

MÁSTER EN
TECNOLOGÍAS
AVANZADAS PARA EL
DESARROLLO
AGROFORESTAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Respiración y variables edafológicas en suelos de bosques mixtos y monoespecíficos de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y roble (*Quercus petraea*)



Universidad de Valladolid

Autora:
Paula Alejandra Arenas Velilla

Tutor:
Francisco Lafuente Álvarez

Cotutora:
Marina Getino Álvarez



Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS
MÁSTER EN TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA EL DESARROLLO
AGROFORESTAL

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

RESPIRACIÓN Y VARIABLES EDAFOLÓGICAS EN SUELOS DE BOSQUES MIXTOS
Y MONOESPECÍFICOS DE PINO SILVESTRE (*Pinus sylvestris*) Y ROBLE (*Quercus
petraea*)

POR: PAULA ALEJANDRA ARENAS VELILLA

TUTOR: FRANCISCO LAFUENTE ÁLVAREZ

COTUTORA: MARINA GETINO ÁLVAREZ

Palencia - Julio 2019



RESUMEN

En la presente investigación se determinó la respiración del suelo en forma de C-CO₂ como un indicador de la actividad biológica del suelo, con el objetivo de comparar el funcionamiento de masas mixtas frente a masas monoespecíficas con relación a las tasas de emisión de C-CO₂ y la dinámica de la materia orgánica edáfica. Se estudiaron suelos provenientes de bosques mixtos y monoespecíficos de pinos silvestre (*Pinus sylvestris*) y robles (*Quercus petraea*) de la zona norte de Palencia (España). Se estableció un ensayo de incubación durante 88 días en condiciones controladas de humedad y temperatura. Adicionalmente se determinó mediante oxidación débil el carbono oxidable y el carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo por el método de fumigación - extracción. Los resultados obtenidos indicaron que la mayor tasa de respiración se produjo en los suelos provenientes del bosque monoespecífico de pino con una respiración acumulada a 88 días de 1667 mg C-CO₂/kg de suelo; seguido de los bosques mixtos de pino y roble con 1305 mg C-CO₂/kg de suelo y la menor tasa de respiración del suelo se produjo en el suelo proveniente de robles con 1178 mg C-CO₂/kg suelo. Los resultados sugieren que los usos forestales evaluados presentan diferentes tasas de emisión de C-CO₂, materia orgánica y carbono microbiano obteniéndose diferencia significativa entre el suelo proveniente del bosque de *Pinus sylvestris* con relación al bosque mixto y al de *Quercus petraea*, siendo la respiración del suelo un componente clave en el balance del carbono y existiendo una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica y la respiración edáfica. En cuanto a la respiración por unidad de carbono, coeficiente metabólico y mineralización de la materia orgánica, no se encontraron diferencias significativas.

Palabras claves: suelo forestal, respiración del suelo, biomasa edáfica, materia orgánica del suelo, *Pinus sylvestris*, *Quercus petraea*.



ABSTRACT

In the present investigation soil respiration in the form of C-CO₂ was determined as an indicator of the biological activity of the soil, with the aim of comparing the operation of mixed stands versus monospecific ones in relation to the emission rates of C-CO₂ and the dynamics of the edaphic organic matter. Soils from mixed and monospecific forests of wild pine (*Pinus sylvestris*) and oak (*Quercus petraea*) from the north of Palencia (Spain) were studied. An incubation trial was established for 88 days under controlled conditions of humidity and temperature. Additionally oxidizable carbon was determined by weak oxidation and the carbon and nitrogen of the microbial biomass of the soil by the method of fumigation - extraction. The results obtained indicated that the highest respiration rate occurred in soils from the pine monospecific forest with a cumulative 88-day respiration of 1667 mg C-CO₂/kg of soil; followed by mixed pine and oak forests with 1305 mg C-CO₂/kg of soil and the lowest soil respiration rate occurred in soil from oaks with 1178 mg C-CO₂/kg soil. The results suggest that the evaluated forest uses have different emission rates of C-CO₂, organic matter and microbial carbon, obtaining a significant difference between the soil from the *Pinus sylvestris* forest in relation to the mixed forest and that of *Quercus petraea*, soil respiration is a key component in the carbon balance and there is a close relationship between the content of organic matter and edaphic respiration. As regards respiration per unit of carbon, metabolic coefficient and mineralization of organic matter, no significant differences were found.

Key words: forest soil, soil respiration, soil biomass, soil organic matter, *Pinus sylvestris*, *Quercus petraea*.



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	OBJETIVOS.....	9
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1	ZONA DE ESTUDIO.....	10
3.2	ESPECIES DE ESTUDIO	11
3.2.1	Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)	11
3.2.2	Roble (<i>Quercus petraea</i>).....	12
3.3	PARCELAS DE ESTUDIO Y MUESTREO	14
3.4	MÉTODOS ANALÍTICOS.....	17
3.4.1	MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE.....	17
3.4.2	C y N EXTRAÍBLE Y C y N DE LA BIOMASA MICROBIANA.....	18
3.4.3	RESPIRACIÓN DEL SUELO EN FORMA DE C-CO ₂	19
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	21
4.	RESULTADOS.....	22
4.1	MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE.....	22
4.2	C y N EXTRAÍBLE Y C y N DE LA BIOMASA MICROBIANA.....	23
4.3	RESPIRACIÓN DEL SUELO EN FORMA DE C-CO ₂	26
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	32
5.1	MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE.....	32
5.2	C y N EXTRAÍBLE Y C y N DE LA BIOMASA MICROBIANA.....	33
5.3	RESPIRACIÓN DEL SUELO EN FORMA DE C-CO ₂	33
6.	CONCLUSIONES.....	35
7.	AGRADECIMIENTOS.....	36
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
	ANEXO 1: Metodologías de Análisis	40
1.1	DETERMINACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA. MINERALIZACIÓN DEL CARBONO EDÁFICO.....	41
1.2	DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE (Walkley y Black)	43
1.3	DETERMINACIÓN DEL C Y N DE LA BIOMASA MICROBIANA.....	45
	ANEXO 2: Descripción de los perfiles edáficos	47

1. INTRODUCCIÓN

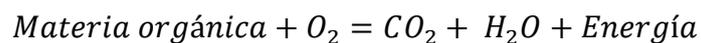
El suelo es un componente vital para el desarrollo agroforestal y la sostenibilidad de los ecosistemas, pues se encarga de proporcionar soporte físico, almacenaje y suministro de agua y nutrientes para el desarrollo de las plantas, siendo indispensable en las actividades agrícolas y forestales, además cumple importantes funciones ambientales y servicios ecosistémicos (Figura 1) tales como: reducción de contaminantes, retención de carbono, purificación del agua, regulación del clima e inundaciones, ciclos de nutrientes y agua, hábitat para organismos, entre otros servicios ecológicos vitales (FAO, 2015). El suelo es concebido entonces como un sistema vivo complejo, dinámico y su idoneidad varía de un lugar a otro (FAO, 2015). Este recurso es el responsable del sostenimiento de la vida terrestre, por lo cual se ha generado una preocupación a nivel mundial por la toma de conciencia y adopción de tecnologías y mecanismos que permitan contribuir a la estabilidad y sostenibilidad del suelo, cuyo comportamiento debe ser considerado desde una fertilidad global (física, química, biológica e hídrica). Los bosques suministran numerosos bienes y servicios ecológicos, económicos y socioculturales y del manejo y gestión que se les dé depende la conservación, sostenibilidad, estabilidad de los ecosistemas.



Figura 1. Funciones del suelo, FAO, 2015



De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la degradación de la tierra y el agotamiento del suelo es una amenaza mundial real y creciente, por lo cual el Grupo Técnico Intergubernamental sobre Suelos (GTIS) recomienda una serie de acciones enfocadas a promover prácticas de gestión para la adaptación y la mitigación del cambio climático y la resiliencia frente al cambio de los patrones meteorológicos y los fenómenos extremos, enfocándose en la protección y gestión de suelos orgánicos ricos en carbono, debido a que estos suelos suelen ser más productivos, purifican mejor el agua y aportan a las plantas condiciones de humedad óptimas (FAO, 2015). Entre las acciones recomendadas se enfatiza en aumentar el área sujeta a prácticas de manejo sostenible de la tierra, mejorar la restauración de los suelos degradados, y promover la “intensificación de la producción sostenible” a través de recursos biológicos adaptados, aumentando la fertilidad del suelo, la eficiencia en el uso del agua, garantizando el uso sostenible de los insumos y el reciclaje de los subproductos agrícolas, además de apoyar el desarrollo de sistemas nacionales de información de suelos para la toma de decisiones sobre el uso sostenible de la tierra y los recursos naturales y así incrementar la inversión en la gestión sostenible del suelo. La respiración del suelo es un proceso que refleja su actividad biológica y por tanto, la actividad metabólica de microorganismos, macroorganismos y las raíces de las plantas. Todos los microorganismos heterótrofos tienen la capacidad de descomponer la materia orgánica obteniendo a partir de ella, la energía que necesitan para su desarrollo, mediante la siguiente reacción:



Por tanto, la actividad metabólica de los microorganismos edáficos puede ser medida a través del desprendimiento de CO_2 o del consumo de O_2 . La medida de la respiración del suelo ha sido empleada con fines muy diversos como, por ejemplo, la estimación de la presencia y actividad de la biomasa microbiana del suelo, como indicador de la contaminación del suelo o para determinar la influencia de las condiciones climáticas y tipo de manejo del suelo en la actividad global de la biomasa del suelo. La actividad microbiana del suelo va a verse afectada entre otros factores por el contenido en humedad del suelo, la temperatura a la que se encuentre y las propias características del suelo (pH, contenido en materia orgánica, textura, etc). Por consiguiente la respiración del suelo constituye un evento central de los cambios ecológicos globales, debido a su papel controvertido en los procesos de calentamiento global, ya que puede determinar si un ecosistema dado se comporta como fuente o sumidero de CO_2



según Jassal et al., 2007, Citado por (Vásquez, Macías, & Menjivar, 2013). Elevados contenidos de CO₂ y Nitrógeno afectan las actividades enzimáticas que degradan el carbono, a través de los efectos en la biomasa microbiana, la concentración de C y la disponibilidad de C y N de la hojarasca y el suelo (Luo et al., 2019).

En Colombia se ha reportado la medida de respiración del suelo en diferentes sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) para cuantificar el orden de acumulación de C como un indicador en la actividad y biomasa microbianas (Prager, Rojas, Pérez, Zúñiga, & Gascó, 2006). Dichos autores determinaron que un suelo con manejo agroecológico garantizó mejor el equilibrio dinámico, que permitió la ganancia de C evidenciado en los contenidos de C y CO₂ del suelo, mientras que en el convencional se dio lo contrario, con sus consecuencias sobre la materia orgánica, a corto, medio y largo plazo. Mayores tasas de respiración en los suelos cultivados corroboran que un manejo inadecuado de los mismos puede incrementar sensiblemente las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Vásquez et al., 2013). Se ha reportado que la respiración del suelo podría representar del 40 al 90 % de la respiración de los ecosistemas forestales (Murcia y Ochoa, 2008) citado por (Vásquez et al., 2013). Según datos obtenidos en un estudio sobre la respiración del suelo al sustituir pinos (sufriendo muerte inducida por sequía) por encinas (*Quercus ilex*), los suelos emitieron casi un 36% menos de CO₂ al respirar (Barba, Curiel Yuste, Poyatos, Janssens, & Lloret, 2016), lo cual sugiere la estrecha relación entre la respiración edáfica y la especie forestal asociada. En comparación con los suelos cultivados, los suelos bajo bosque poseen mayor porcentaje de C asociado a fracciones más estables, por lo cual el uso y manejo de los suelos de cultivo ocasiona habitualmente un detrimento de las formas más estables de C (Vásquez et al., 2013).

La materia orgánica del suelo, con el carbono orgánico (COS) como principal componente, cumple una función esencial mejorando las propiedades físicas, químicas, biológicas e hídricas contribuyendo a la fertilidad global del suelo; por lo cual se debe promover prácticas de conservación y almacenamiento de carbono, las cuales son fundamentales para la sostenibilidad de los agro ecosistemas y la mitigación del cambio climático. La pérdida de COS indica un cierto grado de degradación del suelo (FAO, 2017). La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo (Martínez H, Fuentes E, & Acevedo H, 2008). Según la versión 1.2.0 del Mapa Mundial de Carbono Orgánico del Suelo (GSOCmap) se estima que diez países retienen más del 60% de la reserva total de carbono orgánico del suelo (COS) de 0 a 30 cm (FAO, 2017).



