la soriana, de topografía tendida y orientada al suroeste, y la zaragozana, claramente escarpada y expuesta al noreste.

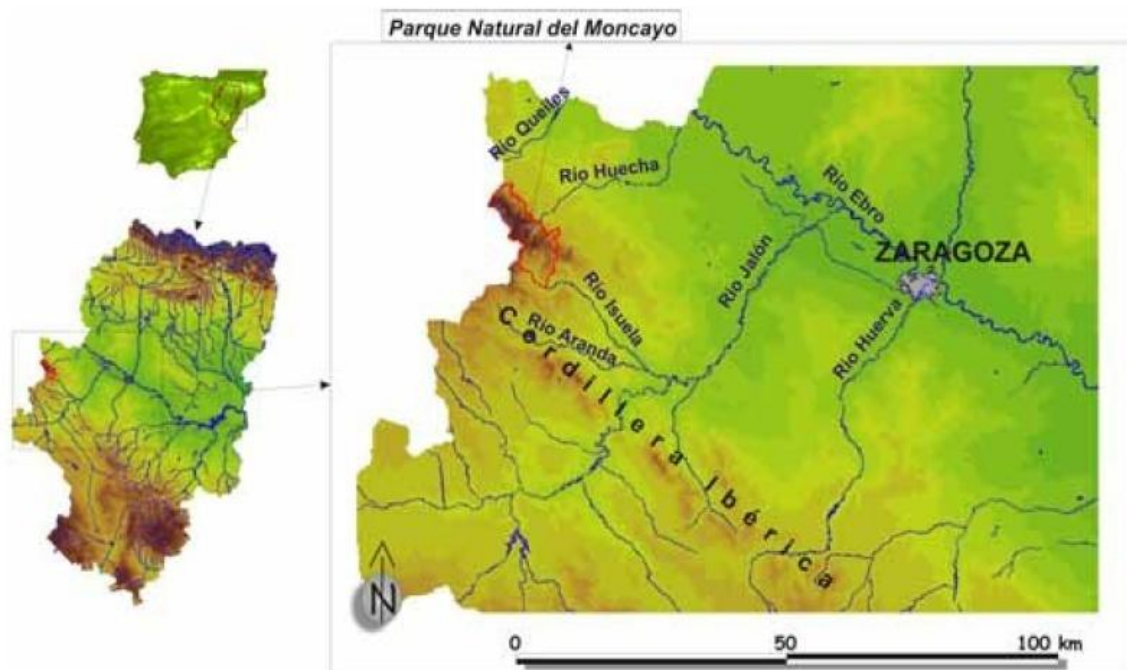


Figura 1: situación geográfica del Parque Natural del Moncayo (Longares et al., 2004).

En esta vertiente se concentran gran parte de los factores ambientales que generan variedad y diversidad: fuerte desnivel topográfico (desde la depresión del Ebro, 300 msnm, a su cumbre, 2315 msnm), un marcado gradiente altitudinal en cuanto a temperaturas y precipitaciones, clara exposición a las influencias atlánticas, así como importantes diferencias edáficas y un largo historial de uso por parte del hombre (Servicio provincial de medio ambiente de Zaragoza. Gobierno de Aragón., 2014).

Ha pasado de un aprovechamiento intenso enfocado a la producción de leña, carbón y uso ganadero, a sufrir importantes políticas de reforestación desde finales del siglo XIX (Longares et al., 2004).

4.1.2 Climáticas

Se puede decir que el clima de la región es mediterráneo con claros matices continentales, en la transición entre el clima de la depresión del Ebro y de las plataformas sorianas, y todo ello matizado con la altitud. El relieve del Moncayo impone unas características específicas que suponen el incremento de las precipitaciones y la disminución de las temperaturas.

El macizo del Moncayo recibe una precipitación abundante, netamente superior a la de su entorno, pero con claras diferencias entre sus vertientes norte y sur. En la norte la precipitación media anual esta sobre los 600 mm a 1000 m de altura, cercana a 1000 mm a 1400 m y de unos 1400 mm a 1800 m.

En el piedemonte norte hay que destacar, por su monótona persistencia, por su fuerza y por los efectos desecantes, el cierzo, viento frío y seco del NW (Del Valle y San Roman, 1994).

4.1.3 Botánicas

La distribución altitudinal de la flora en el Moncayo (ver figura 2) se inicia con el piso basal mesomediterráneo, que llega hasta una altitud de 900-1000 metros, en el que domina una vegetación influenciada por la acción de hombre, donde es constante la presencia de matorrales xerofíticos con predominio de romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y aliaga (*Genista scorpius*), ocupando el territorio potencial del coscojar (*Quercus coccifera*) hasta los 750 m y de la carrasca (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) entre los 600 – 1000/1300 m. Esta última, al ganar altura, aparece mezclada con quejigo (*Quercus faginea*) en algunos puntos, al mismo tiempo que hay zonas con repoblaciones de pinar.

A continuación, se llega al piso supramediterráneo que es ocupado en mayor medida por rebollo (*Quercus pyrenaica*) en las partes más bajas, acompañado de forma puntual por roble albar (*Quercus petraea*) en el Monte de la Mata y hayas (*Fagus sylvatica*) que alcanzan los 1600 m de altitud.

Aquí también las repoblaciones de pinar están muy presentes, en su parte más baja (*Pinus halepensis*) y en el límite altitudinal del bosque, donde encontramos pinares albares (*Pinus sylvestris*) colonizados poco a poco por el haya y el acebo (*Ilex aquifolium*) y repoblaciones de pinar negro (*Pinus uncinata*) muy naturalizados.

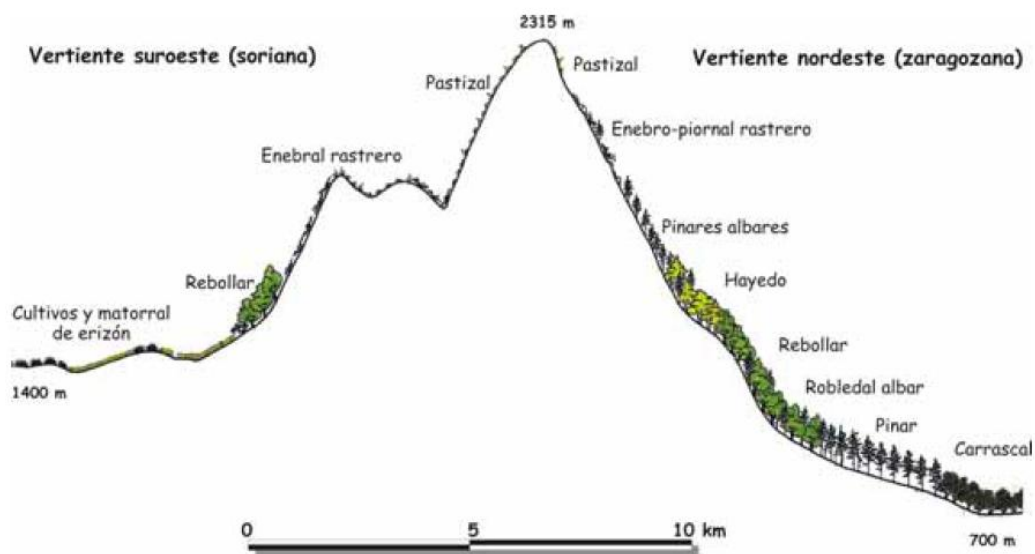


Figura 2: Distribución altitudinal de la vegetación en el macizo del Moncayo (Longares et al., 2004).

La transición al siguiente piso se da de forma paulatina, el bosque pierde importancia y da paso a matorrales rastreros característicos del piso oromediterráneo, matorrales de enebro (*Juniperus communis* subsp. *alpina*) y piornales (*Cytisus balansae* subsp. *europaeus*) y sabinares rastreros (*Juniperus sabina*).

En las partes más elevadas, mas pedregosas con menos suelo y más pobre, se observa un pastizal de *Festuca aragonensis*, que sería la manifestación del piso crioromediterráneo (Longares et al., 2004).

4.2 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

La comarca del Moncayo, a excepción de Tarazona, tiene los mismos rasgos que otras zonas rurales de España, todos ellos interrelacionados: bajas densidades de población, envejecimiento de la misma, despoblamiento de núcleos rurales, predominio del sector agrario con tendencia al abandono de actividades tradicionales, bajo nivel de dotaciones de servicios e infraestructuras, pocas perspectivas de crecimiento económico.

Se trata de un territorio deprimido socioeconómicamente que, por un lado, se puede considerar en transformación debido a la proximidad de un núcleo urbano relativamente grande como es Tarazona, con los consecuentes problemas de competencia entre usos del suelo, mientras que su parte meridional está realmente en declive y con mayor amenaza de despoblamiento.

Se observa que en el ámbito del Moncayo hay poco más de 12.000 habitantes de los cuales, más de 10.500 viven en Tarazona, lo que remarca el hecho del abandono de las zonas rurales a favor de las urbanas.

Seis de los doce municipios (Añón, Calcena, Litago, Purujosa, San Martín y Talamantes), son incluidos en la lista de *Zonas Desfavorecidas* de España, reguladas por el R.D. 3482/2000, por lo que reciben indemnizaciones compensatorias por parte del Departamento de Agricultura, y son prioritarias para las políticas agrarias comunitarias y de desarrollo rural.

Forman parte también de las llamadas *Zonas de Montaña* y reciben también ayudas de la Unión Europea destinadas a estos territorios agrícolas desfavorecidos.

El perfil socio-laboral refleja que, del total de población, tan sólo un 35% está en edad activa, algo inferior al 39-40% de media que tienen en la provincia, Aragón o España; sin embargo, en Tarazona alcanza el 45%. (Servicio provincial de medio ambiente de Zaragoza.Gobierno de Aragón., 2014)

4.3 FIGURAS DE PROTECCIÓN

La protección de este paraje natural comenzó en 1927 cuando se declaró Sitio Natural de Interés Nacional, siendo aprobada la figura de Parque en 1978, como Parque Natural de la Dehesa del Moncayo.

Mediante el Decreto 73/1998, de 31 de marzo, del Gobierno de Aragón, se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Comarca del Moncayo y se declara el Parque del Moncayo, ampliándose sus límites hasta englobar la totalidad de la sierra del Moncayo en su vertiente zaragozana.

Finalmente, la Ley 6/1998, de 19 de mayo, de Espacios Naturales Protegidos de Aragón, reclasifica su catalogación a Parque Natural del Moncayo. Se propone la Sierra del Moncayo (1999) y del Barranco de Val de plata (2001) como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). Se declara Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA nº 32) de la Sierra del Moncayo-Los Fayos-Sierra de Armas, por Orden de 20 de agosto de 2001. Por último, se crea el Refugio de Fauna Silvestre de El Val, aledaño al Parque Natural, por Decreto 265/2002. (Servicio provincial de medio ambiente de Zaragoza. Gobierno de Aragón., 2014)

5 MATERIAL Y METODOS

5.1 PUNTOS DE MUESTREO

Para la elección de los puntos de recogida de muestras se han tenido en cuenta las variables que queríamos estudiar, la altura y la comunidad forestal, de modo que se realizó una búsqueda rápida para ver las diferentes masas boscosas que estaban presentes a diferentes alturas en la parte noreste del macizo del Moncayo y ver así dónde íbamos a poder muestrear. Se eligieron el pinar y el hayedo (figura 3), ya que se encontraban presentes a diferentes alturas. Respecto a la elección de las diferentes altitudes, se pensó en hacer cinco altitudes dividiendo de manera más o menos uniforme el intervalo de altura en el que nos movemos (1000-1600 m.s.n.m.) de las diferentes masas boscosas; sin embargo, al final se decidió dejar en tres las zonas de muestreo debido a que las dos zonas más bajas elegidas para el muestreo se encontraban muy cerca altitudinalmente, e incluso en ocasiones a la misma altura y la más alta se encontraba con muchos afloramientos rocosos, lo que hizo muy difícil la extracción de muestras y ello dio lugar a demasiados errores en laboratorio.



Figura3: Zona de muestreo en interior de un bosque de hayas.

