



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR**  
**DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Máster Universitario en Ingeniería de Montes**

**Distribución y caracterización de los  
agregados edáficos de una repoblación  
de *Pinus halepensis* Mill. y una masa  
mixta de *Quercus faginea* Lam. y *Quercus  
ilex* subsp. *rotundifolia* en Ampudia  
(Palencia)**

Alumno/a: Elena Muñoz Cerro

Tutor/a: M<sup>a</sup> Belén Turrión Nieves

Cotutor/a: Teresa de los Bueis Mellado

Septiembre de 2016

Copia para el tutor/a

## **AGRADECIMIENTOS**

*Principalmente y a mi tutora, Belén Turrión, por ofrecerme la posibilidad participar en este estudio, habiendo estado disponible y pendiente de mis progresos más allá de sus funciones como tutora.*

*A mi cotutora, Teresa de los Bueis, por su ayuda y consejos a la hora de la redacción y de resolver dudas relacionadas con el estudio.*

*A Valentín Pando por su ayuda en el tratamiento estadístico de los datos.*

*A los técnicos de laboratorio, Carmen y Juan Carlos, que me ayudaron con problema que me surgió en el laboratorio.*

*A mi familia, en especial a mi madre y mi hermana que estuvieron, están y estarán en todos los momentos de mi vida.*

*A mis amigas, que me acompañaron durante la carrera y el máster: Cris Zamora, y Natalia y a Cris Tejedor, Auro, Diana, Cris Bratos, Edu, Henar, Ines y Ana.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. Resumen</b>	<b>2</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>6</b>
2.1. Los suelos forestales y el cambio climático	6
2.2. Efecto de la gestión forestal sobre el sistema edáfico	7
2.3. La sostenibilidad de los suelos forestales	8
2.4. La Materia orgánica del suelo como indicador de calidad del suelo	11
2.4.1. Estabilización de la Materia Orgánica	12
2.4.2. El fraccionamiento de la materia orgánica como indicador de sostenibilidad en suelos forestales	14
<b>3. Hipótesis previas</b>	<b>17</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>5. Material y métodos</b>	<b>21</b>
5.1. Descripción de la zona de estudio	21
5.1.1. Localización	21
5.1.2. Orografía, Fisiografía y Geología	22
5.1.3. Climatología	23
5.1.4. Vegetación	24
5.1.5. Edafología	25
5.2. Muestreo, preparación de las muestras y fraccionamiento por tamaño de agregados	30
5.2.1. Descripción y ubicación de las parcelas de muestreo	30
5.2.2. Obtención de las muestras y mediciones	31
5.2.3. Preparación de muestras de suelo	32
5.2.4. Fraccionamiento por tamaño de agregados	32
5.2.5. Selección de las muestras	33
5.3. Métodos analíticos	34
5.3.1. Fraccionamiento por densidad de los agregados del suelo	34
5.3.2. Estimación del C fácilmente oxidable según el método de Walkley & Black (1934)	36
5.3.3. Determinación del pH y de la CE del suelo	36
5.3.4. Determinación del carbono y nitrógeno total del suelo	36
5.3.5. Determinación de carbonatos y C orgánico	37
5.4. Métodos de ajuste y estadísticos	37

---

<b>6. Resultados y discusión</b> .....	40
6.1. Estudio del porcentaje en peso por tamaño de agregados .....	40
6.2. Estudio de las fracciones de materia orgánica en los agregados edáficos.....	44
6.2.1. Materia Orgánica Particulada (MOP) .....	45
6.2.2. Materia Orgánica Ocluida (MOO) .....	50
6.2.3. Materia Órgano-Mineral (MOM) .....	52
6.3. Estudio del efecto del uso, tratamiento y el tamaño de los agregados sobre el carbono fácilmente oxidable de la fracción de materia órgano-mineral .....	55
6.3.1. Carbono fácilmente oxidable (CFO) de la fracción de MOM .....	56
6.4. Estudio del efecto del uso, tratamiento y el tamaño de los agregados sobre algunas propiedades químicas del suelo. ....	59
6.4.1. Carbono orgánico total (CO) .....	60
6.4.2. Nitrógeno total (N <sub>t</sub> ) .....	62
6.4.3. Relación C/N .....	64
<b>7. Conclusiones</b> .....	68
<b>8. Bibliografía</b> .....	<b>70</b>

**Anejo I. Descripción de la zona de estudio**

**Anejo II. Muestreo, preparación de las muestras y fraccionamiento por tamaño de agregados**

**Anejo III. Descripción de los métodos analíticos**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> La silvicultura y la agricultura en porcentaje del total de emisiones de gas de efecto invernadero (Harris et al., 2011).....	6
<b>Figura 2.2.</b> Esquema de los diversos factores englobados en la sostenibilidad forestal (Gartzia-Bengoetxea, 2009).....	9
<b>Figura 2.3.</b> Posibles escenarios de agregación del suelo (Bronick y Lal, 2005).....	14
<b>Figura 2.4.</b> Esquema de los procesos de estabilización de la materia orgánica del suelo (Six et al., 2002).....	15
<b>Figura 5.1.</b> Localización de las parcelas de ensayo.....	21
<b>Figura 5.2.</b> Masas regulares mono específicas <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	24
<b>Figura 5.3.</b> Masas mixtas de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>rotundifolia</i> y <i>Quercus faginea</i> Lam.....	25
<b>Figura 5.4.</b> Mapa de suelos de la zona de estudio (visor de datos elaborado por el ITACyL).....	26
<b>Figura 5.5.</b> Fotografía de la calicata realizada en la zona objeto de estudio.....	27
<b>Figura 5.6.</b> Ubicación de las parcelas sobre ortofotografía.....	31
<b>Figura 5.7.</b> Diseños de los muestreos. a) Diseño del muestreo de la Parcela 1. b) Diseño del muestreo en las parcelas 2E y 2C.....	31
<b>Figura 5.8.</b> Tamaños y pesos de los agregados seleccionados por cada parcela.....	33
<b>Figura 5.9.</b> Tamaños y pesos de los agregados seleccionados por cada parcela secándose al aire.....	34
<b>Figura 5.10.</b> Diagrama de flujo del método de fraccionamiento por densidad.....	35
<b>Figura 6.1.</b> Valores promedio de Materia orgánica particulada (%MOP) clasificados por tamaño de agregado en suelos bajo encinar, jaral y pinar de repoblación.....	46
<b>Figura 6.2.</b> Valores promedio de Materia orgánica particulada (%MOP) clasificados por tamaño de agregado y tratamiento (manejo) realizado en la repoblación.....	48

Alumno/a: Elena Muñoz Cerro

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster Universitario en Ingeniería de Montes

<b>Figura 6.3.</b> Valores promedio del porcentaje de materia órgano-mineral en los diferentes tamaños de agregado en suelos bajo encinar, jaral y pinar de repoblación.....	53
<b>Figura 6.4.</b> Valores promedio de Materia Órgano-mineral (%), clasificadas por tamaño de agregado y tratamiento realizado en la repoblación.....	54
<b>Figura 6.5.</b> Concentraciones de Carbono fácilmente oxidable (CFO) en la materia órgano-mineral (g C/kg de MOM), en los distintos tamaños de agregado en suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.....	56
<b>Figura 6.6.</b> Concentraciones de Carbono fácilmente oxidable (CFO) en la materia órgano-mineral (g C/kg de MOM), en los distintos tamaños de agregado en los distintos tratamiento realizados en la repoblación. ....	58
<b>Figura 6.7.</b> Concentración del carbono orgánico total (%) en los suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.....	60
<b>Figura 6.8.</b> Concentración del carbono orgánico total (g/kg suelo) en los suelos en cada tipo de tratamiento realizado en la repoblación. ....	61
<b>Figura 6.9.</b> Concentración del carbono orgánico total (g/kg de suelo) en los distintos tamaños de agregados.....	62
<b>Figura 6.10.</b> Concentración del Nitrógeno total (g/kg de suelo) en los suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.....	63
<b>Figura 6.11.</b> Concentración del Nitrógeno total (g/kg de suelo) en los suelos bajo tratamiento realizado en la repoblación.....	63
<b>Figura 6.12.</b> Concentración del nitrógeno total (g/kg de suelo) en los distintos tamaños de agregados.....	64
<b>Figura 6.13.</b> Valores promedio Relación C/N en los suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.....	65
<b>Figura 6.14.</b> Valores promedio relación C/N en cada tipo de tratamiento realizado en la repoblación.....	65
<b>Figura 6.15.</b> Valores promedio relación C/N en los distintos tamaños de agregados.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Conjunto mínimo de propiedades (MDS) de calidad de suelo propuesto por Larson and Pierce (1991) y la aportación de Doran y Parkin (1996).....	10
<b>Tabla 5.1.</b> Morfología del perfil del suelo por horizontes edáficos.....	28
<b>Tabla 5.2.</b> Valores de algunos parámetros físicos de los distintos horizontes del suelo.....	28
<b>Tabla 5.3.</b> Porcentajes de arcilla, limo y arena para cada uno de los perfiles analizados.....	29
<b>Tabla 5.4.</b> Valores de algunos parámetros químicos de los distintos horizontes del suelo.....	29
<b>Tabla 6.1.</b> Significación del modelo estadístico utilizado para el factor tipo de masa y para el factor tratamiento anidado en el tipo de masa para cada uno de los porcentajes en peso de las fracciones por tamaño de agregados (mm) para las masas forestales estudiadas (encinar, jaral y pinar de repoblación testigo) y p-valor del ANOVA (n=88).....	40
<b>Tabla 6.2.</b> Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tamaño de agregados (mm) para encinar, jaral y pinar de repoblación testigo y resultados de las comparaciones del análisis estadístico realizado. ....	41
<b>Tabla 6.3.</b> Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tipo de agregados para encinar, jaral y pinar de repoblación testigo y resultados de las comparaciones del análisis estadístico realizado. ....	42
<b>Tabla 6.4.</b> Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tamaño de agregados (mm) para cada tratamiento realizado en la repoblación y comparaciones entre medias. ....	43
<b>Tabla 6.5.</b> Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tipo de agregados para encinar, jaral y pinar de repoblación testigo y resultados de las comparaciones del análisis estadístico realizado. ....	44
<b>Tabla 6.6.</b> Tabla de significación ANOVA de MOP, MOO, MOM. ....	45

---

<b>Tabla 6.7.</b> Valores promedio de porcentaje de materia orgánica ocluida (%MOO), clasificada por tamaño y tipo de masa (encinar, jaral y pinar de repoblación).....	50
<b>Tabla 6.8.</b> Valores promedio de materia orgánica ocluida (%), en los distintos tamaños de agregado y según tratamiento realizado en la repoblación.....	51
<b>Tabla 6.9.</b> Tabla de significación ANOVA de, CFO <sub>MOM</sub> .....	55
<b>Tabla 6.10.</b> Tabla de significación ANOVA de CO, Nt y C/N.....	59



# RESUMEN

## 1. RESUMEN

El cambio climático global, debido al efecto de los gases invernadero, es una preocupación creciente a escala mundial. Los gases de efecto invernadero podrían reducirse a través de dos procesos: disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas y creación y/o mejora de los sumideros de C de la biosfera. El carbono orgánico (CO) almacenado en el suelo de toda la Tierra es la mayor reserva de C existente que tenemos en el planeta y es tres veces mayor que la cantidad de C existente en la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> (Deng et al., 2016). La cobertura del suelo y el manejo del mismo afectan a su fertilidad y a su capacidad de actuar como sumidero. Una de las medidas para la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> es el manejo de las masas forestales para aumentar la cantidad de C secuestrado por los ecosistemas terrestres..

Los objetivos principales del presente proyecto son evaluar del tipo de vegetación (encinar, jaral y pinar de repoblación testigo) en la distribución y características de los agregados edáficos. Así como determinar el efecto del tratamiento selvícola en una masa de *Pinus halepensis* Mill.: a) Masa testigo sin tratamiento. b) Clara del 45% del área basimétrica (AB) con extracción de restos c) Clara del 45% del AB con adición de restos triturados sobre la superficie del suelo en la distribución y características de los agregados edáficos.

La zona seleccionada se localiza en el monte de utilidad pública (MUP) del paraje de "Corrales del Perro", pertenecientes al término municipal de Ampudia, Palencia, Comunidad Autónoma de Castilla y León. El estudio se enmarca el Proyecto de Investigación financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad AGL2011-29701-C02-02 titulado "Estrategias silvícolas para la adaptación y mitigación del cambio climático en repoblaciones de pinares -PINES4CHANGES".

El muestreo se realizó en 2013 habiendo transcurrido 32 meses desde que se produjesen las cortas y el aporte de los restos. La toma de muestras se realizó con un cilindro metálico de 8,5 cm de diámetro y 5 cm de altura que mantiene intacta la estructura del suelo muestreado. El cilindro se introdujo en el horizonte superficial del suelo donde se considera que existe mayor respuesta a los cambios de uso y manejos. Se muestreó un total de 44 puntos por parcela y sub-parcelas.

Ya en el laboratorio, se realizó una separación de agregados atendiendo a su diámetro de cada muestra de suelo, siguiendo el método de Schutter et al. (2002), que consiste en la separación de las fracciones de agregados, de una porción de las muestras húmedas (~8% humedad), mediante el uso de tamices de diferentes diámetros.

Se seleccionó una muestra representativa del encinar, una que determinase el jaral predominantemente, la correspondiente para el pinar de repoblación y otras dos muestras más que definían los tratamientos aplicados tanto en la sub-parcela con extracción de restos y la sub-parcela donde se depositaron los restos triturados. Realizando el trabajo de laboratorio con muestras de 6 tamaños de agregados: > 20 mm, 20-10 mm, 10-5 mm, 5-2 mm, 2-0,25 mm, 0,25-0,05 mm. De cada tamaño se hicieron 5 repeticiones, obteniéndose un total de 150 muestras.

En los agregados se caracterizó la materia orgánica (MO), aplicando el procedimiento de fraccionamiento por densidad de Golchin et al. (1994a) que diferencia tres grados de protección física de la MO: Materia orgánica particulada (MOP) que sería la fracción libre, o no protegida, la materia orgánica ocluida (MOO) que, se encuentra dentro de los agregados y la materia órgano-mineral (MOM). En la fracción de MOM, se determinó el C fácilmente oxidable (CFO) mediante el método de Walkley y Black (1934). Por otra parte, en cada tamaño de agregado seleccionado se determinó el CO, N total ( $N_t$ ) y la relación C/N.

Una vez obtenidos todos los datos analíticos citados, se estudió la distribución en peso por tamaño de agregados edáficos en los suelos de la masa natural mixta de *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* y *Quercus faginea* Lam. y en los suelos del pinar de repoblación de *Pinus halepensis*.

En segundo lugar, para las fracciones de MO (MOP, MOO y MOM) y de la MOM y los parámetros químicos de cada tamaño de agregado de cada parcela estudiada, se llevó a cabo un análisis estadístico de los mismos utilizando el software SAS 9.2. Se realizó un modelo un modelo lineal mixto de análisis de la varianza. Para la comparación entre parejas de medias se utilizaron t-test individuales.

En los resultados obtenidos para los % MOP en micro-agregados y mega-agregados mayores de 20 mm, no se ven influenciados de los tipos de masa y manejos empleados. Pero dicho porcentaje si afecta al resto de tamaños de agregados. Por ello, se puede afirmar que las dinámicas de MOP afectan a la formación de los agregados hasta llegar

a formar los agregados menos susceptibles a los cambios de uso y manejo (micro-agregados). Para los porcentajes de materia orgánica ocluida (% de MOO) se obtuvieron valores diez veces menores que los % de MOP, por lo que esta fracción contribuye mínimamente a la MO total existente en el suelo. En los % de MOO no se muestra un comportamiento marcado por uso, manejos y tamaño de partícula. Corroborando que esta fracción es muy estable y es poco sensible a los cambios de uso y manejo.

Al estudiar el efecto del tipo de masa sobre el CFO se observó que la concentración de CFO en el jaral era significativamente menor que en el encinar y el pinar de repoblación testigo. Esto puede deberse a que las hojas de jara pringosa tienen un contenido en fenoles elevado y que por ello, tendrá una tasa inicial de mineralización más lenta que las otras dos especies estudiadas. En el caso de los tratamientos realizados, se observa que en todos los tamaños, excepto en macro-agregados, el pinar con adición de restos contiene menos CFO que el pinar de repoblación testigo o que el pinar donde se extrajeron los restos.

Los valores de CO obtenidos son significativamente más altos en el encinar que en el jaral y el pinar testigo, pero en general, más bajos que los obtenidos en otro estudio realizado en la zona (Llorente, 2012). En el caso de los tratamientos el CO es significativamente más elevado en el pinar con restos triturados que en el pinar con restos extraídos y pinar de repoblación. Los resultados del contenido de CO para cada tamaño en este estudio no cumplen que cuanto mayor sea el tamaño de agregado mayor debería ser el contenido de CO. Para el N total ( $N_t$ ) se obtuvieron valores muy bajos para todas las parcelas. Los valores más altos se dieron en el encinar, posiblemente debido a que la hojarasca de la encina posee mayores contenidos N. En el caso de la relación C/N es el pinar con restos triturados el que tiene una C/N significativamente mayor en comparación con los otros manejos y tipos de masa. El aporte de los restos triturados implica la adición de una materia orgánica fresca sobre el suelo que tiene una relación C/N muy alta, y se establece una competencia clara entre los microorganismos del suelo que van a inmovilizar parte del N en su biomasa y las formas disponibles de este elemento para la vegetación, llegando a ser limitante. Esto provoca que se libere muy poco N no siendo asimilado por las plantas. Ocasionando un descenso en la tasa de descomposición de la MO del suelo que, a su vez provoca una ralentización en el proceso de degradación debido a la merma de la actividad microbiana originada por la alteración de los factores ambientales.

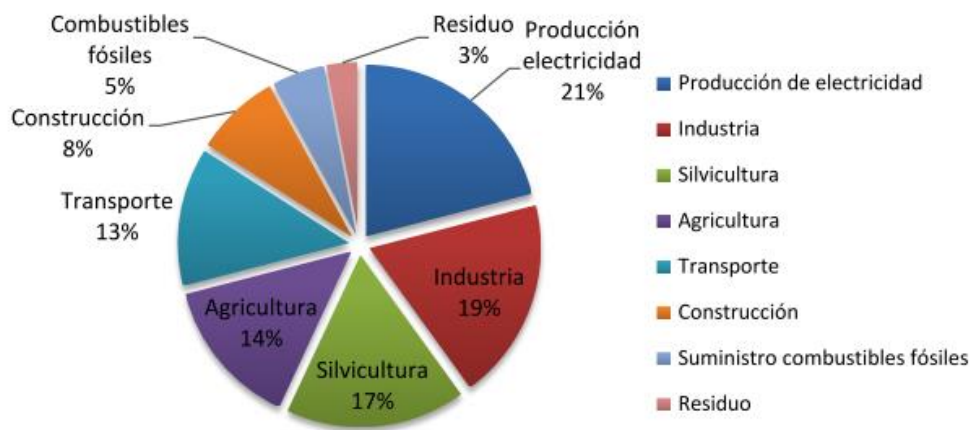
# ANTECEDENTES

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Los suelos forestales y el cambio climático

El cambio climático tiene su origen en la ruptura de la estabilidad en el ciclo del carbono. Las emisiones industriales junto con el suministro energético (electricidad y combustibles fósiles) e influyendo otros factores como el transporte o el sector de la construcción, representan la mayoría del total de gases de efecto invernadero (GEI) y es prácticamente utópico idear formas de absorción y almacenamiento de tanto excedente de C (el 70% de las emisiones). Las áreas con actividades forestales y agrícolas representan alrededor del 30% de las emisiones (Figura 2.1).

**Figura 2.1.** La silvicultura y la agricultura en porcentaje del total de emisiones de gas de efecto invernadero (Harris et al., 2011).



Tanto la agricultura como la silvicultura son capaces de almacenar gran parte del exceso de C. Aunque no es suficiente para mitigar el problema, sí puede contribuir relevantemente para dar con una política que lo solucione. Cómo, por ejemplo, pueden ser el programa de reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD, *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*) o en un concepto más amplio como el Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (LULUCF, *Land Use, Land-Use Change and Forestry*) (Harris et al., 2011) Una de las funciones más importantes de los bosques es su actuación como depósito de C, capturando una cifra aproximada de 650 000 millones de toneladas de C, casi un tercio del total de los ecosistemas terrestres. Los suelos forestales son capaces de almacenar el 45% del C total almacenado en los bosques, mientras que la biomasa forestal mundial almacena un 44% y el último 11% corresponde a la madera muerta y hojarasca de los bosques (IPCC, 2007).

## 2.2. Efecto de la gestión forestal sobre el sistema edáfico

La gestión forestal que se ha practicado hasta el último cuarto del siglo XX incide de una forma muy notable en el sistema edáfico. Es exactamente en 1970 cuando dejan de aplicarse las cortas a matarrasa por la disminución de las históricas suertes de leñas (Reque y Pérez, 2011). Los riesgos más reconocidos están principalmente relacionados con la pérdida de suelo y el descenso de nutrientes (Martínez de Arano et al., 2007a).

La **pérdida de suelo** está en conexión, principalmente, con la matarrasa, la construcción de pistas y vías forestales, y la preparación mecanizada del terreno. La matarrasa elimina la cobertura vegetal arbórea, dañando de una forma considerable la vegetación de los estratos inferiores (Merino et al., 1999).

El objetivo fundamental que tiene la preparación del terreno es crear en el suelo unas condiciones idóneas para que la semilla o la planta que se asiente tengan un mayor arraigo y posterior desarrollo. Dicha preparación del terreno, con una previa eliminación de la vegetación espontánea existente, rompe el perfil facilitando así la plantación y desarrollo de las raíces, consiguiendo la meteorización de las capas profundas del suelo, un aumento de la capacidad de retención del agua y eliminando la posibilidad de escorrentía existente, ya que aumenta la permeabilidad.

Estudios que han evaluado directamente la perturbación del suelo, muestran que las labores mecanizadas causan de forma característica alteraciones del suelo en el 80% de la superficie, fundamentalmente por decapado, compactación y desplazamiento de suelo (Martínez de Arano et al., 2007a).

La **pérdida de nutrientes** se relaciona, principalmente, con la pérdida de materia orgánica (MO). Al extraer la biomasa arbórea puede disminuir la disponibilidad de nutrientes que, cuantitativamente, tiene el suelo (Jhonson y Todd, 1998; Olsson et al., 2000).

No solo la reducción en el contenido de nutrientes del suelo es debida a la biomasa extraída, sino que también influyen las actividades forestales y la preparación del terreno que pueden llegar a remover el mantillo en más del 80% de la superficie (Martínez de Arano et al., 2007a) y el lavado de nutrientes tras la matarrasa puede aumentar (Merino et al., 2004).

Por ello, el efecto de estas actividades en el sistema edáfico puede alterar el buen funcionamiento del propio suelo, mermando la fertilidad del suelo, aumentando el paso de nutrientes y sedimentos a los cursos del agua y disminuyendo la reserva del C, lo que pone en peligro el mantenimiento de las funciones y capacidades del suelo (Nambiar, 1996).

### 2.3. La sostenibilidad de los suelos forestales

Los suelos que se desarrollan bajo masas forestales naturales son el referente en términos de funcionalidad como de naturalidad e integridad ecológica. Según la capacidad del suelo las especies se instalan y desarrollan para así aportarse mutuamente agua y nutrientes en un ciclo suelo-planta intercedido por la materia orgánica (Gartzia-Bengoetxea, 2009).

La cobertura vegetal (la cual posee una elevada capacidad de interceptación de la precipitación), el manto natural de hojarasca y el horizonte superficial del suelo bien desarrollado (rico en materia orgánica y bien estructurado) que presentan los sistemas forestales naturales proporcionan, generalmente, una baja exportación de sedimentos hacia los cursos de agua (Pritchett, 1987).

Todo el conjunto beneficia la infiltración y reduce la escorrentía superficial y el impacto directo que producen las gotas de lluvia sobre el suelo, teniendo un papel regulador del ciclo hidrológico e interviniendo para paliar la erosión y la exportación de sedimentos anteriormente nombrada (Morin et al., 1981; Ben-Hur et al., 1992; Franzluebbbers, 2002; Lado et al., 2004).

Por otro lado, al hablar de suelo debemos hablar de él como el nicho ecológico de gran parte de la biodiversidad de los ecosistemas terrestres (Bauhus et al., 2002).

Por todo ello, el uso sostenible del suelo viene siendo uno de los objetivos primordiales para mantener o aumentar la calidad del suelo.