La materia orgánica activa, está constituida por la microbiota responsable de los procesos de descomposición de sustratos orgánicos (fracción lábil) (Mora, 2006) por tanto la biomasa microbiana, el C extraíble con K_2SO_4 o el C- CO_2 respirado, pueden utilizarse como indicadores que inciden en la calidad y cantidad de COS (Llorente, Lafuente, Ruipérez, & Turrión, 2008). La estimación de la biomasa microbiana es posible gracias a que elementos como el Carbono, el Nitrógeno y el Fósforo son esenciales en la conformación de la estructura celular y pueden ser extraídos a través de ciertos métodos bioquímicos (Vásquez et al., 2013). En la presente investigación se determinó el C y N de la biomasa microbiana mediante el método de fumigación – extracción y a partir de los resultados se determinó el cociente metabólico microbiano (qCO_2), calculado como la cantidad de CO_2 producido por unidad de biomasa microbiana y tiempo, el cual permite evaluar la capacidad de la comunidad microbiana para incorporar C al sustrato frente a la cantidad de carbono que se pierde por respiración, según (Goberna et al., 2006) citado por (Llorente et al., 2008).

Prager et al. (2006) encuentran buena relación entre la respiración del suelo y los contenidos de materia orgánica y la presencia de oxígeno en el suelo, factores que, añadidos a la humedad del suelo, favorecen la actividad biológica del mismo, según los resultados de diversos autores, mencionados en esta cita, adicionalmente algunos autores han correlacionado positivamente la respiración del suelo con las formas del C, existiendo correspondencia entre la emisión de CO_2 y el grado de oxidabilidad de las formas de C (Vásquez et al., 2013). Varios estudios han indicado que el calentamiento puede acelerar la descomposición del carbono orgánico del suelo, aumentando fuertemente las emisiones de CO_2 , según citan (Xu, Yuan, Cui, Ma, & Zhang, 2019), quienes observaron mayores tasas de emisión de CO_2 en muestras de suelo recolectadas en los puntos de menor elevación (zonas cálidas) en relación con los puntos de mayor elevación (zonas frescas); estos resultados revelaron que el gradiente de calentamiento natural aumentó significativamente la tasa de emisión de CO_2 por unidad de COS en la capa superior del suelo. Estos hallazgos indican claramente que el suministro de sustrato y la adaptación microbiana cumplen importantes roles en el control de la descomposición de COS en suelos (Xu et al., 2019). Los suelos actúan como el sumidero de carbono más grande de la Tierra, reduciendo los gases de efecto invernadero en la atmósfera y aumentando las reservas de COS, por lo cual este aumento podría compensar significativamente el dióxido de carbono en la atmósfera. En la conferencia sobre cambio climático de Bonn (COP23) se reconoció la necesidad de mejorar el carbono, la salud y la fertilidad del suelo (FAO, 2017). El presente trabajo tiene como objetivo determinar la respiración del C- CO_2 y variables edafológicas como indicadores de la actividad



biológica de suelos procedentes de bosques mixtos y monoespecíficos de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y roble (*Quercus petraea*) y comparar el funcionamiento de masas mixtas frente a masas monoespecíficas con relación a las tasas de emisión de C-CO₂ y la dinámica de la materia orgánica edáfica. Este estudio se engloba dentro de un proyecto más amplio.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la respiración de C-CO₂ y variables edafológicas como indicadores de la actividad biológica de suelos monoespecíficos y mixtos de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y roble (*Quercus petraea*), en suelos de Aguilar de Campoo, para comparar el funcionamiento de masas mixtas frente a masas monoespecíficas con relación a las tasas de emisión de C-CO₂ y la dinámica de la materia orgánica edáfica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el carbono oxidable (C O. Oxi), materia orgánica oxidable (M.O. Oxi) y materia orgánica total (M.O.T) de suelos procedentes de bosques mixtos y monoespecíficos.
- Determinar el C y N de la biomasa microbiana del suelo por el método de fumigación – extracción.
- Estudiar la cinética de mineralización del carbono, en función de los tres usos forestales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

El estudio fue llevado a cabo en el laboratorio de Edafología y Química Agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Campus Palencia, de la Universidad de Valladolid. Las muestras de suelo fueron suministradas por Marina Getino Álvarez del programa de Doctorado en conservación y uso sostenible de sistemas forestales, las cuales fueron recolectadas de bosques de masas monoespecíficas y mixtas de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y roble (*Quercus petraea*) ubicadas en 2 parcelas del municipio de Aguilar de Campoo de la Provincia de Palencia, España.



Figura 2. Localización del área de estudio

El municipio de Aguilar de Campoo está situado al noreste de la provincia de Palencia (Comunidad Autónoma de Castilla y León), dentro de la comarca de la Montaña Palentina y pertenece al territorio histórico de Campoo. Se sitúa en una zona de transición entre la unidad paisajística de Las Loras y las estribaciones montañosas de la Montaña Palentina (Cordillera Cantábrica), presentando en algunos puntos características propias de los páramos detríticos y de las riberas y vegas del Pisuerga. La climatología de la zona está caracterizada por la transición entre un clima de carácter atlántico y el clima mediterráneo-continental propio de los páramos (Barrales et al., 2013). Esta zona natural viene definida por las dos subcuencas representativas de la



provincia, la del río Carrión, donde abundan lagunas y manifestaciones de origen glacial, con fuertes desniveles, y la del Pisuerga, que representa un relieve más suave, en el que bosques de coníferas de repoblación y frondosas autóctonas, se mezclan con prados de siega y diente (Palacio & Ruiz, 2014). El monte estudiado en la montaña palentina se encuentra ubicado dentro de la Cordillera cantábrica. El material parental de esta zona tienen su origen en el periodo triásico, y está compuesto principalmente de areniscas y conglomerados, encontrando pequeñas zonas de lutitas en el sector occidental que tienen su origen en el carbonífero superior (Ambrose et al., 1977)

3.2 ESPECIES DE ESTUDIO

3.2.1 Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)

El *Pinus sylvestris* es una conífera de tamaño mediano, que alcanza una altura en promedio de 23-27 m. Sin embargo, algunos reportes indican que puede alcanzar más de 40 m y vivir durante 400 años o más. Es una especie polinizada por el viento y normalmente es monoica, pero los árboles maduros ocasionalmente pueden tener solo flores masculinas o solo femeninas. El pino silvestre es la especie más extendida del género *Pinus* en el mundo, y la segunda conífera más extendida después del Enebro (*Juniperus communis*). Crece en una amplia gama de elevaciones, desde el nivel del mar hasta más de 2600 msnm, en Europa, los bosques de pino silvestre ya superan los 28 millones de hectáreas abarcando más del 20% del área forestal productiva. Es una especie de gran amplitud ecológica, en la Península Ibérica que se cría en laderas y cumbres de montañas, comenzando a desplazar a las demás especies arbóreas, salvo a *Pinus uncinata*, a partir de los 1.500 msnm. Se estima que en España el pino silvestre ocupa una superficie próxima a las 800.000 hectáreas (Ministerio de Agricultura pesca y alimentación, 2011). Es una especie pionera muy exigente a la luz y puede colonizar sitios recientemente perturbados si la competencia y la presión de pastoreo son bajas. Crece principalmente en zonas soleadas o parcialmente sombreadas, generalmente en sitios pobres en nutrientes con una pronunciada tolerancia a la sequía y también buena resistencia a las heladas, es muy poco exigente en cuanto al sitio y el suministro de agua (Durrant, Rigo, & Caudullo, 2016).

Con frecuencia crece en grandes rodales de una sola especie, pero también se puede encontrar con la mayoría de las especies boreales de Europa y Asia.

En Europa se puede encontrar creciendo con árboles de hoja ancha, como los robles (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), haya (*Fagus sylvatica*) y abedul (*Betula pendula*), y otras coníferas incluyendo abeto (*Picea abies*), alerce (*Larix decidua*), abeto (*Abies alba*) y otros pinos (*Pinus nigra*, *Pinus uncinata*). El pino silvestre se utiliza con frecuencia para fines de recuperación de tierras debido a su tolerancia a los suelos pobres, además de ser empleado en dendrocronología, porque tiene una vida relativamente larga y a menudo crece en condiciones marginales donde pequeñas fluctuaciones de temperatura y/o humedad pueden tener un notable efecto sobre su crecimiento (Durrant et al., 2016). *Pinus sylvestris* L. se utilizaron ampliamente para la reforestación de áreas degradadas en la región de Castilla y León durante el siglo pasado (Bueis, Turrión, & Bravo, 2019).

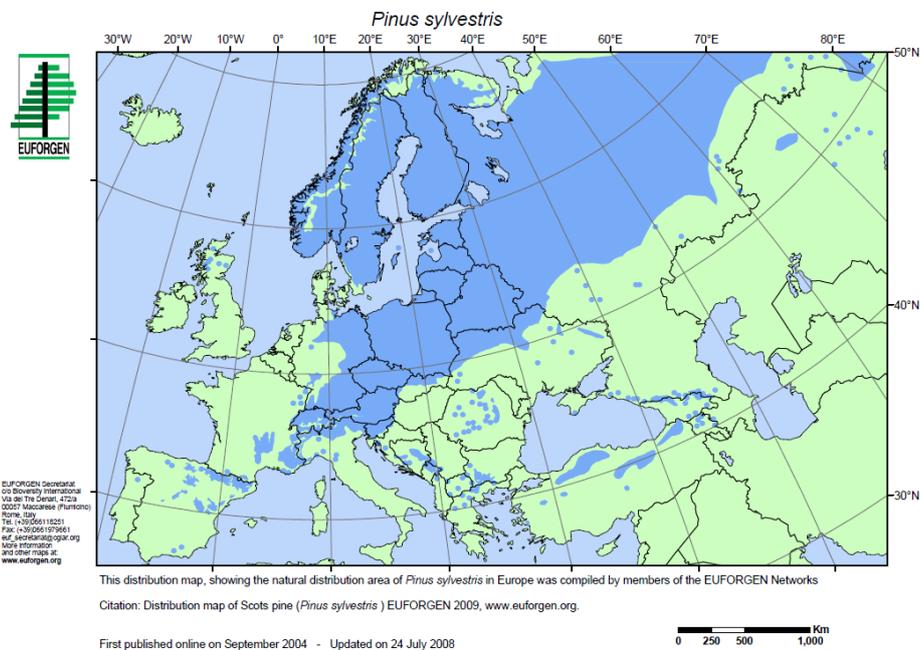


Figura 3. Distribución de *Pinus sylvestris* (EUFORGEN, 2009)

3.2.2 Roble (*Quercus petraea*)

Es una de las especies de árboles de bosque caducifolio de mayor importancia económica y ecológica de Europa (EUFORGEN, 2009) pueden alcanzar los 30-40 m de alturas, son monoicos, anemófilos y predominantemente alógamos. Estos árboles alcanzan la capacidad de producir semillas a una edad que varía entre los 40 y los 100 años. Los robles albares tienen un amplio nicho ecológico, ya que toleran suelos con pH entre 3,5 y 9 y condiciones desde xéricas a húmedas (Ducousso & Bordacs, 2008).

Es más tolerante a los suelos pobres que los robles comunes; pero es más sensible a la falta de aireación del suelo. Las especies de robles tienen un importante rol ecológico, sus frutos (bellotas) proporcionan una valiosa fuente de alimento para muchas aves y mamíferos. El dosel de robles permite que pase una buena cantidad de luz, lo que permite un sotobosque diverso y enriquecido. El árbol es una especie pionera, exigente a la luz tiene un nicho ecológico muy grande y es bastante tolerante a la sequía y al suelo pobre. Como resultado, el árbol a veces ocupa hábitats extremos (EUFORGEN, 2009). En España, las principales masas de *Q. petraea* se encuentran principalmente sobre la cordillera Cantábrica y en la cornisa Pirenaica, menguando su presencia al occidente, en la comunidad gallega (López et al., 2012). De acuerdo con las regiones de procedencia del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), los robledales cantábricos se sitúan en las laderas formando un piso de vegetación entre 800-1600 metros, en distintas orientaciones y pendientes, caracterizándose por una baja temperatura media anual, en torno a 8 °C, y media de las mínimas del mes más frío inferiores a - 2,5 °C. El roble albar (*Quercus petraea*) es una de las especies arbóreas más abundantes del municipio de Aguilar de Campoo, formando el principal activo forestal de la zona (Barreales et al., 2013).