Se decidió realizar tres mediciones en cada zona de muestreo con el fin de tener mediciones suficientes para evitar errores de medida y tener una idea más exacta de la zona, y también de no cargarse con un excesivo número de muestras; estos tres muestreos se realizaron próximos entre ellos, intentando que la vegetación fuese similar, aunque con la suficiente distancia como para que se considerasen diferentes respecto a las otras dos réplicas.

Una vez se tenía fijado el siguiente punto donde se iba a muestrear, con ayuda de algunos utensilios, se dejaba bien identificado el punto de muestreo mediante la localización por coordenadas (GPS), la orientación de la ladera (brújula), la altitud de esta (altímetro), su pendiente (clinómetro) y una breve descripción del sotobosque de alrededor, los datos se muestran debajo en las tablas 1 y 2.

Zona	Punto de muestreo	Coordenadas 30T	Altitud (m)	Orientación	Pendiente (%)	Sotobosque
Pinar bajo	1	598429X/4629334Y	1119	NE	15	Presencia de majuelos (<i>Crataegusmonogyna</i>) y de vez en cuando algún hayedo de manera esporádica.
Pinar bajo	2	598443X/4629853Y	1120	NE	15	
Pinar bajo	3	598387X/4629329Y	1121	NE	15	
Pinar medio	1	591919X/4626705Y	1432	NE	20	Presencia de acebo (<i>Ilexaquifolium</i>) y brezo (<i>Ericaarborea</i>).
Pinar medio	2	599177X/4626720Y	1429	NE	20	
Pinar medio	3	599184X/4626612Y	1429	NE	20	
Pinar alto	1	598479X/4626937Y	1603	NE	10	Presencia de brezo (<i>Ericavagans</i> y <i>Ericaarborea</i>) y arándano (<i>Vacciniummyrtillus</i>).
Pinar alto	2	598473X/4626930Y	1603	NE	10	
Pinar alto	3	598476X/4626929Y	1604	NE	10	

Tabla 1: Zonas de muestreo depinar.

Zona	Punto de muestreo	Coordenadas 30T	Altitud (m)	Orientación	Pendiente (%)	Sotobosque
Hayedo bajo bajo	1	597960X/4629365Y	1182	NE	30	Sotobosque inexistente, presencia de abundante musgo.
Hayedo bajo bajo	2	597934X/4629382Y	1177	NE	30	
Hayedo bajo bajo	3	597902X/4629370Y	1196	NE	30	
Hayedo bajo	1	599131X/4628221Y	1186	NE	20	Sotobosque inexistente, presencia de abundante musgo.
Hayedo bajo	2	599111X/4628232Y	1183	NE	20	
Hayedo bajo	3	599118X/4628223Y	1185	NE	20	
Hayedo medio	1	598268X/4628663Y	1225	NE	40	Presencia de arándano (<i>Vacciniummyrtillus</i>), brezo (<i>Ericaarborea</i>) y acebo (<i>Ilexaquifolium</i>).
Hayedo medio	2	598235X/4628668Y	1228	NE	40	
Hayedo medio	3	598248X/4628662Y	1232	NE	40	
Hayedo alto	1	599084X/4627395Y	1307	NE	20	Presencia de arándano (<i>Vacciniummyrtillus</i>), brezo (<i>Ericaarborea</i>) y musgo.
Hayedo alto	2	599093X/4627405Y	1308	NE	20	
Hayedo alto	3	599073X/4627389Y	1310	NE	20	
Hayedo alto alto	1	597739X/4628204Y	1541	NE	55	Sotobosque inexistente.
Hayedo alto alto	2	597729X/4628230Y	1533	NE	55	
Hayedo alto alto	3	597723X/4628261Y	1537	NE	55	

Tabla 2: Zonas de muestreo de hayedo.

La toma de muestras se realizó con la ayuda de un marco de madera de 30 x30 cm, el cual se fijaba al suelo con ayuda de cuatro clavos para mantenerlo estable y poder ir extrayendo las diferentes capas de hojarasca y humus en su interior como se observa en la figura 4. El proceso de decapado se llevó a cabo con ayuda de una espátula y un cincel pequeño para las capas más duras.

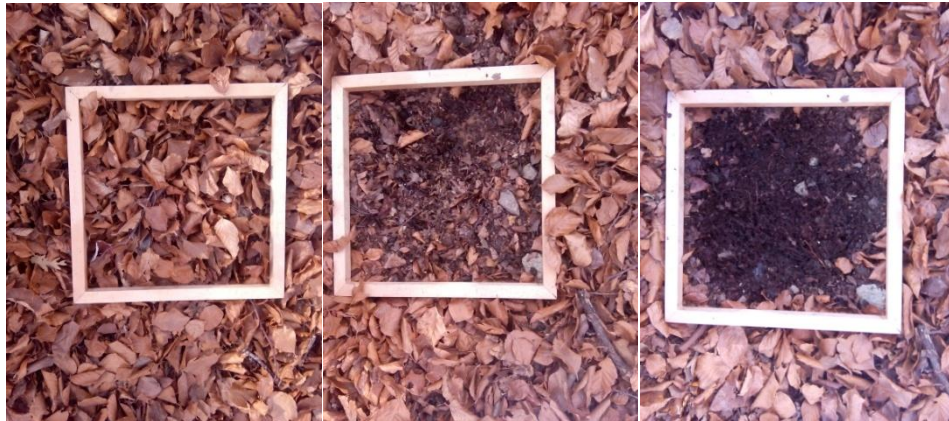


Figura 4: Secuencia de decapado de un punto de muestreo.

Cada muestra se metía en una bolsa diferente, con su correspondiente referencia y con la nomenclatura del horizonte que se creía correspondía (según lo expuesto en la introducción); al respecto, debido a la humedad que contenía la muestra en fresco, hubo ciertas modificaciones, debido al oscurecimiento que adquiere la tierra húmeda respecto a la tierra ya secada en el laboratorio.

En el horizonte órgano-mineral por el contrario, no se recogía la muestra mediante el decape, si no que se hacía mediante un cilindro metálico de extracción de muestras; si el punto de muestreo lo permitía se realizaba con uno grande, pero si el suelo resultaba ser muy pedregoso se tenía que realizar con un cilindro más pequeño pero de manejo más sencillo en esos suelos. Para conseguir la muestra órgano-mineral con el cilindro, se clavaba en el horizonte con la ayuda de un martillo de geólogo (ver figura 5) y posteriormente la muestra se guardaba en una bolsa debidamente referenciada.



Figura 5: Extracción de cilindro metálico para muestra de horizonte organo-mineral.

Las muestras recogidas se guardaban en una bolsa y esta bolsa, a su vez, se metía en otra con el fin de evitar que el material se perdiese por accidente.

5.2 PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Durante los primeros días, las muestras de hojarasca y de humus se dejaron secar a temperatura ambiente en la edafoteca, un espacio dedicado en parte al almacenamiento de muestras de diferentes trabajos y que dispone de espacio suficiente para poder guardar ahí las muestras, abiertas para que se fuesen secando, sin que molesten a nadie.

Con las muestras de horizontes órgano-minerales se procedió de forma diferente dado que se iban a necesitar primero debido a la cantidad de análisis de laboratorio que se les tenían que hacer, a estas muestras, que previamente fueron depositadas en recipientes de aluminio, se las metió en la estufa a una temperatura de 50°C para que se secasen con mayor rapidez, no fue a temperatura superior para no alterar la materia orgánica, y periódicamente se fueron realizando pesajes hasta que se consideró que el peso se mantenía relativamente estable lo que significaba que ya no había humedad.

Una vez secas las muestras, se les realizaron los diferentes análisis físico-químicos que se consideraron necesarios. Durante el trabajo de laboratorio se usaron diferentes equipos en función de las diferentes pruebas a realizar, así como los reactivos necesarios, que se describen en el siguiente apartado.

5.3 MEDICION DE PARAMETROS

Se va a realizar la medición de los diferentes parámetros elegidos, se va a distinguir en función de si se realizan sobre muestras del horizonte organo-mineral o sobre muestras del horizonte orgánico.

Con estas mediciones se busca obtener información que nos de pistas de a qué tipo de humus se puede deber en cada zona o si hay una correlación entre la diferencia de altitud o vegetación dominante y la variación o no de los parámetros analizados a continuación.

5.3.1 Horizonte órgano-mineral

5.3.1.1 pH: actual y potencial

Método potenciométrico

pH actual: se pone una muestra de 10 gramos de suelo (horizonte A) con agua destilada en una proporción de 1:2,5, se mantiene en agitación (en un agitador mecánico) (ver figura 6) durante un periodo de tiempo determinado (30 min) y se mide el pH con un pHmetro en el sobrenadante de la mezcla.

Una vez realizadas las mediciones con la relación de 1:2,5 se repite el proceso pero con una relación de 1:5.



Figura 6: Agitador mecánico con muestras en funcionamiento.

pH potencial: se pone una muestra de 10 gramos de tierra con KCl 0,1 N en proporción 1:2,5 y se pone en agitación (en un agitador) durante un periodo de tiempo determinado (30 min) y se mide el pH con un pHmetro en el sobrenadante de la mezcla.

5.3.1.2 Conductividad eléctrica (CE)

Se mide la conductividad de una mezcla de 10 gramos de suelo con agua en proporción 1:5. Se lleva la muestra al agitador durante 30 minutos. Una vez agitada, se mide la conductividad en el sobrenadante de las muestras (ver figura 6) mediante un conductímetro; el resultado se expresa en dS/m.

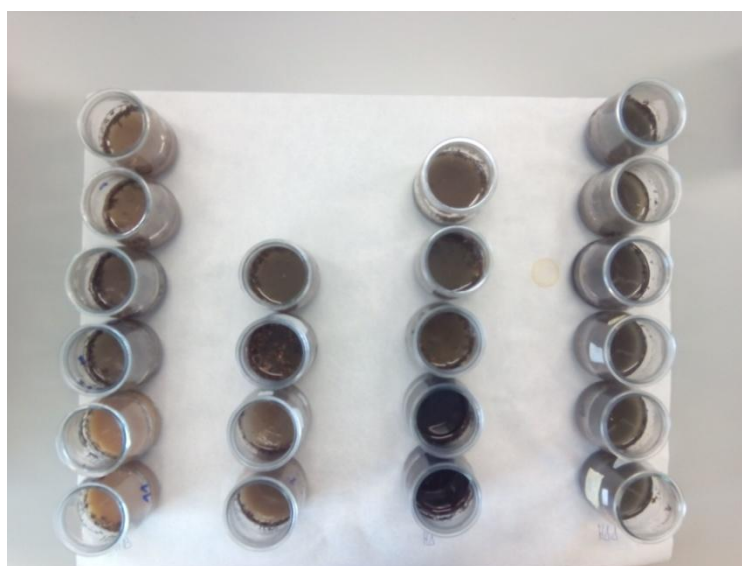


Figura 6: Muestras de suelo en agua preparadas para medición del pH y la conductividad eléctrica.

5.3.1.3 Repelencia: persistencia e intensidad

Se ha medido la persistencia de la repelencia al agua del suelo (test de penetración de la gota de agua, WDPT) y la intensidad de la repelencia, con soluciones de diferentes concentraciones de etanol (método del porcentaje de etanol o método de la molaridad de una gota de etanol) (Doerr et al., 1998), (Letey et al., 2000), (Roy and McGill, 2002).

Para el test WDPT se mide el tiempo que tarda una gota de agua destilada colocada en la superficie del suelo en infiltrarse completamente, en base al tiempo que tarde se puede clasificar el suelo una tabla. Con el método del porcentaje de etanol, se mide para qué porcentaje de etanol la gota de agua se infiltra completamente de manera inmediata.

5.3.1.4 Estabilidad estructural de agregados

Se sigue el método propuesto por Kemper y Koch (Kemper y Koch, 1966) actualizado por Schinner et al. (Schinner F et al., 1996).

Se va a trabajar con muestras secas de los diferentes horizontes comprendidas entre 2 y 1 mm de diámetro de agregados, para ello se pasan por el tamiz para separar los diferentes tipos de agregados.

Estos agregados son sometidos a una agitación y tamizado en húmedo con agua destilada en un tamizador automático durante 5 minutos (ver figura 7). Pasado ese tiempo se lavan los agregados que han quedado en la malla del recipiente y se llevan a una estufa a 105°C hasta que alcanzan un peso estable; este proceso dura aproximadamente un día.