La **Calidad del Suelo**, desde un punto de vista tradicional, ha tenido un fondo productivo (Carter et al., 1997), lo que implicaba una asunción del mantenimiento de la calidad del suelo como el hecho de, a su vez, mantener la fertilidad del mismo. Sin embargo, hoy en día, los avances y conocimientos científicos en materia de calidad del suelo ha implicado el reconocimiento del mismo como un apartado dentro de la calidad medio ambiental y, así, proporcionarnos una definición de calidad del suelo que sea comprendida, esencialmente, como la capacidad del suelo para mantener todas sus funciones (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1996; Karlen et al., 1997).



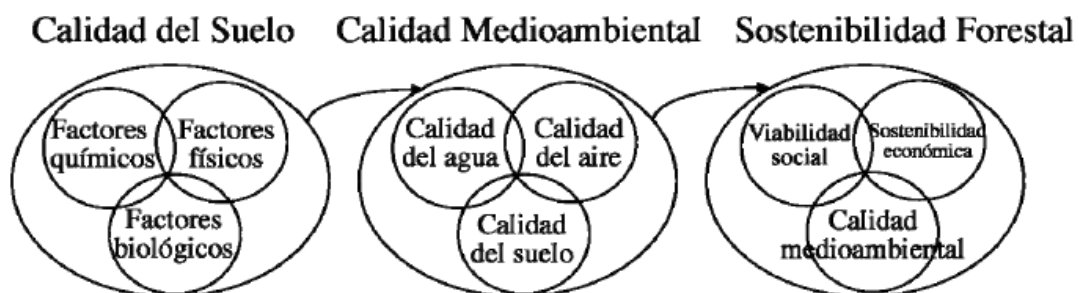
En la misma línea se encuentra la definición que propone Harris, (1996) en la que se refiere al término de calidad del suelo como su capacidad para sostener el desarrollo de la vegetación, actuar como filtro y protector de otros compartimentos del ecosistema, destacadamente, las aguas continentales y la calidad del aire, para colaborar en la regulación de los ciclos globales de los elementos y preservar la salud animal y humana. La calidad del suelo también ha sido descrita por numerosos autores simultáneamente, como salud del suelo (e.g., Harris y Bezdicek 1994).

Sin embargo, la calidad del suelo puede referirse a la actitud intrínseca del suelo proporcionada por las funciones que ya nombramos anteriormente, las cuales, dependen de los factores formadores del suelo (materia parental, clima, vegetación y relieve) y de manera poco probable se verá afectada por el manejo.

En el caso de la salud del suelo se hablaría de las propiedades más dinámicas que sí podrían verse afectadas por el uso del suelo (Carter et al., 1997). Generalmente, el término de calidad es empleado en el caso de que existan cambios debidos a una actividad, aunque el término más apropiado, quizás, sea el de salud del suelo.

Por todo esto, tomaremos la definición de calidad del suelo propuesta por Harris (1996). En ese caso, la calidad del suelo de cualquier sistema edáfico puede mantenerse, degradarse o mejorar y algunas labores forestales llevadas a cabo pueden influir para la degradación así como, por el contrario, pueden mantenerla o incluso mejorarla, por ello, Sostenibilidad Forestal y Calidad Medioambiental deben ir de la mano ya que esta última es intrínseca a la calidad del suelo (Figura 2.2).

**Figura 2.2.** Esquema de los diversos factores englobados en la sostenibilidad forestal (Gartzia-Bengoetxea, 2009).



Para hacer un seguimiento de la calidad del suelo, resultan útiles los **Indicadores de Calidad del Suelo** así como sus valores de referencia, que permiten analizar su evolución en el tiempo y el impacto que la gestión puede provocar sobre la de calidad del suelo para que, de esta manera, se puedan llevar a cabo actuaciones de recuperación.

Los Indicadores de Calidad del Suelo son variables cuantificables que permiten evaluar la calidad del suelo y hacer así dicho concepto más operativo.

Para autores como Dale, (2008) los indicadores son propiedades del suelo hábiles para determinar el sistema edáfico convenientemente y ser lo más simples posibles para realizar un seguimiento eficaz.

Los indicadores han de presentar una respuesta rápida frente al cambio en la calidad del suelo. Larson y Pierce (1991) expusieron para ello el concepto de conjunto mínimo de propiedades del suelo (*Minimum Data Set*, MDS) para el uso de las mismas como indicadores de calidad del suelo.

El MDS que desarrollaron consistía en una combinación de propiedades físicas y químicas del suelo, que más tarde fue mejorado con la incorporación de las propiedades biológicas por Doran y Parkin (1996) (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1.** Conjunto mínimo de propiedades (MDS) de calidad de suelo propuesto por Larson and Pierce (1991) y la aportación de Doran y Parkin (1996) en cursiva.

Indicador de Calidad del Suelo
Disponibilidad de nutrientes (P,N y K extractables)
C orgánico total
C orgánico lábil
Textura
Agua disponible para la planta
Estructura del suelo (Densidad aparente, $K_{sat}$ )
Resistencia del suelo (Densidad aparente o resistencia a la penetración)
Profundidad del suelo
pH
Conductividad eléctrica
<i>C y N de la biomasa microbiana</i>
<i>Respiración, contenido de humedad y temperatura</i>
<i>N potencialmente mineralizable</i>

**Nota:** P: Fósforo; N: Nitrógeno; K: Potasio;  $K_{sat}$ : Conductividad hidráulica saturada.

Los MDS que existen en la actualidad incluyen aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo para la evaluación de la calidad del suelo.

Como ya se ha comentado, el suelo es un sistema que está caracterizado por la versatilidad de sus funciones, tipos, usos y factores de formación. Por ende, los indicadores que utilicemos pueden variar según la localidad en la que nos encontremos

(Arshad y Cohen, 1992) y es por ello que debemos tener en consideración los distintos componentes de la función del suelo, principalmente, el ambiental y el productivo y así evaluar la calidad del suelo con los indicadores más apropiados.

#### **2.4. La Materia orgánica del suelo como indicador de calidad del suelo**

El término materia orgánica del suelo (MOS) se ha utilizado en distintos sentidos para describir los componentes orgánicos del suelo. Baldock y Skjemstad (1999) describen la MOS como “todos los materiales orgánicos encontrados en los suelos independientemente de su origen o estado de descomposición”. La MOS proporciona funciones fundamentales en relación a la estructura y estabilidad del suelo (Tisdall y Oades, 1982; Six et al., 2002), su riqueza nutritiva (Reeves, 1997), su capacidad de retención de agua (Hudson, 1994) y su resistencia a la penetración de las raíces (Zou, 2000) y además favorece la infiltración al aumentar la resistencia a la erosión (MacRae y Mehuys, 1985; Boyle et al., 1989; Pikul y Zuzel, 1994). Todo ello ayuda a evitar la contaminación de los cursos de agua debido a la función de filtro natural relacionado fundamentalmente con su capacidad de adsorción (Camps-Arbestain et al., 2004).

La MOS es considerada como indicador de la calidad del suelo, debido a su influencia directa sobre las propiedades edáficas, como son la estructura y la disponibilidad de C y N (Gregorich et al., 1994). Distintos autores coinciden en que la MOS es el principal indicador y sin ningún tipo de duda, el que incide más significativamente en la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Funaro, 2004).

De este modo, la Estrategia Temática europea para la protección del suelo (EC, 2006) indica que, debido a la influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, la MOS es un agente clave en la conservación de las funciones del suelo.

Dado que la MOS está compuesta de C, H, O, N, P y S, se dificulta la medición del contenido de la MOS por lo que se recurre a los métodos de análisis que determinan el contenido de C orgánico del suelo (COS) y estimándose la MOS a través de un factor de conversión.

La cantidad presente de COS está determinada por el balance entre las entradas de C orgánico (provenientes de la vegetación y las raíces) y las salidas (correspondientes al CO<sub>2</sub> desprendido en la descomposición microbiana).

Sin embargo, los factores de formación del suelo (tipo de suelo, clima, manejo, composición mineral, topografía, biota) y las interacciones entre ellos afectan a la cantidad total de COS en un perfil, así como a la distribución de los contenidos de COS con la profundidad. Un aspecto a tener en cuenta es que los cambios provocados en el

sistema natural del suelo (por ejemplo, la conversión a la agricultura, la deforestación o las repoblaciones) darán lugar a diferentes condiciones bajo las cuales el COS entra y sale del sistema (Krull & Baldock, 2004).

#### **2.4.1. Estabilización de la Materia Orgánica**

Se debe distinguir el proceso de acumulación de la MO y el proceso de estabilización de la MO.

La acumulación de la MOS se da en condiciones que inhiben su descomposición, como puede ser el exceso de humedad, temperaturas bajas, existencia de toxinas, etc. Son condiciones típicas de suelos orgánicos (Histosoles), aunque también se dan en suelos con horizontes O de suelos muy ácidos, donde dicha MOS es poco estable y sensible a la descomposición y es susceptible de descomponerse si las condiciones que inhiben el proceso se invierten.

Por otra parte, el proceso de estabilización de la MO se define como la protección de la MOS frente a la mineralización. La estabilidad se produce por la acción recalcitrante de los compuestos orgánicos, por las interacciones entre la MOS y las superficies y los iones metálicos de la fracción órgano-mineral del suelo, o por la difícil accesibilidad de los microorganismos a la MOS (Von Lutzow et al., 2006; Gartzia-Bengoetxea, 2009).

**La recalcitrancia de los compuestos orgánicos** se clasifica en recalcitrancia primaria -relacionada con las características moleculares oriundas de los restos de hojarasca y rizodepósitos de las distintas especies-, o secundaria -que es el producto que incluye los procesos metabólicos y de degradación (Sollins et al., 1996).

**Las interacciones entre las superficies y los iones metálicos** son interacciones intermoleculares entre la MOS u otro material orgánico que altere los procesos de descomposición.

**La inaccesibilidad espacial** de la MO para los microorganismos y enzimas es causada, fundamentalmente, por la oclusión de la MO en la agregación o la estructura del suelo (Von Lutzow et al., 2006). La estructura del suelo es una propiedad dinámica muy relacionada con la MOS y sus características. Los agregados son partículas secundarias formadas al combinar partículas minerales primarias (arena, limo y arcilla) con elementos orgánicos e inorgánicos.

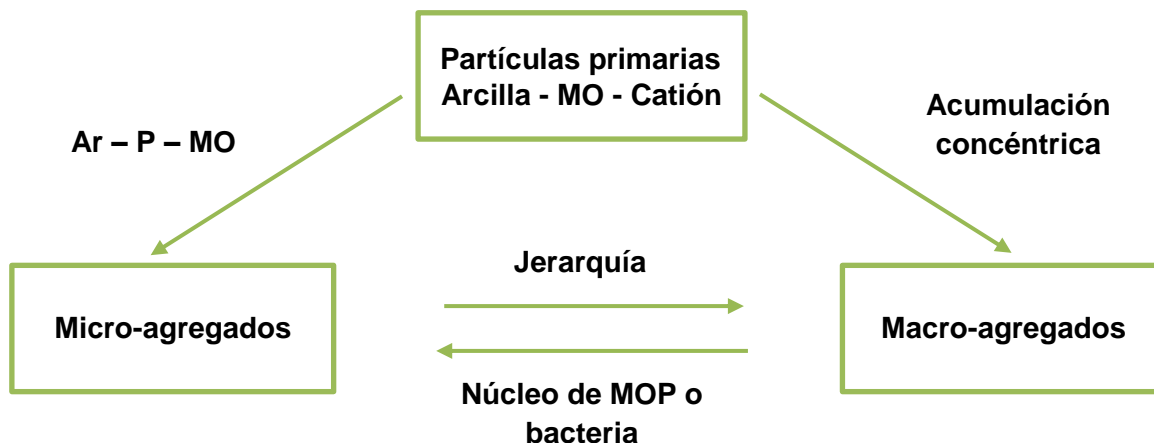
Existen distintas teorías de agregación. La teoría jerárquica de agregación, propuesta por Tisdall y Oades (1982), partió del estudio de suelos minerales de praderas pero pasó a ser una de las teorías más relevantes en el ámbito de conocimiento de la estructura del suelo. Dicha teoría explica la formación de micro- agregados (tamaño de 0,05 -0,25

mm) mediante la unión de los minerales con la MOS y los puentes de cationes polivalentes, conocidos como agentes de unión persistentes (característicos de cada suelo). Estos micro-agregados se van uniendo formándose agregados de mayor tamaño mediante agentes de unión, en este caso temporales (bacterias, polisacáridos y mucílagos). La jerarquía continúa al unirse estos últimos mediante agentes de unión transitorios que son principalmente hongos, rizomas e hifas, formando de esta manera los macro-agregados.

Según la teoría de la acumulación concéntrica (Oades, 1984; Angers et al, 1997; Six et al., 2000a; Bronick y Lal, 2005), los macro-agregados se forman rodeando la materia orgánica particulada (MOP). La MOP se define como la fracción que se encuentra entre 2mm y 53  $\mu$ m, constituida fundamentalmente por raíces e hifas en diferentes estadios de descomposición (Cambardella y Elliot, 1992). Éstas mantienen unido el macro-agregado, de manera que la formación del agregado sigue un proceso secuencial, formándose primero los micro-agregados y después los macro-agregados. Debido a que las raíces e hifas son agentes de unión transitorios, se descomponen con el tiempo en fragmentos. Dichos fragmentos, que están cubiertos por los mucílagos producidos por la descomposición microbiana, quedan retenidos con las arcillas dando como resultado un micro-agregado producido dentro de un macro-agregado (Six et al, 2004) (Figura 2.3).

La materia orgánica ocluida (MOO) en agregados está físicamente protegida contra la descomposición por la inaccesibilidad de los microorganismos y sus enzimas, por la reducción de la difusión de las enzimas al espacio interno del agregado y a causa de la dificultad en la difusión del oxígeno que a su vez provoca la disminución de la descomposición aerobia (von Lutzow et al., 2006).

Figura 2.3. Posibles escenarios de agregación del suelo (Bronick y Lal, 2005).



Nota: Materia orgánica (MO), materia orgánica particulada (MOP), arcilla (Ar) y partícula (P).

#### 2.4.2. El fraccionamiento de la materia orgánica como indicador de sostenibilidad en suelos forestales

Como ya apuntamos en el apartado 2.3 se puede considerar el contenido total de MO como un indicador de calidad del suelo y, por consiguiente, en la calidad medioambiental y sostenibilidad y, además, fácilmente medible por métodos convencionales.

Sin embargo, los cambios de uso o gestión del suelo pueden provocar perturbaciones medioambientales que se verán reflejadas en el contenido total de MOS a largo plazo, (Garten y Wulschleger, 1999).

Por ello, la búsqueda de fracciones de MOS susceptibles a los cambios de uso puede ayudar a aclarar las variaciones de la dinámica en la MOS para realizar prácticas más sostenibles.

Mediante los métodos de fraccionamiento físico de la MOS se pueden separar y estudiar las fracciones de la MOS respecto a su función, dinámica y estructura (Golchin et al., 1994; Six et al., 2001).

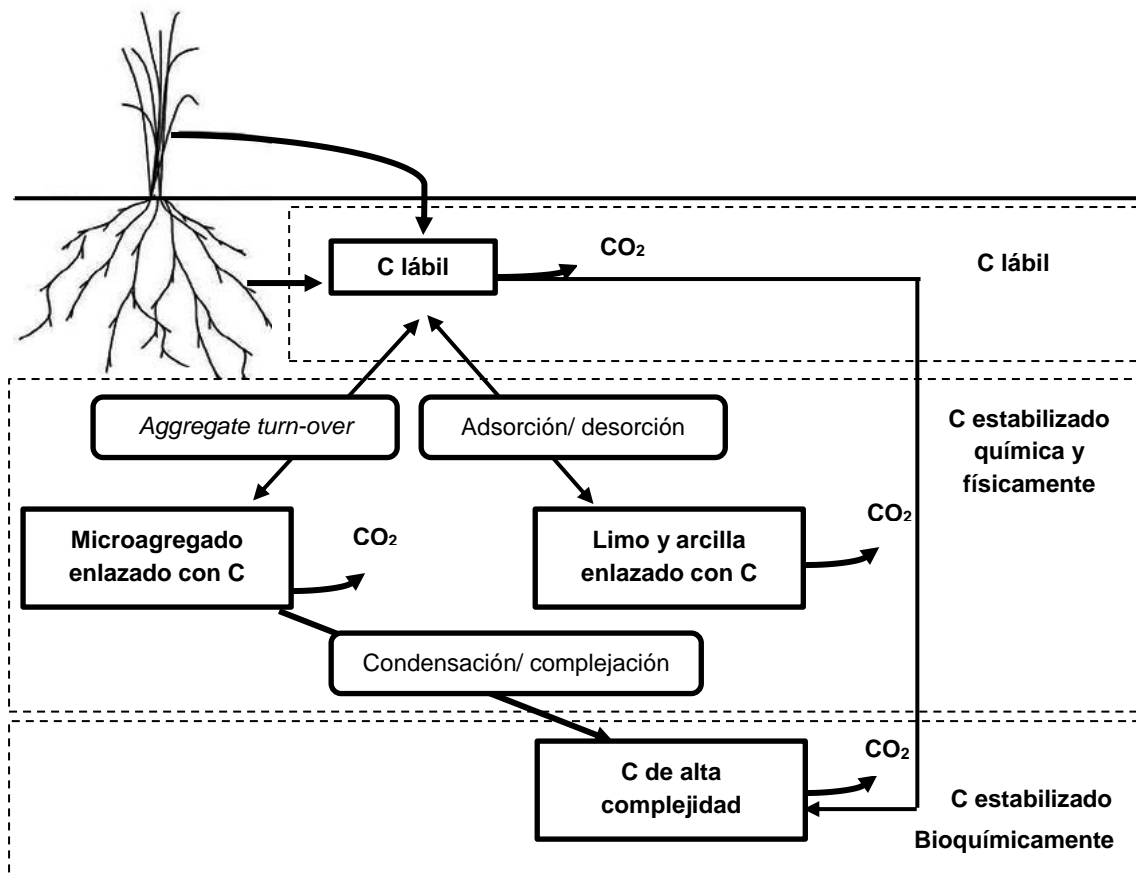
Más específicamente, el fraccionamiento de la MOS por densidad mediante la dispersión ultrasónica permite separar las tres fracciones atendiendo a los mecanismos de equilibrio nombrados anteriormente: MOP o libre, MOO en agregados y MO en interacción con el sustrato mineral (Sohi et al., 2001).

Varios autores apuntan a la MOP como la fracción más lábil del suelo con una tasa de descomposición muy rápida, del orden de días o años. Sin embargo, la MOO y la fracción órgano-mineral de la MOS son fracciones más estables con curvas de

descomposición de décadas a siglos (e.g. Golchin et al., 1994; John et al., 2005). Por lo tanto, las fracciones con una tasa de descomposición muy rápida responden susceptiblemente a los cambios de gestión de los suelos en comparación con las fracciones más estables (MOO y fracción órgano-mineral) (Cambardella y Elliot, 1992; Gregorich y Janzen, 1996; Six et al., 1998) (Figura 2.4).

En definitiva, las fracciones anteriormente referidas pueden ser útiles como indicadores o mecanismos de verificación de la calidad del suelo y de la sostenibilidad de la gestión que se está llevando a cabo.

**Figura 2.4.** Esquema de los procesos de estabilización de la materia orgánica del suelo (Six et al., 2002).



# HIPÓTESIS PREVIAS



### **3. HIPÓTESIS PREVIAS**

Para el presente estudio se establecen las siguientes hipótesis de trabajo que trataremos de comprobar con los análisis realizados:

➤ **Hipótesis 1:**

El tipo de vegetación y el manejo realizado debe afectar principalmente a los agregados menos estables (principalmente mega-agregados), esperando un efecto menor sobre los micro-agregados.

➤ **Hipótesis 2:**

La materia orgánica humificada asociada a los agregados edáficos aumentará a medida que disminuye el tamaño del agregado, y será la menos sensible al tipo de vegetación y al tipo de manejo.

➤ **Hipótesis 3:**

La cantidad de materia orgánica particulada asociada a los agregados aumentará a medida que aumenta el tamaño del agregado.

# OBJETIVOS

## 4. OBJETIVOS

### Como objetivos generales se plantea:

- I. Evaluar el efecto del tipo de vegetación (encina, jara y pino carrasco) en la distribución y características de los agregados edáficos.
  
- II. Evaluar el efecto en la distribución y características de los agregados edáficos del tratamiento silvícola en una masa de *Pinus halepensis* Mill.:
  - a) Masa testigo sin tratamiento.
  - b) Clara del 45% del área basimétrica con extracción de restos
  - c) Clara del 45% del área basimétrica con adición de restos triturados sobre la superficie del suelo.

### Como objetivos secundarios:

- III. Cuantificar la Materia Orgánica Particulada (MOP) existente en suelos calizos bajo diferentes cubiertas vegetales y distinto manejo forestal.
- IV. Caracterizar el tipo y cantidad de materia orgánica en los distintos tamaños de agregados edáficos.

# MATERIAL Y MÉTODOS

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

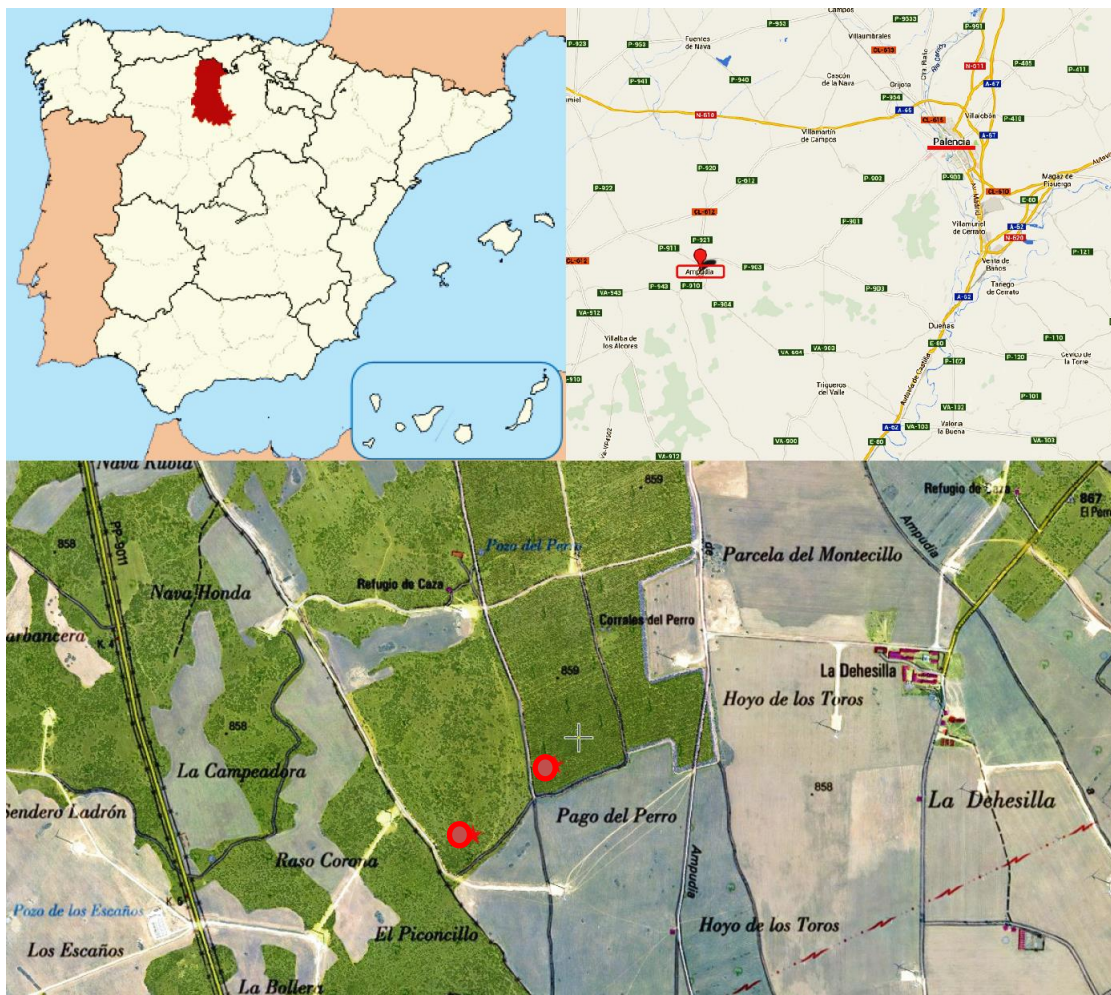
En este apartado describiremos dónde y cómo fueron recogidas las muestras utilizadas, Así como la metodología seguida para el fraccionamiento de agregados según tamaño y la caracterización del contenido y tipo de materia orgánica existente en ellos.