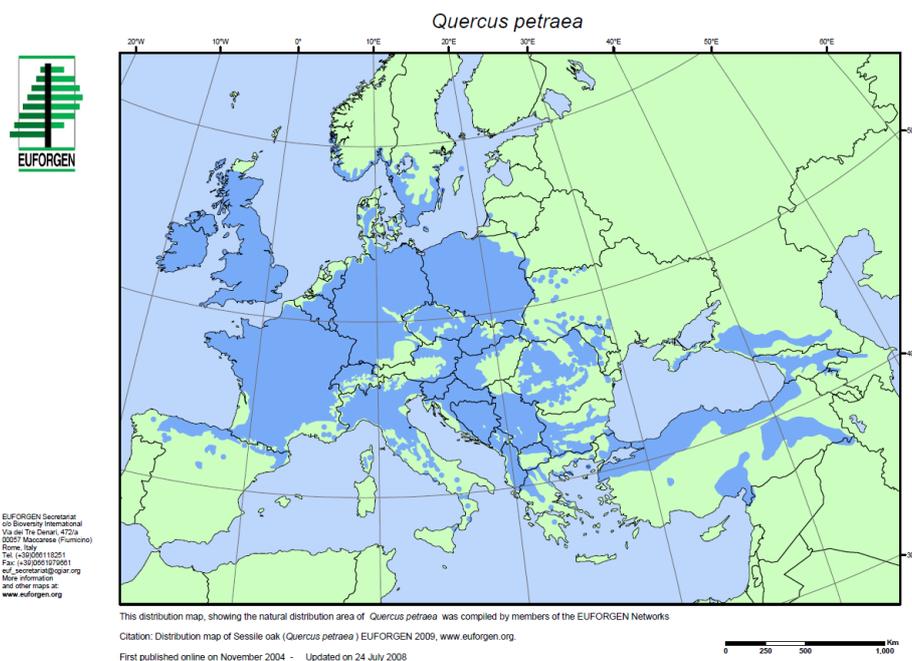


Figura 4. Distribución de *Quercus petraea* (EUFORGEN, 2009)

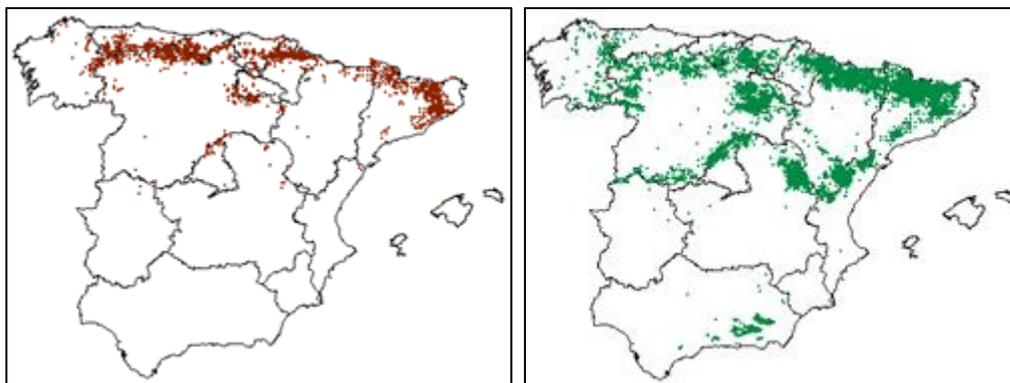


Figura 5. Distribución del *Quercus petraea* (izquierda) y *Pinus sylvestris* (derecha) en España (GBIF, 2019)

3.3 PARCELAS DE ESTUDIO Y MUESTREO

En las dos parcelas de estudio se establecieron 10 subparcelas (figura 5) de 5m de radio (3 subparcelas en las masas monoespecíficas, y 4 en las mixtas). Las parcelas presentan una geomorfología de montaña con pendientes suaves no superiores al 25%, con materiales parentales que incluyen lutitas, areniscas y conglomerados. Los suelos de las parcelas tienen una profundidad media de 65 cm, con textura franco-arenosa, un pH medio de 4,5, régimen de temperatura méxico y régimen de humedad del suelo údico. Clasificados según la USDA (2014) como inceptisoles.

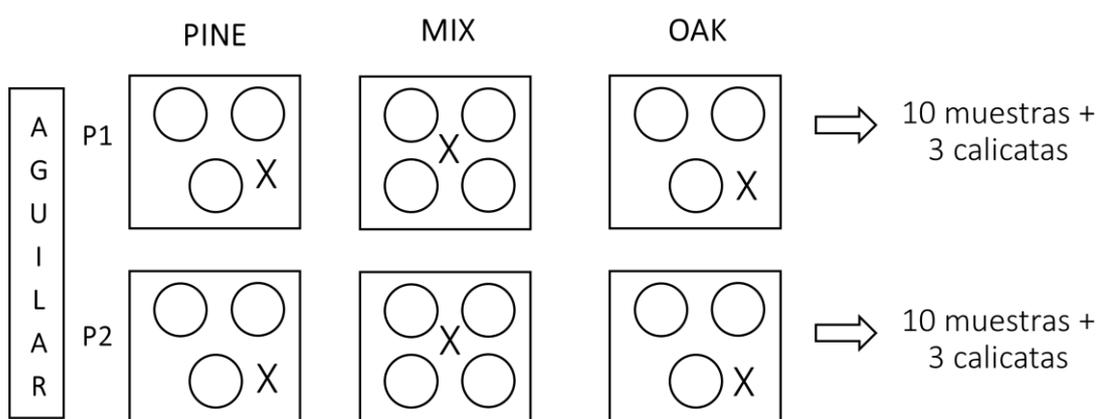


Figura 6. Esquema parcelas evaluadas (P1-P2)

En cada subparcela se tomó 1 muestra de suelo representativa. Dicha muestra estuvo compuesta por 3 submuestras, en las que se recogió el primer y segundo horizonte. Partiendo del eje central se tomaron 3 muestras con una distancia de 1m al centro del triángulo, de esta forma se pudo

recoger la posible variabilidad del suelo. Las muestras fueron tomadas con muestreador de suelos para entubación SB de Eijkelkamp el cual permitió tomar muestras inalteradas de 30 cm de profundidad. Los tubos fueron llevados a laboratorio, allí se mezcló las 3 muestras diferenciando los distintos horizontes, para finalmente tener una muestra compuesta dividida en tantas fracciones como horizontes se hayan podido recoger. En cada parcela se realizó una calicata para la descripción del perfil edáfico (ANEXO 1: Descripción de perfiles edáficos). Dicha calicata se localizó en una zona representativa de la parcela objeto de estudio. Se realizó una primera diferenciación y descripción de los horizontes en campo anotando sus características principales y espesor, así como el espesor de cada capa de mantillo. El muestreo se realizó en los meses de septiembre de 2017 y entre mayo y junio de 2018.



Figura 7. Puntos de muestreo dentro de las subparcela- Aguilar de Campoo. Getino-Álvarez, M. (2018)



Figura 8. Preparación de las muestras en laboratorio. Getino-Álvarez, M. (2018)



Tabla 1: Características de las parcelas evaluadas

Tipo de Masa Forestal	Parcela	Subparcela	N	D (m)	AB (m ² *ha ⁻¹)	Mezcla P/A (%Psy)
Monoespecífica Oak	1	AOak11	15	0,21	72,61	0
	1	AOak12	10	0,21	48,88	0
	1	AOak13	15	0,19	63,51	0
Monoespecífica Pine	1	APine11	9	0,33	101,80	100
	1	APine12	7	0,32	75,77	100
	1	APine13	10	0,24	68,26	100
Mixta Oak-Pine	1	AMix11	8	0,27	62,92	90
	1	AMix12	11	0,21	55,19	36
	1	AMix13	8	0,23	50,22	51
	1	AMix14	6	0,22	33,56	22
Monoespecífica Oak	2	AOak21	10	0,19	42,76	0
	2	AOak22	18	0,16	57,67	0
	2	AOak23	8	0,18	27,78	0
Monoespecífica Pine	2	APine21	6	0,36	79,45	100
	2	APine22	10	0,30	100,60	100
	2	APine23	7	0,31	73,39	100
Mixta Oak-Pine	2	AMix21	15	0,22	78,09	57
	2	AMix22	12	0,24	78,03	70
	2	AMix23	9	0,21	43,34	30
	2	AMix24	11	0,23	61,67	18

Donde N: número de individuos por subparcela; D diámetro medio de la subparcela en metros; AB: Área basimétrica de la parcela en m²/ha; Mezcla (P/A): porcentaje de mezcla de cada una de las subparcelas teniendo en cuenta presencia y ausencia de los individuos; Oak: Parcelas de *Q. petraea*; Pine: Parcelas de *P. sylvestris*.

3.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

3.4.1 MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE

Se empleó el método de titulación de Walkley-Black (WB) el cual es uno de los métodos clásicos para el análisis rápido del carbono orgánico (C.O) en suelos y sedimentos. El método se basa en la oxidación de la materia orgánica por el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico seguida de una titulación por retroceso del exceso de dicromato por sulfato ferroso de amonio (Gelman, Binstock, & Halicz, 2011). Según este procedimiento se determinó el C oxidable (C.O. Oxi), mediante la ecuación [3] y para transformar este valor en materia orgánica oxidable (M.O Ox) y en materia orgánica total (M.O T) se utilizaron los siguientes factores:

$$C_{ox} = 0,58 * MO_{ox} \text{ [Ecuación 1]}$$

$$MO_{ox} = 0,77 * MO_t \text{ [Ecuación 2]}$$

$$\% \text{Carbono Orgánico Oxidable} = \frac{0,003 * 100 * M - M'}{P} \text{ [Ecuación 3]}$$

Donde:

M = miliequivalentes de Dicromato añadidos. (Volumen*Normalidad)

M' = miliequivalentes de Sal de Mohr consumidos.

P = peso (g) de la muestra referido a peso en seco a 105°C



Figuras 9 y 10. Detalles del procedimiento de determinación del carbono orgánico oxidable

3.4.2 C y N EXTRAÍBLE Y C y N DE LA BIOMASA MICROBIANA

La biomasa microbiana se midió en términos de C y N a través del método de fumigación-extracción propuesto por Vance et al (1987), el cual consiste en exponer las muestras a fumigación con cloroformo libre de etanol provocando la muerte de las células microbianas del suelo por la rotura de las membranas celulares, con lo que el contenido citoplasmático de las células microbianas es vertido al suelo, de donde puede ser extraído con K_2SO_4 0,5M (de muestras fumigadas y sin fumigar) y determinar analíticamente el C y N extraídos de la biomasa microbiana, en nuestro caso mediante el analizador TOC SKALAR.



Figura 11. Muestras de suelo para determinación de C y N de la biomasa microbiana por el método de fumigación - extracción



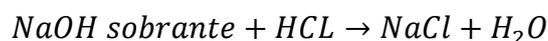
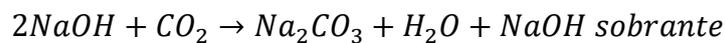
Figura 12. Desecador de vacío con muestras a fumigar



El C y N extraídos con K_2SO_4 0,5M en las muestras sin fumigar se han denominado C y N extraíbles.

3.4.3 RESPIRACIÓN DEL SUELO EN FORMA DE C-CO₂

Se empleó el método de la de respiración edáfica del Laboratorio de Edafología y Química Agrícola del departamento de Ciencias Agroforestales de la Universidad de Valladolid, el cual es una adaptación de varios métodos con igual fundamento y pequeñas variaciones (Isemeyer, 1952; Läggi, 1976; Aoyama y Nagumo, 1997). Este método se basa en la estimación del CO₂ desprendido durante la incubación del suelo en un sistema cerrado. El CO₂ desprendido es atrapado en una disolución de Hidróxido de sodio, NaOH, que posteriormente es valorada con ácido clorhídrico HCl para determinar el exceso de NaOH no consumido. Para precipitar el carbonato formado se añade disolución de cloruro de bario. El precipitado de carbonato de bario (de color blanco) debido a su baja solubilidad no reaccionará con el ácido clorhídrico valorante.