Figura 7: Tamizador en húmedo después de una prueba.

Después de enfriarse y de pesar la muestra, ésta se va a disolver en 50 ml de difosfatotetrasódico durante dos horas. Una vez pasado ese tiempo se pasa la muestra por un tamiz (si algún agregado queda aún, se usa una varilla para romperlo), lo que queda en el tamiz se pasa a un recipiente metálico y se seca en estufa a 105°C; cuando alcanza un peso estable, se toma el valor de su peso.

Con los datos obtenidos por medio de las diferentes pesadas y a través de la fórmula de dicho procedimiento se obtiene el porcentaje de agregados estables en cada muestra de cada horizonte.

5.3.1.5 Densidad aparente

Consiste en relacionar la masa y el volumen de una muestra inalterada de suelo tomada en el campo, en nuestro caso con cilindros de metal. Se coge la muestra y se seca a 105°C durante un día para determinar su peso seco; se miden las dimensiones del interior del cilindro para saber el volumen inicial de la muestra de suelo y, por último, se divide el peso seco por el volumen calculado anteriormente.

5.3.1.6 Diámetro medio de agregados

Se mete cada muestra seca en un tamizador con torre de tamices, compuesta por tamices de diferente tamaño de luz, estos se disponen de mayor a menor diámetro de luz en la torre.

Los tamices, en este caso, son de 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm y 0,25 mm de diámetro de luz, de esta forma se separan los agregados(ver figura 8)y los elementos gruesos (que separaremos más tarde para no tenerlas en cuenta) de los diferentes diámetros: mayores de 4 mm, entre 4 y 2 mm, entre 1 y 2 mm, entre 0,5 y 1 mm, entre 0,25 y 0,5 mm y en el último cajón quedan los agregados menores de 0,25 mm de diámetro.



Figura8: Ejemplo de diferentes tamaños de agregados en una muestra de pinar medio.

Una vez se han separado por tamaño de diámetro (ver figura 9), con ayuda de un rodillo y del tamiz de 2 mm de luz, se van a separar los elementos gruesos de los agregados del suelo propiamente dicho.



Figura 9: Diferentes diámetros de agregados separados por la torre de tamices.

Se volverán a realizar pesajes para saber el porcentaje de elementos gruesos de cada grupo de agregados y de cada muestra en general, y con el peso inicial de la muestra seca se obtiene el diámetro medio de los agregados de la muestra con la siguiente fórmula:

$$\text{Diámetro medio} = \sum (\text{diámetro medio del tamiz} * \text{porcentaje de la muestra})$$

Como ejemplo tomamos los datos de la tabla 3 correspondientes a la muestra N°1 del hayedo bajo:

Luz del tamiz	> 4mm	> 2 mm	> 1 mm	> 0,5mm	> 0,25mm	< 0,25 mm
% agregados	0,13	0,19	0,25	0,14	0,12	0,17

Tabla 3: Datos de diámetro medio de agregados correspondiente a la muestra N°1 del hayedo bajo.

Con los datos de la tabla anterior se realizan los cálculos: en la fórmula se pide el promedio de luz de los tamices, en el primero sabemos que el de debajo tiene 4 mm de luz, pero como no hay arriba ninguno, le vamos a dar el valor del diámetro del elemento grueso más grande de dicha muestra, en este caso es una roca de 20 mm de grosor.

$$DMA = (0,137 * 12) + (0,184 * 3) + (0,244 * 1,5) + (0,148 * 0,75) + (0,111 * 0,375) + (0,177 * 0,125) = 2,73 \text{ mm}$$

5.3.1.7 Elementos gruesos

Aprovechando que las muestras se meten en el tamizador, se extraen los elementos gruesos (ver figura 10), que son las rocas con diámetro superior a 2 mm, una vez están separados del resto de la muestra, se calcula el porcentaje en peso de esta que les corresponde, se calcula sobre los pesos de las muestras secas.



Figura 10: Ejemplo de elementos gruesos recogidos en un punto de muestreo.

5.3.1.8 Relación C/N

Se envían las muestras relativas a los diferentes horizontes a un laboratorio externo para determinar C y N mediante un analizador elemental (Elemental Analyser Flash 2000, Thermo Scientific). Para la preparación de cada muestra se muele un gramo en el mortero y cuando está en polvo se mete en un Eppendorf (ver figura 11).



Figura 11: Preparación de muestras de suelos, en Eppendorfs, para su análisis elemental.

5.3.2 Horizontes orgánicos

5.3.2.1 Densidad aparente

En el propio campo, mientras se va sacando cada capa, se determina su espesor (ver en Anexo 9); debido a que el marco utilizado es el mismo para todas las muestras orgánicas y se saben sus medidas, podemos averiguar el volumen de cada muestra.

Una vez en el laboratorio se secan las muestras orgánicas en una estufa a 105°C y se realizan pesajes hasta que se estabiliza el peso (ver Anexo 10). Una vez que se sabe peso y volumen se calcula la densidad.

5.3.2.2 Producción de biomasa

La producción de biomasa se expresa en relación a superficie, generalmente a hectáreas (Ha). Se pasará el peso obtenido de cada horizonte de cada muestra, que corresponde a la superficie del marco utilizado durante el muestreo, a una superficie de una hectárea. Se suma lo que nos da cada horizonte de una muestra, para obtener la producción de biomasa por hectárea que da ese suelo.

5.3.2.3 Relación C/N

Se realiza de igual modo que con las muestras de los horizontes órgano-minerales (Ver apartado 4.1.1.8).

5.3.2.4 Identificación de formas de humus

Se sigue una guía de clasificación de formas de humus, la “European Reference Base For Humus Forms” (Zanella et al., 2011), que nos ayuda a distinguir los diferentes tipos de horizontes húmicos y a identificarlos correctamente por medio de pruebas anteriormente descritas y con la observación de la muestra.

5.4 TRATAMIENTO ESTADISTICO

Una vez realizados las mediciones de los diferentes parámetros y tomados los valores de cada zona de muestreo y de cada horizonte, con ayuda del Excel y del programa estadístico StatView, se ha llevado a cabo un breve estudio estadístico para saber si los datos de las diferentes zonas de muestreo se corresponden a un mismo grupo de datos o por el contrario puede haber más de uno; para esto se ha utilizado el test Anova.

6 RESULTADOS

Los resultados de las diferentes determinaciones físicas y químicas, obtenidas en laboratorio, se muestran a continuación.

6.1 HORIZONTE ORGANO-MINERAL, Ah

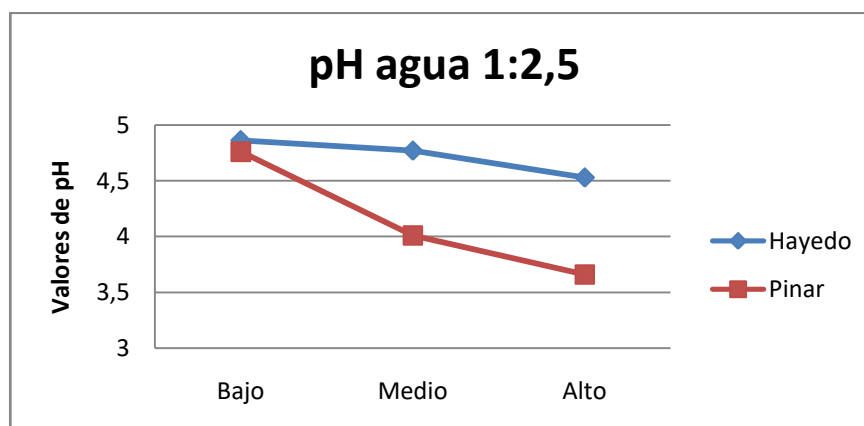
6.1.1 pH

En las siguientes tablas (ver tablas 4y 5) se muestran los resultados medios obtenidos para cada punto de muestreo, tanto de pH a una relación 1:2,5, como para una relación 1:5, y para el pH potencial (KCl).

En el Anexo 1 se puede ver la tabla con todos los valores medidos con el pH-metro, así como los test Anovas obtenidos mediante el programa Statview.

Bosque	Altitud	pH actual (1:2,5)	pH actual (1:5)
Pinar	Alto	3,7 a	3,8 a
	Medio	4,0 ab	4,2 ab
	Bajo	4,8 b	4,7 b
Hayedo	Alto	4,5 a	4,6 a
	Medio	4,8 a	4,8 a
	Bajo	4,9 a	5 a

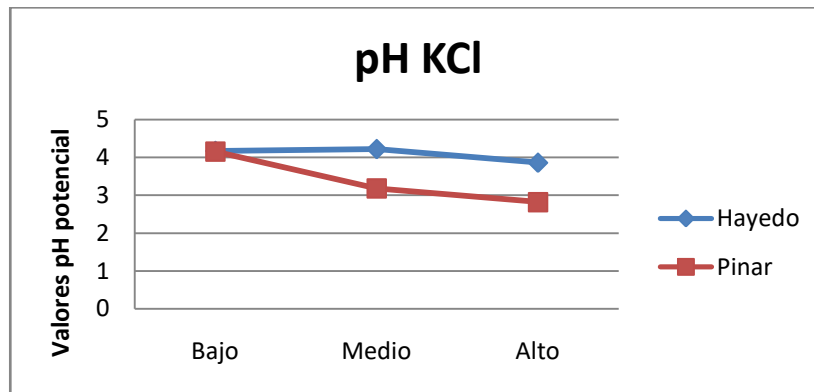
Tabla 4: Media de pH actual 1:2,5 para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test Anova. Se compara cada bosque de forma independiente.



La gráfica muestra cómo desciende el pH con la altura y cómo el descenso en pinar es más acentuado que en hayedo.

Bosque	Altitud	pH potencial (KCl)
Pinar	Alto	2,8 a
	Medio	3,2 a
	Bajo	4,2 b
Hayedo	Alto	3,9 a
	Medio	4,2 a
	Bajo	4,2 a

Tabla 5: Media de pH potencial para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.



6.1.2 Conductividad eléctrica CE

En la tabla de abajo (tabla 6) se muestran los resultados medios medidos con el conductímetro de todos los puntos de muestreo. En el Anexo 2 se puede ver la tabla con todos los valores.

Bosque	Altitud	CE (1:5) $\mu\text{S}/\text{cm}$
Pinar	Alto	1003,2 a
	Medio	696,2 a
	Bajo	867,7 a
Hayedo	Alto	1244 a
	Medio	1244,5 a
	Bajo	719 a

Tabla 6: Media de conductividad eléctrica para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.1.3 Repelencia

En la tabla 7 se muestran los valores promedio de repelencia para cada zona de muestreo, tanto al agua como al etanol. En el Anexo 3 se recogen todos los valores de repelencia para ambas mediciones.

Bosque	Altitud	WDPT (s)	EP (%)
Pinar	Alto	1409 a	18 a
	Medio	615 a	18 a
	Bajo	364 a	18 a
Hayedo	Alto	307 a	13 a
	Medio	360 a	5 a
	Bajo	480 a	5 a

Tabla 7: Media de valores de repelencia, tanto del test de persistencia de la gota de agua como del de intensidad a diferentes concentraciones de etanol. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.1.4 Relación C/N

En la tabla 8 se muestran los resultados promedio para cada zona de muestreo, en el Anexo 4 se puede ver la tabla con todos los valores medios de cada zona de muestreo.

Bosque	Altitud	C/N
Pinar	Alto	26,2 a
	Medio	27,6 a
	Bajo	22,5 b
Hayedo	Alto	20,9 a
	Medio	19,7 a
	Bajo	20,3 a

Tabla 8: Media de relación C/N para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.1.5 Estabilidad estructural

En la tabla 9 se muestran los valores promedio de estabilidad estructural de cada zona de muestreo, en el Anexo 5 se recogen todos los valores.

Bosque	Altitud	Estabilidad estructural
Pinar	Alto	92,9 a
	Medio	96,5 b
	Bajo	96,1 b
Hayedo	Alto	95,0 a
	Medio	95,0 a
	Bajo	95,6 a

Tabla 9: Media de estabilidad estructural para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.1.6 Densidad aparente

En la tabla 10 se muestran los valores promedio de la densidad aparente de cada zona de muestreo, calculados a partir de los valores de cada punto de muestreo recogidos en el Anexo 6.