### 5.1. Descripción de la zona de estudio

#### 5.1.1. Localización

Las parcelas de ensayo del trabajo se localizan en el monte de utilidad pública del paraje de “Corrales del Perro”, pertenecientes al término municipal de Ampudia, Palencia, Comunidad Autónoma de Castilla y León (Figura 5.1).

Figura 5.1. Localización de las parcelas de ensayo.



El municipio de Ampudia se incluye dentro de la comarca de Tierra de Campos, aunque gran parte de su territorio pertenece a los Páramos de Montes Torozos, caracterizados

por un paisaje en el que contrastan las extensas llanuras con los pedregosos páramos, como es el caso del área de estudio. De forma más detallada, la zona se localiza en la hoja cartográfica 311-Dueñas del Mapa geológico de España. Las coordenadas geográficas de la zona son las siguientes:

- Latitud: 41° 51' 38,46'' N a 41° 52' 0,61'' N
- Longitud: 4° 46' 36,90'' W a 4° 46' 5,54'' W
- Coordenadas UTM (Huso 30T): X desde 353.090,21 m hasta 353.253,95 m e Y desde 4.636.165,36 m hasta 4.636.502,79 m.

### **5.1.2. Orografía, Fisiografía y Geología**

La provincia de Palencia queda delimitada en su extremo norte por la orla montañosa de la cuenca del Duero, extendiéndose hacia sur por los terrenos llanos de la Estepa castellana donde los materiales detríticos pierden espesor llegando, prácticamente, a desaparecer y comenzando entonces los páramos calizos.

La zona sometida a estudio se ubica en lo alto del páramo que pertenece a la comarca de Montes Torozos que, está caracterizada por una amplia homogeneidad y escasa pendiente. La altitud promediada de los terrenos objeto de estudio está alrededor de los 850 m de altitud sobre el nivel del mar.

La comarca de Montes de Torozos es una de las pocas zonas con ondulaciones que presentan los páramos al sur de Tierra de Campos. Está situada en el suroeste de la provincia de Palencia y al noroeste de la provincia de Valladolid, ocupando una superficie de 2000 km<sup>2</sup>.

Los páramos calcáreos de la comarca son extensas plataformas estructurales, llanas y a una altitud media de 820 - 920 metros, que deben este carácter a una litología formada por calizas, que protege de la erosión a las margas (niveles discontinuos de margas), gracias a la permeabilidad que ofrecen las calizas impidiendo o dificultando la escorrentía.

Geológicamente, la zona se localiza en el sector central de la Cuenca Terciaria de Duero, correspondiendo a la unidad morfo-estructural de Montes Torozos, definida por el páramo calcáreo (García Domínguez, 2015).

La estratigrafía, muestra materiales pertenecientes al Neógeno y Cuaternario que han sido sedimentados en régimen continental. El Mioceno Medio y Superior ocupa la

totalidad de la misma, estando muy recubierto por materiales del Plioceno (margas y calizas) y del Cuaternario de variada naturaleza (IGME, 1982).

Por último resaltar que, en la zona de estudio, están presentes los tres tramos clásicos del Mioceno castellano (Hernández-Pacheco, 1915):

- Fangos y canales arenosos “Facies Tierra de Campos”
- Arcillas, margas, yesos y calizas “Facies de las Cuestas”
- Calizas con gasterópodos “Calizas de los Páramos”

### **5.1.3. Climatología**

Para el estudio climatológico de la zona se tomó el observatorio termo-pluviométrico de Autilla del Pino (Indicativo 2400E), considerándose la serie de datos desde 1999 hasta 2013 para temperaturas (Latitud: 41° 59' 49"N; Longitud: 43° 60' 52"W; Altitud: 874 m) y el pluviométrico de Magaz (Indicativo 2358) del que sí se dispone de series de 30 años, tomando los datos correspondientes a precipitaciones desde 1983 hasta 2013 (Latitud: 41° 59' 00" N; Longitud: 42° 54' 22"W).

La tabla 1 recogida en anejo I muestra el cuadro resumen de temperaturas mensuales y la tabla 2 del anejo I las temperaturas estacionales y anuales.

En la zona objeto de estudio el clima tiene una continentalidad bastante marcada como lo prueba la gran oscilación térmica anual (valor de 22,8 para el índice de Gorzynski). La temperatura media anual es de 11.0°C siendo la temperatura media del otoño sensiblemente más alta que la primavera. La temperatura media de las mínimas absolutas anuales es de -0.1°C, lo que indica la existencia de inviernos excesivamente fríos.

La precipitación media anual es de 428 mm, siendo en los meses de mayo y octubre cuando más llueve con una precipitación media de 53 mm (Anejo I, tablas 3 y 4). La evolución de las precipitaciones anuales y sus quintiles indican que los años 2010 y 2013 fueron muy lluviosos, el 2011 lluvioso y el 2009 y 2012 muy secos, véase detalladamente en el anejo I figura 1.

La precipitación estival en los meses de verano es de 67 mm, lo cual conlleva que se dé una acusada aridez (Otero, 2009). El diagrama ombrotérmico (Anejo I, figura 2) muestra que de junio a septiembre la precipitación media mensual es menor que el doble de la temperatura media mensual, siendo, por ello, meses con sequía.

La estimación directa del régimen de heladas de la zona indica que el periodo máximo de heladas se extiende del 14 octubre al 8 de Mayo, el periodo mínimo de heladas del 15 de diciembre al 23 de febrero y el periodo medio de heladas del 7 de noviembre al 19 de abril.

El clima de la zona de estudio se corresponde en la clasificación de Köppen con **Csb**: clima templado cálido mesotérmico con veranos secos y calurosos.

#### **5.1.4. Vegetación**

La vegetación del monte estudiado pertenece, principalmente, a repoblaciones que fueron realizadas en los años 50. Son masas regulares monoespecíficas en estado de latizal alto (pies de 10 a 20 cm de diámetro) de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) con una fracción de cabida cubierta densa a media y sotobosque de pastizal (Figura 5.2). La formación habitual de los páramos está constituida de parcelas con vocación forestal mezcladas con parcelas vocacionalmente agrícolas.

**Figura 5.2.** Masas regulares mono específicas *Pinus halepensis* Mill.



La zona sometida a estudio estuvo originalmente ocupada por un bosque mediterráneo de encina (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*) y quejigo (*Quercus faginea* Lam.), que, tras un proceso de roturación para agricultura, hizo desaparecer estas formaciones, quedando hoy en día pequeñas regiones adeshadas y pequeños bosquetes en estado de latizal entre parcelas de cultivo. Estas masas están principalmente acompañadas por jaras (*Cistus ladanifer* L.) y herbáceas anuales (Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Masas mixtas de *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* y *Quercus faginea* Lam.



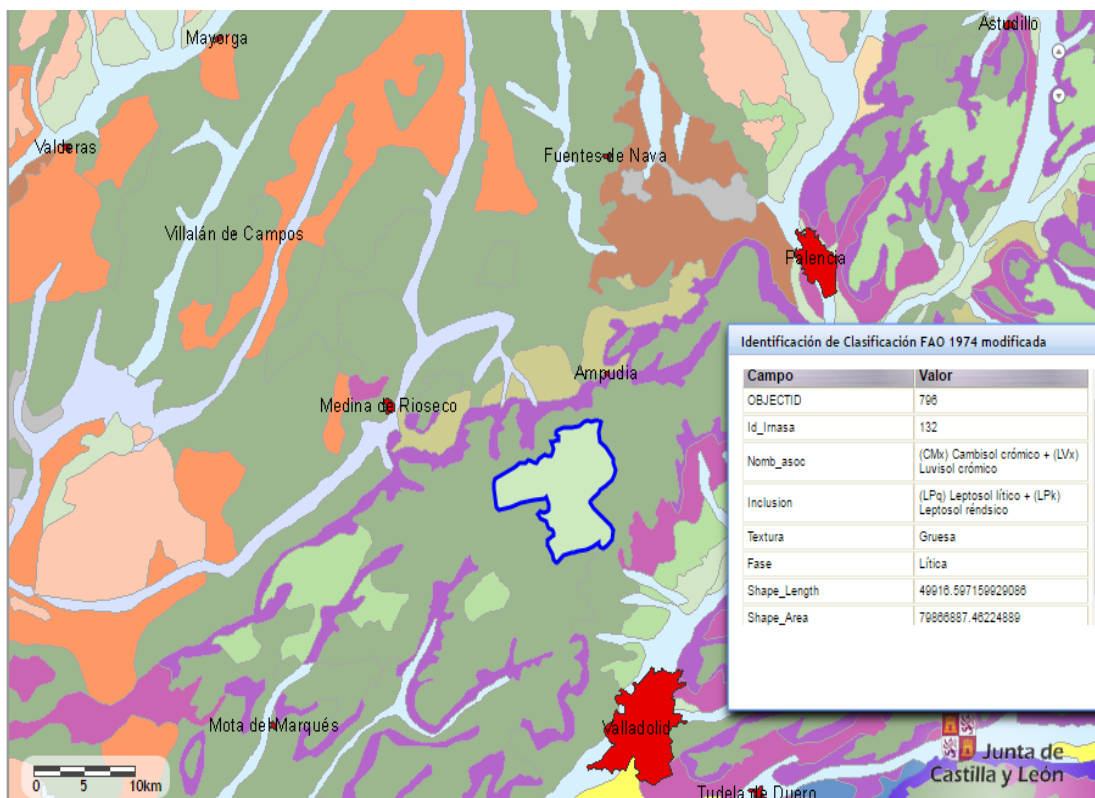
Según el mapa de series de vegetación de Rivas Martínez (1987) la vegetación potencial de la zona de estudio de la comarca de Montes de Torozos corresponde a la serie de vegetación 22aa, faciación mesófila de la serie 22a con *Quercus faginea*. La serie 22a – serie supramediterránea castellano – maestrazgo manchega basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Junipero thurifera* – *Querceto rotundifoliae sigmetum*) – cuenta con dos facciones: la típica 22a, y la mesófila con *Quercus faginea* 22aa.

### **5.1.5. Edafología**

Los suelos más frecuentes que existen en la unidad cartográfica de la zona, según el visor de datos elaborado por el ITACyL ([http://suelos.itacyl.es/visor\\_datos](http://suelos.itacyl.es/visor_datos)) que utiliza el mapa de suelos a escala 1/500.000 del IRNASA-CSIC con base en la clasificación FAO-UNESCO, (1974) son: **Cambisol crómico** y **Luvisol crómico** con inclusiones de **Leptosol lítico** y **Leptosol rendsico**. En la figura 5.4 se ve la imagen del visor ya nombrado, que corresponde a la zona estudiada y que está marcada con borde azul. La ventana que aparece a la derecha de la figura 5.4, muestra la información que identifica los tipos de suelos existentes en la zona y su tipo de fase. El tipo de fase que presentan todos los suelos de la zona de estudio es Lítica Indicando que se caracterizan porque poseen una roca continua, dura y coherente, a menos de 50 cm.

Para más detalles sobre el significado de cada uno de los suelos de la de la zona según la clasificación FAO-UNESCO, (1974), ver el Anejo correspondiente a la zona de estudio (Anejo I, apartado 2).

**Figura 5.4.** Mapa de suelos de la zona de estudio (visor de datos elaborado por el ITACyL)  
([http://suelos.itacyl.es/visor\\_datos](http://suelos.itacyl.es/visor_datos))



Para más detalles sobre el significado de cada uno de los suelos de la zona según la clasificación FAO-UNESCO, (1974), ver el Anejo correspondiente a la zona de estudio (Anejo I, apartado 2)

## DESCRIPCIÓN DEL PERFIL EDÁFICO

Situación: Monte de utilidad pública del paraje “Corrales del Perro”, Término Municipal de Ampudia, Palencia (Figura 5.1)

Coordenadas UTM:

Latitud: 41° 51′ 38,46″ N a 41° 52′ 0,61″ N y Longitud: 4° 46′ 36,90″ W a 4° 46′ 5,54″ W.

Altitud: 859 m

Geomorfología: páramo. Sin pendiente. Material original: calizas del páramo

Uso del suelo y vegetación: Pinar de repoblación con *Pinus halepensis* (Figura 5.5)

Profundidad efectiva: 35 cm Pedregosidad superficial: media

Afloramientos rocosos: sin afloramientos Costra: sin costra superficial

Salinidad: sin evidencias de salinidad Drenaje: bueno

Erosión: sin evidencias de erosión

Régimen de humedad: xérico. Régimen de temperatura: méxico.

Fecha de descripción: 26/02/2012 Autores descripción: Nuria García Domínguez

Clasificación: Cambisol crómico (WRB, 2006)

Seguidamente se detalla la descripción de campo que incluye la fotografía de la calicata (Figura 5.5). En ella se aprecian los horizontes de los que consta el perfil y su morfología, la cual se muestra en la tabla 5.1.

**Figura 5.5.** Fotografía de la calicata realizada en la zona objeto de estudio.



**Tabla 5.1.** Morfología del perfil del suelo por horizontes edáficos.

Profundidad	Horizonte	Morfología
-2 – 0	O	Mantillo, residuos orgánicos.
0 – 6	A	5YR 4/6 Pardo rojizo en seco y 7,5YR 3/1 Pardo oscuro en húmedo. Franco arenoso; estructura granular, moderada, fina; adherente; plástico; muy pocos poros muy finos intersticiales; raíces finas; algunos canales de lombrices; límite abrupto, plano.
6 – 16	Bw	5YR 3/4 Pardo rojizo oscuro en seco y 7,5YR 3/1 Pardo oscuro en húmedo. Franco arenoso; estructura granular, fuerte, media; adherente; muy plástico; muy pocos poros muy finos intersticiales; raíces gruesas; límite abrupto, plano.
16 – 35	B/C	5YR 3/4 Pardo rojizo oscuro en seco y 7,5YR 3/1 Pardo oscuro en húmedo. Franco arenoso; Dominancia de cantos angulares de naturaleza caliza; estructura granular fuerte; adherente; plástico; friable; pocos poros finos intersticiales; abundancia de raíces gruesas.
+ 35	R	Roca caliza

En la tabla 5.2 se observan los resultados para los distintos parámetros físicos en cada uno de los perfiles (García Domínguez, 2015). Estos resultados indican que los suelos se caracterizan por ser poco profundos, concretamente el perfil abierto tiene una profundidad de 35 cm, a mayor profundidad aparece la roca caliza dura. Además, el horizonte más profundo, presenta una elevada pedregosidad con un porcentaje de elementos gruesos alto del 53 %. La capacidad de campo (CC) de estos suelos está comprendida entre el 8 y el 10 %.

**Tabla 5.2.** Valores de algunos parámetros físicos de los distintos horizontes del suelo

Horizonte	A	Bw	B/C
Profundidad (cm)	0 - 6	6 - 16	16 - 35
Elementos gruesos (%)	5	13	53
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,46	1,46	1,39
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2,39	2,37	2,02
Poros (%)	38,9	38,1	31,2
CC (%)	8,25	9,81	9,93
HH (%)	0,98	1,58	1,69

**Nota:** HH = Humedad higroscópica; CC = Capacidad de campo

Los tres horizontes se caracterizan por tener una textura franco-arenosa (Tabla 5.3). El horizonte Bw muestra un contenido en arcilla ligeramente superior al del horizonte A y al B/C.

**Tabla 5.3.** Porcentajes de arcilla, limo y arena para cada uno de los perfiles analizados.

Horizonte	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
A	14	20	66
Bw	17	18	65
B/C	15	21	64

**Nota:** Textura según USDA.

En la tabla 5.4 se muestran los resultados para los distintos parámetros químicos (García Domínguez, 2015).

**Tabla 5.4.** Valores de algunos parámetros químicos de los distintos horizontes del suelo.

Horizonte	A	Bw	B/C
pH	7,0	7,1	7,1
CE (µs/cm)	90,3	96,1	98,3
C (g/kg)	20,6	18,2	16,7
N (g/kg)	0,77	0,70	0,70
C/N	26,8	26	23,9
K (cmol./kg)	0,72	0,69	0,69
Na (cmol./kg)	0,15	0,15	0,16
Ca (cmol./kg)	0,52	0,49	0,48
Mg (cmol./kg)	0,31	0,25	0,24
C - CaCO <sub>3</sub> (%)	0,29	0,32	0,35

**Nota:** CE = Conductividad eléctrica; MO Total = Materia orgánica total; C = Carbono orgánico; N = Nitrógeno; Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> = Cationes de cambio; C - CaCO<sub>3</sub> = carbono contenido en carbonatos.

La relación C/N disminuye a medida que profundizamos en el perfil desde 26,8 para el horizonte superior hasta 23,9 para el más profundo. El pH en los diferentes horizontes del suelo es aproximadamente 7 siendo un pH bajo para tratarse de un suelo sobre material calizo. Por otro lado, el contenido en carbonatos es inferior al 3% en los tres horizontes (%C de los carbonatos de entre 0,29 y 0,35%), valores que ponen de manifiesto que en estos suelos ha tenido lugar un lavado de carbonatos y que justifican que el valor de pH no alcance el 7,5.

## 5.2. Muestreo, preparación de las muestras y fraccionamiento por tamaño de agregados

### 5.2.1. Descripción y ubicación de las parcelas de muestreo

El muestreo se llevó a cabo en tres parcelas, que se encuentran incluidas dentro del Proyecto de Investigación titulado “Estrategias silvícolas para la adaptación y mitigación del cambio climático en repoblaciones de pinares (PINES4CHANGES)”, llevado a cabo el Instituto de Investigación en Gestión Forestal Sostenible de la Universidad de Valladolid.

Las parcelas tienen una superficie de 50 x 40 m (2000 m<sup>2</sup>) dentro de una masa de *Pinus halepensis*. En una de ellas (Parcela 1) no se ha realizado ningún tipo de tratamiento silvícola. En la otra parcela (Parcela 2) se ha realizado una clara por lo bajo del 45 %. Hay que señalar que, la Parcela 2 se divide en dos sub-parcelas: la sub-parcela 2E (20 x 50 m) en la que se han extraído los restos de clara y en la sub-parcela 2C (20 x 50 m) en la que los restos se han triturado y depositado in situ sobre el suelo de la propia parcela. La tercera parcela (Parcela 3) tiene unas dimensiones de 50 x 40 (2000 m<sup>2</sup>) y se encuentra dentro de una masa mixta de *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* y *Quercus faginea* acompañada de vegetación arbustiva como es el *Cistus ladanifer*, *Thymus vulgaris* y claros de pastizal, a la que no se le ha aplicado tratamiento alguno (Figura 5.6). La ubicación de cada parcela según sus coordenadas UTM se puede ver más detalladamente en la tabla 1 del apartado 1 en el anejo II.

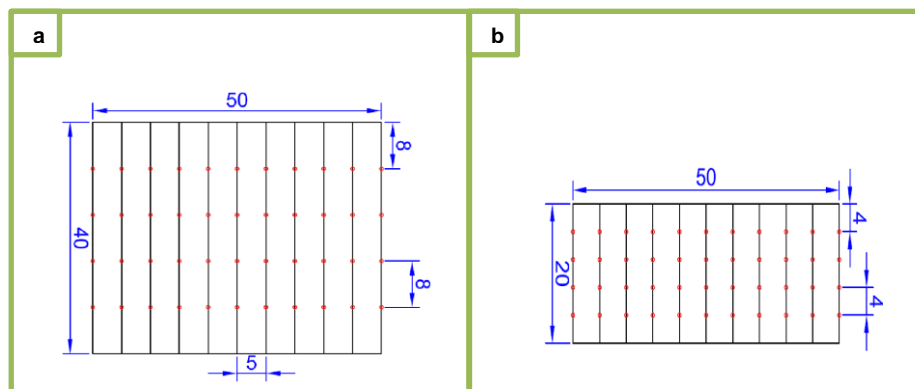
En las parcelas seleccionadas se muestrean 44 puntos sobre los que se toman todas las muestras y datos establecidos (muestra de hojarasca, muestra de horizonte orgánico, muestra de suelo y estimación de densidad vegetal).

En la Parcela 1 (50 x 40 m) se realiza un muestreo lineal con 11 itinerarios de muestreo (paralelos a su lado más corto) separados en 5 m e incluyendo los itinerarios del borde de la parcela. En cada itinerario se muestrean 4 puntos con una separación entre cada uno de 8 m. El diseño de muestreo se puede ver en la figura 5.7a.

Figura 5.6. Ubicación de las parcelas sobre ortofotografía.



Figura 5.7. Diseños de los muestreos. a) Diseño del muestreo de la Parcela 1. b) Diseño del muestreo en las parcelas 2E y 2C.



En las Sub-parcelas 2E y 2C (50 x 20 m) se realiza un muestreo lineal con las mismas características que el realizado en la parcela 1 (Figura 5.7b).

En la parcela 3 (50 x 40 m) se realiza un muestreo aleatorio en el que se representan todos los tipos de cubierta vegetal, es decir, se muestrean 11 puntos para cada tipo de cubierta vegetal (encina, quejigo, jara y pastizal).

### 5.2.2. Obtención de las muestras y mediciones

En cada uno de los puntos de muestro, lo primero que se realizó fue tomar la medición de densidad de cubierta vegetal utilizando un densímetro esférico convexo (Figura 1 en

el anejo II), obteniendo de esta medición el número de teselas que ocupan la vegetación en ese punto y después transformar el dato en % de densidad de cobertura vegetal y tipo de cubierta vegetal en cada punto.

A continuación, en el punto de muestreo, se introdujo sobre el suelo un cilindro metálico de 8,5 cm de diámetro y una altura de 5 cm. Este fue introducido en el suelo con la ayuda de una maza y un mártir de madera (Figura 2 en el anejo II).

El muestreo se realizó en 2013 habiendo transcurrido 32 meses desde que se produjeron las cortas y el aporte de los restos.

### **5.2.3. Preparación de muestras de suelo**

Por otra parte las muestras de suelo, al llegar al laboratorio, fueron pesadas en una báscula de precisión para calcular la densidad aparente de cada muestra.

Ya pesadas son introducidas en una nevera para conservar condiciones óptimas de humedad y temperatura (~4°C) que garanticen la continuidad de la actividad microbiológica de las muestras de suelo.

Para el posterior método de separación de agregados en húmedo, las muestras deben encontrarse entre un 8 y un 9% de humedad. Para conocer la humedad de las muestras se realiza un análisis de humedad, a cada una de las muestras, que se encuentra de forma más detallada en el punto 4 del Anexo II.

### **5.2.4. Fraccionamiento por tamaño de agregados**

Una vez en laboratorio se realizó el método de separación de agregados de Schutter et al. (2002), que fue realizado por Somovilla Lumbreras (2013).

El método consiste en la separación de las fracciones de agregados, de una porción de las muestras húmedas (~8% humedad) de 100 a 110 g del suelo, mediante el uso de 6 tamices de diferentes diámetros de agregado: 20 mm, 10 mm, 5 mm, 2 mm, 0,25 mm y 0,05 mm. Obteniéndose 7 tipos diferentes de fracciones de agregados para cada muestra: > 20 mm, 20-10 mm, 10-5 mm, 5-2 mm, 2-0,25 mm, 0,25-0,05 mm y < 0,05 mm. El procedimiento de análisis que se siguió se puede observar específicamente en el apartado 5 del Anejo II.



### 5.2.5. Selección de las muestras

Debido a que el estudio analítico que se pretende realizar es un proceso muy minucioso e implica un gran trabajo de laboratorio y si se hiciera en todas las muestras es excesivamente ambicioso y no sería adecuado para un TFM, se decidió realizar una selección combinando las muestras atendiendo al tipo de vegetación y % de cubierta vegetal.

Así en la masa mixta se combinaron según tamaño de agregado y según tipo de cubierta, obteniéndose en total 28 muestras (7 tamaños de agregados \* 4 tipos de cubierta vegetal: encina, quejigo, jara y herbáceas). Para el estudio exhaustivo de la materia orgánica llevado a cabo en este trabajo se seleccionaron las muestras tomadas bajo dos tipos de cubierta dentro de la masa mixta: encina y jara.

En el caso de las parcelas de pinar de repoblación se combinaron para cada tamaño de agregados las muestras de cada tratamiento, diferenciando el pinar testigo, pinar con claras al 45% y con aporte de restos de la clara triturados sobre el suelo y pinar con claras al 45 % y con extracción de los restos de clara.