La respiración del suelo está fuertemente influenciada por el contenido de agua y la temperatura. A presiones de succión > 0,03 MPa, la respiración del suelo disminuirá considerablemente. El contenido de agua del suelo de prueba es óptimo cuando se corresponde con una presión de agua de poro de - 0,01 MPa a - 0,03 MPa (medido con una precisión del 5%, de acuerdo con ISO 11274) o del 40 % al 60 % de la capacidad máxima de retención de agua, respectivamente. Se debe utilizar una temperatura estable. Temperaturas de incubación generalmente se recomiendan entre 20 °C y 30 °C. Cuando las muestras de suelo se comparan con respecto a su respiración, deben tener el mismo estado de humedad (presión de agua de poro o porcentaje de la capacidad máxima de retención de agua) (ISO 16072, 2002).

De la diferencia entre la cantidad de NaOH presente inicialmente y la remanente después de la exposición al CO₂ se obtiene la cantidad de gas producido, o de C en forma de CO₂, por respiración mediante la siguiente fórmula (Guerrero Ortiz, Quintero, Espinoza, Benedicto, & Sanchez, 2012)

$$R = (B - M)N * E \text{ [Ecuación 4]}$$

Dónde:

R = respiración microbiana en mg C-CO₂

B = volumen de ácido necesario para titular el NaOH del promedio de los blancos (en ml)

M = cantidad de ácido necesaria para titular el NaOH de la muestra (en ml)

N = normalidad del ácido

E = peso equivalente del CO₂, o del C en forma de CO₂

La acumulación de C-CO₂ se determinó únicamente sumando los mg de C-CO₂ que se producían cada día, con los mg de C-CO₂ de días anteriores.



Figuras 13 y 14. Muestras de suelos evaluadas- Incubación suelos

Los datos experimentales obtenidos se ajustaron a un modelo de cinética de mineralización de primer orden (Murwira, Kirchmann, & Swift, 1990) y a una doble exponencial (Delphin, Bohonos, & Huck, 1988), que se corresponden con las siguientes ecuaciones:

$$Ct = C_0 (1 - e^{-kt}) \text{ [Ecuación 5]}$$

$$Ct = C_1 (1 - e^{-k_1t}) + C_2 (1 - e^{-k_2t}) \text{ [Ecuación 6]}$$

Donde Ct es el carbono mineralizado acumulado en un tiempo t medido en mg C-CO₂ / kg suelo; t es el tiempo en días desde el comienzo de la incubación, C₀, C₁ y C₂ (en mg C-CO₂ / kg suelo), representan la cantidad de carbono mineralizable, C₀ para un modelo de primer orden y en el caso de la cinética doble exponencial C₁



y C_2 corresponden con el pool rápida y lentamente mineralización respectivamente y, finalmente k_1 y k_2 son constantes de descomposición en (día^{-1}).

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico fue realizado con el paquete Statgraphics Centurion XVI; el análisis de varianza se realizó mediante un Modelo Lineal General (GLM), en el cual se compararon las tasas de respiración del suelo y las variables edafológicas evaluadas para los diferentes usos forestales. Para comprobar la significación de las diferencias se utilizó el test de Fisher LSD con una significación del 95 % (p valor $<0,05$). Previamente se comprobó la normalidad de los residuales y la homogeneidad de varianzas entre grupos, mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y el test de Levene, respectivamente. Adicionalmente se obtuvieron los valores de la desviación estándar, de las variables evaluadas representándose gráficamente, junto con los valores medios como indicador de la variabilidad dentro de cada grupo de datos. El ajuste de las curvas de la tasa de respiración se realizó mediante una doble exponencial con este paquete estadístico.



4. RESULTADOS

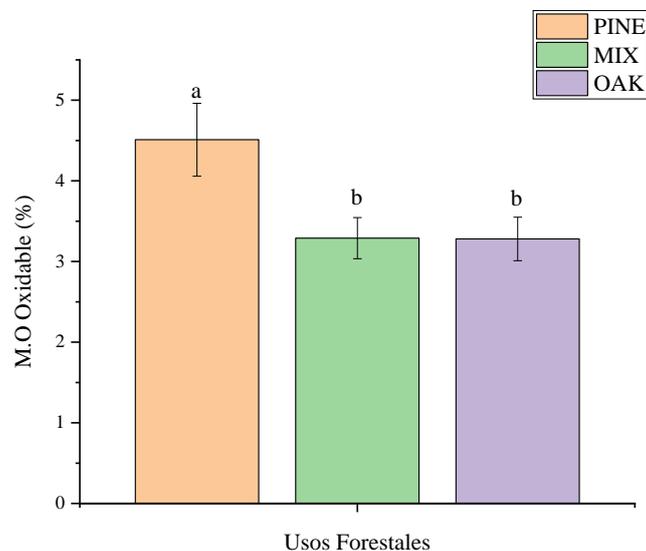
4.1 MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE

En cuanto al porcentaje de materia orgánica oxidable, materia orgánica total y carbono total, el suelo proveniente del bosque de pino obtuvo los valores más altos en comparación con el bosque mixto y el bosque de roble, con una diferencia significativa del suelo proveniente del pino, con respecto al mixto y al roble (Tabla 2 y Gráfica 1).

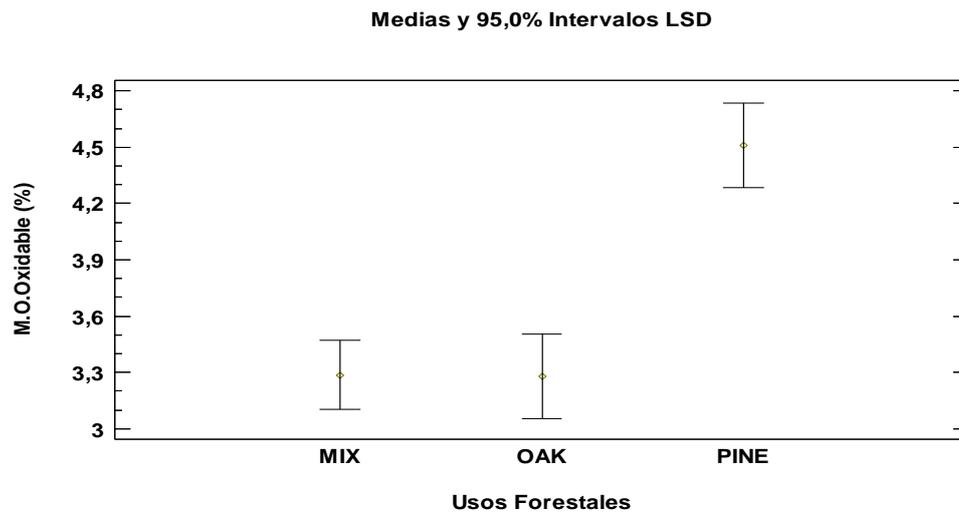
Tabla 2: Valores medios de carbono oxidable, materia orgánica oxidable, materia orgánica total y carbono total (Resultados estadísticos del análisis del GLM)

Usos	C.O. Oxidable	M.O. Oxidable	M.O. Total	Carbono Total
Pine	2.61 a	4,51 a	5.86 a	3.40 a
Mix	1.91 b	3,29 b	4.27 b	2.48 b
Oak	1.90 b	3,28 b	4.26 b	2.47 b

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre usos forestales



Gráfica 1. Contenido de materia orgánica oxidable (M.O. Oxidable) evaluado en los diferentes usos del suelo



Gráfica 2. Intervalos LSD en Materia Orgánica Oxidable, de acuerdo con los usos forestales evaluados.

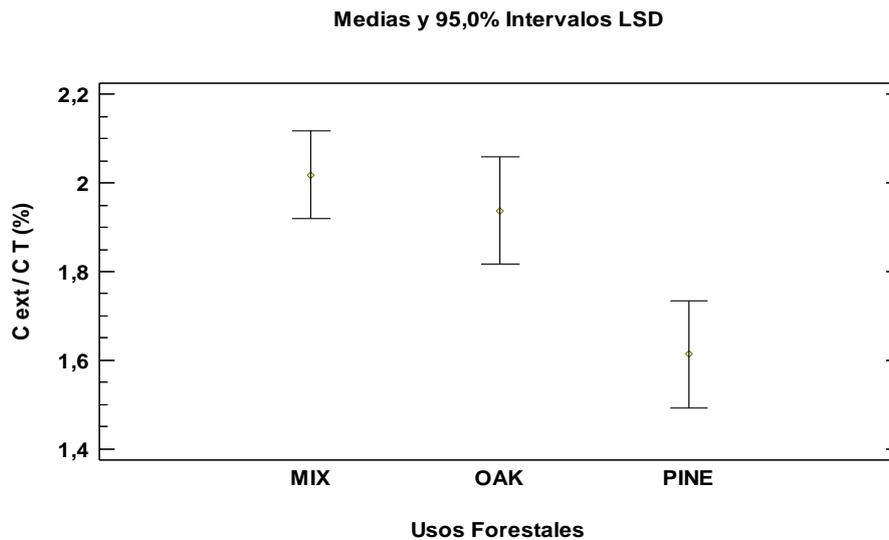
4.2 C y N EXTRAÍBLE Y C y N DE LA BIOMASA MICROBIANA

De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 3) se puede observar mayor contenido de carbono extraíble en el suelo de pino con respecto a los otros dos usos, aunque sin ser estadísticamente significativo. En cuanto al porcentaje de carbono extraíble respecto al carbono total el pino presentó menor valor, con diferencias significativas, respecto al mixto y al roble, obteniéndose (gráfica 3). En el carbono microbiano se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre el pino con respecto al mixto y al roble (gráfica 4), sin embargo, su relación con respecto al carbono total no presentó diferencias entre usos. El nitrógeno microbiano fue mayor en el pino (gráfica 5)

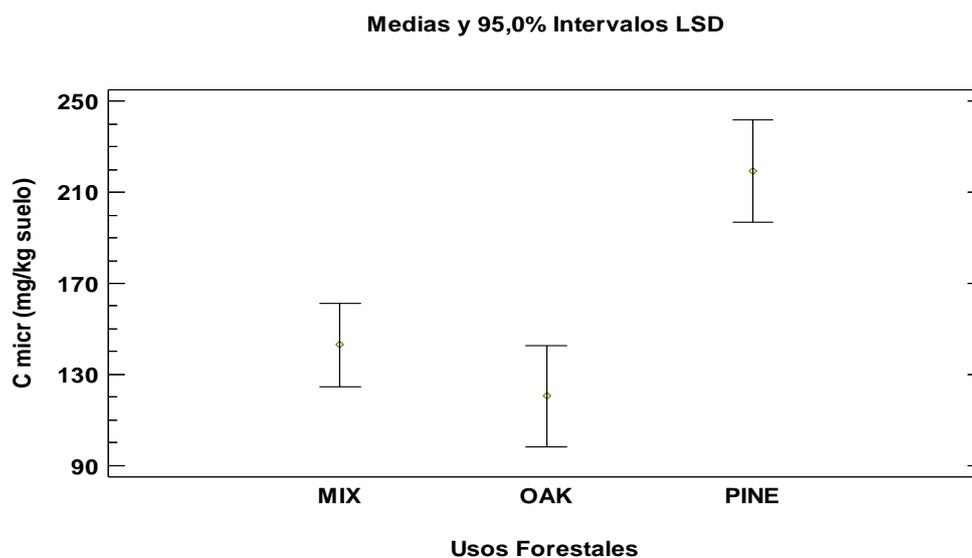
Tabla 3: Valores medios, en mg/kg de suelo, de carbono extraíble (C ext), nitrógeno extraíble (N ext), % C extraíble respecto al C Total (% C ext/CT), carbono microbiano (C micr), nitrógeno microbiano (N micr), % carbono microbiano respecto al C total (% C micr/CT) y relación carbono / nitrógeno microbiano (Cmicr/N micr) (resultados estadísticos del análisis del GLM)

Usos	C ext	N ext	% C ext/CT	C micr	N micr	% C micr/CT	C micr/N micr
Pine	540 a	185 a	1.61 b	219 a	19.4 a	0.665 a	13.9 a
Mix	499 a	190 a	2.02 a	143 b	10.0 ab	0.588 a	16.3 a
Oak	474 a	171 a	1.94 a	120 b	12.1 b	0.501 a	12.8 a