Bosque	Altitud	Densidad aparente
Pinar	Alto	888,1 ab
	Medio	1142,2 a
	Bajo	678,6 b
Hayedo	Alto	880 a
	Medio	837,4 a
	Bajo	905,4 a

Tabla 10: Media de densidad aparente para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.1.7 Diámetro medio de agregados

En la siguiente tabla (Tabla 11) se muestran los valores medios recopilados correspondientes a cada zona de muestreo. En el Anexo 7 aparecen las tablas reales de todas las medidas realizadas para obtener dichos parámetros, así como un análisis Anova realizado por Statview.

Bosque	Altitud	Diámetro medio de agregados
Pinar	Alto	1,2 b
	Medio	2,5 ab
	Bajo	4,5 a
Hayedo	Alto	2,2 a
	Medio	3,8 a
	Bajo	3,7 a

Tabla 11: Media de diámetro medio de agregados para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.1.8 Elementos gruesos

En la siguiente tabla (Tabla 12) se muestran los valores medios del porcentaje de elementos gruesos recogidos en cada zona de muestreo. En el Anexo 8 se recopilan todos los valores relativos a todas las muestras.

Bosque	Altitud	Elementos gruesos (%)
Pinar	Alto	61,6 a
	Medio	53,7 a
	Bajo	10,6 b
Hayedo	Alto	74,2 a
	Medio	43,6 b
	Bajo	66,5 a

Tabla 12: Media de elementos gruesos para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.2 HORIZONTE ORGÁNICO

6.2.1 Producción de biomasa

En la tabla 13 de debajo se muestran los valores promedio de producción de biomasa de todas las zonas de muestreo, de todos los horizontes orgánicos juntos. En el Anexo 9 se muestran los valores de cada horizonte de cada punto de muestreo por separado.

Bosque	Altitud	Mg/ha
Pinar	Alto	122,5 a
	Medio	28,4 b
	Bajo	23,3 b
Hayedo	Alto	26,1 a
	Medio	21,1 a
	Bajo	23,8 a

Tabla 13: Media de producción de biomasa para cada zona de muestreo. Letras distintas entre cada valor medio indica la existencia de diferencias significativas para $p < 0,05$ mediante el test anova. Se compara cada bosque de forma independiente.

6.2.2 Relación C/N

En la siguiente tabla (Tabla 14) se muestran los valores medios de relación C/N por horizonte de cada zona de muestreo.

Bosque	Altitud	Relación C/N por horizontes					
		OL	OFr	OFm	OH	Media	Ah
Pinar	Alto	47,2	31,8	26,1	30	33,8	26,2
	Medio	53,4	31,2	29,2	-	37,9	27,6
	Bajo	54,9	31,4	27	-	37,8	22,5
Hayedo	Alto	47,0	26,9	23,4	-	32,4	20,9
	Medio	48,8	28,7	21,0	-	32,8	19,7
	Bajo	49,4	28,0	23,9	-	33,8	20,3

Tabla 14: Relación C/N por horizontes de cada zona de muestreo.

Se puede observar como la relación C/N disminuye desde las muestras orgánicas más superficiales (OL) a las más profundas (OF o OH), para alcanzar el mínimo en el horizonte órgano-mineral (Ah) en ambos tipos de bosque y en cada altitud.

6.3 CARACTERIZACIÓN DE CADA ZONA DE MUESTREO

Con el fin de identificar qué forma de humus existe en cada zona de muestreo, se han recopilado los diferentes valores promedio en cada zona de muestreo para que nos ayuden a dicha identificación, la cual vamos a llevar a cabo siguiendo la nomenclatura de la European Humus Forms Reference Base (Zanella et al., 2011).

Siguiendo el manual de identificación de tipos de humus descrito en el apartado “introducción” vemos que son formas de humus terrestres y que dentro de estas formas de humus se corresponden al tipo Terroforms, ya que nunca descansan directamente sobre un lecho de roca o sobre material parental y nunca se ven influenciadas por raíces o madera en descomposición.

Una vez tenemos el tipo al que pertenecen, nos queda saber el subtipo que tiene cada zona de muestreo. Dentro del tipo de humus Terroforms hay varios subtipos: Mull, Moder, Amphi, Mor y Tangel. A continuación, se muestra una tabla de cada zona de muestreo en particular para que sirva de ayuda en la elección de dicho subtipo.

Pinar bajo		
	Media	Desviación estándar
pH (KCl)	4,15	0,72
pH (H₂O)	4,76	0,61
C/N horizonte A	22,48	4,25
C/N horizontes O	36,87	1,52
Estabilidad Estructural (%)	96,14	0,63
Densidad aparente (kg/m³)	678,6	104,79
Diámetro medio de agregados (mm)	4,5	1,80
Producción de biomasa (Mg/ha)	23,26	5,49

Tabla 15: Ficha de pinar bajo.

En la zona de pinar bajo habría un subtipo Mull ya que presenta las dos únicas características que necesita este subtipo, ausencia de un horizonte OH y presencia de un Horizonte Ah biomacroestructurado. Además, presenta características que excluyen los demás subtipos de formas de humus.

Pinar medio		
	Media	Desviación estándar
pH (KCl)	3,18	0,14
pH (H₂O)	4,01	0,10
C/N horizonte A	27,63	1,79
C/N horizontes O	34,52	3,01
Estabilidad Estructural (%)	96,46	0,88
Densidad aparente (kg/m³)	1142,16	159,60
Diámetro medio de agregados (mm)	2,5	0,54
Producción de biomasa (Mg/ha)	28,4	10,5

Tabla 16: Ficha de pinar medio.

En la zona de pinar medio habría un subtipo Mull ya que presenta las dos únicas características que necesita este subtipo, ausencia de un horizonte OH y presencia de un Horizonte Ah biomacroestructurado. Además, presenta características que excluyen los demás subtipos de formas de humus.

Pinar alto		
	media	Desviación estándar
pH (KCl)	2,82	0,10
pH (H₂O)	3,66	0,09
C/N horizonte A	26,24	1,11
C/N horizontes O	32,94	2,06
Estabilidad Estructural (%)	92,88	0,57
Densidad aparente (kg/m³)	888,12	27,36
Diámetro medio de agregados (mm)	1,14	0,16
Producción de biomasa (Mg/ha)	122,5	82,02

Tabla 17: Ficha de pinar alto.

En la zona de pinar alto habría un subtipo Amphi ya que presenta la mayoría de las características que debe tener, aunque hay algunas que por no demostrables no se puede saber. También se da que por eliminación es el único subtipo en que cabe, ya que en los demás es excluido por no tener alguna de sus características imprescindibles.

Hayedo bajo		
	media	Desviación estándar
pH (KCl)	4,17	0,37
pH (H₂O)	4,86	0,47
C/N horizonte A	20,3	2,21
C/N horizontes O	31,83	3,42
Estabilidad Estructural (%)	95,56	0,10
Densidad aparente (kg/m³)	905,38	254,92
Diámetro medio de agregados (mm)	3,68	0,99
Producción de biomasa (Mg/ha)	23,78	5,37

Tabla 18: Ficha de hayedo bajo.

En la zona de hayedo bajo habría un subtipo Mull ya que no hay presencia de un horizonte OH y el horizonte organo-mineral Ah es biomacroestructurado. Además presenta características que excluyen los demás subtipos de formas de humus.

Hayedo medio		
	media	Desviación estándar
pH (KCl)	4,22	1,02
pH (H₂O)	4,77	0,82
C/N horizonte A	19,68	0,85
C/N horizontes O	31,11	3,44
Estabilidad Estructural (%)	94,9	1,54
Densidad aparente (kg/m³)	837,37	153,01
Diámetro medio de agregados (mm)	3,81	2,27
Producción de biomasa (Mg/ha)	21,08	0,96

Tabla 19: Ficha de hayedo medio.

En la zona de hayedo medio habría un subtipo Mull ya que no hay presencia de un horizonte OH y el horizonte organo-mineral Ah es biomacroestructurado. Además, presenta características que excluyen los demás subtipos de formas de humus.

Hayedo alto		
	media	Desviación estándar
pH (KCl)	3,86	0,48
pH (H₂O)	4,53	0,35
C/N horizonte A	20,89	0,32
C/N horizontes O	29,62	2,20
Estabilidad Estructural (%)	95,03	2,23
Densidad aparente (kg/m³)	880,03	149,38
Diámetro medio de agregados (mm)	2,21	0,62
Producción de biomasa (Mg/ha)	26,09	3,47

Tabla 20: Ficha de hayedo alto.

En la zona de hayedo alto habría un subtipo Mull ya que no hay presencia de horizonte OH y el horizonte organo-mineral Ah es biomesoestructurado. Además presenta características que excluyen los demás subtipos de formas de humus.

A continuación se muestra una tabla con todas las zonas muestreadas y los tipos de humus que se dan en cada una de ellas:

Bosque	Altitud	Humus
Pinar	Alto	Amphi
	Medio	Mull
	Bajo	Mull
Hayedo	Alto	Mull
	Medio	Mull
	Bajo	Mull

Tabla 21: Tipos de humus en cada zona de muestreo.

7 DISCUSIÓN

Se ha visto que factores como el **diámetro medio de agregados** disminuyen con la altitud pasando de los 4,5 mm en el Pinar Bajo a 1,14 mm en el Pinar Alto, y de 3,68mm en el Hayedo Bajo a 2,21 mm en el Hayedo Alto.

Mientras que con la **acidez** ocurre lo mismo, disminuye conforme se sube, pasa de pH de 4,8 en Pinar Bajo y 4,9 en hayedo Bajo a 3,7 en Pinar Alto y 4,5 en Hayedo Alto. Se observa que en pinar se acidifica mucho más, lo que se atribuye a la diferencial calidad de los restos vegetales (Mora et al., 2021).

Con el peso de la **biomasa** pasa justo lo contrario, aumenta con la altitud pasando de 23,3Mg/ha en el Pinar Bajo a 122,5 Mg/ha en el Pinar Alto. Mientras que en el hayedo aumenta pero lo hace en menor cantidad, pasando de 23,8 Mg/ha en el Hayedo Bajo a 26, 1 Mg/ha en el hayedo Alto.

Esto concuerda con lo descrito por Ponge et al., (2014) y por Badía-Villas y Girona-García, (2018). que demuestran que factores como una baja temperatura (en este caso relacionada con un aumento altitudinal) y una elevada acidez afecta al tamaño de los agregados del suelo y a la actividad biológica del propio suelo, disminuyendo de este modo la velocidad de descomposición del suelo de forma que la materia orgánica se va almacenando paulatinamente y aumentando el grosor de las capas orgánicas (Bayranvand et al., 2017).

En relación a los **elementos gruesos** podemos observar que hay más porcentaje de estos en las muestras de las zonas altas, y que va disminuyendo conforme bajamos en altitud.

Respecto a la **relación C/N** se observa que en la zona baja de pinar la relación C/N es más baja (22,5) que en el resto de zonas de pinar, que están entre 26-28. Mientras que en la zona de hayedo no se observa mucha variabilidad, se mantiene en valores rondando el 20.

Esto difiere en parte con los resultados de otros trabajos realizados anteriormente en los que se expone que la relación C/N aumenta conforme lo hace la altitud (Lancho, 1985); (Jaimes and Elizalde, 1990).

Con la prueba de **intensidad de la repelencia (EP)** se ha podido observar que en la zona de pinar sólo se infiltra la gota con una concentración de etanol superior o igual al 18% mientras que en la zona de hayedo no se llega a esas concentraciones, sin evidenciarse diferencias respecto a la altitud.

En cuanto a la **persistencia (WDPT)** se observa en el pinar una disminución en el tiempo de absorción de la gota conforme se desciende en altura. Por el contrario, en el hayedo ocurre justo lo contrario, cuanto más descendemos en altura más tiempo le cuesta a la gota de agua absorberse. A su vez se observa una diferencia en función de la diferente vegetación, tardando más tiempo en absorberse en bosque de pinar que en hayedo.