Se trabajó por tanto con muestras procedentes de dos tipos de masas (masa mixta de quercíneas y pinar de repoblación). Dentro de la masa mixta de quercíneas se consideraron dos tipos de cubiertas vegetales (encina y jara). En la masa de pinar de repoblación se consideró pinar testigo (sin claras), pinar extracción (claras al 45 % con extracción de los restos de la clara), pinar trituración (claras al 45% con aporte de los restos de la clara sobre el suelo). El trabajo de laboratorio se realizó con 6 tamaños de agregados de cada una de estas muestras, que fueron: > 20 mm, 20-10 mm, 10-5 mm, 5-2 mm, 2-0,25 mm, 0,25-0,05 mm (Figura 5.8).

Se hicieron 5 pseudoréplicas, realizándose los análisis para un total de 150 muestras (5 tratamientos \* 6 tamaños de agregado/tratamiento\* 5 pseudoréplicas/agregado).

**Figura 5.8.** Tamaños y pesos de los agregados seleccionados por cada parcela.



Después se sacaron cada una de las muestras de las bolsas herméticas y se dejaron secando al aire durante 5 días (figura 5.9).

**Figura 5.9.** Tamaños y pesos de los agregados seleccionados por cada parcela secándose al aire.



Tanto el trabajo de muestreo como el trabajo de fraccionamiento por tamaño de los agregados edáficos, fue elaborado por David Somovilla Lumbreras (2013), el tratamiento estadístico de esos resultados y la caracterización de los agregados obtenidos, según tamaño y según tipo de masa y manejo forestal han sido realizados por la autora del presente trabajo.

### 5.3. Métodos analíticos

A continuación se van a indicar las metodologías de análisis llevadas a cabo para el estudio de la distribución de los agregados de las parcelas seleccionadas y los tratamientos realizados sobre ellas. Los pasos detallados de cada uno de los procesos seguidos se muestran en el anejo correspondiente a métodos analíticos (**Anejo III**).

#### 5.3.1. Fraccionamiento por densidad de los agregados del suelo

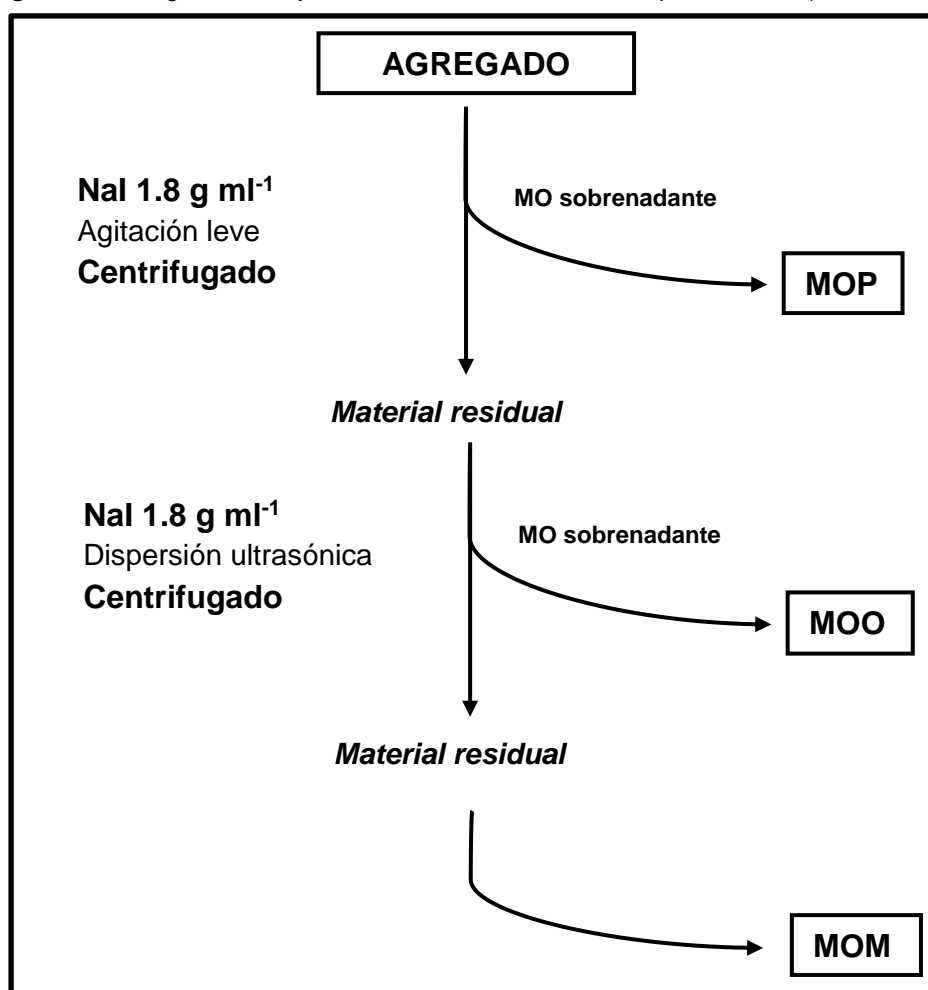
Este método de fraccionamiento fue llevado a cabo utilizando un equipo ultrasónico Branson 450W Sonicator con su previo calibrado.

El procedimiento de fraccionamiento por densidad fue aplicado al conjunto de las muestras obtenidas de cada parcela, explicadas anteriormente en el apartado 5.2.5, 1997 relativo a las muestras de micro-agregados (0,25-0,05mm), macro-agregados (2-0,25 mm) y mega-agregados (> 20 mm, 20-10 mm 10-5 mm y 5-2 mm), realizando 5 pseudoréplicas por parcela llegando a realizar un total de 150 repeticiones.

El diagrama de flujo del método utilizado está representado en la figura 5.10. Dicho método sigue el concepto elaborado por Golchin et al. (1994a), que diferencia tres grados de protección física de materia orgánica (MO):

- La Materia Orgánica Particulada (MOP) que sería la fracción o no protegida,
- La Materia Orgánica Ocluida (MOO) o fracción que se encuentra dentro de los agregados.
- La Materia Organo-Mineral (MOM) que está ligada a la parte mineral y se obtiene después de la dispersión del ultrasonido para romper los agregados.

Figura 5.10. Diagrama de flujo del método de fraccionamiento por densidad (Llorente, 2012).



Nota: MO: Materia Orgánica; MOP: Materia orgánica particulada; MOO: Materia orgánica ocluida; MOM: Materia orgánica Mineral; NaI: Yoduro sódico.

### **5.3.2. Estimación del C fácilmente oxidable según el método de Walkley & Black (1934)**

Este método de análisis está basado en la oxidación de la materia orgánica del suelo con un exceso de dicromato potásico en medio ácido y la posterior determinación mediante valoración del exceso de dicromato potásico utilizando para ello una sal ferrosa (sulfato ferroso amónico o sal de Mohr).

Se determinó el C fácilmente oxidable (CFO) de la fracción órgano-mineral obtenida tras el fraccionamiento por densidad.

La materia orgánica fue estimada a partir del % de CFO.

### **5.3.3. Determinación del pH y de la CE del suelo**

El pH y la conductividad eléctrica, se han medido siguiendo los métodos Oficiales de Análisis (Pardo y Porta, 1985), en una suspensión de suelo en agua (1: 2,5).

La determinación del pH se realizó con la intención de saber la posible existencia de carbonatos. Si el pH se encontraba entre 7,5 y 8 aumentaba la posibilidad de que hubiese carbonatos.

Tras realizar y obtener todas las mediciones de pH fueron dos las parcelas en las que se obtuvieron valores en dicho rango. Una de ellas fue el jaral y la otra el pinar de repoblación testigo.

Posteriormente, fue en dichas parcelas en las que se realizó el análisis de carbonatos pertinente (apartado 5.3.4).

Por otro lado, para realizar la medida de la conductividad se utiliza la relación 1:2,5 suelo en agua, la misma que utilizamos para el pH.

Los resultado en todas las parcelas y todos los tamaños se encuentran entre 0 y 2 dS/m y nos indica que estamos ante suelos no salinos (Tabla 1 y 2, anejo III).

### **5.3.4. Determinación del carbono y nitrógeno total del suelo**

Se determinaron los contenidos totales de carbono y nitrógeno tanto de las muestras de suelo molidas como de la hojarasca mediante autoanalizador LECO CHN 2000. El sistema automatizado realiza una combustión de las muestras a 900 °C para luego recoger el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el agua. A través de infrarrojos

se obtiene la concentración de CO<sub>2</sub> y tras la reducción del NO<sub>x</sub> a N<sub>2</sub> se determina el N por termoconductividad.

### 5.3.5. Determinación de carbonatos y C orgánico

El carbono orgánico del suelo se determinó de forma indirecta mediante la diferencia entre el carbono total (analizado con el aparato LECO CHN-2000,) y el carbono inorgánico procedente de los carbonatos, determinado según el método de la FAO (2007) para suelos áridos y semiáridos. Este método consiste en la adición de una cantidad conocida de HCl que reacciona con los carbonatos y la titulación posterior con NaOH del ácido sobrante de la reacción indicada.

### 5.4. Métodos de ajuste y estadísticos

Para el análisis estadístico hemos utilizado un modelo lineal mixto de análisis de la varianza con tres factores (tipo de masa con 2 niveles, tratamiento con 5 niveles anidados en el factor tipo de masa y tamaño con 6 niveles) y con la siguiente formulación:

$$Y_{jkl(i)} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + \gamma_1 + \alpha \gamma_{i1} + \beta \gamma_{j1(i)} + \varepsilon_{jkl(i)}$$

con  $i=1$  (masas mixtas), 2 (pinars);  $j=1$  (encina), 2 (jaral) cuando  $i=1$ ;  $j=1$  (pinar sin tratamiento), 2 (pinar con clara y con extracción de restos), 3 (pinar con clara y sin extracción de restos) cuando  $i=2$ ;  $k=1, 2, \dots, 6$  para los 6 tamaños y  $l=1, \dots, n$  para las réplicas, con  $n=5$  para los cinco primeros tamaños y algunas de las variables y  $n=3$  para el tamaño 6 y para otras variables; y siendo:

$Y_{jkl(i)}$  = valor observado para la variable correspondiente en la réplica  $l$  del tratamiento  $j$  dentro del tipo de masa  $i$ , y el tamaño  $k$ .

$\mu$  = efecto de media general.

$\alpha_i$  = efecto principal del tipo de masa  $i$ .

$\beta_{j(i)}$  = efecto principal del tratamiento  $j$  dentro del tipo de masa  $i$ .

$\gamma_1$  = efecto principal del tamaño  $k$ .

$\varepsilon_{jkl(i)}$  = error aleatorio en el valor observado en la réplica  $l$  del tratamiento  $j$  dentro del tipo de masa  $i$ , y el tamaño  $k$ .

El resto de términos son las posibles interacciones entre los factores considerados. Además, hemos supuesto que los errores  $\varepsilon_{jkl(i)}$  son independientes con  $\varepsilon_{jkl(i)} \sim N(0, \sigma_{jk}^2)$ , siendo  $\sigma_{jk}^2$  la varianza aleatoria para los errores en el tratamiento  $j$  y el tamaño  $k$ .

Por tanto, el modelo incluyó 30 parámetros de varianza, que fueron estimados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML).

Finalmente, se utilizaron t-test individuales para la comparación entre parejas de medias estimadas.

Para las variables sin réplicas (es decir, con  $n=1$ ) se utilizó el mismo modelo excluyendo los términos de interacción y considerando  $\sigma_{jk}^2 = \sigma^2$  para cualesquiera  $j$  y  $k$  (por tanto sólo se estimó 1 parámetro de varianza).

Para el estudio de la distribución en peso de los tamaños de agregados se consideró el mismo modelo pero sin el factor tamaño.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Estudio del porcentaje en peso por tamaño de agregados

En este apartado se estudia la distribución en peso por tamaño de agregados edáficos, considerando el factor “tipo de masa” que diferencia dos niveles, por un lado los suelos de la masa natural mixta de *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* y *Quercus faginea* Lam. y la masa pinar de repoblación de *Pinus halepensis* Mill. Además se consideró el factor tratamiento anidado que, por un lado diferencia dentro de la masa mixta dos niveles: suelos bajo cubierta de encina que llamaremos encinar y suelos bajo cubierta de jara que denominaremos jaral. Por otro lado, dentro de la masa de pinar de repoblación, diferencia tres niveles: pinar Testigo, masa de *Pinus halepensis* que no ha sufrido ningún tratamiento, pinar extracción, con claras al 45% con extracción de los restos de clara fuera de la parcela y pinar trituración, con claras al 45% cuyos restos de clara han sido picados y aportados en la superficie del suelo.

En la tabla 6.1 se muestra la significación obtenida en el análisis estadístico para cada uno de los factores considerados.

**Tabla 6.1.** Significación del modelo estadístico utilizado para el factor tipo de masa y para el factor tratamiento anidado en el tipo de masa para cada uno de los porcentajes en peso de las fracciones por tamaño de agregados (mm) para las masas forestales estudiadas (encinar, jaral y pinar de repoblación testigo) y p-valor del ANOVA. (n= 88).

	> 20	20 - 10	10 - 5	5 - 2	2 - 0,25	0,25 - 0,05
<b>Tipo de masa</b>	***	***	***	***	***	***
<b>Tratamiento (tipo de masa)</b>	*	*	*	***	**	***

**Nota:** Tamaño < 0,05 y 0,05-0,25 mm: Micro-agregados; Tamaño 0,25-2 mm: Macro-agregados; Tamaño 2-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm y >20 mm: Mega-agregados; letras diferentes muestran diferencias significativas entre grupos comparados; \*\*\* p< 0,001; \*\* p< 0,01, \* p<0,05, NS: no significativas.

En la tabla 6.1 se puede observar que tanto el factor tipo de masa como el tratamiento anidado en el tipo de masa fue significativo para todos los parámetros considerados. El hecho de que el factor anidado haya sido significativo implica que existen diferencias significativas entre los distintos niveles que se han considerado en el factor tratamiento según el tipo de masa, y es preciso atender a estas comparaciones.

Por otro lado de todas las posibles comparaciones que se pueden establecer se van a mostrar en el presente trabajo aquellas que permiten responder a los objetivos



planteados. Por tanto, las comparaciones que nos permiten estudiar el efecto del tipo de masa, es decir comparaciones entre pinar testigo, jaral y encinar y por otro lado las comparaciones según el manejo realizado dentro del pinar, comparando en ese caso el pinar testigo, el pinar con extracción de restos y el pinar con aporte de los restos. El resto de comparaciones posibles que se pueden llevar a cabo al considerar el factor tratamiento anidado en el tipo de masa no se ha tenido en consideración en el presente trabajo.

En la tabla 6.2 se muestran junto con los valores medios del porcentaje en peso de cada uno de los tamaños de agregados, las comparaciones entre encinar, jaral y pinar testigo para cada tamaño de agregado

**Tabla 6.2.** Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tamaño de agregados (mm) para encinar, jaral y pinar de repoblación testigo y resultados de las comparaciones del análisis estadístico realizado.

(mm)	% en peso de fracciones por tamaño de agregados					
	> 20	10 - 20	5 - 10	2 - 5	0,25 - 2	0,05 - 0,25
<b>Encinar</b>	42,9a	20,8	10,9b	7,8b	12,1b	4,3b
<b>Jaral</b>	29,8b	23,8	11,1b	8,6b	18,2a	6,9a
<b>Pinar Testigo</b>	36,0ab	23,3	14,4a	11,4a	12,5b	1,9 c

**Nota:** letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tipos de masa comparados para cada tamaño de agregado.

Los resultados obtenidos muestran que los suelos bajo jaral presentan el mayor porcentaje de micro-agregados y de macro-agregados y el encinar de mega-agregados de tamaño superior a 20 mm. El pinar testigo presenta los valores significativamente más altos en porcentaje de mega-agregados de tamaño 5-10mm y 2-5mm. Los suelos bajo encinar presentan valores significativamente más altos que el resto de los suelos en % en mega-agregados de tamaño superior a 20mm.

Si consideramos solo tres grandes grupos de agregados: micro-agregados (<0,25mm), macro-agregados (0,25-2mm) y mega-agregados (>2mm) podemos ver que la distribución en masa según tamaños diferencia claramente al jaral de los otros dos tipos de masa (Tabla 6.3). Los suelos bajo jaral mostraron porcentajes significativamente menores de mega-agregados que los suelos bajo encinar y pinar de repoblación y porcentajes significativamente más altos de macro-agregados y micro-agregados. En el

caso de los micro-agregados también se diferenciaron significativamente el encinar del pinar testigo, siendo este el que presentó porcentajes de micro-agregados significativamente más bajos que el encinar y el pinar testigo.

**Tabla 6.3.** Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tipo de agregados para encinar, jaral y pinar de repoblación testigo y resultados de las comparaciones del análisis estadístico realizado.

	<b>Mega-agregados [%]</b>	<b>Macro-agregados [%]</b>	<b>Micro-agregados [%]</b>
<b>Encinar</b>	82,5 a	12,1b	5,3b
<b>Jaral</b>	73,4b	18,2a	8,3a
<b>Pinar testigo</b>	85,3a	12,5b	2,2c

**Nota:** Micro-agregados:  $\phi < 0,25$  mm; Macro-agregados:  $\phi = 0,25-2$  mm; Mega-agregados  $\phi > 2$ mm. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tipos de masa para cada tipo de agregados.

En definitiva, los suelos bajo vegetación arbórea poseen una distribución similar según tamaño de agregados, diferenciándose principalmente el suelo bajo matorral.

Con el fin de conocer si el manejo de la masa de pinar de repoblación tuvo un efecto significativo en la distribución en peso de agregados edáficos, se consideraron las comparaciones correspondientes a la distribución en porcentaje en peso de los agregados de los suelos de la parcela de pinar testigo, y de las parcelas aclaradas con extracción de restos y con aporte de los restos triturados (Tabla 6.4). No se observan diferencias significativas en la distribución en peso según manejo para tres de los seis tamaños de agregados considerados. En los que hay diferencias para la mayoría de los tamaños de agregados entre el pinar testigo y el pinar aclarado al 45% en área basimétrica con extracción de los restos. Mientras que si hay diferencias significativas en la distribución de los agregados entre el pinar testigo y la parcela de pinar con un 45% de claras en la que se mantienen los restos triturados sobre el suelo en los macro y micro-agregados.

**Tabla 6.4.** Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tamaño de agregados (mm) para cada tratamiento realizado en la repoblación y comparaciones entre medias.

(mm)	% en peso de fracciones por tamaño de agregados					
	> 20	20 - 10	10 - 5	5 - 2	2 - 0,25	0,25 - 0,05
<b>Pinar Testigo</b>	36,0a	23,3 ab	14,4a	11,4a	12,5b	1,9 b
<b>Pinar extracción</b>	29,2a	26,8 a	13,3a	11,2a	17,0a	2,2b
<b>Pinar trituración</b>	31,8a	21,4 b	12,8a	10,9a	17,9a	4,2a

**Nota:** Tamaño < 0,05 y 0,05-0,25 mm: Micro-agregados; Tamaño 0,25-2 mm: Macro-agregados; Tamaño 2-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm y >20 mm: Mega-agregados; letras diferentes muestran diferencias significativas entre grupos comparados.

El tratamiento de claras tanto con extracción como con adición de los restos conlleva un incremento en el porcentaje de macro-agregados (2-0,25mm) en comparación con el testigo. El tratamiento de claras con trituración y aporte de los restos triturados sobre el suelo conlleva un incremento significativo ( $p < 0,001$ ) en el porcentaje de micro-agregados (0,25-0,05) respecto al testigo y a la clara con extracción de los restos de la corta. Los mega-agregados de tamaño 20-10mm representan un porcentaje significativamente mayor en el pinar con extracción de los restos que en el que se mantienen los restos triturados.

Los resultados obtenidos muestran que, como era de esperar, la distribución de los agregados está más influenciada por el tipo de masa (pino, encina, jara) que por el manejo que se haya realizado (el caso del pinar realización de claras con aporte o no de restos).

Si consideramos solo tres grandes grupos de agregados, al igual que se hizo para el estudio del tipo de masa, esto es: micro-agregados (<0,25mm), macro-agregados (0,25-2mm) y mega-agregados (>2mm), podemos ver que la distribución en masa según tamaños de agregados diferencia claramente al pinar testigo del resto de los tratamientos o manejos realizados en la masa de pinar de repoblación (Tabla 6.5). Los suelos en el pinar testigo mostraron porcentajes significativamente mayores de mega-agregados que los suelos bajo pinar con extracción de restos y pinar con aporte de restos triturados y porcentajes significativamente menores de macro-agregados. En el

caso de los micro-agregados no se obtuvieron diferencias significativas entre el pinar testigo y el pinar con extracción de restos, mostrando el pinar con restos triturados valores significativamente más altos que los otros dos pinares para los micro-agregados.

**Tabla 6.5.** Valores medios del porcentaje en peso de las fracciones por tipo de agregados para encinar, jaral y pinar de repoblación testigo y resultados de las comparaciones del análisis estadístico realizado.

	<b>Mega-agregados [%]</b>	<b>Macro-agregados [%]</b>	<b>Micro-agregados [%]</b>
<b>Pinar testigo</b>	85,3a	12,5b	2,2b
<b>Pinar extracción</b>	80,5b	17,0a	2,5b
<b>Pinar trituración</b>	76,9b	17,9a	5,2a

**Nota:** Micro-agregados:  $\phi < 0,25$  mm; Macro-agregados:  $\phi = 0,25-2$  mm; Mega-agregados  $\phi > 2$ mm. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tipos de masa para cada tipo de agregados. Por otro lado, dentro de la masa de pinar dejar los restos de las claras triturados sobre la superficie favorece la formación de micro-agregados y macro-agregados, frente a los agregados de mayor tamaño mega-agregados, siendo estos últimos menos estables.

## 6.2. Estudio de las fracciones de materia orgánica en los agregados edáficos

En el apartado anterior se ha mostrado que hay diferencias en la distribución de los agregados según el tipo de masa (encinar, jaral y pinar de repoblación) y también según el tratamiento dentro del pinar. A continuación estudiaremos si el contenido y tipo de materia orgánica va a ser distinto según el tamaño del agregado en estos suelos o no. Para ello se considerarán las fracciones de materia orgánica en cada uno de los tamaños de agregados: MOP, MOO, MOM. Como se ha indicado en el apartado de análisis estadístico se consideraron los factores individuales “tipo de masa”, “tratamiento” y “tamaño de agregado”, así como la interacción tipo de masa\*tamaño y Tamaño\*tratamiento anidado en el tipo de masa”.

En la tabla 6.6 se muestra la significación estadística obtenida para los factores estudiados.

**Tabla 6.6.** Tabla de significación ANOVA de MOP, MOO, MOM.

<b>Factor</b>	<b>MOP</b>	<b>MOO</b>	<b>MOM</b>
<b>Tipo de masa</b>	NS	NS	NS
<b>Tratamiento</b>	***	**	***
<b>Tamaño</b>	***	***	***
<b>Tipo de masa*tamaño</b>	**	NS	***
<b>Tamaño *Tratamiento (tipo de masa)</b>	***	**	***

**Nota:** MOP: Materia Orgánica Particulada, MOO: Materia Orgánica Ocluida, MOM: Materia Organo-Mineral; \*\*\* p< 0,001; \*\* p< 0,01, \* p<0,05, NS: no significativas.

Al igual que ha sucedido en los apartados anteriores la interacción “tamaño de agregado\* tratamiento anidado en el tipo de masa” fue altamente significativa para todas las variables consideradas en este apartado, por ello se realizarán las comparaciones atendiendo al tratamiento dentro de cada tamaño de agregado y también entre tamaños de agregados dentro de cada tratamiento.

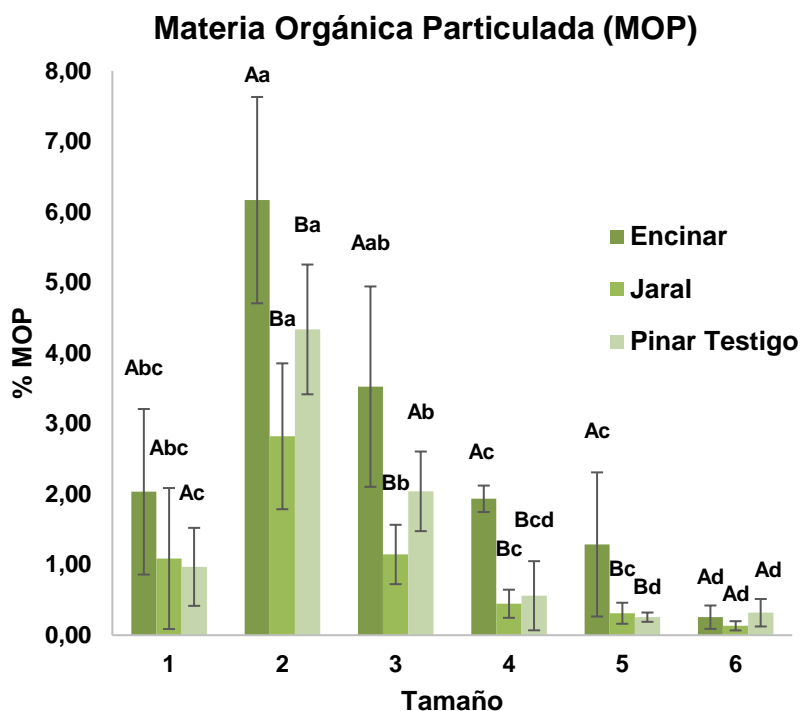
Por otro lado, de todas las posibles comparaciones entre tratamientos se mostrarán aquellas que responden a los objetivos planteados, en relación al efecto del tipo de masa (encinar, jaral, pinar testigo) y al efecto del manejo dentro de la masa de pinar (pinar testigo, pinar con extracción de restos de clara y pinar con aporte de restos de clara).