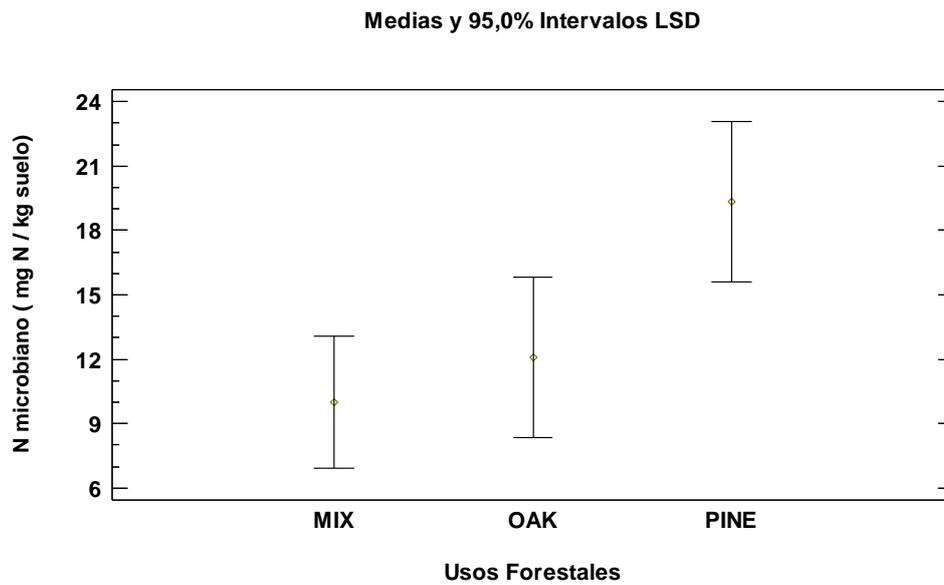
Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre usos forestales



Gráfica 3. Intervalos LSD en C_{ext}/C_T , de acuerdo con los usos forestales evaluados.

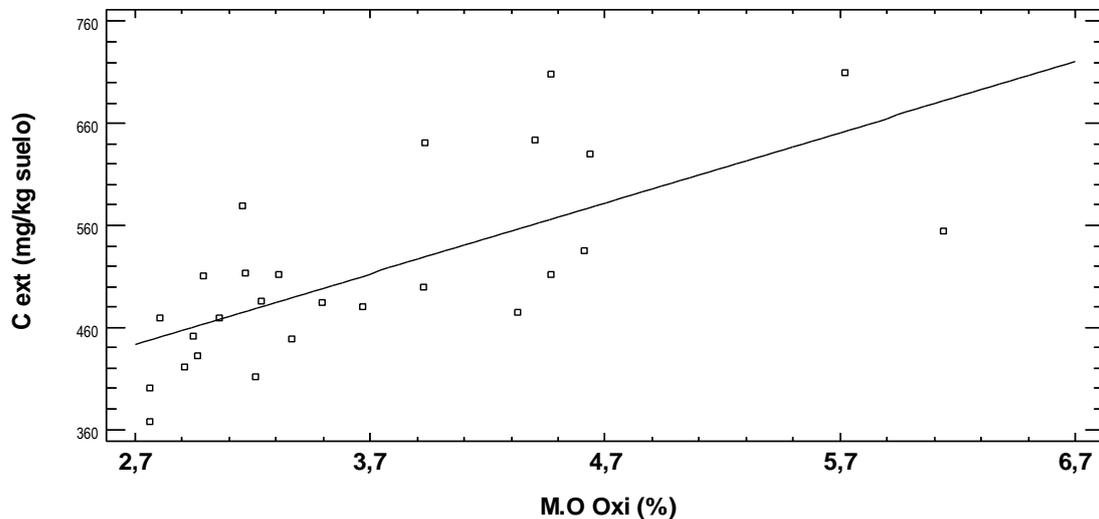


Gráfica 4. Intervalos LSD en $C_{microbiano}$, de acuerdo con los usos forestales evaluados.

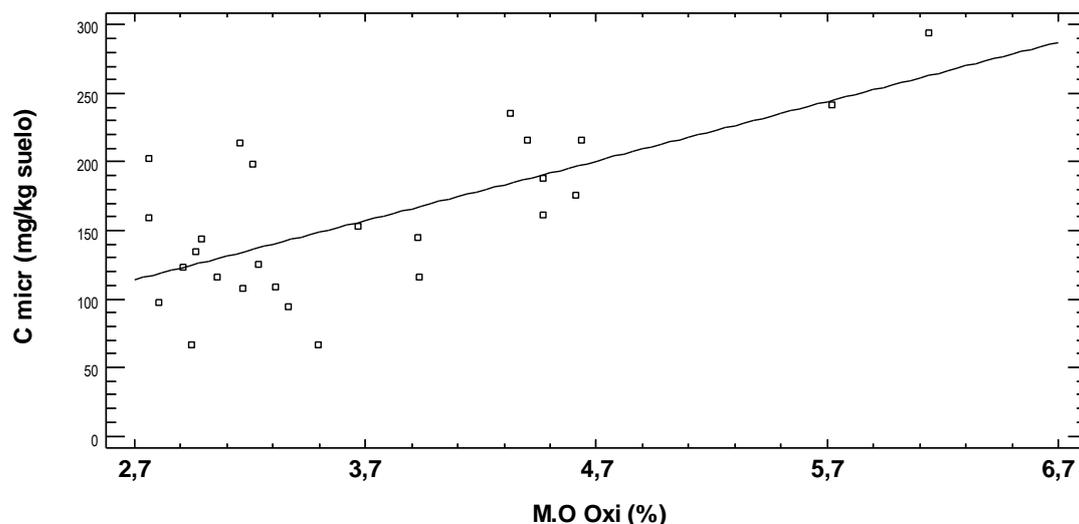


Gráfica 5. Intervalos LSD en N microbiano, de acuerdo con los usos forestales.

Al relacionar los parámetros C extraíble y C microbiano con la materia orgánica oxidable, se obtuvieron buenos modelos de ajuste, como se puede observar en las gráficas 6 y 7. Lo cual nos indica una buena relación de dichas variables.



Gráfica 6. Modelo de ajuste de carbono extraíble (C ext mg/kg suelo) con respecto a la materia orgánica oxidable (M.O. Oxi %)



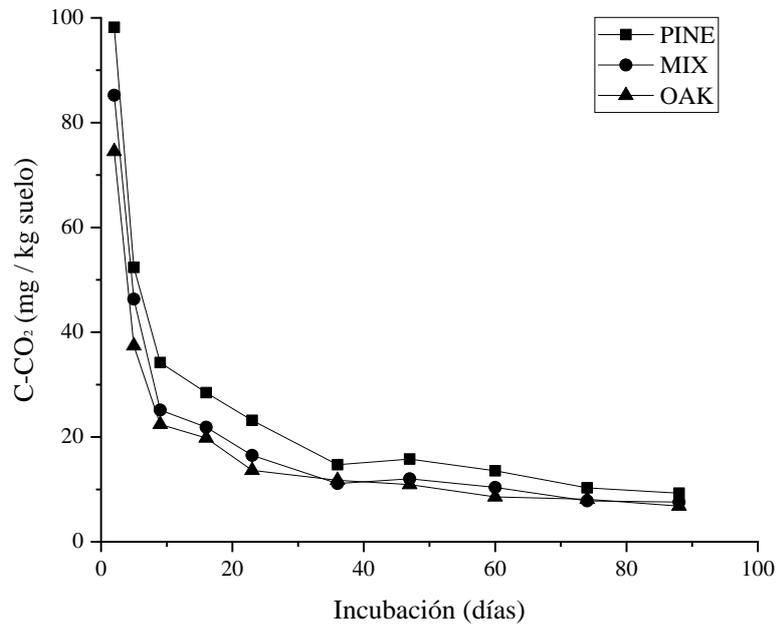
Gráfica 7. Modelo de ajuste de C microbiano (C micr mg/kg suelo) con respecto a la materia orgánica oxidable (M.O. Oxi %)

4.3 RESPIRACIÓN DEL SUELO EN FORMA DE C-CO₂

Se presentaron las mayores tasas de respiración del suelo en los primeros 5 días de incubación, disminuyendo progresivamente, como se observa en la tabla 4 y la gráfica 8. La tasa de respiración en los días 2 y 5 fue mayor en pino y mixto respecto al roble; a partir del día 16 se encontraron mayores tasas de respiración en el pino, con respecto a los otros usos, sin diferenciarse entre estos.

Tabla 4. Evolución diaria de la respiración edáfica, en mg C-CO₂/Kg suelo-día,, según los usos del suelo

Usos	Días	2	5	9	16	23	36	47	60	74	88
Pine		98,2	52,4	34,2	28,5	23,2	14,7	15,8	13,5	10,3	9,3
Mix		85,2	46,3	25,1	21,9	16,5	11,1	12,0	10,4	7,8	7,6
Oak		74,5	37,4	22,4	19,8	13,6	11,7	10,9	8,6	8,1	6,8

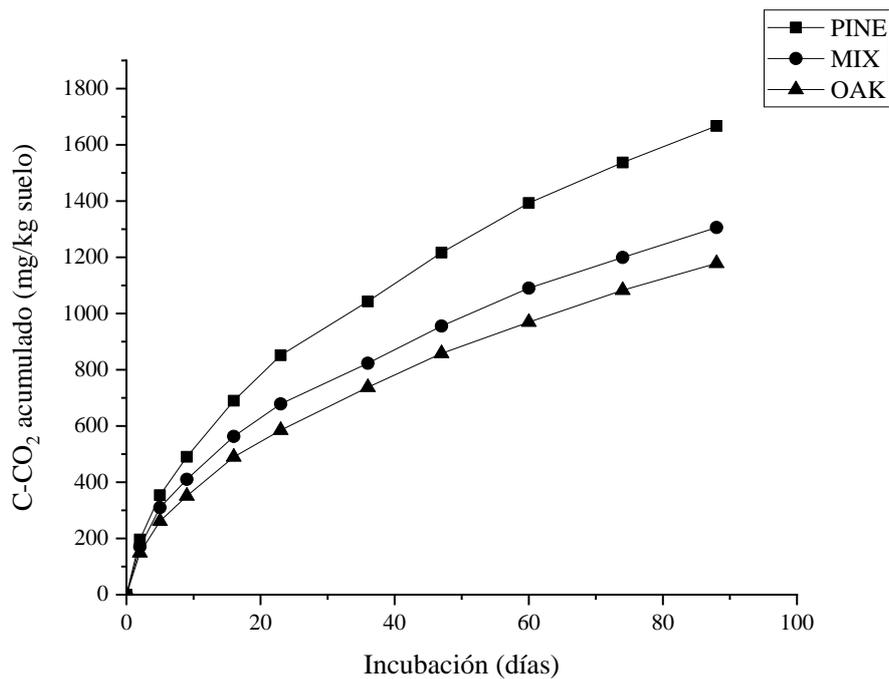


Gráfica 8. Evolución de la tasa de respiración diaria del suelo en C-CO₂ de acuerdo con el uso forestal

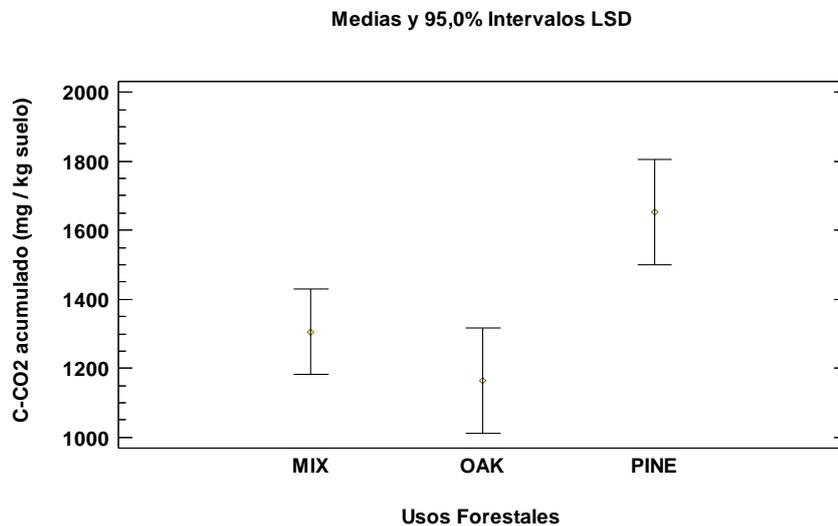
En cuanto a la tasa de respiración acumulada a los 88 días de incubación el mayor flujo de C-CO₂ se produjo en los suelos provenientes del bosque de pino, con 1667 mg C-CO₂/kg de suelo; seguido de los suelos de bosques mixtos con 1305 mg C-CO₂/kg de suelo y la menor en el suelo del bosque de roble, con 1178 mg C-CO₂/kg suelo (tabla 5 y gráfica 9), encontrándose una diferencia significativa entre el pino respecto a los otros dos usos (gráfica 10). Al relacionar los parámetros de respiración acumulada a 88 días y materia orgánica oxidable, se obtuvo un buen modelo de ajuste, como se puede observar en la gráfica 11, lo cual nos indica una buena relación entre dichas variables.