8 CONCLUSIONES

1. Parámetros físicos destacables:

- El diámetro medio de agregados disminuye conforme aumenta la altitud, se relaciona también con la variación de acidez relativa a la masa boscosa predominante.
- Hay una Estabilidad estructural muy alta en todas las muestras Ah que no varía ni con la altitud ni con el tipo de bosque existente.
- La densidad aparente tampoco tiene relación con ninguno de los dos factores analizados.
- Los elementos gruesos aumentan su porcentaje con la altitud.

2. Parámetros químicos destacables:

- El pH del suelo se acidifica con la altura, en el bosque de pino el pH es más bajo que en el de hayas lo que se atribuye a la diferencial calidad de la hojarasca.
- La relación C/N en hayedos se mantiene estable sobre valores de 20, mientras que en pinar es más variable, pasando de 22,5 en pinar bajo a 26 en el alto, esto se relaciona con la actividad biológica del suelo y su capacidad de procesamiento de materia orgánica.

3. Producción de materia orgánica:

- Se observa un aumento de la producción de materia orgánica respecto a la altura, también es relevante el tipo de bosque, siendo en la zona de pinar alto donde se da una mayor producción de materia orgánica (122,5 Mg/ha) este parámetro está íntimamente ligado con el pH y la relación C/N.

4. Identificación de los tipos de humus:

- Se han identificado todos los tipos de humus como Mull salvo en la zona de pinar alto, la única con un horizonte OH, la cual es tipo Amphi.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Babel, U., 1971. Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mitteleuropäischen Wäldern . Geoderma,.
- Badía-Villas, D., Girona-García, A., 2018. Soil humus changes with elevation in Scots pine stands of the Moncayo Massif (NE Spain). *Appl. Soil Ecol.* 123, 617–621. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.017>
- Baize, D., Girard, M., 2009. Référentiel pédologique 2008 de l'Association Française pour l'Étude du Sol, Editions Quæ.
- Barham, P., Begg, E., Foote, S., Henderson, J., Jansen, P., Pert, H., Scott, J., Wong, A., Woolner, D., 2006. Guidelines for soil description Fourth edition, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- Baritz, R., 2003. Humus Forms in Forests of the Northern German Lowlands.
- Bayranvand, M., Kooch, Y., Hosseini, S.M., Alberti, G., 2017. Humus forms in relation to altitude and forest type in the Northern mountainous regions of Iran. *For. Ecol. Manage.* 385, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.035>
- Broll, G., Brauckmann, H.J., Overesch, M., Junge, B., Erber, C., Milbert, G., Baize, D., Nachtergaele, F., 2006. Topsoil characterization - Recommendations for revision and expansion of the FAO-Draft (1998) with emphasis on humus forms and biological features. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* <https://doi.org/10.1002/jpln.200521961>
- Brunner, H., Nievergelt, J., Peyer, K., Weisskopf, P., Zihlmann, U., 2002. Klassifikation der Böden der Schweiz. FAL-Reckenholz, Zürich.
- Burgaz Moreno, A., Fuertes Lasala, E., Mendiola Ubillos, M., 1985. Esquema de la gradación altitudinal de la vegetación del macizo del Moncayo (Zaragoza-España).
- Del Valle, J., San Roman, J., 1994. Gradiente Pluviométrico En El Macizo Del Moncayo (Provincias De Zaragoza Y Soria). *Geographicalia* 31, 71–81.
- Delecour, F., 1983. Les formes d'humus: identification et description. Les Naturalistes Belges,.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Walsh, R.P.D., 1998. Spatial variability of soil hydrophobicity in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal. *Soil Sci.* 163.
- Green, R.N., Trowbridge, R.L., Klinka, K., 1993. Towards a Taxonomic Classification of Humus Forms. *For. Sci.* <https://doi.org/10.1093/forestscience/39.s1.a0001>
- Hartmann, F., 1944. Waldhumusformen. *Zeitschrift für das Gesamte Forstwesen.*

- Hesselmann, H., 1926. Studier över barrskogens humustäcke, dess egenskaper och boroende av skogsvården. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt.
- Humusformen, A., 2004. Systematik der Humusformen, AK Humusformen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft.
- ISO 10390, 1994. Soil Quality - Determination of pH. Int. Stand.
- Jabiol, B., Brêthes, A., Brun, J.J., Ponge, J.F., Toutain, F., Zanella, A., Aubert, M., Bureau, F., 2009. Typologie des formes d'humus forestières (sous climat tempéré)., in: ARéférentiel Pédologique 2008. Quae, Paris. pp. 327–355.
- Jabiol, B., Zanella, A., Ponge, J.F., Sartori, G., Englisch, M., van Delft, B., de Waal, R., Le Bayon, R.C., 2013. A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO). *Geoderma* 192, 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.002>
- Jaimes, E., Elizalde, G., 1990. Contenido de materia orgánica de epipedones de suelos venezolanos de acuerdo a gradientes alto térmicos. *Agricultura Andina*. 5, 25–38.
- KEMPER, W.D., KOCH, E.J., 1966. Aggregate stability of soils from western United States and Canada. Measurement procedure, correlation with soil constituents.
- Kubiëna, W.L., 1953. *The Soils of Europe*. Thomas Murby, London.
- Lancho, J.F.G., 1985. Relacion entre contenido orgánico edáfico y altitud en el Sistema Central español (Valle del Jerte), in: *STUDIA ECOLOGICA*, VI. pp. 345–348.
- Letey, J., Carrillo, M.L.K., Pang, X.P., 2000. Approaches to characterize the degree of water repellency, in: *Journal of Hydrology*. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00183-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00183-9)
- Longares, L.A., Peña, J.L., Sánchez, M., 2004. El paisaje vegetal en el sector aragonés del Moncayo 187–197.
- Mora, J.L., Molina-Clerencia, M., Girona-García, A., Martí-Dalmau, C., Badía-Villas, D., 2021. Factors controlling the buildup of humus and particulate organic matter in European beech and Scots pine stands at their southernmost distribution limits (Moncayo Massif, Spain). *Geoderma* 401, 115211. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115211>
- Nestroy, O., Danneberg, O.H., Englisch, M., Gessl, A., Hager, H., Herzberger, E., Kilian, W., Nelhiebel, P., Pecina, E., Pehamberger, A., Schneider, W., Wagner, J., 2000. Systematische Gliederung der Boden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000).
- Ponge, J.F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: A framework to biodiversity.

- Soil Biol. Biochem. 35, 935–945. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00149-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00149-4)
- Ponge, J.F., Sartori, G., Garlato, A., Ungaro, F., Zanella, A., Jabiol, B., Obber, S., 2014. The impact of parent material, climate, soil type and vegetation on Venetian forest humus forms: A direct gradient approach. *Geoderma* 226–227, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.022>
- Roy, J.L., McGill, W.B., 2002. Assessing soil water repellency using the molarity of ethanol droplet (MED) test. *Soil Sci.* <https://doi.org/10.1097/00010694-200202000-00001>
- Sánchez, B., Ruiz, M., Ríos, M., 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agron. Trop.* 55, 507–534.
- Schinner F., Öhlinger R., Kandeler E., M.R., 1996. *Methods in Soil Biology, Methods in Soil Biology.* <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60966-4>
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., Soil Survey Staff, 2012. *Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 3.0.* Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center, Lincoln, NE., Natl. Soil Surv. Ctr., Lincoln, NE.
- Servicio provincial de medio ambiente de Zaragoza.Gobierno de Aragón., 2014. *Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural del Moncayo.*
- Soil Survey Division Staff. S. Department of Agriculture, 1993. *Soil Survey Manual - Chapter 3 Examination and description of soils.* Soil Conservation Service. *Soil Surv. Man.*
- Soil Survey Staff, 2010. *Keys to Soil Taxonomy.* Soil Conserv. Serv.
- van Delft, B., de Waal, R.W., Kemmers, R.H., Mekking, P., Sevink, J., 2006. Field guide humus forms. In: *Description and Classification of Humus Forms for Ecological Applications.* Alterra, Wageningen.
- Zanella, A., Englisch, M., Jabiol, B., Katzensteiner, K., de Waal, R., Hager, H., van Delft, B., Graefe, U., Brun, J.J., Chersich, S., Broll, G., Kolb, E., Baier, R., Baritz, R., Langohr, R., Cools, N., Wresowar, M., Milbert, G., Ponge, J., 2006. Towards a common humus form classification, a first European approach: few generic top soil references as functional units., in: *Poster Presented at the 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, July 9–15, 2006.* Poster presented at the 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, July 9–15, 2006.
- Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.-F., Sartori, G., De Waal, R., Van Delft, B., Graefe, U.,

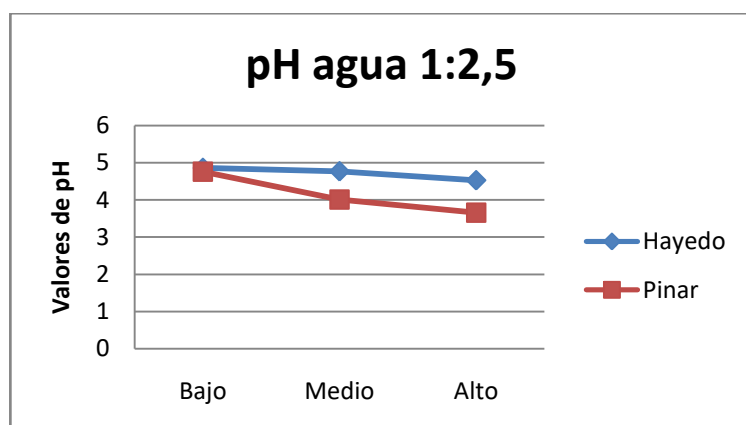
- Cools, N., Katzensteiner, K., Hager, H., Englisch, M., Brêthes, A., 2009. Toward a European humus forms reference base. *Stud. Trentini di Sci. Nat.* 85, 145–151.
- Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.F., Sartori, G., De Waal, R., Van Delft, B., Graefe, U., Cools, N., Katzensteiner, K., Hager, H., Englisch, M., 2011. A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma* 164, 138–145.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.05.016>
- Zanella, A., Tomasi, M., De Siena, C., Frizzera, L., Jabiol, B., Nicolini, G., Sartori, G., Calabrese, M.S., Mancabelli, A., Nardi, S., Pizzeghello, D., Odasso, M., 2001. *Humus forestali: manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione: applicazione alle faggete*. Viote di Monte Bondone (TN): Centro di Ecologia Alpina.

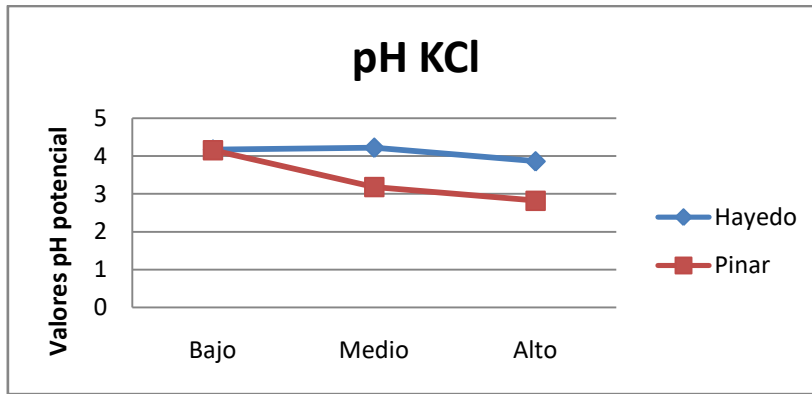
10 ANEXOS

ANEXO 1

Tabla con los valores de pH de todos los muestreos realizados y sus promedios.