### **6.2.1. Materia Orgánica Particulada (MOP)**

En la tabla 6.6 se mostró que la interacción entre tamaño y tratamiento anidado con el tipo de masa fue significativa, por lo que no procede estudiar cada factor de forma individual sino la interacción. Por lo tanto, se va a considerar el efecto del tratamiento en los distintos tamaños de agregados y también el efecto de los distintos tratamientos dentro de cada tamaño de agregado, considerando primero el efecto del tipo de masa y posteriormente el manejo en la masa de pinar.

En la figura 6.1 se muestran los valores promedio de porcentaje de MOP en los distintos tamaños de agregado de los suelos bajo encinar, jaral y pinar de repoblación.

**Figura 6.1.** Valores promedio de Materia orgánica particulada (%MOP) clasificados por tamaño de agregado en suelos bajo encinar, jaral y pinar de repoblación.



**Nota:** Tamaño de agregados 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para un mismo tamaño de agregado entre suelos bajo encinar, jaral y pinar de repoblación testigo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados dentro de un mismo tipo de masa (encinar jaral, pinar testigo) Las barras indican la desviación estándar ( $n=5$ ).

Los macro-agregados (tamaño 2; 0,25-2 mm) presentaron los mayores porcentajes de MOP para las tres cubiertas vegetales consideradas (6,17% en el encinar, 4,34% en el pinar de repoblación y 2,82% en el jaral), mientras que el tamaño 6 correspondiente a agregados mayores de 20 mm presentó los menores porcentajes de MOP (0,32%, en el pinar testigo 0,26% en el encinar y 0,13% en el jaral).

Gartzia-Bengoetxea (2009) en suelos de bosques oceánicos templados clasificados como *Typic Udorthent* (SSS, 2006) obtuvo también en el tamaño de agregados de 0,25-2 mm los valores más altos de C y N en la fracción de MOP y además unos valores muy bajos en los micro-agregados y mega-agregados, resultados acordes con los obtenidos en el presente trabajo.

Como se puede observar en la figura 6.1, hay diferencias significativas entre los distintos tipos de cubierta vegetal considerados en la mayoría de los tamaños. Las diferencias se observan principalmente en macro y mega-agregados. Los micro-agregados y los mega-

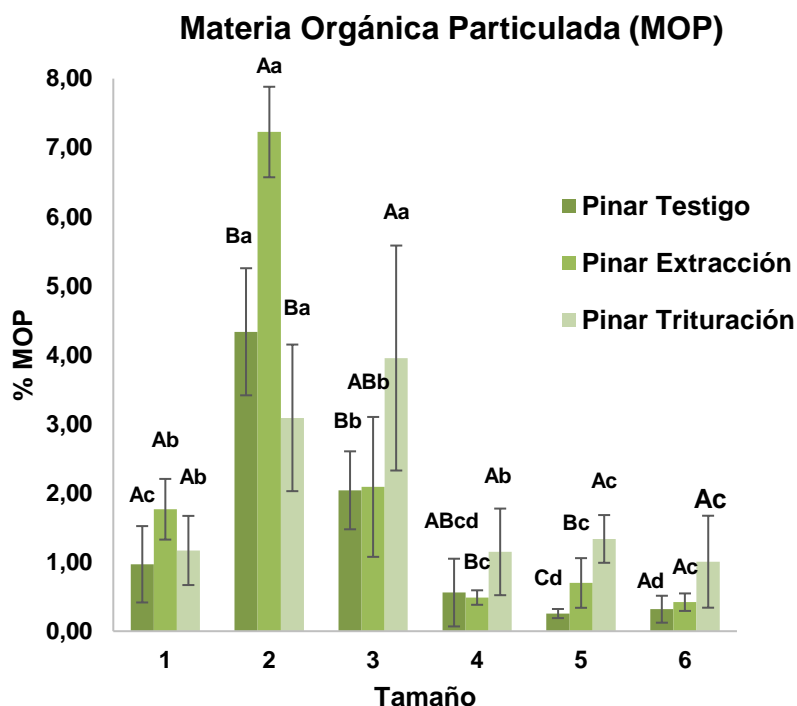
agregados de >20 mm (tamaño 6) no mostraron diferencias significativas en el porcentaje de MOP entre los tipos de cubierta vegetal. En general, para el resto de los tamaños el encinar presenta porcentaje de MOP significativamente más altos que el jaral y el pinar excepto en el tamaño 3 (2-5 mm) donde solo se diferencia significativamente del jaral.

Llorente (2012) en su estudio sobre los efectos de distintos usos en suelos calizos de los Páramos Castellano-leoneses observó también que los suelos bajo encinar presentaban valores de % MOP significativamente más altos que los cultivos agrícolas y pinares de repoblación de *Pinus halepensis*.

Que en el presente estudio los micro-agregados no presenten diferencias significativas entre los distintos usos comparados, corrobora que éstos son menos sensibles al uso del suelo que el resto de los agregados, como ha sido puesto de manifiesto por diferentes autores (Elliott, E.T. 1986; Oades, 1984; Tisdall y Oades, 1982).

En la figura 6.2 se muestran los valores de porcentaje de MOP en los distintos tamaños de agregado de los suelos bajo pinar de repoblación sometidos a distintos tratamientos (testigo, clara con extracción de restos y clara con adición de restos).

**Figura 6.2.** Valores promedio de Materia orgánica Particulada (%) clasificados por tamaño de agregado y tratamiento (manejo) realizado en la repoblación.



**Nota:** Tamaño 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para un mismo tamaño de agregado entre suelos bajo pinar con distintos tratamientos (Pinar Testigo, Pinar Extracción Pinar Trituración). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados dentro de un mismo tipo de tratamiento. Las barras indican la desviación estándar ( $n=5$ ).

En la figura 6.2 se observa que el mayor porcentaje de MOP se da en los macro-agregados (0,25-2 mm) y mega-agregados de 2 a 5 mm. Estos resultados son similares a los observados en la figura 6.1, donde se mostraba que también en los suelos bajo jaral y encinar la MOP era más alta en esos mismos tamaños de agregados que en el resto. Se puede concluir por tanto que en los suelos estudiados, independientemente del tipo de masa y de su manejo la mayor parte de MOP se encuentra en los tamaños de agregados de 0,25 a 5 mm.

En la figura 6.2 se observa que los micro-agregados y los mega-agregados mayores de 20 mm no muestran diferencias significativas en el porcentaje de MOP entre los tratamientos comparados. En los tamaños 3 y 5 (2-5 mm y 10-20 mm respectivamente) correspondientes a mega-agregados, el pinar con adición de restos tras la clara presenta valores de MOP significativamente más altos que el pinar testigo. Asumiéndose que la MOP de micro y macro-agregados proviene principalmente de



raíces de herbáceas (Six et al., 2000) y en el resto de agregados la MOP proviene principalmente de los restos triturados adicionados sobre el suelo de la parcela. Los resultados obtenidos pueden ser debidos a que en la parcela testigo, la cubierta vegetal arbórea es muy cerrada e impide el crecimiento de vegetación herbácea. En la parcela donde se adicionaron restos triturados de la clara se formó una capa de material orgánico que dificultó el crecimiento de vegetación herbácea mientras que en el pinar donde se realizó la extracción de esos restos se permitieron las condiciones idóneas (luz, temperatura, etc.) para el crecimiento de la vegetación herbácea sin ningún impedimento.

Lo anteriormente indicado justifica que los mega-agregados de los tamaños de 2-5 mm, 5-10mm y 10-20 mm posean los valores más elevados en la parcela con restos triturados (3,96%, 1,15% y 1,34% respectivamente).

Los resultados obtenidos en la figura 6.2 señalan diferencias significativas en los porcentajes de MOP según el tratamiento de la masa de repoblación para los macro-agregados entre pinar con extracción de restos y el pinar testigo. En mega-agregados de 2 a 5 mm la parcela con restos triturados tiene % MOP significativamente mayor que el pinar testigo y en mega-agregados de 10-20 mm ambos tratamientos tienen diferencias significativas entre sí y con el pinar de repoblación testigo. Por ello, se puede añadir a lo dicho por Llorente (2012) sobre el cambio de uso, que también el manejo realizado afecta a dichos porcentajes.

Según Gartzia-Bengoetxea (2009) la formación de los agregados está directamente relacionada con las dinámicas de MOP, independientemente de las especies arbóreas. Los resultados obtenidos muestran que, los % MOP en micro-agregados y mega-agregados mayores de 20 mm, no se ven influenciados de los cambios de uso del suelo y manejos realizados pero dicho porcentaje si se ve afectado en el resto de tamaños de agregados. Por ello, se puede afirmar que, la MOP afecta a la formación de los agregados hasta formar los agregados menos susceptibles a los cambios de uso y manejo, que serían los micro-agregados, afirmación realizada también por Gartzia-Bengoetxea (2009).

## 6.2.2. Materia Orgánica Ocluida (MOO)

En la tabla 6.6 se mostró que la interacción entre tratamiento y tamaño con el tipo de masa anidado es significativa, por lo que al igual que sucedía con la MOP no procede estudiar cada factor de forma individual sino la interacción. Por tanto, se estudiará cómo afecta el tamaño de partículas en la MOO para los distintos usos (Tabla 6.7) y manejos efectuados (Tabla 6.8).

La tabla 6.7 muestra los valores de porcentaje de MOO en los distintos tipos de masa para los distintos tamaños de agregados. Comparando estos valores con la MOP (Figura 6.1) vemos que son del orden de diez veces menores, por lo que esta fracción contribuye mínimamente a la MO total existente en el suelo. Llorente (2012) obtuvo valores de MOO para suelo tamizado (< 2 mm) comprendidos entre 0,11 % y 0,73 % resultados muy similares a los obtenidos en este trabajo para tamaños de agregados de menos de 2 mm.

**Tabla 6.7.** Valores promedio de porcentaje de materia orgánica ocluida (%MOO), clasificada por tamaño y tipo de masa (encinar, jaral y pinar de repoblación)

Tamaño (mm)	%MOO Encinar	%MOO Jaral	%MOO Pinar testigo
0,05-0,25	0,173Ac	0,062Bb	0,086Bb
0,25-2	0,645Ab	0,794Aab	0,436Aa
2-5	0,851Ab	0,158Cb	0,413Ba
5-10	0,312Ac	0,553Aab	0,546Aa
10-20	0,945Aabc	0,502Aa	0,467Aa
>20	0,829Ac	1,040Aab	0,741Aa

**Nota:** MOO: Materia Orgánica Ocluida; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre encinar, jaral y pinar de repoblación testigo dentro del mismo tamaño de agregado. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados para el mismo tipo de cubierta vegetal.

Los micro-agregados (0,05-0,25 mm) y los agregados de tamaño (2-5mm) mostraron porcentajes de MOO significativamente más altos en los suelos bajo encinar que bajo jaral y pinar testigo, para el resto de tamaños de agregados no se obtuvieron diferencias significativas entre usos para el porcentaje de MOO.

Por otro lado, se puede observar una gran variabilidad entre los resultados de MOO en los tamaños de agregados en el encinar y jaral, no siguiendo un patrón definido como en el pinar testigo. Este último claramente, muestra un porcentaje de MOO significativamente más bajo en los micro-agregados que en los macro y mega-agregados.

La tabla 6.8 muestra los valores de MOO en los distintos tamaños de agregados para los distintos tipos de tratamiento realizados en la repoblación de *Pinus halepensis* (testigo, extracción y trituración de restos).

**Tabla 6.8.** Valores promedio de materia orgánica ocluida (%), en los distintos tamaños de agregado y según tratamiento realizado en la repoblación.

Tamaño (mm)	%MOO Pinar Testigo	%MOO Pinar extracción	%MOO Pinar trituración
0,05-0,25	0,086Bb	0,160ABb	0,288Ac
0,25-2	0,436Ba	0,785ABa	1,384Aa
2-5	0,413Aa	0,759Aa	0,633Ab
5-10	0,546Aa	0,737Aa	0,584Abc
10-20	0,467Ba	0,791ABa	1,000Aab
>20	0,741Aa	0,772Aa	1,107Aab

**Nota:** MOO: Materia Orgánica Ocluida; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los distintos tratamientos del pinar de repoblación dentro del mismo tamaño de agregado. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados para el mismo tratamiento.

En la tabla 6.8 se observa que los micro-agregados, macro-agregados de 0,25-2mm y mega-agregados de 10-20 mm presentan un porcentaje de MOO significativamente más alto en el pinar con restos triturados que en el pinar testigo. Sin embargo, el pinar donde los restos fueron extraídos no muestra diferencias significativas con los otros tratamientos realizados ni en dichos tamaños ni en los restantes.

En el resto de los tamaños de mega-agregados (2-5 mm, 5-10 mm y >20 mm) no se observan diferencias significativas entre ningún tipo de tratamiento. Nuestros resultados muestran, por tanto, que no hay diferencias significativas en la MOO entre los tratamientos de claras con y sin aporte de restos corroborando que esta fracción es muy estable y es poco sensible a los cambios de manejo (Golchin et al., 1994; John et al., 2005)

### **6.2.3. Materia Órgano-Mineral (MOM)**

El porcentaje de MOM es la diferencia entre el porcentaje de MOP y el porcentaje de MOO respecto al 100% del agregado, por lo tanto, este valor es complementario a lo obtenido anteriormente.

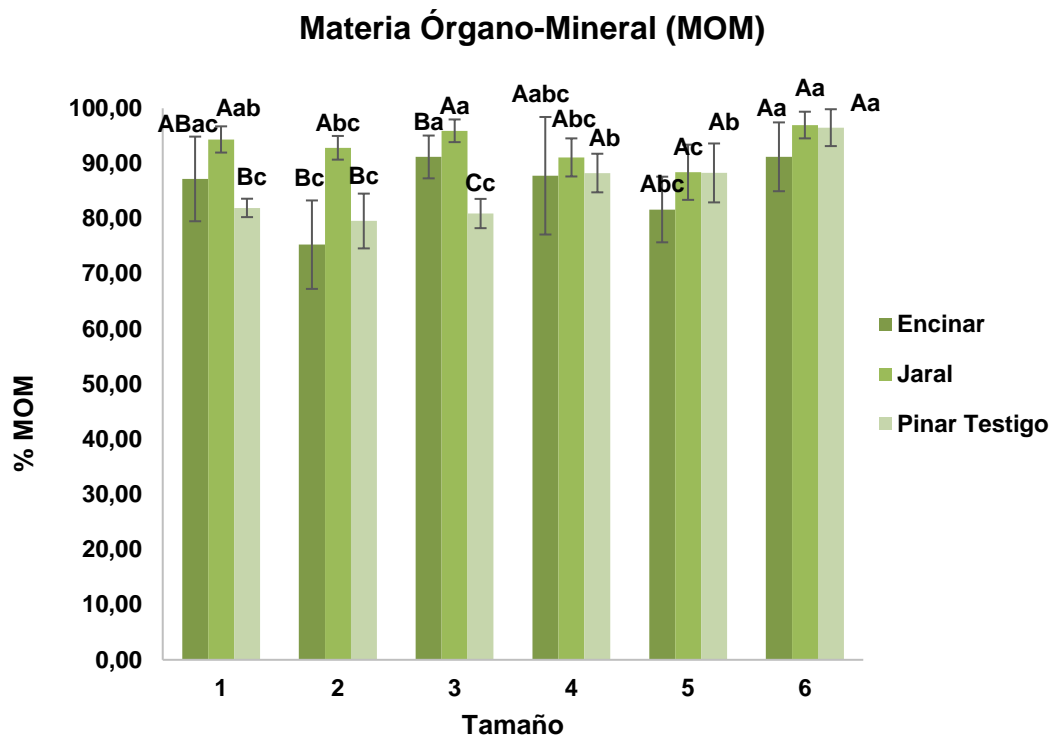
Al igual que en las anteriores fracciones de MO (tabla 6.6) la interacción entre tratamiento y tamaño con el tipo de masa anidada es significativa, por lo que no procede estudiar cada factor de forma individual sino la interacción. Por tanto, se estudiará cómo afecta el tamaño de partículas en la MOM para los distintos usos (Figura 6.3), y manejos efectuados (Figura 6.4).

En la figura 6.3 se puede observar que en los micro-agregados es el jaral el que tiene un porcentaje de MOM significativamente superior que el pinar testigo, pero no que el encinar.

En macro y mega-agregados de 2-5 mm el jaral sigue siendo el que tiene significativamente mayor porcentaje de MOM, esta vez respecto del encinar y el pinar testigo. En el caso de estos tamaños es lógico al ser el jaral el tipo de masa que menos cantidad de MOP muestra.

Por otra parte se observa que, por lo general, el encinar y el pinar testigo no muestran diferencias significativas en el % de MOM entre ellos, excepto en los mega-agregados de 2-5 mm. Por tanto, los resultados obtenidos en agregados de menos de 2 mm son comparables a los que obtuvo Llorente (2012), que tampoco apreció diferencias significativas entre encinar y pinar de repoblación.

**Figura 6.3.** Valores promedio del porcentaje de materia órgano-mineral (%) en los diferentes tamaños de agregado en suelos bajo encinar, jaral y pinar de repoblación.



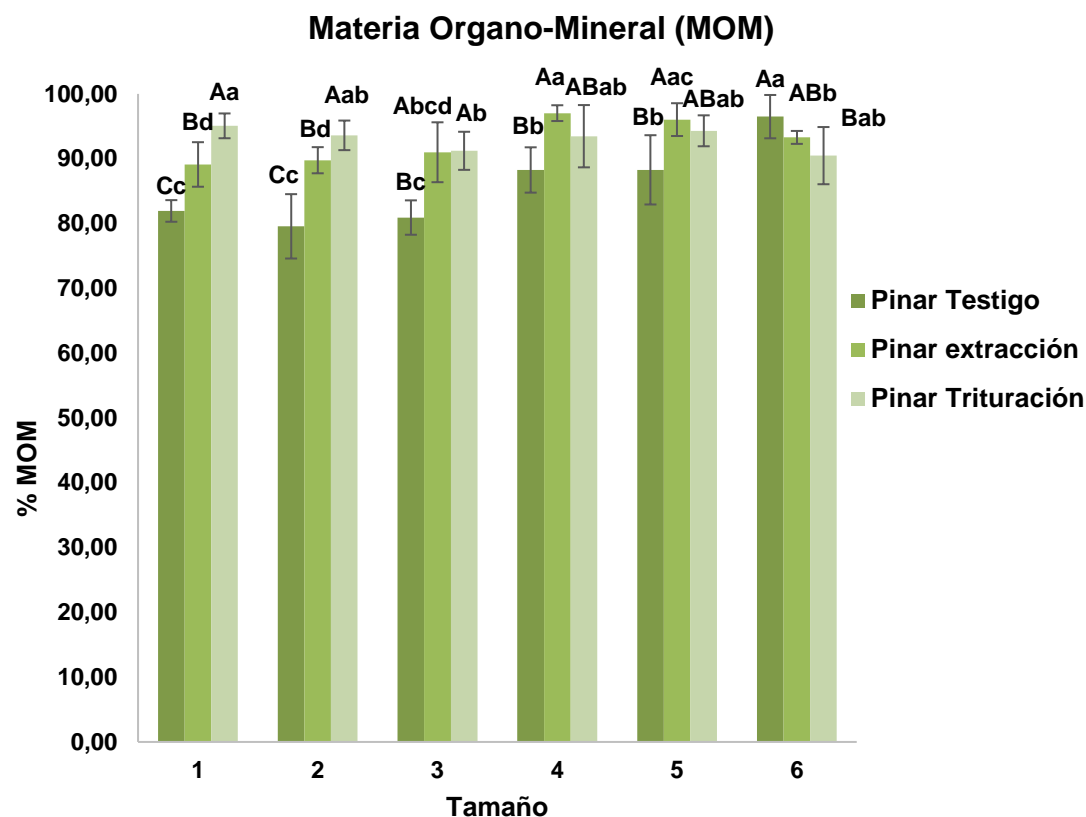
**Nota:** Tamaño de agregados 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para un mismo tamaño de agregado entre suelos bajo encinar, jaral y pinar de repoblación testigo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados dentro de un mismo tipo de masa (encinar, jaral o pinar testigo). Las barras indican la desviación estándar ( $n=5$ ).

En la figura 6.4 se puede ver como en los micro y macro-agregados hay diferencias en todos los manejos para el porcentaje de MOM. Siendo significativamente mayor en el pinar con restos triturados que en el pinar testigo y el pinar con la extracción de restos, teniendo este último un porcentaje de MOM significativamente mayor que el pinar testigo.

En los mega-agregados de 2-5 mm se observa que el porcentaje de MOM es significativamente más alto que el porcentaje de MOM en el pinar testigo.

El pinar con restos extraídos presenta un porcentaje de MOM significativamente mayor que el pinar testigo en los mega-agregados de 5-10 mm y 10-20 mm. Al observar los resultados del pinar con restos triturados no se observan diferencias significativas ni con el pinar testigo ni con el pinar con la extracción de restos.

Figura 6.4. Valores promedio de Materia Órgano-mineral (%), clasificadas por tamaño de agregado y tratamiento realizado en la repoblación.



**Nota:** Tamaño 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para un mismo tamaño de agregado entre suelos bajo pinar con distintos tratamientos (Pinar Testigo, Pinar Extracción Pinar Trituración). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados dentro de un mismo tipo de tratamiento. Las barras indican la desviación estándar ( $n=5$ ).

En los micro-agregados, macro-agregados y en los mega-agregados de 2-5 mm (tamaño 3) se observa que el porcentaje de MOM en el pinar testigo es significativamente menor que los % de MOM en los dos tratamientos (pinar con restos extraídos y pinar con restos triturados). En los de mega-agregados de 5-10mm y de 10-20 mm) solo se mostraron estas diferencias significativas entre el testigo y el pinar con extracción.

### 6.3. Estudio del efecto del uso, tratamiento y el tamaño de los agregados sobre el carbono fácilmente oxidable de la fracción de materia orgánico-mineral

En este apartado se estudiará la concentración de C fácilmente oxidable (CFO) y la materia orgánica (MO) existente en la materia orgánica mineral de cada agregado. También se mostrarán los resultados del modelo estadístico aplicado considerando los factores “tratamiento”, “tamaño” y “tipo de masa” y la interacción “tratamiento\*tamaño anidado en el tipo de masa”.

Al igual que se ha realizado hasta el momento para el resto de los parámetros, para responder de manera más clara a los objetivos planteados, se mostrarán para cada uno de los parámetros considerados en este apartado, las comparaciones que permiten estudiar el efecto del tipo de cubierta vegetal (encinar, jaral y pinar) y por otro lado el efecto del manejo dentro del pinar, esto es, pinar testigo, pinar 45% claras con extracción de restos y pinar 45 % de claras con aporte de restos.

En la tabla 6.9 se muestra la significación estadística para los distintos factores que se estudiaron para los parámetros contenido de CFO en la fracción de MOM de los agregados estudiados.