Tabla 5. Evolución de la respiración edáfica acumulada, en mgC-CO₂/kg suelo, de acuerdo a los usos del suelo

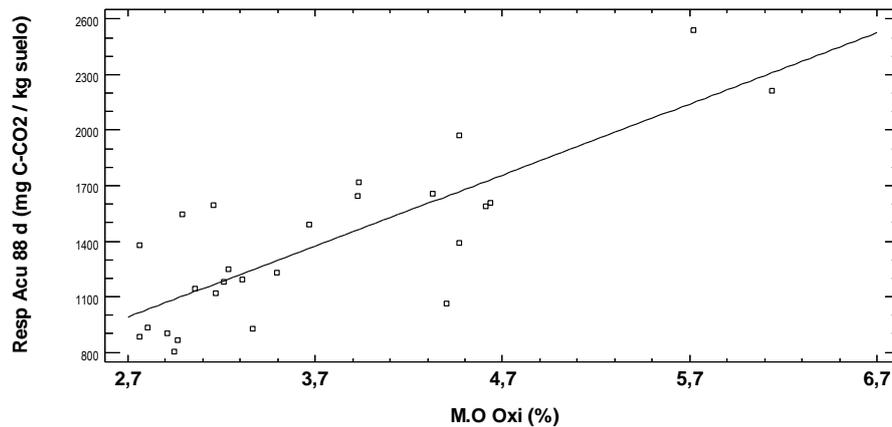
Usos	Días	2	5	9	16	23	36	47	60	74	88
Pine		196	353	490	690	852	1043	1217	1393	1537	1667
Mix		170	309	410	563	678	823	955	1090	1199	1305
Oak		149	261	350	490	585	738	858	969	1083	1178



Gráfica 9. Respiración edáfica acumulada en C-CO₂ de acuerdo con el uso forestal hasta 88 días de incubación



Gráfica 10. Intervalos LSD de la respiración edáfica acumulada, en C-CO₂, a 88 días de incubación, de acuerdo con el uso forestal.



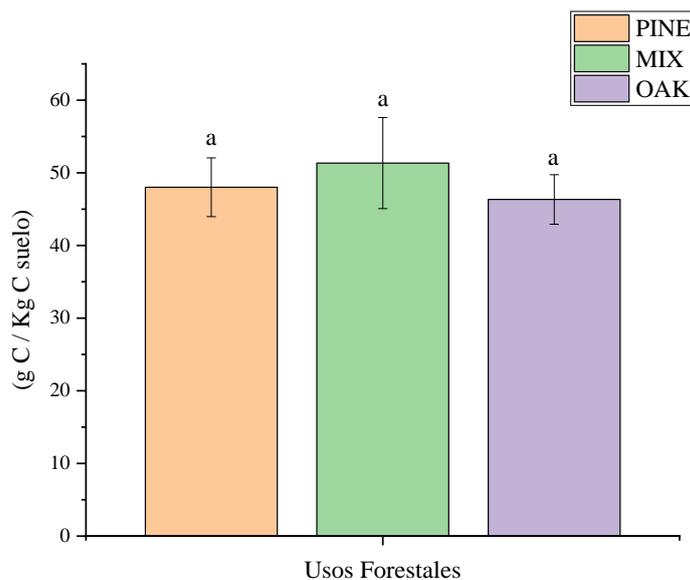
Gráfica 11. Modelo ajustado de materia orgánica oxidable y respiración edáfica acumulada a 88 días

La mayor tasa de respiración respecto al contenido de carbono total del suelo, se presentó en el mixto, seguido del pino y finalmente el suelo de roble (tabla 6 y gráfica 12), sin ser estas diferencias estadísticamente significativas. En cuanto al coeficiente metabólico qCO_2 , que corresponde a la relación entre el C emitido por unidad de C microbiano, el pino obtuvo el menor valor, aunque sin ser estadísticamente significativo (gráfica 13), lo cual podría indicar una diferente eficacia en la actividad de los microorganismos en función del uso.

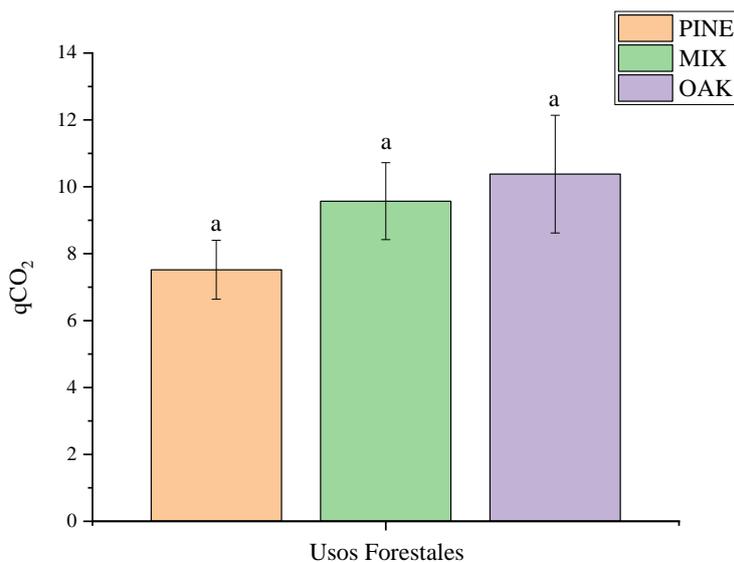
Tabla 6. Cociente entre la respiración acumulada a 88 días y el C total del suelo ($g C-CO_2/kg C$ suelo) y coeficiente metabólico (qCO_2 : en $mg C-CO_2 / mg C$ microbiano)

Usos	$g C-CO_2/kg C$ suelo	qCO_2
Pine	48.02 a	7.7 a
Mix	51.34 a	13.2 a
Oak	46.34 a	13.9 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre usos forestales

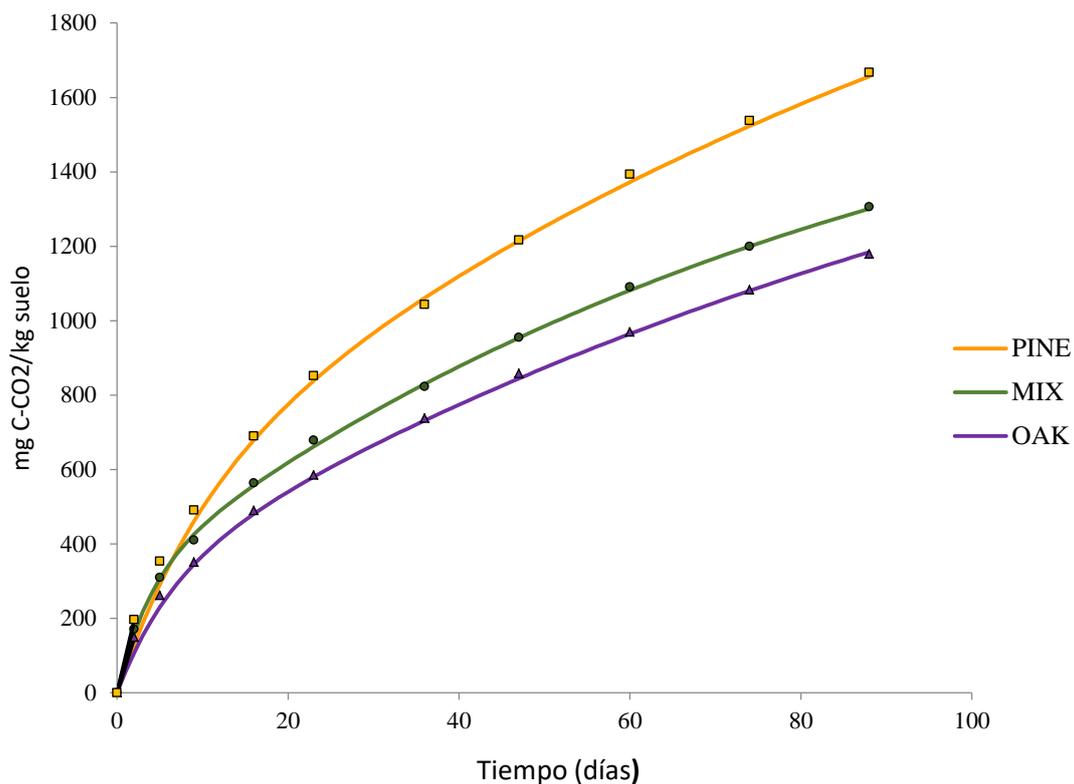


Gráfica 12. Relación entre la respiración acumulada a 88 días y el contenido de carbono total del suelo (g C-CO₂/kg C suelo)



Gráfica 13. Coeficiente metabólico (qCO₂; en mg C-CO₂ / mg C microbiano) en los usos forestales evaluados

Se recogen a continuación los resultados del ajuste de las curvas de respiración, las cuales se adaptaron mejor a un modelo de doble exponencial con un R-cuadrado ajustado superior al 99.6 % para los valores medios de cada uso (gráfica 14).



Gráfica 14. Modelos de cinética de mineralización de segundo orden en los usos forestales evaluados

En la tabla 7 se recogen los valores medios de los coeficientes de las curvas de ajuste según usos, donde no se encontraron diferencias significativas, aunque se puede apreciar una tendencia a valores más altos en el pino en cuanto a las cantidades de carbono tanto lábil como lentamente mineralizable, pero más bajas en uno de los factores de velocidad.

Tabla 7. Valores medios de los coeficientes de las curvas de ajuste C1 y C2 en mg C-CO₂/kg suelo, k1 y k2 en día⁻¹.

Usos	C = C1 (1-e ^{-k₁t}) + C2 (1-e ^{-k₂t})			
	C1	k1	C2	k2
Pine	1833 a	0.0102 a	584 a	0.172 a
Mix	1565 a	0.0095 a	462 a	0.194 a
Oak	1505 a	0.0101 a	335 a	0.236 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) entre usos forestales



5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE

De acuerdo a los datos obtenidos el mayor contenido de materia orgánica, se presentó en el suelo procedente de pino en comparación con los otros dos usos, al igual que los resultados de Díaz-Pinés et al. (2014), lo que nos permiten intuir que contribuyeron potencialmente al mayor flujo de C-CO₂ de la respiración de los suelos (Inclán, De La Torre, Benito, & Rubio, 2007). Adicionalmente nos permiten corroborar la relación entre respiración del suelo y contenido de materia orgánica, debido a que los niveles de respiración del suelo pueden relacionarse con los contenidos de materia orgánica y la presencia de oxígeno O₂ con la actividad biológica que en él tiene lugar (Prager et al., 2006) (Nadal 2016). Correlacionándose positivamente la respiración del suelo con las formas de C estudiadas por algunos autores, existiendo correspondencia entre la emisión de CO₂ y el grado de oxidabilidad de las formas de C (Vásquez et al., 2013). Mientras más estable es la materia orgánica, la emisión de CO₂ y la actividad microbiana son menores ya que existe menos material de fácil descomposición lo que impide la degradación por parte de los microorganismos según (Ayuso et al., 1996) citado por (Guerrero Ortiz et al., 2012). En nuestro caso, al analizar el C extraíble, se encontró una buena correlación con el contenido de materia orgánica, el porcentaje de esta fracción de C respecto al total fue menor en pinar, lo cual nos podría indicar que el suelo proveniente del bosque de pino posee una materia orgánica más estable, que se descompone más lentamente. Al analizar la cinética de mineralización de la materia orgánica, se observó un buen ajuste a un modelo de doble exponencial, el cual nos indica dos tipos de materia orgánica: una fracción lábil y otra más lentamente mineralizable, según (Marschner et al., 2003; Saviozzi et al., 2014) citado por (Nadal, 2016). En el suelo proveniente del bosque de pino se aprecia una tendencia, no significativa, al presentar una cantidad total mayor de materia orgánica mineralizable, pero a menor velocidad de transformación. Diversos factores, entre ellos la más difícil degradación de las acículas de conífera, conllevan a una mayor acumulación de materia orgánica en suelos bajo estas especies, como se discute en Andivia (2016).