Referencia	pH agua 1:2,5	agua 1:2,5 prom.	pH agua 1:5	agua 1:5 prom	pH KCl	KCl prom
HB1 Ah	5,32	4,89	5,46	5,00	4,34	4,17
HB2 Ah	4,96		5,04		4,42	
HB3 Ah	4,38		4,49		3,74	
HM1 Ah	4,19	4,77	4,23	4,83	3,50	4,22
HM3 Ah	5,35		5,43		4,94	
HA1 Ah	4,14	4,53	4,27	4,62	3,37	3,86
HA2 Ah	4,82		4,89		4,33	
HA3 Ah	4,62		4,69		3,89	
HAA1 Ah	6,53	6,48	6,74	6,65	5,88	5,61
HAA2 Ah	6,07		6,28		5,21	
HAA3 Ah	6,84		6,94		5,73	
PB1 Ah	5,24	4,76	5,13	4,73	4,65	4,15
PB2 Ah	4,96		4,95		4,47	
PB3 Ah	4,07		4,10		3,33	
PM1 Ah	3,98	4,01	4,10	4,15	3,15	3,18
PM2 Ah	4,13		4,25		3,34	
PM3 Ah	3,93		4,09		3,06	
PA1 Ah	3,63	3,66	3,75	3,79	2,81	2,82
PA2 Ah	3,59		3,69		2,73	
PA3 Ah	3,76		3,93		2,92	





Test Anova para pH 2,5

Fisher's PLSD for pH agua 2,5

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

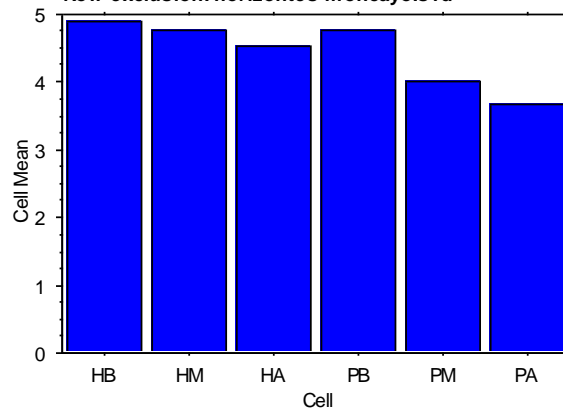
Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	,117	,888	,7779	
HB, HA	,360	,795	,3401	
HB, PB	,130	,795	,7256	
HB, PM	,873	,795	,0341	S
HB, PA	1,227	,795	,0060	S
HM, HA	,243	,888	,5589	
HM, PB	,013	,888	,9742	
HM, PM	,757	,888	,0876	
HM, PA	1,110	,888	,0189	S
HA, PB	-,230	,795	,5371	
HA, PM	,513	,795	,1828	
HA, PA	,867	,795	,0352	S
PB, PM	,743	,795	,0640	
PB, PA	1,097	,795	,0113	S
PM, PA	,353	,795	,3488	

Interaction Bar Plot for pH agua 2,5

Effect: Column 16

Row exclusion: horizontes moncayo.svd



Test Anova para pH 5

Fisher's PLSD for pH agua 5

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

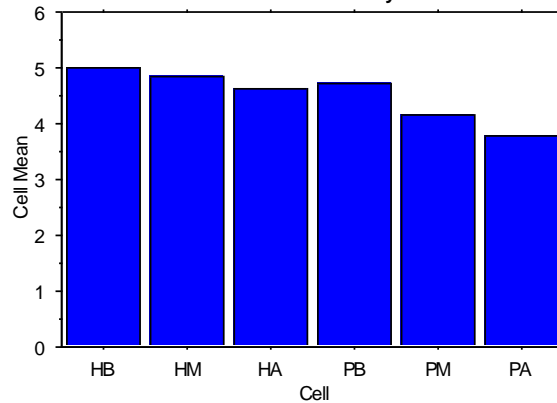
Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	,167	,867	,6802	
HB, HA	,380	,775	,3036	
HB, PB	,270	,775	,4594	
HB, PM	,850	,775	,0344	S
HB, PA	1,207	,775	,0057	S
HM, HA	,213	,867	,5987	
HM, PB	,103	,867	,7978	
HM, PM	,683	,867	,1105	
HM, PA	1,040	,867	,0229	S
HA, PB	-,110	,775	,7606	
HA, PM	,470	,775	,2089	
HA, PA	,827	,775	,0387	S
PB, PM	,580	,775	,1278	
PB, PA	,937	,775	,0222	S
PM, PA	,357	,775	,3329	

Interaction Bar Plot for pH agua 5

Effect: Column 16

Row exclusion: horizontes moncayo.svd



Test Anova para pH potencial.

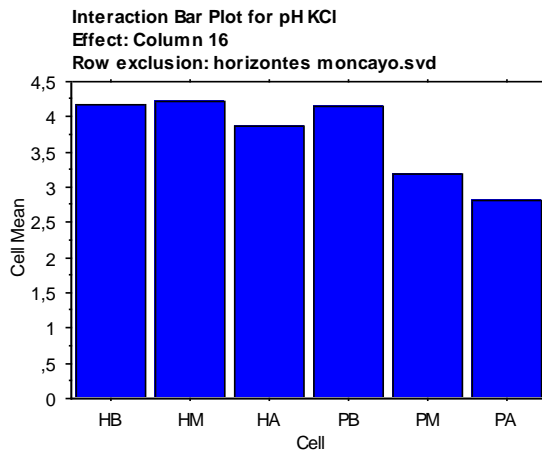
Fisher's PLSD for pH KCl

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	-,053	1,024	,9108	
HB, HA	,303	,916	,4814	
HB, PB	,017	,916	,9688	
HB, PM	,983	,916	,0377	S
HB, PA	1,347	,916	,0079	S
HM, HA	,357	1,024	,4596	
HM, PB	,070	1,024	,8832	
HM, PM	1,037	1,024	,0477	S
HM, PA	1,400	1,024	,0119	S
HA, PB	-,287	,916	,5053	
HA, PM	,680	,916	,1306	
HA, PA	1,043	,916	,0292	S
PB, PM	,967	,916	,0404	S
PB, PA	1,330	,916	,0085	S
PM, PA	,363	,916	,4014	



ANEXO 2

Tabla con los valores de conductividad eléctrica de todos los puntos muestreados y sus promedios.

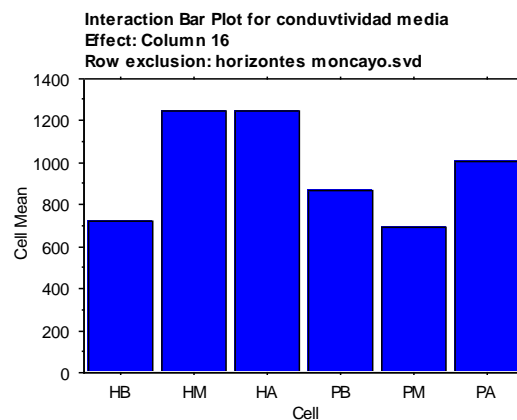
Referencia	Conductividad (μS)	Promedio
HB1 Ah	392,00	719
HB2 Ah	987,50	
HB3 Ah	777,50	
HM1 Ah	862,50	1244,5
HM3 Ah	1626,50	
HA1 Ah	728,50	
HA2 Ah	1704,50	1244
HA3 Ah	1299,00	
HAA1 Ah	1066,50	
HAA2 Ah	757,00	1327,83
HAA3 Ah	2160,00	
PB1 Ah	834,50	
PB2 Ah	1137,50	867,67
PB3 Ah	631,00	
PM1 Ah	741,00	
PM2 Ah	658,00	696,17
PM3 Ah	689,50	
PA1 Ah	1033,50	
PA2 Ah	1104,00	1003,17
PA3 Ah	872,00	

Test Anova para conductividad

Fisher's PLSD for conductividad media
 Effect: Column 16
 Significance Level: 5 %

Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value
HB, HM	-525,750	640,165	,0981
HB, HA	-525,333	572,581	,0685
HB, PB	-149,000	572,581	,5783
HB, PM	22,667	572,581	,9321
HB, PA	-284,333	572,581	,2978
HM, HA	,417	640,165	,9989
HM, PB	376,750	640,165	,2217
HM, PM	548,417	640,165	,0860
HM, PA	241,417	640,165	,4242
HA, PB	376,333	572,581	,1759
HA, PM	548,000	572,581	,0589
HA, PA	241,000	572,581	,3741
PB, PM	171,667	572,581	,5229
PB, PA	-135,333	572,581	,6132
PM, PA	-307,000	572,581	,2629



ANEXO 3

Tabla de valores de repelencia tanto al agua como para el etanol de los diferentes puntos de muestreo.

Referencia	Repelencia al agua (seg.)	promedio	Repelencia al etanol (%)
HB1 Ah	240	480	-
HB2 Ah	300		5
HB3 Ah	900		8,5
HM1 Ah	360	360	5
HM3 Ah	-		-
HA1 Ah	780	307,33	5
HA2 Ah	97		13
HA3 Ah	45		13
HAA1 Ah	180	180	-
HAA2 Ah	180		-
HAA3 Ah	-		-
PB1 Ah	98	364	18
PB2 Ah	505		24
PB3 Ah	489		18
PM1 Ah	1447	615	24
PM2 Ah	68		18
PM3 Ah	330		18
PA1 Ah	605	1409	18
PA2 Ah	219		18
PA3 Ah	3403		24

Test Anova para repelencia a la gota de agua

Fisher's PLSD for Repelencia al agua (seg.)

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

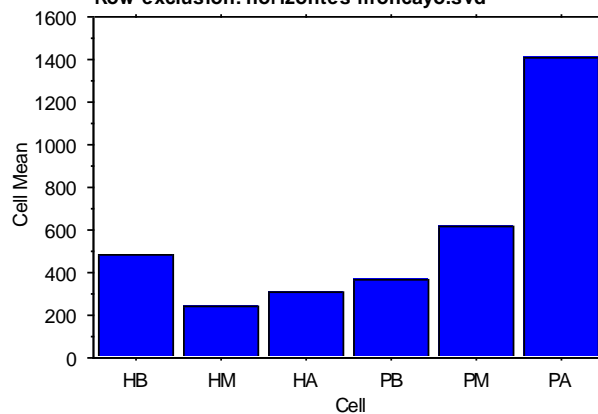
Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value
HB, HM	235,000	1696,978	,7662
HB, HA	172,667	1517,824	,8069
HB, PB	116,000	1517,824	,8695
HB, PM	-135,000	1517,824	,8484
HB, PA	-929,000	1517,824	,2050
HM, HA	-62,333	1696,978	,9370
HM, PB	-119,000	1696,978	,8801
HM, PM	-370,000	1696,978	,6407
HM, PA	-1164,000	1696,978	,1593
HA, PB	-56,667	1517,824	,9360
HA, PM	-307,667	1517,824	,6641
HA, PA	-1101,667	1517,824	,1385
PB, PM	-251,000	1517,824	,7228
PB, PA	-1045,000	1517,824	,1579
PM, PA	-794,000	1517,824	,2740

Interaction Bar Plot for Repelencia al agua (seg.)

Effect: Column 16

Row exclusion: horizontes moncayo.svd



Test Anova para repelencia al etanol

Fisher's PLSD for Repelencia etanol (%)

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

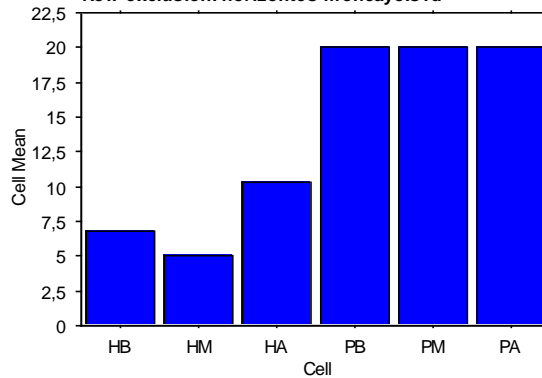
Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	1,750	7,744	,6255	
HB, HA	-3,583	7,069	,2851	
HB, PB	-13,250	7,069	,0019	S
HB, PM	-13,250	7,069	,0019	S
HB, PA	-13,250	7,069	,0019	S
HM, HA	-5,333	7,069	,1237	
HM, PB	-15,000	7,069	,0008	S
HM, PM	-15,000	7,069	,0008	S
HM, PA	-15,000	7,069	,0008	S
HA, PB	-9,667	6,323	,0067	S
HA, PM	-9,667	6,323	,0067	S
HA, PA	-9,667	6,323	,0067	S
PB, PM	0,000	6,323	•	
PB, PA	0,000	6,323	•	
PM, PA	0,000	6,323	•	

Interaction Bar Plot for Repelencia etanol (%)

Effect: Column 16

Row exclusion: horizontes moncayo.svd



ANEXO 4

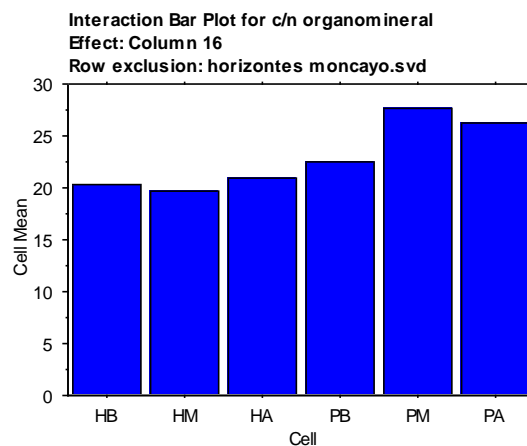
En la siguiente tabla se muestran los valores de C/N de los horizontes organo-minerales de todos los puntos de muestreo.