**Tabla 6.9.** Tabla de significación ANOVA de, CFO<sub>MOM</sub>.

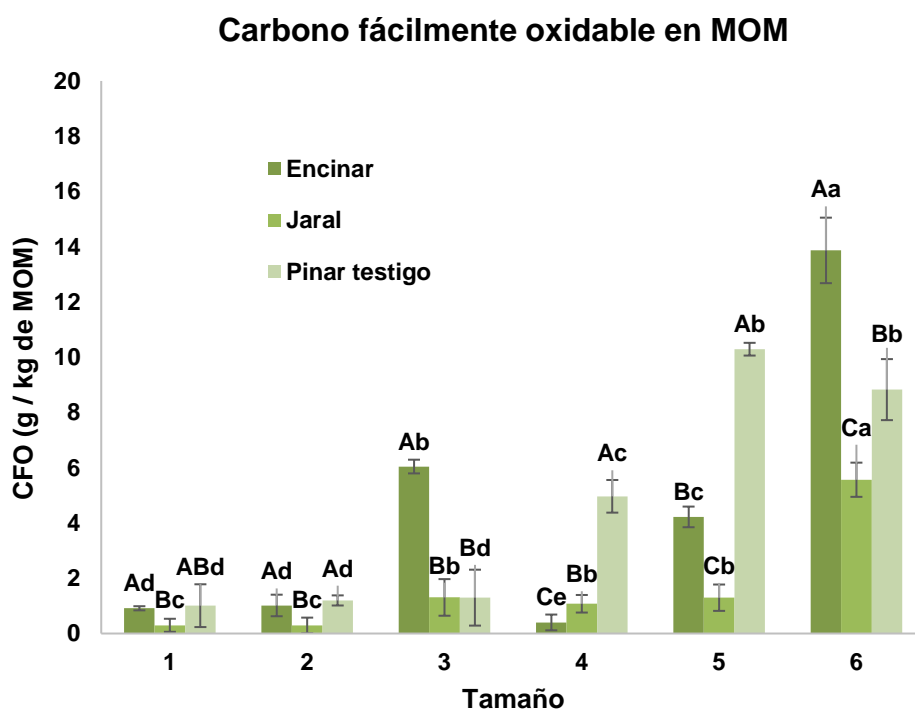
Factor	CFO <sub>MOM</sub>
Tipo de masa	***
Tratamiento	***
Tamaño	***
Tipo de masa*tamaño	***
Tratamiento*tamaño (Tipo de masa)	***

**Nota:** CFO<sub>MOM</sub>: Carbono fácilmente oxidable en la MOM ; \*\*\* p< 0,001; \*\* p< 0,01, \* p<0,05, NS: no significativas. Tratamiento: Tipo de masa (Encinar, jaral y pinar de repoblación testigo) y manejo (Pinar de repoblación testigo, pinar con extracción de restos y pinar con aporte de restos triturados).

### 6.3.1. Carbono fácilmente oxidable (CFO) de la fracción de MOM

La tabla 6.9 mostró que la interacción entre tratamiento y tamaño con el tipo de masa anidado es significativa. Por tanto, no procede estudiar cada factor de forma individual sino la interacción. Por tanto, se estudiará cómo afecta el tamaño de agregados en la MOM para los distintos usos (Figura 6.5), y manejos efectuados (Figura 6.6).

**Figura 6.5.** Concentraciones de Carbono fácilmente oxidable (CFO) en la materia órgano-mineral (g C/kg de MOM), en los distintos tamaños de agregado en suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.



**Nota:**

CFO<sub>MOM</sub>: Carbono fácilmente oxidable en la materia organo-mineral; Tamaño 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre encinar, jaral y pinar de repoblación testigo para el mismo tamaño de agregado. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados para suelos bajo el mismo tipo de cubierta vegetal. Las barras indican la desviación estándar.

Antes de comenzar a analizar el efecto de los distintos tipos de cubierta vegetal, se puede indicar que los agregados de mayor tamaño son los que presentan concentraciones mayores de CFO para todos los suelos estudiados.

Si se observa la figura 6.5, los micro-agregados muestran contenidos de CFO significativamente distintos en función del tipo de cubierta vegetal, concretamente, el suelo bajo encinar presentó mayor cantidad de CFO que el suelo bajo jaral. Los macro-



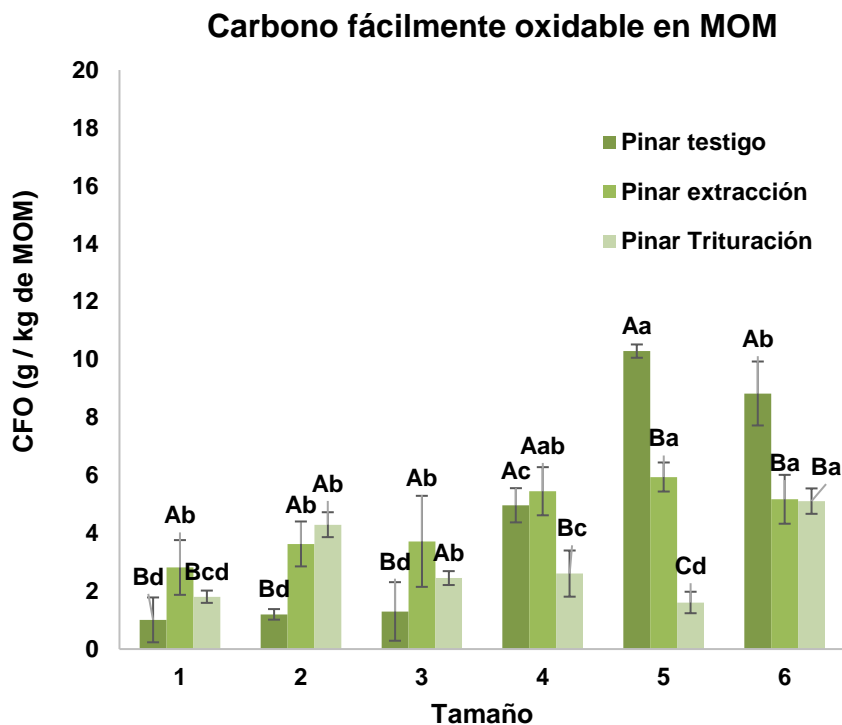
agregados muestran que el suelo bajo jaral presenta valores de CFO significativamente más bajos que los de encinar y pinar. Por tanto, no se observan diferencias en la concentración de CFO de los micro y macro-agregados del suelo entre pinar testigo y encinar, mientras que los suelos bajo jara muestran concentraciones menores que el resto de vegetaciones consideradas.

En los mega-agregados no se mantiene el mismo patrón en la distribución del CFO según el tipo de cubierta vegetal para los cuatro tamaños.

Se puede apreciar como en los agregados mayores de 20 mm (tamaño 6) y los comprendidos entre 2 y 5 mm (tamaño 3) presenta el suelo de encinar concentraciones significativamente más altas que los otros dos, mientras que en los tamaños 4 y 5 es el pinar de repoblación el que presenta las concentraciones significativamente más altas.

Por lo general, se puede decir que, la concentración de CFO en la materia órgano mineral del suelo del jaral es significativamente menor que el del encinar y el pinar testigo para todos los tamaños de agregados considerados. Esto puede deberse al menor aporte de hojarasca bajo la cubierta de jaral que en los de encinar y pinar, así como a la composición química marcadamente diferente que presentan las hojas de jara tienen un contenido en fenoles elevado más difícilmente oxidables (Chaves, 1994; Chaves et al., 1997). Estos resultados nos indican que es posible que la materia orgánica de los suelos bajo cubierta de jara posiblemente posean una dinámica de mineralización condicionada por esta distinta concentración de CFO por lo que quizás debería estudiarse la cinética de mineralización en otros trabajos posteriores, con el fin de encontrar posibles explicaciones.

**Figura 6.6.** Concentraciones de Carbono fácilmente oxidable (CFO) en la materia órgano-mineral (g C/kg de MOM), en los distintos tamaños de agregado en los distintos tratamiento realizados en la repoblación.



**Nota:** CFO<sub>MOM</sub>: Carbono fácilmente oxidable en la materia organo-mineral; Tamaño 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre pinar de repoblación testigo, pinar con extracción de resto y con aporte de los restos triturados para el mismo tamaño de agregado. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños de agregados para suelos bajo el mismo tratamiento. Las barras indican la desviación estándar.

Antes de comenzar a analizar el efecto de los distintos tipos de tratamiento de la masa, se puede indicar que los agregados de mayor tamaño, en general, son los que presentan concentraciones mayores de CFO, como ya fue señalado con anterioridad.

En la figura 6.6 se observa que en los micro-agregados es el pinar con restos extraídos el que presenta concentraciones significativamente más altas de CFO que el pinar testigo y pinar con restos triturados que no muestran diferencias entre sí.

En los macro-agregados (tamaño 2) y mega agregados de 2-5 mm (tamaño 3) el pinar testigo presenta una concentración de CFO significativamente menor que los otros pinares. Este comportamiento era el que habría sido esperable para todos los tamaños de agregados ya que las claras inducen la pérdida de carbono del suelo por la aceleración de la oxidación del carbono orgánico, lo que da como resultado la liberación de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (La Scala et al., 2008)

En los mega-agregados se observa que el pinar con restos triturados contiene menos contenido de CFO que el pinar testigo. En el caso de los tamaños de agregados 4 y 5 (5-10 y 10-20 mm, respectivamente) el pinar con adición de restos triturados también presenta menos CFO que el pinar con restos extraídos.

En el estudio realizado por Muñoz Cerro (2013) sobre el efecto de la incorporación de hojarasca en el suelo, indicaba que los suelos donde menor cantidad de material vegetal se adicionó es donde se observó una mineralización del carbono más lábil significativamente mayor. Asimismo, en el estudio de Turrión et al. (2008), la adición de compost de residuos sólidos urbanos al suelo también mostró diferencias significativas según la dosis aplicada, siendo mayor la mineralización del carbono lábil en la dosis más baja. Por lo tanto, la no adición de restos triturados facilitaría la liberación de CFO.

#### 6.4. Estudio del efecto del uso, tratamiento y el tamaño de los agregados sobre algunas propiedades químicas del suelo.

En este apartado se abordará el análisis descriptivo y estadístico de los resultados obtenidos sobre el carbono orgánico (CO), el N total y la relación C/N. Así mismo se estudiará el comportamiento de dichos resultados en función del uso, del manejo y del tamaño individualmente.

Para el estudio se diferenció al igual que entre los tipos de masa: encinar, jaral y pinar de repoblación (Pinar testigo), los tratamientos (manejos) realizados tras el aclarado al 45% que son: extracción de los restos (Pinar extracción) y adición de restos triturados (Pinar triturados) y para los tamaños de agregado. En la tabla 6.10 se muestran los factores que respondieron significativamente a las fracciones de los agregados estudiadas.

**Tabla 6.10.** Tabla de significación ANOVA de CO, N<sub>t</sub> y C/N.

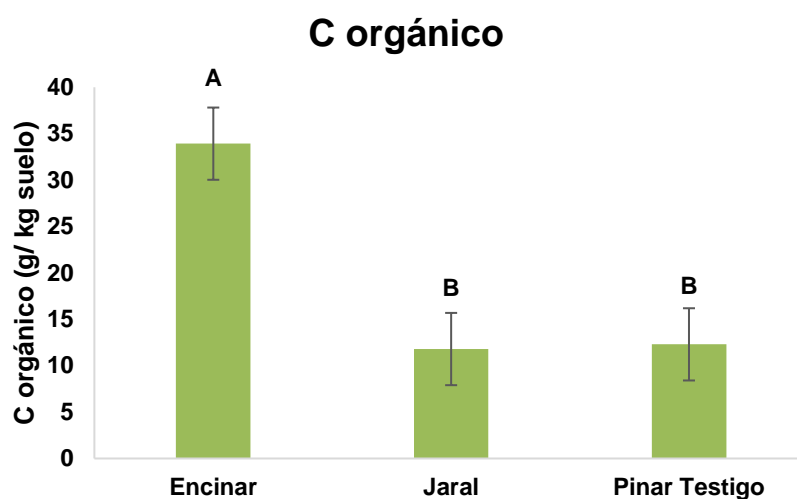
Factor	CO	N <sub>t</sub>	C/N
<b>Tipo de masa</b>	***	***	***
<b>Tratamiento (Tipo de masa)</b>	**	*	***
<b>Tamaño</b>	**	*	**

**Nota:** CO: Carbono orgánico; N<sub>t</sub>: Nitrógeno total; \*\*\* p< 0,001; \*\* p< 0,01, \* p<0,05, NS: no significativas

### 6.4.1. Carbono orgánico total (CO)

La tabla 6.10 que el efecto de estos factores ha sido significativo para las tres variables estudiadas y, por tanto, se analizará el efecto del factor tamaño de forma individual y también del tratamiento anidado en el tipo de masa. En este último caso tal y como se viene haciendo en este estudio se diferenciará por un lado los distintos tipos de cubierta vegetal (figura 6.7) y los que implican distintos tratamientos dentro de las masas de pinar (figura 6.8).

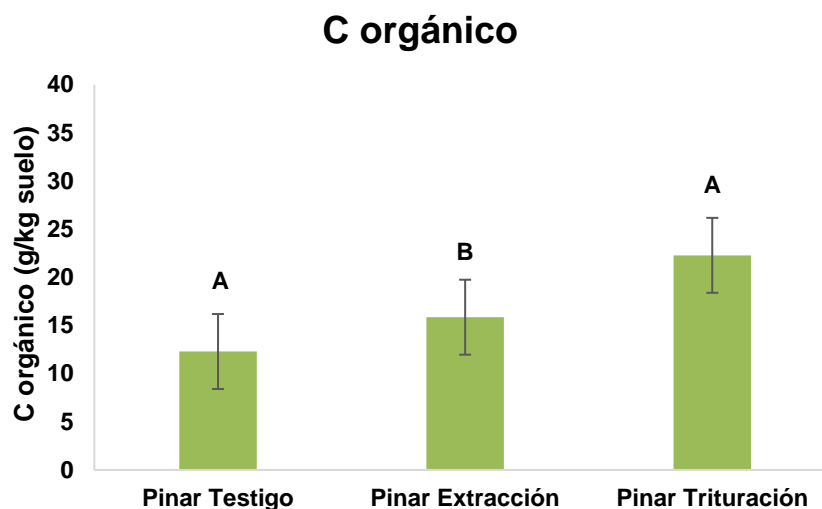
**Figura 6.7.** Concentración del carbono orgánico total (g/ kg de suelo) en los suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.



**Nota:** Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre encinar y jaral y pinar de repoblación.

Los valores obtenidos para el CO están en torno al 33,93, 11,8 y 12,3 g de CO por kg de suelo Para encinar, jaral y pinar testigo de repoblación respectivamente. El estudio de Llorente (2012) en el páramo calizo castellano-leonés muestra valores de CO por encima de los encontrados en la zona del presente estudio, siendo más del doble en el caso del pinar de repoblación (en torno a 50 g de CO/kg de suelo) en los primeros 10 cm del perfil edáfico.

**Figura 6.8.** Concentración del carbono orgánico total (g/kg de suelo) en los suelos en cada tipo de tratamiento realizado en la repoblación.

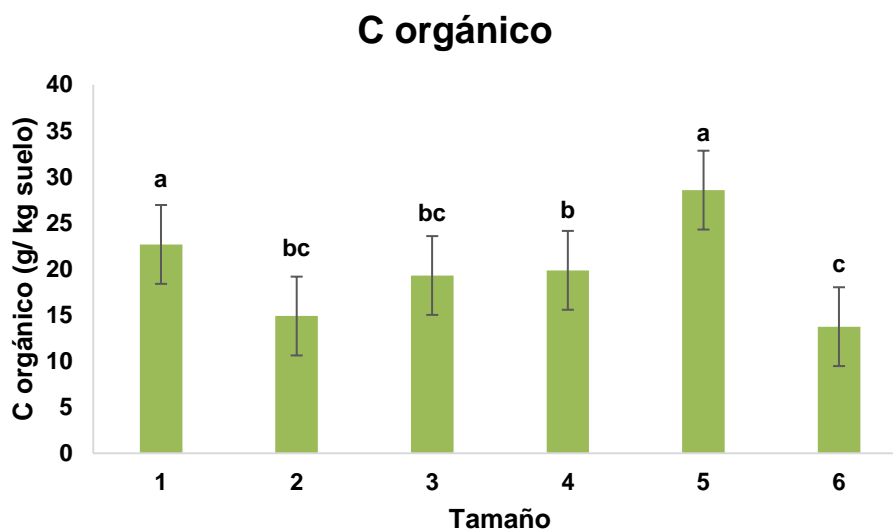


**Nota:** Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos (pinar, extracción y trituración).

Los valores obtenidos para el CO para el pinar de repoblación, el pinar con restos extraídos y el pinar con restos triturados son 12,3, 15,87 y 22,29 g de CO por kg de suelo respectivamente. Estos valores siguen siendo aproximadamente la mitad que los obtenidos por Llorente (2012) en su estudio.

Como se puede observar en la figura 6.8, el pinar con restos triturados contiene significativamente más CO que el pinar testigo y el pinar con restos extraídos. Este dato cumple lo esperado, debido a que, al haber más aporte de material vegetal en el pinar con restos de trituración habrá un aumento del CO.

**Figura 6.9.** Concentración del carbono orgánico total (g/kg de suelo) en los distintos tamaños de agregados.



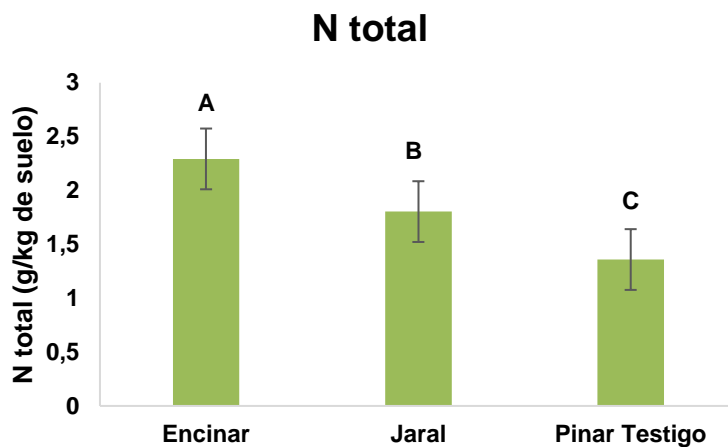
**Nota:** Tamaño 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tamaños.

En la figura 6.9 se representa el contenido de CO para cada tamaño de agregación. Según Follett y Stewart (1985) existe una relación entre tamaño de los agregados y contenido de COS. Cuanto mayor sea el contenido de CO, mayor es el tamaño de los agregados (Buyanovsky *et al.*, 1994). Los resultados obtenidos en este estudio no corroboran este hecho. Puede que el cambio de uso del suelo o de manejo no influya de la misma forma en los distintos tamaños de agregados.

#### 6.4.2. Nitrógeno total ( $N_t$ )

La tabla 6.10 muestra que el efecto de los factores estudiados ha sido significativo para el N total edáfico y, por tanto, se analizará el efecto del factor tamaño de forma individual y también del tratamiento anidado en el tipo de masa. En este último caso tal y como se viene haciendo en este estudio se diferenciará por un lado los distintos tipos de cubierta vegetal (figura 6.10) y los que implican distintos tratamientos dentro de las masas de pinar (figura 6.11).

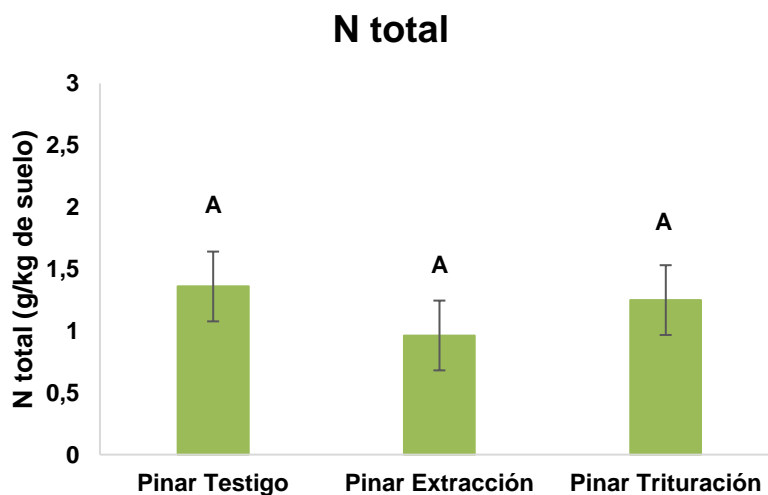
**Figura 6.10.** Concentración del Nitrógeno total (g/kg de suelo) en los suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.



**Nota:** Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre encinar, jaral y pinar de repoblación testigo.

En la figura 6.10 se muestra el porcentaje de  $N_t$  en el suelo para los distintos usos estudiados. Como se puede observar, hay diferencias entre todos los usos siendo significativamente mayor en el encinar (2,3 g/kg suelo) que en el jaral (1,8 g/kg suelo) y que en el pinar de repoblación testigo (1,4 g/kg suelo). Al igual que con el  $CO_2$ , observamos que los valores obtenidos de  $N_t$  son inferiores a los encontrados en suelos de los páramos calizos de Valladolid y Palencia (Llorente, 2012).

**Figura 6.11.** Concentración del Nitrógeno total (g/kg de suelo) en los suelos bajo tratamiento realizado en la repoblación.

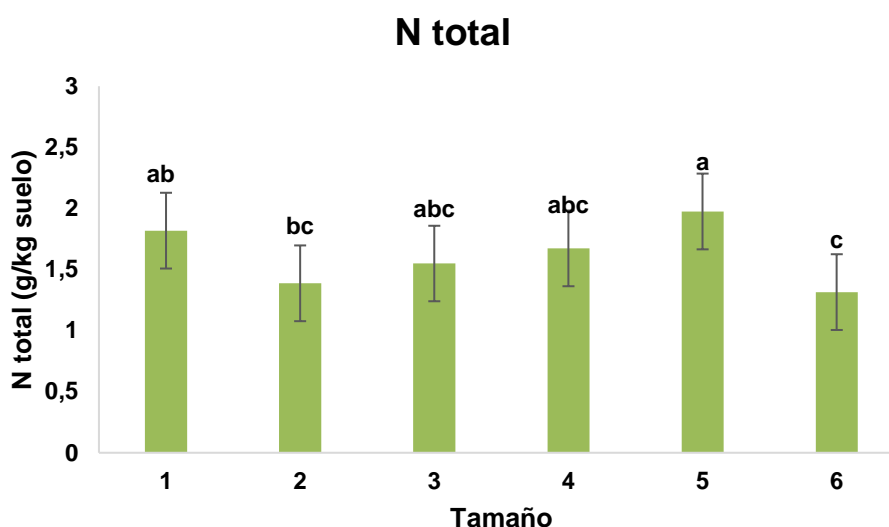


**Nota:**  $N_t$ : Nitrógeno total; Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos (pinar, extracción y trituración).

En la figura 6.11 se compara el porcentaje de  $N_t$  en el suelo para los distintos tratamientos efectuados. Como se observa, los porcentajes de  $N_t$  son levemente inferiores en las sub-parcelas con extracción de restos (0,960 g/kg suelo) y con aportación de restos triturados (1,25 g/kg suelo) a los resultados del pinar testigo (1,4 g/kg suelo) pero no hay diferencias significativas entre ellos. Por tanto, los tratamientos realizados no parecen afectar al contenido de  $N_t$  del suelo.

A continuación compararemos el contenido de  $N_t$  en cada uno de los tamaños de agregados (Figura 6.12).

Figura 6.12. Concentración del nitrógeno total (g/kg de suelo) en los distintos tamaños de agregados.



**Nota:** Tamaño 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tamaños.

Como se observa en la figura 6.12 entre el porcentaje de  $N_t$  de los tamaños de agregados hay una gran variabilidad, no siguiendo un patrón definido de aumento o disminución genérico. Sin embargo las concentraciones de  $N_t$  y de CO siguen una pauta paralela, poniendo de manifiesto que ambos elementos están directamente relacionados con la materia orgánica del suelo.

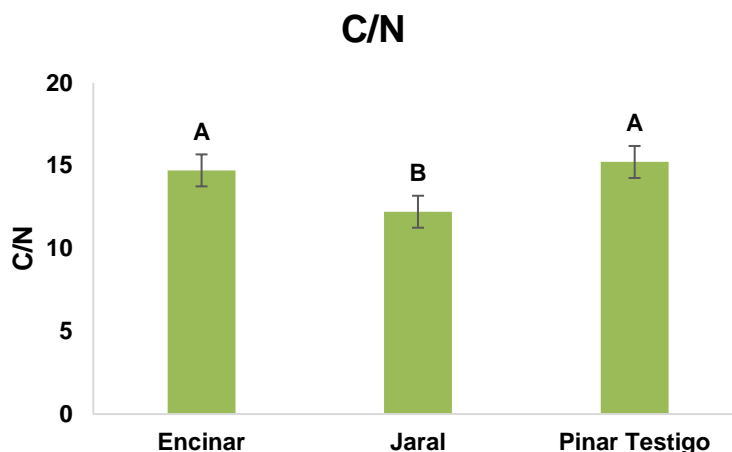
### 6.4.3. Relación C/N

De la misma forma que en los dos apartados anteriores, la tabla 6.10 muestra que el efecto de los factores estudiados ha sido significativo para la relación C/N y, por tanto, se analizará el efecto del factor tamaño de forma individual y también del tratamiento



anidado en el tipo de masa. En este último caso tal y como se viene haciendo en este estudio se diferenciará por un lado los distintos tipos de cubierta vegetal (figura 6.13) y los que implican distintos tratamientos dentro de las masas de pinar (figura 6.14).