5.2 C y N EXTRAÍBLE Y C y N DE LA BIOMASA MICROBIANA

Los horizontes orgánicos y minerales de los suelos forestales tienen una gran importancia en el almacenamiento de C y N (Fonseca & de Figueiredo, 2018). El suelo como sistema tiene un funcionamiento distinto entre estos bosques por lo que un cambio de vegetación puede tener implicaciones directas en el balance de C del ecosistema (Fernández-Alonso, Ortiz, & Rubio, 2017). El mayor contenido de C extraíble en el pino con respecto a los otros dos usos puede ser debido a un mayor contenido de materia orgánica total, ya que la proporción de C extraíble por unidad de C total es menor en el suelo de pinar, lo que está de acuerdo con su menor tasa de respiración por unidad de carbono total.

El alto contenido de C microbiano en el suelo de pino, con respecto al mixto y roble puede verse asociado a la respiración del suelo y al contenido de materia orgánica; los bajos valores de respiración del suelo y C microbiano hallados por otros autores reflejan una baja actividad microbiana que se puede relacionar con los valores más altos de la relación C/N (Cuartas et al., 2008). El C microbiano es un parámetro relativo a la situación nutricional del suelo ya que refleja las entradas de nutrientes al suelo por medio del aporte de hojarasca y de los nutrientes que contiene la biomasa microbiana (Bueis, 2012). Los mayores contenidos de CO₂ y nitrógeno se presentaron en los suelos de pino. Elevadas concentraciones de CO₂ y contenidos de N afectan las actividades enzimáticas que degradan el carbono a través de los efectos en la biomasa microbiana, la concentración de C y la disponibilidad de C y N de la hojarasca y el suelo (Luo et al., 2019). Inclán et al. (2007) encontraron que el contenido total de N en los suelos provenientes del bosque de pino en comparación con los sitios de roble contribuyó potencialmente al mayor flujo de CO₂ total del suelo en estos rodales durante el invierno. El mayor sustrato microbiano puede ser también la causa de los valores de la respiración del suelo (Cuartas et al., 2008).

5.3 RESPIRACIÓN DEL SUELO EN FORMA DE C-CO₂

Las mayores tasas de respiración del suelo en los primeros 5 días de incubación y su disminución progresiva, es una tendencia encontrada en la mayor parte de los trabajos de este tipo. Los cambios en la composición de las especies de árboles pueden alterar los flujos de CO₂ y N₂O del suelo (Díaz-Pinés et al., 2014). Los suelos provenientes de las masas del bosque del pino (*Pinus sylvestris*) presentaron el mayor flujo de salida de CO₂ en el suelo, seguido del suelo de los



bosques mixtos de *Pinus sylvestris* y *Quercus petraea*, y el menor en los suelos de *Quercus petraea*, encontrándose diferencias significativas entre el suelo de pino, con respecto al suelo mixto y al roble. Resultados similares a los obtenidos por (Díaz-Pinés et al., 2014) en los cuales se hallaron tasas de respiración en suelos provenientes de pino, mixto de pino y roble, y roble de (277, 245 y 145 mg C-CO₂, respectivamente). Y a su vez contrastándose con los resultados obtenidos por Inclán et al. (2007) donde hallaron los mayores niveles de respiración del suelo en masas de pino durante el invierno. Este mayor flujo de respiración en el suelo procedente del bosque de *Pinus sylvestris* a su vez podría verse reflejada por el origen del suelo rico en materia orgánica y compuestos de degradación que aumentan la actividad de los microorganismos viéndose reflejado en la mayor tasa de C-CO₂ según Yuste et al. (2007). Las tasas de respiración del suelo dependen principalmente de la temperatura, humedad, usos y manejo del suelo, según Villanueva, Casanova, Ramírez, & Martínez (2014). El cambio global y las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera han puesto de manifiesto la relevancia de la respiración del suelo como un componente clave en el balance de C atmosférico. La vegetación contribuye en gran medida al flujo total de CO₂ del suelo a través de la respiración de las raíces y del microbiota de su rizosfera (Fernández-Alonso et al., 2017). Sin embargo, cuando se analizó la relación entre la respiración en forma de C-CO₂ y el contenido de carbono total del suelo, el suelo procedente del bosque mixto obtuvo la mayor cantidad de carbono, no obstante, sin tener diferencia significativa entre los diferentes usos forestales. De acuerdo con Uribe et al., 2013 se han presentado pérdidas anuales de C a través de la respiración del suelo en *Quercus ilex*, *Quercus pyrenaica* y *Pinus sylvestris* de 790, 1010, 1380 gC/m². Según lo planteado por Díaz-Pinés et al., 2014 la conversión de bosques de pino a roble en la región podría disminuir los flujos de CO₂ del suelo debido a la disminución de los contenidos de C orgánico a largo plazo, pero podría aumentar los flujos de N₂O del suelo. En relación con el Protocolo de Kyoto, los bosques de Castilla y León han secuestrado 3 millones de toneladas de CO₂ por año, lo que representa el 6.4% de la emisión regional total de CO₂ (Gil, Blanco, Carballo, & Calvo, 2011).

En cuanto al coeficiente metabólico qCO₂ (C emitido por unidad de C microbiano), el cual permite evaluar la capacidad de la comunidad microbiana para incorporar C al sustrato frente a la cantidad de carbono que se pierde por respiración (Goberna et al., 2006) citado por (Llorente et al., 2008) y que puede ser una manera útil de abordar el impacto causado sobre las poblaciones microbianas, según (Anderson y Domsch, 2010) citado por (Nadal, 2016); en nuestro caso, el pino obtuvo el menor valor seguido del mixto y del roble,



aunque sin ser estadísticamente significativo, lo cual podría indicar una diferente eficacia en la actividad de los microorganismos en función del uso. Un incremento de la actividad respiratoria por unidad de biomasa (qCO_2) suele ser interpretado en algunos casos como un síntoma de estrés de las poblaciones microbianas del suelo según (Kayikcioglu, 2013) citado por (Nadal, 2016)

6. CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que los usos forestales evaluados presentan diferentes tasas de emisión de C- CO_2 , obteniéndose diferencia significativa entre el suelo proveniente de *Pinus sylvestris* con relación al bosque mixto y de *Quercus petraea*.

La respiración del suelo, componente clave en el balance del carbono, se relacionó estrechamente con el contenido de materia orgánica, que fue mayor en el suelo de pinar.

La cinética de mineralización de los usos forestales evaluados se adapta muy bien a un modelo de doble exponencial, destacándose un pool de rápida mineralización y otro de lenta mineralización.

Con relación a las coberturas monoespecíficas, las coberturas mixtas tendieron a mostrar un nivel intermedio en el C respirado, C microbiano, C extraíble y coeficiente metabólico.

En cuanto al C y N de la biomasa microbiana solo el C microbiano presentó diferencias significativas entre los diferentes usos forestales evaluados, reflejándose una alta actividad microbiana en el suelo proveniente del pino.

Una buena gestión y manejo del suelo va a influenciar de manera sustancial su fertilidad global, un bosque puede comportarse como sumidero de CO_2 , el cual se ve influenciado en gran medida por su vegetación.



7. AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Carolina por la beca otorgada y financiada por INDITEX y la Universidad de Valladolid. Al departamento de Ciencias Agroforestales, al Doctorado en conservación y uso sostenible de sistemas forestales; al profesor Francisco Lafuente Álvarez, a la doctoranda Marina Getino Álvarez y al personal del Laboratorio de Edafología y Química Agrícola Juan Carlos, Carmen, Daniel por permitir los medios físicos e intelectuales para el desarrollo del Trabajo Fin de Máster. Y finalmente a mi familia y amigos por su apoyo y amor incondicional.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andivia, E., Rolo, V., Jonard, M., Formánek, P., Ponette, Q. (2016). Tree species identity mediates mechanisms of top soil carbon sequestration in a Norway spruce and European beech mixed forest. *Annals of Forest Science* (2016) 73:437-447. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0536-z>
- T. Ambrose., J. Carballeira., J. López Rico., R.H. Wagner. (1977). Mapa geológico de España. *Instituto Geológico y Minero de España*, Barruelo de Santullán 107 17-07.
- Barba, J., Curiel Yuste, J., Poyatos, R., Janssens, I. A., & Lloret, F. (2016). Strong resilience of soil respiration components to drought-induced die-off resulting in forest secondary succession. *Oecologia*, 182(1), 27–41. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3567-8>
- Barreales, M., Ruiz, J., Vicente, J., Juarez, S., Ordas, S., Iburguen, N., ... López, A. (2013). *Plan General de Ordenación urbana Aguilar de Campoo (Palencia)*.
- Bueis, T., Turrión, M.-B., & Bravo, F. (2019). Stand and environmental data from *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus sylvestris* L. plantations in Spain. *Annals of Forest Science*, 76(2), 38. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0810-6>
- Bueis, T. (2012). *Influencia de los parámetros edáficos, topográficos y climáticos sobre el índice de sitio de Pinus sylvestris L. en las masas de León y Palencia*. Universidad de Valladolid.
- Cuartas, R. I., La, D. De, Llorente, T., Dolores, M., Ledesma, S., Ortega, B., ... Sánchez, R. M. (2008). Flujo de CO₂ del suelo en rebollares y pinares de pino albar de la Sierra de Guardarrama. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 228, 221–228.
- Delphin, J.-E., Bohonos, C., & Huck, C. (1988). Utilisation de cinétiques du premier ordre en vue de caractériser la minéralisation de quelques sols



- agricoles. *Agronomie*, 8(4), 289–294.
<https://doi.org/10.1051/agro:19880402>
- Díaz-Pinés, E., Schindlbacher, A., Godino, M., Kitzler, B., Jandl, R., Zechmeister-Boltenstern, S., & Rubio, A. (2014). Effects of tree species composition on the CO₂ and N₂O efflux of a Mediterranean mountain forest soil. *Plant and Soil*, 384(1–2), 243–257. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2200-z>
- Ducousso, A., & Bordacs, S. (2008). EUFORGEN Guía técnica para la conservación genética y utilización del roble común y roble albar (*Quercus robur* y *Quercus petraea*).
- Durrant, T. H., Rigo, D. De, & Caudullo, G. (2016). *Pinus sylvestris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e016b94.
- EUFORGEN. (2009). Distribution map of Scots pine (*Pinus sylvestris*). Retrieved from www.euforgen.org.
- FAO. (2015). Tierra y suelos | Objetivos de Desarrollo Sostenible | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2017). Un detallado mapa muestra la cantidad de reservas de carbono del suelo en el mundo. Retrieved from <http://www.fao.org/news/story/es/item/1071110/icode/>
- Fernández-Alonso, M. J., Ortiz, C., & Rubio, A. (2017). Contribución de la respiración autótrofa a las emisiones totales de CO₂ del suelo en un bosque ecotonal Mediterráneo. *7º Congreso Forestal Español*, (Kuzyakov), 1–12. <https://doi.org/978-84-941695-2-2>
- Fonseca, F., & de Figueiredo, T. (2018). Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under four forest species in the Mediterranean region. *Spanish Journal of Soil Science*, 8(1), 42–56. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N1.04>
- GBIF. (2019). *Descarga de Registros de GBIF-Pinus sylvestris*. <https://doi.org/https://doi.org/10.15468/dl.uuzd7k>
- Gelman, F., Binstock, R., & Halicz, L. (2011). *Application of the Walkley-Black titration for organic carbon quantification in organic rich sedimentary rocks*. Report Geological surveys of Israel GSI-13
- Gil, M. V., Blanco, D., Carballo, M. T., & Calvo, L. F. (2011). Carbon stock estimates for forests in the Castilla y León region, Spain. A GIS based method for evaluating spatial distribution of residual biomass for bio-energy. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 243–252. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2010.08.004>