Referencia	C/N	Promedio
HB1	17,75	20,30
HB2	21,68	
HB3	21,47	
HM1	20,47	19,68
HM2	18,78	
HM3	19,78	
HA1	20,84	20,89
HA2	20,59	
HA3	21,23	
HAA1	19,66	20,50
HAA2	21,16	
HAA3	20,69	
PB1	17,61	22,48
PB2	24,33	
PB3	25,50	
PM1	25,62	27,63
PM2	29,05	
PM3	28,23	
PA1	27,52	26,25
PA2	25,71	
PA3	25,51	

Test Anova para C/N Horizonte organo-mineral

Fisher's PLSD for c/n organomineral
 Effect: Column 16
 Significance Level: 5 %
 Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	,620	4,497	,7672	
HB, HA	-,587	4,023	,7542	
HB, PB	-2,180	4,023	,2580	
HB, PM	-7,333	4,023	,0020	S
HB, PA	-5,947	4,023	,0077	S
HM, HA	-1,207	4,497	,5668	
HM, PB	-2,800	4,497	,1979	
HM, PM	-7,953	4,497	,0025	S
HM, PA	-6,567	4,497	,0083	S
HA, PB	-1,593	4,023	,4019	
HA, PM	-6,747	4,023	,0036	S
HA, PA	-5,360	4,023	,0136	S
PB, PM	-5,153	4,023	,0167	S
PB, PA	-3,767	4,023	,0638	
PM, PA	1,387	4,023	,4640	



ANEXO 5

En la siguiente tabla se muestran los valores para la prueba de estabilidad estructural de todos los puntos de muestreo y el promedio por cada zona de muestreo.

Referencia	Estabilidad estructural (%)	Est.Estr.(%) prom.
HB1 Ah	95,56	95,56
HB2 Ah	95,45	
HB3 Ah	95,66	
HM1 Ah	95,99	94,90
HM3 Ah	93,80	
HA1 Ah	92,46	95,03
HA2 Ah	96,19	
HA3 Ah	96,43	
HAA1 Ah	91,76	93,78
HAA2 Ah	95,80	
HAA3 Ah	93,78	
PB1 Ah	96,23	96,14
PB2 Ah	96,72	
PB3 Ah	95,47	
PM1 Ah	95,46	96,46
PM2 Ah	97,12	
PM3 Ah	96,78	
PA1 Ah	93,26	92,88
PA2 Ah	93,17	
PA3 Ah	92,23	

Test Anova para estabilidad estructural

Fisher's PLSD for Est. Estructural.

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

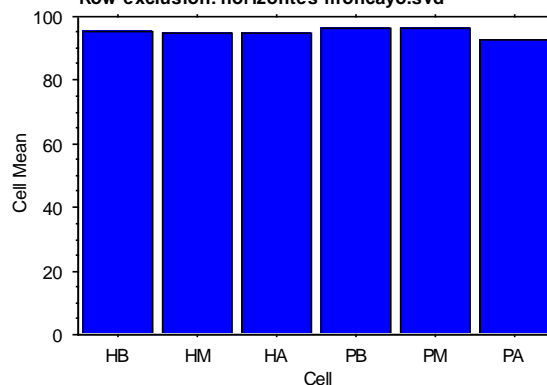
Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	,662	2,371	,5515	
HB, HA	,530	2,120	,5932	
HB, PB	-,583	2,120	,5571	
HB, PM	-,897	2,120	,3719	
HB, PA	2,670	2,120	,0182	S
HM, HA	-,132	2,371	,9049	
HM, PB	-1,245	2,371	,2722	
HM, PM	-1,558	2,371	,1758	
HM, PA	2,008	2,371	,0891	
HA, PB	-1,113	2,120	,2723	
HA, PM	-1,427	2,120	,1667	
HA, PA	2,140	2,120	,0482	S
PB, PM	-,313	2,120	,7511	
PB, PA	3,253	2,120	,0062	S
PM, PA	3,567	2,120	,0035	S

Interaction Bar Plot for Est. Estructural.

Effect: Column 16

Row exclusion: horizontes moncayo.svd



ANEXO 6

En esta tabla se muestran los valores de densidad aparente calculados a partir de valores medidos en campo y en laboratorio de todas las muestras recogidas en los diferentes puntos de muestreo.

Referencia	Densidad aparente (kg/m3)	promedio
HB1	1190,22	905,38
HB2	698,68	
HB3	827,24	
HM1	729,18	837,37
HM2	945,57	
HM3	-	
HA1	935,22	880,03
HA2	993,96	
HA3	710,91	
HAA1	829,70	1.034,76
HAA2	1020,00	
HAA3	1254,57	
PB1	771,43	678,60
PB2	564,97	
PB3	699,39	
PM1	1151,78	1.142,16
PM2	977,96	
PM3	1296,73	
PA1	583,45	888,12
PA2	868,78	
PA3	907,47	

Test Anova para densidad aparente

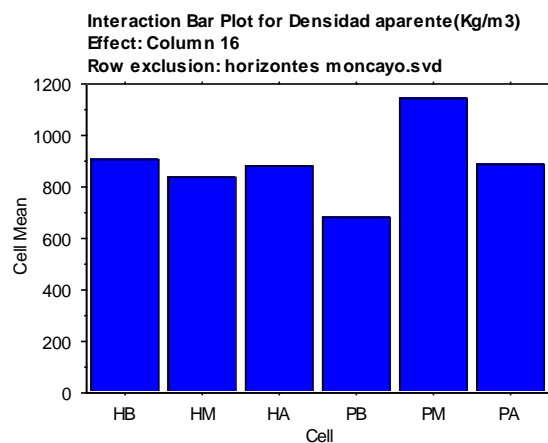
Fisher's PLSD for Densidad aparente(Kg/m3)

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value
HB, HM	68,007	335,247	,6609
HB, HA	25,353	299,854	,8543
HB, PB	226,784	299,854	,1229
HB, PM	-236,775	299,854	,1090
HB, PA	17,255	335,247	,9110
HM, HA	-42,653	335,247	,7826
HM, PB	158,777	335,247	,3161
HM, PM	-304,782	335,247	,0703
HM, PA	-50,752	367,244	,7645
HA, PB	201,430	299,854	,1653
HA, PM	-262,128	299,854	,0800
HA, PA	-8,098	335,247	,9581
PB, PM	-463,559	299,854	,0063
PB, PA	-209,529	335,247	,1939
PM, PA	254,030	335,247	,1222



ANEXO 7

En las siguientes tablas se muestran las mediciones y cálculos realizados para saber el diámetro medio de agregados para los puntos de muestreo de la zona de hayedo.

Muestra	ref.	tamiz >4mm		tamiz >2mm		tamiz >1mm		tamiz >0.5mm		tamiz >0.25mm		tamiz <0.25mm	
		P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso
HB	1	43,26	12,99	54,47	13,86	67,12	13,09	46,08	13,41	37,98	13,38	52,39	13,09
	2	65,67	13,78	35,08	13,9	35,21	13,73	28,42	13,62	19,66	12,79	19,51	12,95
	3	48,73	12,88	41,53	12,61	45,95	12,93	34,35	12,78	28,49	13,17	32,65	13,54
HM	1	58,47	13,16	30	12,72	25,71	13,41	21,9	13,43	18,89	13,14	18,33	13,27
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	21,21	11,84	21,43	12,75	21,03	12,14	20,07	10,87	17	11,43	17,84	11,74
HA	1	22,07	12,39	37,2	11,86	50,08	11,73	49,07	11,52	32,02	12,2	23,31	12,2
	2	21,56	13,24	24,76	12,98	34,01	13,21	28,35	12,95	19,1	12,49	17,33	12,72
	3	55,65	9,91	37,32	11,58	38,18	11,7	30,54	10,01	22,54	9,94	26,02	9,57
HAA	1	32,25	12,72	19,93	13,21	19,94	13,07	18,54	12,63	17,86	12,98	16,17	12,92
	2	99,41	12,35	55,22	9,79	51,85	12,18	43,14	11,57	35,18	11,96	26,37	12,1
	3	13,93	12,85	15,91	13,02	17,54	13,34	16,76	13,04	15,25	12,52	14,12	12,8

Muestra	ref.	tamiz >4mm	tamiz >2mm	tamiz >1mm	tamiz >0.5mm	tamiz >0.25mm	tamiz <0.25mm
		P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)
HB	1	13,67	18,34	24,39	14,75	11,11	17,74
	2	42,26	17,25	17,49	12,05	5,60	5,34
	3	23,31	18,80	21,47	14,03	9,96	12,43
HM	1	48,12	18,35	13,06	8,99	6,11	5,37
	2	-	-	-	-	-	-
	3	19,60	18,16	18,59	19,24	11,65	12,76
HA	1	6,82	17,86	27,04	26,47	13,97	7,83
	2	12,32	17,45	30,81	22,81	9,79	6,83
	3	31,00	17,45	17,95	13,91	8,54	11,15
HAA	1	41,41	14,25	14,57	12,53	10,35	6,89
	2	36,09	18,83	16,45	13,09	9,63	5,92
	3	6,78	18,13	26,35	23,34	17,13	8,28

En las siguientes tablas se muestran las mediciones y cálculos realizados para saber el diámetro medio de agregados para los puntos de muestreo de la zona de pinar.

Muestra ref.	tamiz >4mm		tamiz >2mm		tamiz >1mm		tamiz >0.5mm		tamiz >0.25mm		tamiz <0.25mm		
	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	P. muestra	P. baso	
PB	1	198,24	11,42	77,32	11,82	52,62	11,42	30,42	11,88	22,89	11,57	37,49	11,77
	2	59,99	11,74	72,99	11,41	41,03	11,78	24,73	11,48	14,63	11,64	27,28	11,44
	3	191,79	11,72	38,82	12,36	30,8	11,72	24,23	11,94	20,87	11,97	32,02	11,83
PM	1	23,29	11,63	22,54	11,57	33,78	12,3	35,24	11,69	27,19	11,41	48,57	11,6
	2	69,8	11,79	37,89	11,86	34,1	11,72	27,27	11,39	21,32	11,8	37,2	11,6
	3	66,95	12,35	34,32	12,39	29,76	10,71	22,07	10,86	17,78	12,15	26,97	11,45
PA	1	12,48	11,59	15,01	11,51	22,98	11,47	19,4	11,6	12,4	11,48	11,86	11,59
	2	1,46	11,66	4,92	11,61	7,72	12,1	7,74	11,67	6,06	11,53	7,27	12,19
	3	0,79	11,8	3,94	11,64	6,39	12,52	7,46	11,71	6,95	11,44	9,03	11,71

Muestra ref.	tamiz >4mm		tamiz >2mm		tamiz >1mm		tamiz >0.5mm		tamiz >0.25mm		tamiz <0.25mm	
	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	P. muestra (%)	
PB	1	47,31	18,45	12,56	7,26	5,46	8,95					
	2	24,93	30,33	17,05	10,28	6,08	11,34					
	3	56,65	11,47	9,10	7,16	6,16	9,46					
PM	1	12,22	11,83	17,72	18,49	14,26	25,48					
	2	30,67	16,65	14,98	11,98	9,37	16,35					
	3	33,84	17,35	15,04	11,15	8,99	13,63					
PA	1	13,26	15,95	24,41	20,61	13,17	12,60					
	2	4,15	13,99	21,95	22,01	17,23	20,67					
	3	2,29	11,40	18,49	21,59	20,11	26,13					

En esta tabla se recogen los valores de diámetro medio de agregados recogidos en laboratorio para cada punto de muestreo.