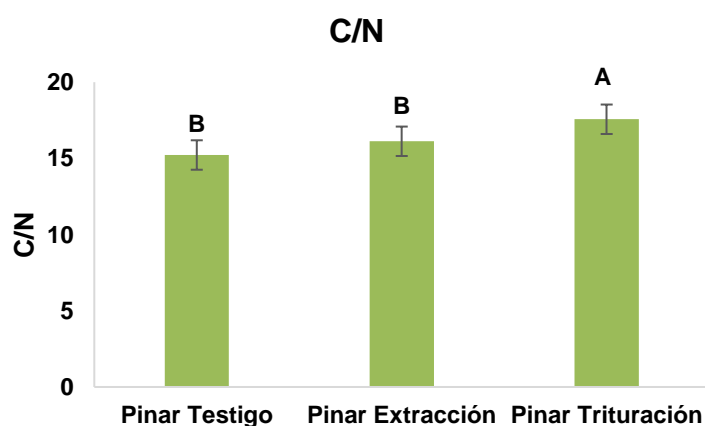
**Figura 6.13.** Valores promedio Relación C/N en los suelos bajo encinar y jaral y pinar de repoblación.



**Nota:** Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) encinar, jaral y pinar de repoblación testigo.

Como se puede observar en la figura 6.13, la relación C/N es significativamente mayor en el encinar (15,7) y pinar testigo (16,2) que en el jaral (13,2). Así mismo, se observa que los valores obtenidos para la relación C/N son inferiores a los encontrados en suelos de la misma zona de estudio que Llorente (2012) donde la C/N el encinar era del 12,7 y en el pinar del 21, al igual que en el CO y en el N<sub>t</sub>.

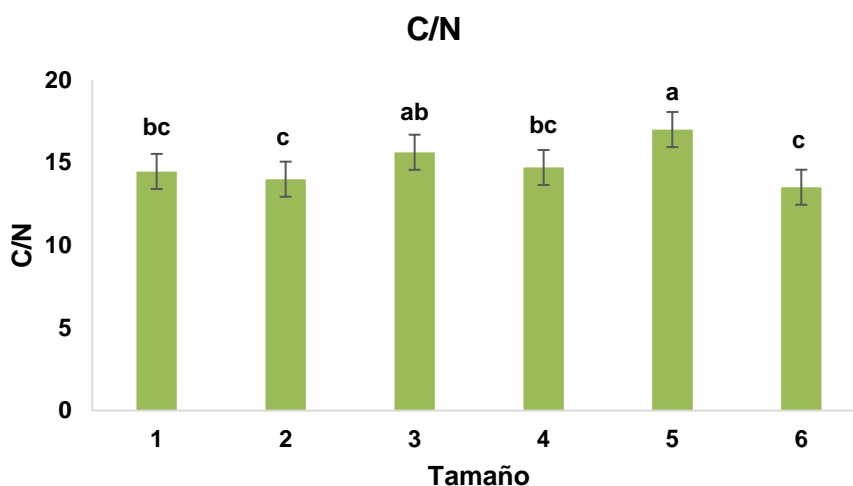
**Figura 6.14.** Valores promedio relación C/N en cada tipo de tratamiento realizado en la repoblación.



**Nota:** Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos (pinar, extracción y trituración).

En la figura 6.14 se observa que el pinar con restos triturados tiene una C/N significativamente mayor que el pinar testigo y el pinar donde se extrajeron los restos. La relación C/N indica la capacidad del suelo para transformar la MO en N mineral. De manera que, esto provoca que debido a estos valores tan altos de C/N se libere muy poco N no llegando a ser disponible para las plantas. Esto conlleva un descenso en la tasa de descomposición de la MO del suelo que provoca una ralentización en el proceso de degradación debido a la merma de la actividad microbiana originada por la alteración de los factores ambientales. García Domínguez (2015) ya indicó indicios de dicho comportamiento en los horizontes de 0-10 cm de la misma sub-parcela de pinar con incorporación de restos tras la clara.

Figura 6.15. Valores promedio en la relación C/N en los distintos tamaños de agregados



**Nota:** Tamaño 1: 0,05-0,25 mm; 2: 0,25-2 mm; 3: 2-5 mm; 4: 5-10 mm; 5: 10-20 mm y 6: >20 mm; Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tamaños.

En la figura 6.15 se puede observar que, al igual que en los dos apartados anteriores, la relación C/N varía según el tamaño, no siguiendo una tendencia constante.

# CONCLUSIONES

## **7. CONCLUSIONES**

1. Los suelos bajo vegetación arbórea (encinar, pinar) no mostraron diferencias significativas en la distribución en peso según tamaño de agregados, diferenciándose significativamente de la distribución de agregados existente en el suelo bajo matorral.
2. La distribución de los agregados está más influenciada por el tipo de masa (pino carrasco, encina, jara) que por el manejo que se haya realizado (en el caso del pinar realización de claras con extracción o aporte de restos triturados).
3. En los suelos estudiados, independientemente del tipo de masa y de su manejo, la mayor parte de MOP se encuentra en macro-agregados.
4. El contenido en MOP de los micro-agregados no fue afectado por los el tipo de masa existente ni por el manejo.
5. Los valores de MOP son del orden de diez veces más grandes que los valores de MOO, contribuyendo notablemente a la MO total existente en el suelo
6. la concentración de CFO en la MOM del suelo del jaral es menor que el del encinar y el pinar testigo para todos los tamaños de agregados considerados. Debido al menor aporte de hojarasca bajo la cubierta de jaral que en los suelos bajo cubierta de encinar y pinar, así como a la composición química que presentan las hojas de jara que tienen un contenido en fenoles elevado y más difícilmente oxidables.
7. En los agregados de los suelos de pinar donde se extrajeron los restos de clara es donde se observó una mayor cantidad de CFO.
8. El aumento de la relación C/N es notable en las parcelas en las que se realizaron las cortas al 45% y con aporte de restos triturados. Estos valores tan altos de C/N conllevan a un descenso en la tasa de descomposición de la MO del suelo ralentizando el proceso de degradación debido a la merma de la actividad microbiana originada por la alteración de los factores ambientales.

# BIBLIOGRAFÍA

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Angers, D. A., Bolinder, M. A., Carter, M. R., Gregorich, E. G., Drury, C. F., Liang, B. C., ... & Martel, J. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research*, 41(3), 191-201.
- Arshad, M.A., Cohen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 25-32.
- Bauhus, J., Khanna, P.K., Hopmans, P., Weston, C. (2002). Is soil carbon a useful indicator of sustainable forest soil management? -a case study from native eucalypt forests of southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 171, 59-74.
- Ben-Hur, M., Stern R., van der Merwe A.J., Shainberg, I. (1992). Slope and gypsum effects on infiltration and erodibility of dispersive and nondispersive soils. *Soil Science Society of America Journal* 56, 1571–1576.
- Boyle, M., Frankenberger, W.T., Stoltzy, L.H. (1989). The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration. *Journal of Prod. Agri.* 2, 290-299.
- Bronick, C.J., Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3-22.
- Buyanovsky G.A., Aslam M., Wagner G.H., (1994). Carbon turnover in soil physical fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1167-1173.
- Cambardella, C.A., Elliot, E.T. (1992). Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56, 777-783.
- Camps-Arbestain, M., Martínez de Arano, I., Mendarte, S., Aizpurua, A., Pinto, M. (2004). Pautas para inducir una acumulación adicional de carbono orgánico en biomasa forestal y en suelos agrícolas y forestales de la CAPV. *Edafología* 11, 52-78.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H., Pierce, F.J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E.G., Carter M.R., (eds.) *Soil quality for crop production and Ecosystem Health*. Elsevier, Amsterdam pp. 1-19.

- Chaves, N. (1994). Variación cualitativa y cuantitativa de los flavonoides del exudado de *Cistus ladanifer* L. como respuesta a diferentes factores ecológicos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
- Chaves, N. y Escudero, J.C. (1997). Allelopathic effect of *Cistus ladanifer* on seed germination. *Fun. Ecol.* 11: 432-440.
- Dale, V. H., Peacock, A. D., Garten, C. T., Sobek, E., & Wolfe, A. K. (2008). Selecting indicators of soil, microbial, and plant conditions to understand ecological changes in Georgia pine forests. *Ecological indicators*, 8(6), 818-827.
- Deng, L., Zhu, G., Tang, Z. y Shangguan, Z. (2016). Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. *Global Ecology and Conservation* 127-138
- Doran, J.W., Parkin, T.B. (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: In:Doran, J.W. and Jones, A.J. (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America Special Publications N° 35 pp. 25-37.
- EC, (2006). COM 2006/231, (2006). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection. Commission of the European Communities. Brussels, 22.9.2006, 12.pp.
- Elliott, E.T., 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 50, 627–633.
- FAO, (2007). *Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions*. Rome.
- FAO–UNESCO (Food and Agriculture Organization–United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). (1974). *Soil Map of the World 1:1 000 000*. Vol. I. Legend. UNESCO. Paris, France.
- Follett, R. F., & Stewart, B. A. (1985). Soil erosion and crop productivity (No. 631.455 F6). Madison,, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Franzluebbers, A.J. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* 66, 197-205.

- Garten, C.T., Wullschleger, S.D. (1999). Soil carbon inventories under a bioenergy crop (Switchgrass): measurement limitations. *Journal of Environmental Quality* 28, 1359-1365.
- García Domínguez, N. (2015). Efecto de la intensidad de clara y del tratamiento de los restos sobre la materia orgánica edáfica, biomasa microbiana y emisión de CO<sub>2</sub> en una masa de *Pinus halepensis*. Universidad de Valladolid.
- Gartzia-Bengoetxea, N.G. (2009). Estructura y dinámica de la materia orgánica del suelo en ecosistemas forestales templados: de lo particular a lo general. Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia= Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Golchin, A., Oades, JM, Skjemstad, J.O., Clarke, P. (1994). Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research* 32, 1043-1068
- Golchin, A., Oades, JM, Skjemstad, J.O., Clarke P. (1994a). Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research* 32, 1043-1068.
- Gregorich, E.G., Janzen, H.H. (1996). Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. p. 167–190. In: Carter, M.R., Stewart, B.A. (ed.) *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Gregorich, E. G., Monreal, C. M., Carter, M. R., Angers, D. A., y Ellert, B. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian journal of soil science*, 74(4), 367-385.
- Harris, J., Birjandi, M., & García, A. (2011). Bosques, Agricultura y Clima: Consideraciones económicas y de políticas. Un Módulo de Enseñanza Del GDAE Sobre Temas Sociales Y Medioambientales de La Economía, 1–43.
- Harris, R.F., Karlen, D.L., Mulla, D.J. (1996). A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America Special Publications N° 49, pp. 61-81.
- Harris, R.F., and D.F. Bezdicek. (1994). Descriptive aspects of soil quality/health. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (eds.) *Defining soil quality*



- for a sustainable environment. Soil Science Society of America Special Publications N° 35, pp. 23–35.
- Hernández-Pacheco, E. (1915). Geología y Paleontología del Mioceno de Palencia. Junta Ampl. Est. e Inv. Cientif. Comunicación de Inv. Paleontología y Prehistoria, n° 5.
- Hudson, B. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation* 49, 189-194.
- IGME (1982). Memoria y Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Dueñas (Palencia). Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IPCC. (2007). Climate change (2007): Synthesis report. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat.
- John B, Yamashita T, Ludwig B, Flessa H (2005) Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma* 128: 63-79
- Johnson, D.W., Todd, D.E. (1998). Harvesting effects on long-term changes in the nutrient pool of mixed oak forest. *Soil Science Society of America Journal* 62, 1725–1735.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. (1997). Soil quality: A concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4-10.
- Krull, E. S., & Baldock, J. A. (2004). Functions of soil organic matter and the effect on soil properties, (CSO 00029), 129.
- Lado, M., Paz, A., Ben-Hur, M. (2004). Organic Matter and Aggregate Size Interactions in Infiltration, Seal Formation, and Soil Loss. *Soil Science Society of America Journal* 68, 935-942.
- Larson, W.E., Pierce, F.J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. p. 175-203. In: *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand: International Board for Research and Management, 1991. IBSRAM Proceedings N° 12(2).

- Llorente, M. (2012). Aportaciones al conocimiento de la dinámica de la materia orgánica edáfica en suelos calizos del páramo Castellano-Leonés. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- Llorente, M., Lafuente, F., Ruipérez, C. y Turrión, M. B. (2008). Uso de parámetros microbiológicos edáficos como indicadores del efecto del uso del suelo en el páramo calizo castellano-leonés. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 25: 273-279.
- MacRae, A., Mehuys, G.R. (1985). The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils. Advances in Soil Science 3, 71-94.
- Martínez de Arano, I., Gartzia-Bengoetxea, N., González-Arias, A., Merino A. (2007a). Gestión forestal y conservación de suelo en los bosques cultivados del País Vasco. Reunión Nacional de Suelos XXVI Lurzoru Nazio-Bilera, 25-27 Junio, Durango, Bizkaia.
- Merino, A., Fernández-López, A., Solla-Gullón, F., Edeso, J.M. (2004). Soil changes and tree growth in intensively managed *Pinus radiata* in northern Spain. Forest Ecology and Management 196, 393-404.
- Merino, A., Edeso, J.M. (1999). Soil fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don plantation from Northern Spain after intensive site preparation. Forest Ecology and Management 116, 83-91.
- Morin, J., Benyamini, Y., Michaeli, A. (1981). The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile. Journal of Hydrology 52, 321–335.
- Muñoz Cerro, E. (2013). Efecto de la Incorporación de Hojarasca de Diferentes Especies Forestales en la Respiración y la Mineralización del Nitrógeno en el Suelo. Universidad de Valladolid.
- Nambiar, E.K.S. (1996). Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. Soil Sci. Soc. Am. J. 60, 1629-1642.
- North P.F. (1976). Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. Journal of Soil Science 27, 451-459.

- Oades, J.M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, 319–337.
- Olsson, B.A., Lundkvist, H., Staaf, H. (2000). Nutrient status in needles of norway spruce and Scots pine following harvesting of logging residues. *Plant and Soil* 23, 161-173.
- Otero, I.; Millán, A.; García, M.A. y Sáez, R. (2009). Estudio de Impacto Ambiental de la concentración parcelaria de la zona de Tierra de Campos II (Palencia). Instituto Tecnológico Agrario, Junta de Castilla y León. Valladolid.
- Pikul, J. L., & Zuzel, J. F. (1994). Soil crusting and water infiltration affected by long-term tillage and residue management. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1524-1530.
- Pritchett, W.L., Fisher, R.F. (1987). *Properties and Management of Forest Soils*. Wiley, New York.
- Quiroga A. y Funaro, D. (2004). Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas Pp: 476.
- Reeves, D.W. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43, 131-167.
- Reque, J. A., & Pérez, R. A. (2011). Del monte al rodal. Manual SIG de inventario forestal.
- Rivas Martínez, S. (1987). Memoria del mapa de series de vegetación de España 1: 400.000. 268 pp. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Schutter, M. E. and Dick, R.P. (2002). Microbial Community Profiles and Activities among Aggregates of Winter Fallow and Cover-Cropped Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 142–153.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research* 79, pp.7–31.

- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241, 155-176.
- Six, J., Guggenberger, G., Paustian, K., Haumaier, L., Elliot, E.T., Zech, W. (2001). Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. *European Journal of Soil Science* Vol 52, pp 607-618.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., (2000a). Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 2099–2103.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., Doran, J.W., (1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* 62, 1367–1377.
- Sohi, S.P., Mahieu, N., Arah, J.R.M., Powlson, D.S., Madari, B., Gaunt, J.L. (2001). A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1121-1128
- Sollins, P., Homann, P., Caldwell, B.A. (1996). Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma* 74, 65–105.
- Somovilla Lumbreras, D. (2013). Efecto de la gestión y del tratamiento de los restos sobre la distribución de los agregados del suelo en una masa de *Pinus halepensis* sobre suelo calizo, en Ampudia (Palencia). Universidad de Valladolid.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141–163.
- Von Lützw, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B., Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. *European Journal of Soil Science* 57, 426-445.
- Walkey, A., & Black, I. A. (1934). An Examination of degtjareff method for determination of soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. *I. Exp. J. Soil Sci*, 79, 459-465.

Zou, C., Sands, R., Buchan, G., Hudson, I. (2000). Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. *Australian Journal of Soil Research* 38, 947-958.

# ANEJO I

## ANEJO I. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 1. Tablas y datos Climatológicos

En la Tabla 1 vienen representado el resumen de los valores correspondientes a las temperaturas mensuales y en la Tabla 2 el resumen de las temperaturas estacionales y anuales.

**Tabla 1:** Resumen de temperaturas mensuales.

[°C]	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Ta</b>	15,4	17,8	23,1	26	31,7	35,7	35,8	37,6	33,7	27,5	19,6	14,6
<b>T'a</b>	12,0	15,1	19,3	22,6	27,6	33,1	34,3	34,1	29,8	23,8	16,5	12,2
<b>T</b>	6,3	8,9	12,4	14,8	18,9	25,3	27,7	27,2	23,3	17,0	10,0	6,9
<b>tm</b>	2,9	4,2	7,1	9,1	12,8	17,9	19,9	19,8	16,7	12,0	6,2	3,4
<b>t</b>	-0,5	-0,5	1,7	3,4	6,5	10,5	12,0	12,4	10,2	7,0	2,4	-0,2
<b>t'a</b>	-6,4	-4,9	-4,6	-1,7	0,8	5,0	6,7	7,9	4,3	0,9	-2,8	-5,8
<b>ta</b>	-12,3	-8,2	-9,7	-4,2	-2,7	2,5	2,8	4,9	1,4	-2,6	-6,0	-11,3

**Nota:** Ta: temperatura máxima absoluta, T'a: temperatura media de las máximas absolutas; T: temperatura media de las máximas; tm: temperatura media de las medias; t: temperatura media de las mínimas; t'a: temperatura media de las mínimas absolutas; ta: temperatura mínima absoluta.

**Tabla 2:** Resumen de temperaturas estacionales y anuales.

[°C]	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
<b>Ta</b>	31,7	37,6	33,7	17,8	37,6
<b>T'a</b>	23,1	33,9	23,4	13,1	23,4
<b>T</b>	15,4	26,7	16,7	7,4	16,6
<b>tm</b>	9,7	19,2	11,6	3,5	11,0
<b>t</b>	3,9	11,6	6,5	-0,4	5,4
<b>t'a</b>	-1,8	6,5	0,8	-5,7	-0,1
<b>ta</b>	-9,7	2,5	-2,6	-12,3	-12,3

**Nota:** Ta: temperatura máxima absoluta, T'a: temperatura media de las máximas absolutas; T: temperatura media de las máximas; tm: temperatura media de las medias; t: temperatura media de las mínimas; t'a: temperatura media de las mínimas absolutas; ta: temperatura mínima absoluta.

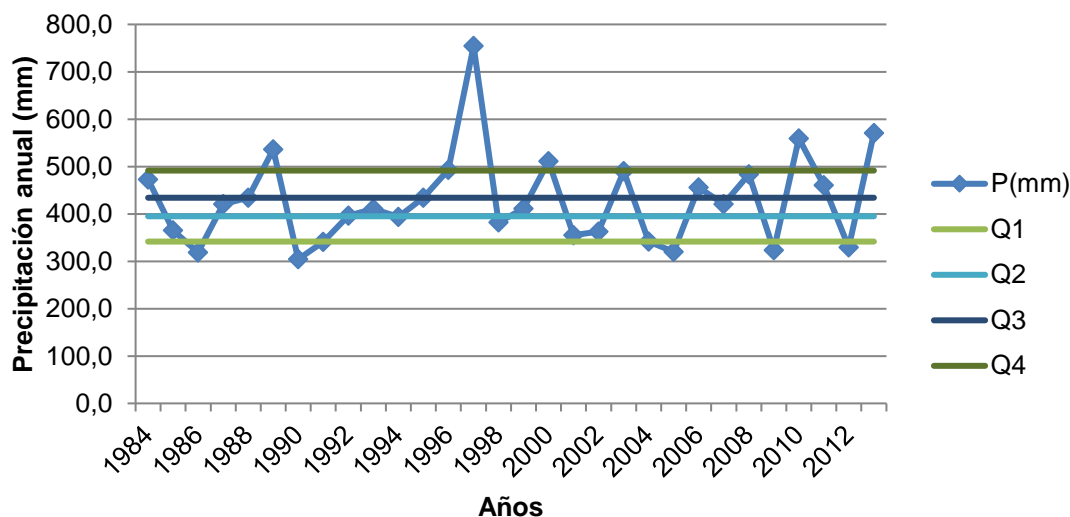
En lo que corresponde a las precipitaciones, en la Tabla 3 se ve el resumen de la precipitación media y mediana mensual y al año, en mm. Además se puede observar la evolución de la precipitación anual y de los quintiles anuales mediante su representación gráfica en la figura 1.

**Tabla 3:** Cuadro resumen de precipitación media y mediana mensuales y anuales en mm.

[mm]	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>P media</b>	37,0	25,3	23,2	43,9	54,6	30,6	17,9	18,4	30,4	53,1	46,0	48,1	428,5
<b>Q1</b>	15,5	6,1	4,0	24,6	28,0	12,3	1,0	0,2	15,3	23,3	18,3	13,8	341,6
<b>Q2</b>	28,2	11,6	12,8	33,0	39,9	19,7	5,7	10,2	25,5	44,8	30,6	23,7	395,0
<b>Q3</b>	40,0	32,3	18,5	42,2	52,9	33,1	15,7	23,2	35,0	54,9	49,1	45,5	434,1
<b>Q4</b>	50,9	46,5	39,8	64,8	72,4	48,4	28,2	33,3	42,3	83,4	63,8	85,9	491,5
<b>P mediana</b>	32,6	18,6	14,8	34,4	46,5	25,0	8,8	14,1	30,8	48,5	34,5	31,0	415,8

**Nota:** Q1: primer quintil, Q2: segundo quintil, Q3: tercer quintil, Q4: cuarto quintil

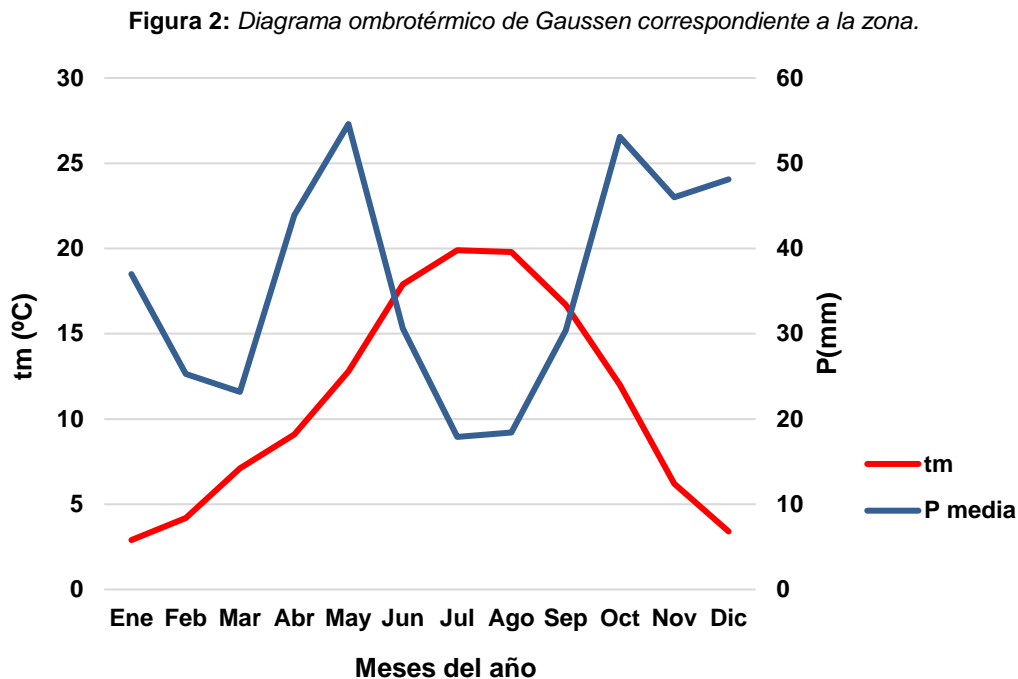
**Figura 1:** Evolución de la precipitación anual y quintiles anuales.



**Nota:** Q1: primer quintil, Q2: segundo quintil, Q3: tercer quintil, Q4: cuarto quintil.

Para identificar el período seco en el cual la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media será observado mediante el diagrama ombrotérmico de Gaussen (Figura 2).





**Nota:** *tm*: temperatura media de las medias; *P*: Precipitaciones.

## 2. Edafología

En primer lugar, se explica el significado de cada uno de los suelos de la de la zona según la clasificación FAO-UNESCO, (1974).

Los **Cambisoles** son suelos moderadamente desarrollados que presentan una estructura y color distintos del material originario y poseen un endopedión cámbico. Su perfil característico A Bw. El horizonte cámbico (del italiano *cambiare*, cambiar) es un horizonte subsuperficial que muestra evidencias de alteración respecto de horizontes subyacentes.

Los **Luvisoles** son suelos con acumulación de arcilla o humus y óxidos de hierro, que se caracterizan por tener un endopedión árgico con arcillas de alta actividad. Son típicos de zonas mediterráneas: templadas frías y subtropicales y su perfil típico es A Bt. El endopedión árgico es un horizonte subsuperficial que tiene claramente mayor contenido de arcilla que el horizonte suprayacente. La diferenciación textural puede estar causada por: una acumulación iluvial de arcilla; por formación pedogenética predominante de arcilla en el subsuelo; destrucción de arcilla en el horizonte superficial; erosión superficial selectiva de arcilla; movimiento ascendente de partículas más gruesas debido a expansión y contracción; actividad biológica; una combinación de dos o más de estos diferentes procesos. La sedimentación de materiales superficiales que son más

gruesos que el horizonte subsuperficial pueden intensificar una diferenciación textural pedogenética. Sin embargo, una mera discontinuidad litológica, tal como puede ocurrir en depósitos aluviales, no califica como un horizonte árgico. Los suelos con horizonte árgico frecuentemente tienen un conjunto específico de propiedades morfológicas, físico-químicas y mineralógicas además del mero incremento de arcilla. Estas propiedades permiten distinguir varios tipos de horizontes árgicos y trazar sus vías de desarrollo (Sombroek, 1986).

Los **Leptosoles** son suelos con edafogénesis controlada por la posición en el relieve, se desarrollan en posiciones sometidas a erosión, son muy poco profundos con abundancia de elementos gruesos o contacto lítico a menos de 25 cm, presentan poca retención de agua.

El calificador **calcárico** indica que tiene material calcárico entre 20 y 50 cm de la superficie del suelo o entre 20 cm y roca continua o una capa cementada o endurecida, o que esté a menor profundidad. El material calcárico se caracteriza por dar fuerte efervescencia al HCl 1M.

El calificador **crómico** indica que tiene dentro de 150 cm de la superficie del suelo una capa subsuperficial, de 30 cm o más de espesor, que tiene un matiz o hue Munsell más rojo que 7.5 YR o que tiene ambos, un hue de 7.5 YR y un croma, húmedo, de más de 4.

El calificador **lítico** indica que tiene roca continua que comienza dentro de 10 cm de la superficie del suelo (sólo en Leptosoles).

El calificador **réndstico** indica que tiene un horizonte mólico (rico en materia orgánica, oscuro y de gran espesor) que está inmediatamente por encima de material calcárico o roca calcárea que contiene 40% o más de carbonato de calcio equivalente.

## ANEJO II

## **ANEJO II. MUESTREO, PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y FRACCIONAMIENTO POR TAMAÑO DE AGREGADOS**

### **1. Descripción y ubicación de las parcelas**

En la tabla 1 de éste anejo vienen recogidas las coordenadas UTM de las parcelas de estudio.

**Tabla 1:** *Coordenadas UTM 30T de las parcelas seleccionadas.*

<b>Parcela</b>	<b>Vértice</b>	<b>Coordenada X (m)</b>	<b>Coordenada Y (m)</b>
<b>1</b>	1	353.013	4.636.156
	2	353.058	4.636.157
	3	353.060	4.636.117
	4	353.014	4.636.116
<b>2C</b>	5	353.035	4.636.091
	6	353.082	4.636.094
	7	353.084	4.636.076
	8	353.036	4.636.073
<b>2E</b>	7	353.084	4.636.076
	8	353.036	4.636.073
	9	353.086	4.636.057
	10	353.038	4.636.054
<b>3</b>	11	352.712	4.635.829
	12	352.711	4.635.788
	13	352.671	4.635.787
	14	352.673	4.635.828

### **2. Obtención de las muestras y mediciones**

En la obtención de muestras y las mediciones realizadas se utilizaron una serie de herramientas y procedimientos de muestreo que vienen representados en las siguientes figuras 1, 2 y 3.

Figura 1: Densímetro esférico convexo



Figura 2: Material de muestreo.



Figura 3: Proceso de recogida de muestras de hojarasca, horizonte orgánico y suelo.



### 3. Preparación de las muestras de suelo.

- **Primero.** Se pesa en un vidrio de reloj, mediante una báscula de precisión, una porción de suelo (2 a 5 g).

- **Segundo.** Se extrae el contenido de humedad, de las porciones, introduciéndolas en un horno de secado a 105°C durante 24 horas.
- **Tercero.** Se vuelve a pesar la porción en la misma balanza de precisión del primer paso, para conocer el peso de la porción seca (gramos).
- **Cuarto.** Se calcula la humedad de la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad de la muestra (\%)} = [\text{PSP} / (\text{PHP}-\text{PSP})] * 100$$

PSP: peso en seco de la porción.

PHP: peso en húmedo de la porción.

Si al calcular la humedad se obtiene valores muy elevados, es necesario abrir las bolsas dentro de la nevera para que estas pierdan humedad (durante varios días). Si, por el contrario, alguna de las muestras tiene una humedad inferior a la requerida por el método de separación de agregado, es necesario aportar esa humedad pulverizando la muestra con agua destilada. Una vez echas estas operaciones de control de humedad, se debe volver a medir la humedad de las muestras para comprobar que han alcanzado la humedad deseada. Este proceso ha de repetirse las veces que sean necesarias hasta conseguir esa humedad establecida. En este caso fueron necesarias:

- 4 repeticiones para la Parcela 2E.
- 2 repeticiones la Parcela 2C.
- 2 repeticiones la Parcela 1.
- 2 repeticiones la Parcela 3.

#### 4. Procedimiento de separación de las fracciones de agregados

Cuando se consigue alcanzar la humedad requerida para la tamización (ver apartado 4.3.2) lo primero que se hace es pesar, en una balanza de precisión, una porción de muestra húmeda inalterada de unos 100-110 g. Esa porción pesada, se coloca en el tamizador AS 2000 Digit de Reisch. El tamizador comienza a vibrar y hace pasar a los agregados a través de los diferentes tamices (Figura 5).

**Figura 5.:** Juego de tamices (20 mm, 10 mm, 5 mm, 2 mm, 0,25 mm, 0,05 mm y plato final), tamizador AS 2000 Digit de Reisch y proceso de pesado con balanza de precisión.



Las fracciones de los distintos tamaños de agregados para cada muestra se pesan y recogen en bolsas herméticas (Figura 6).

**Figura 6.:** Juego de tamices (20 mm, 10 mm, 5 mm, 2 mm, 0,25 mm, 0,05 mm) y tamaños de agregados separados en bolsas herméticas.



## ANEJO III



## **ANEJO III. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS ANALÍTICOS**

### **1. Fraccionamiento por densidad de los agregados del suelo**

- **Calibración del equipo ultrasónico**

Este método de fraccionamiento fue llevado a cabo utilizando un equipo ultrasónico Branson 450W Sonicator que tiene una sonda de titanio como vemos en la figura 1. La profundidad de la sonda dentro de la suspensión suelo-agua fue fijada en 15mm.

**Figura 1:** *Equipo de ultrasonido Branson 450W Sonicator.*



Después, se continuó con la compleja calibración del equipo, que consistía en determinar la energía real de salida mediante un balance calorimétrico (North, 1976). Medimos durante la sonicación el incremento de la temperatura de una masa conocida de agua en un vaso de 250 ml. Siendo calculada la salida real de energía a partir de la relación:

$$P = (m_a C_a + C_{cont}) \Delta T t^{-1} + H$$

(Ecuación 1)

Donde P es la potencia calculada (W),  $m_a$  es la masa de agua destilada (g),  $C_a$  es el calor específico del agua ( $4.18 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )  $C_{\text{cont}}$  es la capacidad calorífica del recipiente ( $\text{JK}^{-1}$ ),  $\Delta T$  es el cambio de temperatura (K), t es el tiempo de sonicación (s) y H es la pérdida de calor ( $\text{J s}^{-1}$ ) que la suponemos despreciable al tener el sistema aislado.

La capacidad calorífica del recipiente ( $C_{\text{cont}}$ ) fue determinada usando el método de las mezclas propuesto por Morra et al. (1991) de acuerdo con el cual:

$$C_{\text{cont}} = m_1 c_a ((T_1 - T_2) (T_3 - T_2)^{-1}) - m_2 c_a \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde  $C_a$  se refiere al calor específico del agua como se indicó arriba,  $m_1$  es la masa de agua destilada (g) calentada a  $T_1$  (K),  $m_2$  es la masa de agua destilada (g) a temperatura ambiente  $T_2$  (K).  $T_3$  es la temperatura final de equilibrio (K).

La energía de salida deseada en nuestro caso fue de  $300 \text{ J ml}^{-1}$  y el tiempo de correspondiente a dicha energía fue calculado a partir de la siguiente relación:

$$t = m_s E P \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde t es el tiempo de sonicación (s),  $m_s$  es la masa de suelo (g), E es la energía aplicada al suelo ( $\text{J g}^{-1}$ ) y P es la potencia calculada (W).

#### • **Obtención de la fracción de Materia Orgánica Particulada (MOP)**

En tubos de centrifuga de 50 ml se pesaron en torno a 10g de muestra correspondiente a cada uno de los agregados cuyo fraccionamiento de materia orgánica por densidad se iba a realizar, anotándose el peso exacto. A continuación se le añadieron 35 ml de Nal de densidad  $1,8 \text{ g ml}^{-1}$  y se agitaron en un agitador Heidolph durante 5 minutos a 58 rpm (Figura 2).

**Figura 2:** *Agitador Heidolph.*



Después, se colocaron los tubos en la centrifuga y se centrifugó a 9000 rpm durante 35 minutos (Figura 3). El sobrenadante, considerada como MOP, se filtra utilizando un montaje compuesto por bomba de vacío, kitasatos y embudos Buchner (Figura 4). La MOP que flota en la disolución de NaI se recogió en papel de filtro (Whatman GF/F) y se lavó con agua desionizada. Dentro del kitasato se colocó un tubo de centrifuga, para recoger el NaI, ya sin restos de MOP para reutilizarlo posteriormente.

**Figura 3:** *Centrifuga KUBOTA KR 20000 T.*



**Figura 4:** *Montaje de filtrado a vacío (vacuum) por bomba*



Una vez que la MOP recogida en el papel de filtro estuvo bien lavada con agua destilada se llevó a la estufa y se dejó secar a 40°C para posteriormente pesarla (Figura 5).

**Figura 5:** *Materia orgánica particulada (MOP) después de secar en estufa.*



- **Obtención de la fracción de Materia Orgánica Ocluida (MOO)**

A continuación, al tubo de centrifuga, donde permanecía el resto del suelo ya sin MOP, se le añadió 35 ml de NaI de 1,8 g ml<sup>-1</sup> y se colocó en un baño de hielo para aplicarle ultrasonidos. La energía aplicada para cada muestra fue de 300J/ml utilizando un Sonicador Branson 450 W con sonda de titanio que fue introducida en el tubo a una profundidad de 15 mm. El proceso de sonicación necesario para alcanzar la energía requerida fue calculado en función de la masa de suelo a sonicar (Ecuación 3). Para la cantidad de muestra utilizada en nuestro estudio fue de unos 5 minutos de sonicado aproximadamente (Figura 6). Para evitar el calentamiento excesivo del material utilizado, el tubo de centrifuga con la muestra a sonicar se rodeó de hielo picado.

**Figura 6:** Equipo de ultrasonido Branson 450W Sonicator durante el proceso de sonicación de una de las muestras y hielo picado usado en el proceso.



Tras este proceso se centrifugó de nuevo a 9000 rpm durante 35 minutos. El sobrenadante que se obtiene es considerada MOO, por lo tanto, se procedió a un segundo filtrado, siguiendo el mismo proceso de filtrado por vacío anteriormente mencionado y al posterior secado y pesado de la MOO.

- **Obtención de la fracción de Materia Organo-Mineral (MOM)**

La materia orgánica existente en el suelo restante en el tubo de centrifuga, es considerada materia orgánica ligada al componente mineral del suelo (MOM). Para el lavado de la fracción de MOM se añadió agua destilada, se sonicó durante 4 min y se centrifugó durante 12 min a 9000 rpm. Se tiró el agua sobrenadante y se repitió el lavado hasta 3 veces antes de poner los tubos en la estufa a 40°C y por último, se pesó el contenido.

## 2. Estimación del C fácilmente oxidable y la materia orgánica

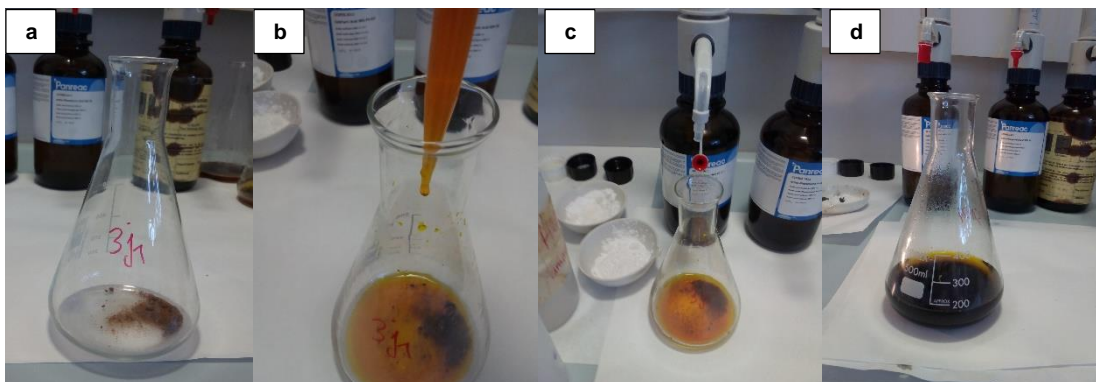
En el método oficial se recomienda una cantidad del orden de 0,5 g a 2 g para suelos que contengan menos del 0,5% de C orgánico oxidable y de 0,05 g para turbas. Se trata, por tanto, de no tomar nunca una cantidad de muestra que contenga más materia orgánica de la que sea capaz de oxidar el dicromato que añadimos. Por otro lado, cuanto menor es la cantidad de muestra pesada, mayor es el error relativo que cometemos en el procedimiento. Con el fin de no elevar en exceso los errores relativos cometidos se optó por tomar una cantidad de muestra entre 1 y 2 g de muestra seca al aire.

Una vez pesadas las muestras, se colocaron en Erlenmeyer de 500 ml (Figura 7a) y se les añadió con una pipeta 20 ml de dicromato potásico 0,1667 M (Figura 7b). Se agitaron cuidadosamente los recipientes para favorecer la mezcla entre suelo y dicromato y, a continuación, se añadieron con dosificador 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (Figura 7c).

Las muestras se dejaron en reposo durante media hora para que tuviera lugar la reacción y se enfriase el contenido. Transcurrida esta, se añadió con probeta 100 ml de agua des ionizada a cada una y se volvió a dejar enfriar.

Por último, se agregaron 10 ml de ácido fosfórico concentrado con el objetivo de favorecer el progreso de la reacción de valoración por complejación del ion ferroso producido, posteriormente, se procedió a la valoración del exceso de dicromato potásico con sulfato ferroso de amonio (sal de Mohr) 0,5 M usando como indicador difenilamina en solución sulfúrica (Figura 7d).

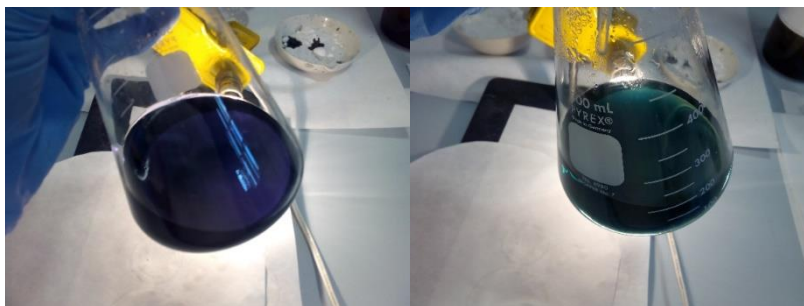
**Figura 7:** Etapas seguidas para el proceso de estimación del C fácilmente oxidable. **a)** Muestra de suelo en el Erlenmeyer de 500ml. **b)** Adición de 20mL de dicromato potásico. **c)** Adición de 20 ml de ácido sulfúrico. **d)** Tras el reposo de 30 min, se añadió al Erlenmeyer 100ml de agua destilada, 10ml de ácido fosfórico y 1 ml difinelamina.



También se elaboraron varios blancos para valorar el sulfato ferroso amónico cada día de uso ya que como todas las sales ferrosas se oxida a férrica en presencia de aire. Estos blancos siguieron el mismo procedimiento que las muestras (Figura 8).

Las muestras se analizaron por triplicado un total de 90 valoraciones

**Figura 8:** Valoración del C fácilmente oxidable mediante sulfato ferroso amónico.



Para calcular el C fácilmente oxidable (CFO) expresado en porcentaje, se aplica la siguiente ecuación:

$$\%CFO = V \cdot \frac{\left(1 - \frac{M}{B}\right) \cdot 0,003}{P_m} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde V es el volumen de dicromato potásico empleado, 20 ml en nuestro caso. M se refiere al volumen (ml) de sulfato ferroso amónico gastado por la muestra de suelo de peso en gramos  $P_m$ . Por último B es el volumen medio (ml) de sulfato ferroso amónico empleado en la valoración de los blancos.

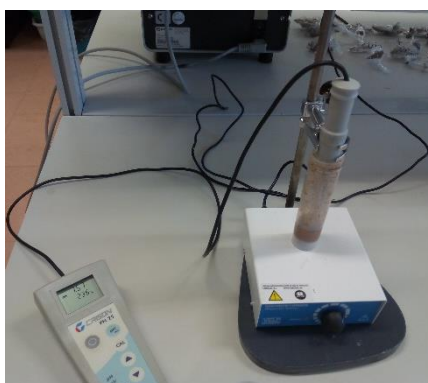
A partir de este % de CFO se puede calcular el contenido de Materia Orgánica de un suelo, multiplicando el % de CFO por un factor constante basado en el % de C en la materia orgánica. En el caso de suelos de regiones áridas y semiáridas el valor más usado comúnmente para este factor es de 1.724, por tanto:

$$\%MO = \%CFO \cdot 1,724 \quad (\text{Ecuación 5})$$

### 3. Determinación del pH y la CE en el suelo

Para el pH se pesaron 3 g de cada una de las muestras en tubo de centrifuga de plástico y se añadieron 7 ml de agua destilada. Se agitó la suspensión obtenida durante unos 10 minutos. A continuación se midió el pH, agitando la suspensión inmediatamente antes de sumergir el electrodo. Entre la medida de una muestra y la siguiente, el electrodo se limpió con agua destilada (Figura 9).

**Figura 9:** Determinación del pH sumergiendo el electrodo.



Se realizó en el mismo tubo de centrifuga con relación suelo: agua (1:2,5) en que se mide el pH y se dejó 30 minutos en reposo midiéndose en la disolución. A su vez se midió la temperatura con un termómetro y el conductímetro para la CE (Figura 10). Como los valores de CE obtenidos fueron bajos, se optó por no realizar la determinación en el extracto de saturación del suelo.

**Figura 10:** Conductímetro y termómetro para corregir la conductividad eléctrica.



Esta medición de temperatura se empleó para realizar posteriormente la corrección (Ecuación 5) que se debe efectuar para referir la conductividad a 25 °C. Sus unidades son decisiemens por metro (dS m<sup>-1</sup>).

$$CE_{25\text{ }^{\circ}\text{C}} = CE_{T\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot [1 + 0,02 (25 - T)]$$

(Ecuación 6)



**Tabla 1:** Resultados de pH y conductividad Eléctrica (CE) en dS/m a 25 °C para cada tamaño de agregado de las parcelas.

Parcela	Tamaño	pH	CE
			dS/m
<b>Encinar</b>	1	6,7	0,001
<b>Encinar</b>	2	6,9	0,001
<b>Encinar</b>	3	7,0	0,002
<b>Encinar</b>	4	7,1	0,002
<b>Encinar</b>	5	6,9	0,002
<b>Encinar</b>	6	6,6	0,001
<b>Jaral</b>	1	7,3	0,001
<b>Jaral</b>	2	7,3	0,001
<b>Jaral</b>	3	7,4	0,001
<b>Jaral</b>	4	7,3	0,001
<b>Jaral</b>	5	7,1	0,001
<b>Jaral</b>	6	7,3	0,001
<b>Pinar Testigo</b>	1	7,4	0,003
<b>Pinar Testigo</b>	2	7,5	0,003
<b>Pinar Testigo</b>	3	7,6	0,002
<b>Pinar Testigo</b>	4	7,5	0,002
<b>Pinar Testigo</b>	5	7,4	0,002
<b>Pinar Testigo</b>	6	7,4	0,002
<b>Pinar Extracción</b>	1	6,9	0,001
<b>Pinar Extracción</b>	2	6,7	0,002
<b>Pinar Extracción</b>	3	6,9	0,002
<b>Pinar Extracción</b>	4	7,0	0,001
<b>Pinar Extracción</b>	5	6,9	0,001
<b>Pinar Extracción</b>	6	6,7	0,002
<b>Pinar Trituración</b>	1	7,0	0,001
<b>Pinar Trituración</b>	2	6,7	0,002
<b>Pinar Trituración</b>	3	7,2	0,002
<b>Pinar Trituración</b>	4	6,7	0,001
<b>Pinar Trituración</b>	5	6,9	0,002
<b>Pinar Trituración</b>	6	6,8	0,001

**Tabla 2:** Escala de salinidad según la Conductividad Eléctrica en dS/m a 25° C.

CE en dS/m a 25 °C	Salinidad
0 – 2	No salino
2 – 4	Ligeramente salino
4 – 8	Moderadamente salinos
8 – 16	Fuertemente salinos
> 16	Muy fuertemente salinos

#### 4. Determinación del carbono y nitrógeno total del suelo

El siguiente análisis se realizó utilizando muestras de suelo previamente molidas en un molino de suelos. Las cantidades a introducir en el equipo fueron de entre 0,17 y 0,19 g (se utilizó una balanza analítica con precisión de 0,0001 g) . Para los horizontes orgánicos se tomaron unos 0,05 g por muestra. Las muestras se envolvieron en el papel de estaño con el que se formó una bolita de tamaño apropiado. Las bolitas con las muestras se colocan de manera ordenada en un muestreador automático que irá introduciendo las muestras de una en una en el equipo (Analizador LECO CHN-2000).

**Figura 11:** Preparación de las muestras para análisis de C y N total y analizador Leco CHN-2000.



Previo al análisis de las muestras se realiza la calibración del analizador introduciendo en él muestras patrón de un suelo del propio fabricante (LECO), de cantidades conocidas de carbono, hidrógeno y nitrógeno, y para las muestras orgánicas se calibró la máquina con el patrón EDTA. En este caso sólo se prestó atención en la calibración al carbono y nitrógeno.

## 5. Determinación de carbonatos y C orgánico

### Carbonatos

El procedimiento a seguir se explica a continuación:

Se pesaron 5 g de suelo que fueron añadidos a un matraz Erlenmeyer a continuación se añadió un exceso de 100 ml HCl 1M y se calentó hasta que entró en estado de ebullición durante 5 min. Después se dejó enfriar a temperatura ambiente (Figura 12).

**Figura 12:** Suelo con 100 ml de ácido clorhídrico y posteriormente, hervido durante 5 minutos.



Una vez frío se filtró el contenido del Erlenmeyer y se pipetearon 10 ml del extracto, al cual se le añadieron 2 o 3 gotas de indicador fenolftaleína y se valoró con NaOH 0,5 M para conseguir los ml gastados para la determinación del resultado (Figura 12).

**Figura 12:** Procedimiento para la valoración de 10 ml del extracto filtrado, necesario para la determinación de los carbonatos totales.



### Determinación de C orgánico

El carbono orgánico del suelo se obtuvo mediante la diferencia del carbono total (obtenido por el procedimiento anterior) y el carbono inorgánico procedente de la valoración de los carbonatos.