Referencia	Diametro medio agregados (mm)	Promedio
HB1	2,73	3,68
HB2	4,70	
HB3	3,61	
HM1	5,41	3,81
HM2	-	
HM3	2,20	
HA1	1,61	2,12
HA2	1,94	
HA3	2,80	
HAA1	4,72	3,63
HAA2	4,56	
HAA3	1,60	
PB1	6,51	4,50
PB2	3,02	
PB3	3,97	
PM1	1,88	2,50
PM2	2,71	
PM3	2,91	
PA1	1,86	1,14
PA2	1,25	
PA3	1,03	

Test Anova para diámetro medio de agregados

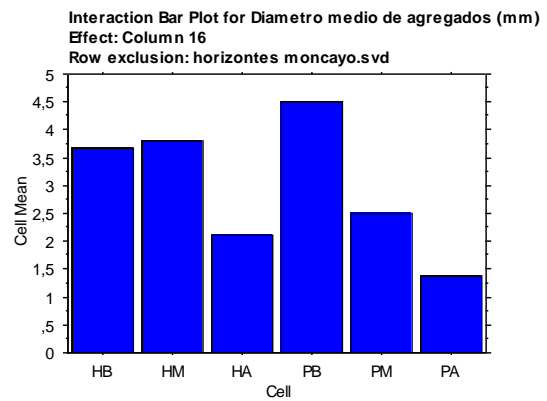
Fisher's PLSD for Diametro medio de agregados (mm)

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	-,128	2,370	,9077	
HB, HA	1,562	2,120	,1332	
HB, PB	-,819	2,120	,4133	
HB, PM	1,179	2,120	,2464	
HB, PA	2,301	2,120	,0360	S
HM, HA	1,690	2,370	,1449	
HM, PB	-,691	2,370	,5342	
HM, PM	1,307	2,370	,2503	
HM, PA	2,428	2,370	,0455	S
HA, PB	-2,381	2,120	,0310	S
HA, PM	-,383	2,120	,6988	
HA, PA	,739	2,120	,4593	
PB, PM	1,998	2,120	,0623	
PB, PA	3,120	2,120	,0079	S
PM, PA	1,121	2,120	,2690	



ANEXO 8

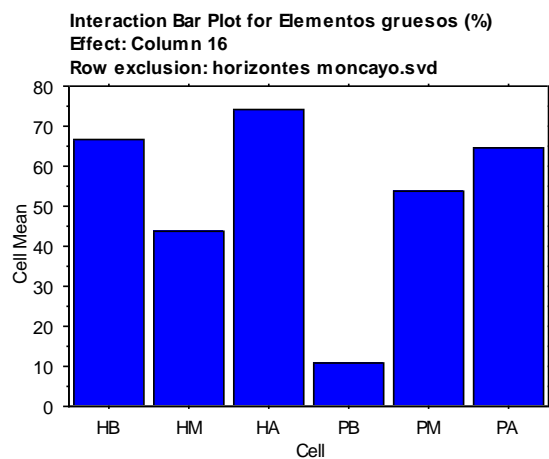
En esta tabla se recogen los valores sobre elementos gruesos para cada punto de muestreo y la media de cada zona de muestreo.

Referencia	Elementos gruesos (%)	Promedio
HB1	66,11	66,51
HB2	67,99	
HB3	65,43	
HM1	36,49	43,58
HM2	50,68	
HM3	-	
HA1	72,54	74,16
HA2	87,67	
HA3	62,26	
HAA1	44,48	63,06
HAA2	57,11	
HAA3	87,59	
PB1	1,29	10,63
PB2	22,59	
PB3	8,03	
PM1	69,37	53,74
PM2	57,71	
PM3	34,14	
PA1	70,68	61,62
PA2	60,45	
PA3	62,79	

Test Anova para elementos gruesos

Fisher's PLSD for Elementos gruesos (%)
 Effect: Column 16
 Significance Level: 5 %
 Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	22,927	22,418	,0458	S
HB, HA	-7,649	20,051	,4190	
HB, PB	55,876	20,051	<,0001	S
HB, PM	12,773	20,051	,1885	
HB, PA	1,869	20,051	,8412	
HM, HA	-30,576	22,418	,0120	S
HM, PB	32,949	22,418	,0079	S
HM, PM	-10,153	22,418	,3403	
HM, PA	-21,058	22,418	,0630	
HA, PB	63,525	20,051	<,0001	S
HA, PM	20,422	20,051	,0466	S
HA, PA	9,518	20,051	,3186	
PB, PM	-43,102	20,051	,0006	S
PB, PA	-54,007	20,051	<,0001	S
PM, PA	-10,905	20,051	,2565	



ANEXO 9

En las dos tablas de abajo aparecen los espesores de los diferentes horizontes orgánicos identificados en cada punto de muestreo así como la producción de biomasa de cada uno de ellos.

Muestra	Espesor (cm)	Biomasa (kg/ha)	Muestra	Espesor (cm)	Biomasa (kg/ha)	Muestra	Espesor (cm)	Biomasa (kg/ha)
HB1 oln	1,50	2992,22	HB2 oln	3,10	4944,44	HB3 oln	2,85	9218,89
HB1 ofr	1,50	15817,78	HB2 ofr	2,30	7796,67	HB3 olv	0,75	2383,33
HB1 ofm	0,20	6880,00	HB2 ofm	0,20	4975,56	HB3 ofr	2,00	11511,11
						HB3 ofm	0,20	4812,22
HM1 oln	2,80	6598,89	HM2 oln	1,80	3922,22	HM3 olr	1,20	4236,67
HM1 olv	0,50	971,11	HM2 ofr	1,00	9167,78	HM3 olv	0,30	964,44
HM1 ofr	2,00	9170,00	HM2 ofm	0,10	7788,89	HM3 ofr	2,50	11334,44
HM1 ofm	0,20	5380,00				HM3 ofm	0,30	3696,67
HA1 oln	3,30	6057,78	HA2 oln	3,30	5170,00	HA3 oln	2,50	3453,33
HA1 ofr	2,70	11252,22	HA2 olv	0,70	1127,78	HA3 ofr	0,90	11662,22
HA1 ofm	0,10	8684,44	HA2 ofr	5,30	16967,78	HA3 ofm	0,60	7556,67
			HA2 ofm	0,10	6343,33			
HAA1 oln	1,20	5316,67	HAA2 ol	1,75	5555,56	HAA3 ol	3,25	10768,89
HAA1 olv	2,80	14055,56	HAA2 of	5,00	3078,89	HAA3 of	5,75	37470,00
HAA1 of	1,80	55231,11						

Muestra	Espesor (cm)	Biomasa (kg/ha)	Muestra	Espesor (cm)	Biomasa (kg/ha)	Muestra	Espesor (cm)	Biomasa (kg/ha)
PB1 oln	0,90	5796,67	PB2 oln	0,90	4554,44	PB3 oln	0,60	11264,44
PB1 ofr	0,70	12293,33	PB2 ofr	0,70	18117,78	PB3 ofr	0,90	6063,33
						PB3 ofm	3,00	11700,00
PM1 oln	0,90	6923,33	PM2 oln	0,90	5620,00	PM3 oln	0,70	5332,22
PM1 ofr	1,10	16994,44	PM2 ofr	0,60	16571,11	PM3 ofr	0,60	10267,78
			PM2 ofm	4,90	18211,11	PM3 ofm	4,00	5283,33
PA1 oln	2,30	24454,44	PA2 oln	1,00	6972,22	PA3 oln	1,50	21937,78
PA1 ofr	1,60	27607,78	PA2 ofr	1,00	10198,89	PA3 ofr	1,10	6426,67
PA1 ofm	1,50	18372,22	PA2 ofm	1,00	12028,89	PA3 ofm	1,10	14136,67
PA1 oh	22,00	140222,22	PA2 oh	8,00	79296,67	PA3 oh	1,00	5924,44

En esta tabla aparecen los valores de producción de biomasa sumados de los diferentes horizontes orgánicos de cada punto de muestreo y su media.

	Producción de biomasa (Mg/ha)	Promedio
HB1	25,70	23,77
HB2	17,70	
HB3	27,93	
HM1	22,12	21,08
HM2	20,88	
HM3	20,23	
HA1	25,99	26,09
HA2	29,61	
HA3	22,67	
PB1	18,09	23,26
PB2	22,67	
PB3	29,03	
PM1	3,92	28,40
PM2	40,40	
PM3	20,88	
PA1	210,66	122,56
PA2	108,50	
PA3	48,43	

Test Anova para producción de biomasa

Fisher's PLSD for Produc. biomasa

Effect: Column 16

Significance Level: 5 %

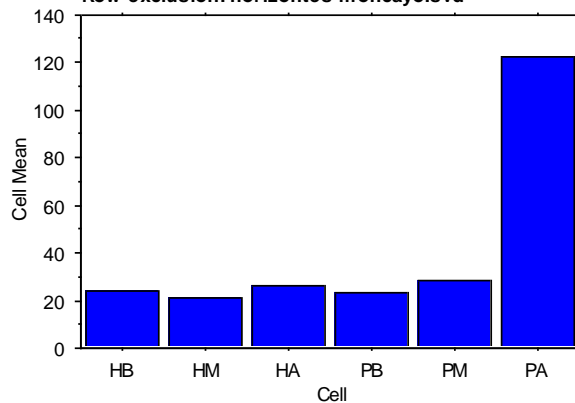
Row exclusion: horizontes moncayo.svd

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
HB, HM	2,605	71,215	,9373	
HB, HA	-2,310	63,696	,9378	
HB, PB	,517	63,696	,9861	
HB, PM	-4,620	63,696	,8761	
HB, PA	-98,750	63,696	,0058	S
HM, HA	-4,915	71,215	,8820	
HM, PB	-2,088	71,215	,9497	
HM, PM	-7,225	71,215	,8274	
HM, PA	-101,355	71,215	,0095	S
HA, PB	2,827	63,696	,9239	
HA, PM	-2,310	63,696	,9378	
HA, PA	-96,440	63,696	,0067	S
PB, PM	-5,137	63,696	,8623	
PB, PA	-99,267	63,696	,0056	S
PM, PA	-94,130	63,696	,0077	S

Interaction Bar Plot for Produc. biomasa

Effect: Column 16

Row exclusion: horizontes moncayo.svd



ANEXO 10

Se muestran las diferentes pesadas de las diferentes muestras frescas recogidas hasta la estabilización del peso ya seco.

Muestra	peso caja (g)	peso muestra fresca	Pesada nº1	Pesada nº2	Pesada nº3	Peso muestra seca
HB1	17,24	676,56	673,34	672,14	672,13	654,89
HB2	16,88	406,02	402,67	401,4	401,31	384,43
HB3	17,07	478,01	473,8	472,29	472,24	455,17
HM1	9,91	161,4	159,15	159,19	159,19	149,28
HM2	17,18	536,77	534,48	533,71	533,64	516,46
HM3	17,27	116,46	114,24	114,34	114,06	96,79
HA1	17,07	541,62	534,51	532,31	531,65	514,58
HA2	17,19	569,45	564,12	564,09	564,09	546,9
HA3	16,96	422,85	408,61	408,43	408,12	391,16

Muestra	peso caja (g)	Peso muestra fresca	Pesada nº1	Pesada nº2	Peso muestra seca
PB1	17,05	432,67	423,51	423,25	423,21
PB2	8,61	378,14	378,26	378,03	377,94
PB3	8,56	378,19	378,31	378,08	377,99
PM1	17,18	637,73	629,12	628,92	628,96
PM2	17,07	532,48	527,66	527,49	527,16
PM3	8,52	337,96	330,57	330,46	330,64
PA1	8,58	323,94	319,75	319,62	322,36
PA2	8,52	90,02	88,65	88,58	88,43
PA3	8,6	94,28	92,61	92,54	92,85