- Guerrero Ortiz, P., Quintero, R., Espinoza, V., Benedicto, G., & Sanchez, M. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus. *Terra Latinoamericana*, 30 (4), 355-362.
- Inclán, R., De La Torre, D., Benito, M., & Rubio, A. (2007). Soil CO₂ efflux in a mixed pine-oak forest in Valsain (Central Spain). *TheScientificWorldJournal*, 7(SUPPL. 1), 166–174. <https://doi.org/10.1100/tsw.2007.7>
- ISO 16072. (2002). Soil quality-Laboratory methods for determination of microbial respiration. *Iso 16072:2002(E)*, 2002, 26. <https://doi.org/10.5594/J09750>
- Llorente, M., Lafuente, F., Ruipérez, C., & Turrión, M. B. (2008). Uso De Parametros Edáficos Como Indicadores Del Efecto Del Uso Del Suelo En El Páramo Calizo Castellano-Leonés. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 279, 273–279.
- López, M. J., Anta, M., Álvarez-Álvarez, P., López Varela, B., Antonio, J., & Fernández, G. (2012). *Quercus petraea* (Matt.) Liebl *Quercus robur* L.
- Luo, X., Hou, E., Zang, X., Zhang, L., Yi, Y., & Wen, D. (2019). Effects of elevated atmospheric CO₂ and nitrogen deposition on leaf litter and soil carbon degrading enzyme activities in a Cd-contaminated environment: A mesocosm study. *Science of The Total Environment*, 671, 157–164. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.03.374>
- Martínez H, E., Fuentes E, J. P., & Acevedo H, E. (2018). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8, 68–96.
- Ministerio de Agricultura pesca y alimentacion, M. (2011). *Mantenimiento y toma de datos de la red Europea de seguimiento a gran escala de los bosques en España (Red de Nivel I) FUTMON*.
- Mora, J. R. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. *Luna Azul*, (1), 1–6.
- Murwira, H. K., Kirchmann, H., & Swift, M. J. (1990). The effect of moisture on the decomposition rate of cattle manure. *Plant and Soil*, 122(2), 197–199. <https://doi.org/10.1007/BF02851975>
- Nadal, I. (2016). *Alteraciones fisiológicas, metabólicas y de la composición de las poblaciones bacterianas de la microbiota de un suelo agrícola tras la aplicación de residuos orgánicos urbanos* (Universidad Complutense de Madrid). Retrieved from <https://eprints.ucm.es/36128/1/T36922.pdf>
- Palacio, G., & Ruiz, D. (2014). *Tratamiento selvícolas preventivos de incendios en la seccion territorial de ordenación y mejora II, en los terminos municipales*



de Aguilar de Campóo, Pomar de Valdivia y otros, Comarca de Campoo Palencia. Retrieved from

http://servicios4.jcyl.es/Duero/Publicacion_E/A2014_000381/ZJCYL01C673BB53D7CBF60FE1000000A10929C.pdf

- Prager, M., Rojas, a, Pérez, J., Zúñiga, O., & Gascó, J. (2006). Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro , Valle del Cauca , Colombia. *Acta Agronómica*, 55(4), 7–12.
- Uribe, C., Inclán, R., Sánchez, D. M., Clavero, M. A., Fernández, A. M., Morante, R., ... Van Miegroet, H. (2013). Effect of wildfires on soil respiration in three typical Mediterranean forest ecosystems in Madrid, Spain. *Plant and Soil*, 369(1–2), 403–420. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1576-x>
- Vásquez, J. R., Macías, F., & Menjivar, J. C. (2013). Respiración del Suelo Según su Uso y su Relación son Algunas Formas se Carbono en el Departamento de Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 25(3), 175–180.
- Villanueva, L., Casanova, L., Ramírez, A., & Martínez, Z. (2014). INFLUENCIA DEL SISTEMA SILVOPASTORIL “CERCAS VIVAS” DE *Gliricidia sepium* EN LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN TACOTALPA, TABASCO, MÉXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(2), 261–266.
- Xu, W., Yuan, W., Cui, L., Ma, M., & Zhang, F. (2019). Responses of soil organic carbon decomposition to warming depend on the natural warming gradient. *Geoderma*, 343(April 2018), 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.017>



ANEXO 1: Metodologías de Análisis

1.1 DETERMINACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA. MINERALIZACIÓN DEL CARBONO EDÁFICO

Equipos y materiales

- Frascos de 500 ml con cierre hermético
- Tubos con trípode contenedores de la disolución NaOH
- Cámaras de incubación con temperatura ajustable
- Bureta de 25 ml
- Probeta de vidrio de 25 ml
- Pipetas automáticas y puntas de pipeta
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- Balanza de precisión de 3 decimales

Reactivos

- Disoluciones: NaOH 0,25 M HCl 0,125 M BaCl₂ 1M
- Indicadores: fenolftaleína y naranja de metilo) Na₂CO₃ patrón primario secado en estufa

Procedimiento

Inicialmente se determinó la capacidad máxima de retención de humedad de los suelos siguiendo el método establecido por la norma internacional ISO 16072 relativa a la calidad del suelo: Método de laboratorio para la determinación de la respiración microbiana del suelo (ISO 16072, 2002).



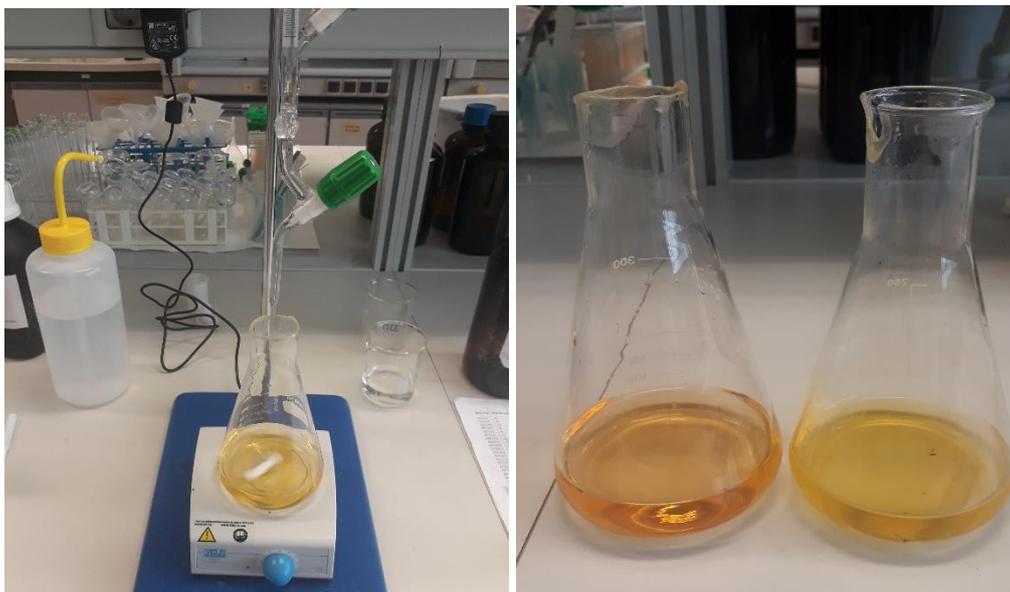
Figuras 1 y 2. Pruebas de capacidad máxima de retención de humedad en suelos

Luego se depositó 40 gramos de suelo en frascos de vidrio con cierre hermético y se humedeció al 50 % de su capacidad máxima de retención de humedad. En estos frascos se introdujo un vial con 10 ml de NaOH 0,25 M colocado sobre un pequeño trípode para mantenerlo separado del suelo, posteriormente se cerró el

frasco y se colocó en una incubadora a una temperatura de 25° C. Periódicamente fueron retirados los viales con NaOH para realizar la estimación del CO₂ desprendido en la respiración, por lo cual se depositó el contenido de cada vial en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, realizando 3 lavados con agua destilada para arrastrar bien el contenido del vial, posteriormente se le añadió 3ml de la disolución de BaCl₂ 0,5M, con el fin de precipitar todo el CO₂ absorbido, y 1 gota de fenolftaleína, seguidamente se valoró la disolución con HCl 0,125 M hasta que perdiera el color rosa, quedando blanco (Figura 9 y 10). Para estudiar la evolución de la respiración se colocó nuevamente un vial con otros 10 ml de NaOH, y se incubó igualmente para la siguiente determinación de CO₂ liberado evitando que todo el NaOH se consumiera por reacción con el CO₂; debido a que dicha situación daría lugar a una subestimación de la respiración al no poderse recoger todo el CO₂ respirado. Las medidas se realizaron a los 2, 5, 9, 16, 23, 36, 47, 60, 74 y 88 días, y cada muestra fue probada por triplicado. Para las muestras control o blancos se prepararon 3 frascos de igual volumen sin suelo y con los 10 ml de NaOH en los viales como en los de suelo. Para la titulación de la disolución de HCl con la que se valoró las muestras, se preparó 3 blancos con 0,130 g de Na₂CO₃ grado patrón primario secado en estufa, disueltos en matraces Erlenmeyer con 50 ml de agua destilada y unas gotas de indicador naranja de metilo, luego se realizó la valoración con el HCl hasta que se observara un viraje de amarillo a salmón (Figura 11 y 12). Esta valoración se realizó cada vez que se preparó nueva disolución valorante.



Figuras 3 y 4. Valoración C- CO₂



Figuras 5 y 6. Valoración del HCl

1.2 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE (Walkley y Black)

Equipos y materiales

- Matracas Erlenmeyer de 500 y 250 ml
- Recipiente pesasustancias
- Probeta de 100ml
- Pipetas de 10 y 20ml
- Bureta automática
- Ácido sulfúrico concentrado (dosificador)
- Ácido fosfórico concentrado (dosificador)
- Disolución de Difenilamina (dosificador)
- Disolución de Dicromato potásico 1 N
- Disolución de Sal de Mohr 0,5N

Disolución de difenilamina: disolver 2,5 g de difenilamina en una mezcla de 100 ml de agua y 500 ml de ácido sulfúrico concentrado frío, echando la mezcla sobre la difenilamina.



Disolución de Dicromato potásico 1N Para 1 litro de disolución: Previamente, poner el Dicromato 2h en estufa a 105°C, dejar enfriar en el desecador. Disolver 49,05g en 800ml de agua destilada, llevar hasta 1 litro.

Disolución de Sal de Mohr 0,25N para 1l litro de disolución: Disolver 196,1g de Sulfato ferroso amónico en 800ml de agua destilada, agregar 20ml de ácido sulfúrico concentrado por litro de disolución.

Procedimiento

Inicialmente se realizó una evaluación visual del color de las muestras de suelo, luego se pesó entre 0,5g y 2g de suelo por cada muestra analizada (suelos con alto contenido en materia orgánica aproximadamente 0,5 g; y suelos con bajo contenido 2 g). Posteriormente se depositó en un matraz Erlenmeyer de 500 ml y se le añadió 10 ml de dicromato de potasio 1 N, agitando suavemente y evitando que partículas de suelo quedaran adheridas a la pared. Luego se añadió lentamente 20 ml de ácido sulfúrico concentrado se agito suavemente por unos segundos y se dejó reaccionar en campana durante 30 minutos. Posteriormente se añadió 150 ml de agua destilada y 10 ml de fosfórico del 50%, se agitó y se enfrió al grifo. Luego se añadió, 2 ml de disolución de difenilamina a cada matraz y finalmente se valoró con Sal de Mohr 0,5 N hasta que el color cambiara de negro a verde. Para la valoración de la disolución de sulfato ferroso amónico (blancos) se añadió 10 ml de la disolución 1 N de dicromato de potasio (empleada para la muestra de suelo) en matraces Erlenmeyer de 250 ml, luego se añadió 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se agito suavemente, posteriormente se añadió 150 ml de agua destilada y 10 ml de fosfórico del 50 %. Se agitó y se enfrió al grifo. Luego se añadió 2 ml de difenilamina a cada matraz y se valoró con la disolución de Sal de Mohr hasta obtener un color verde brillante. Finalmente se realizó el cálculo del % de Carbono Orgánico oxidable mediante la ecuación [6].

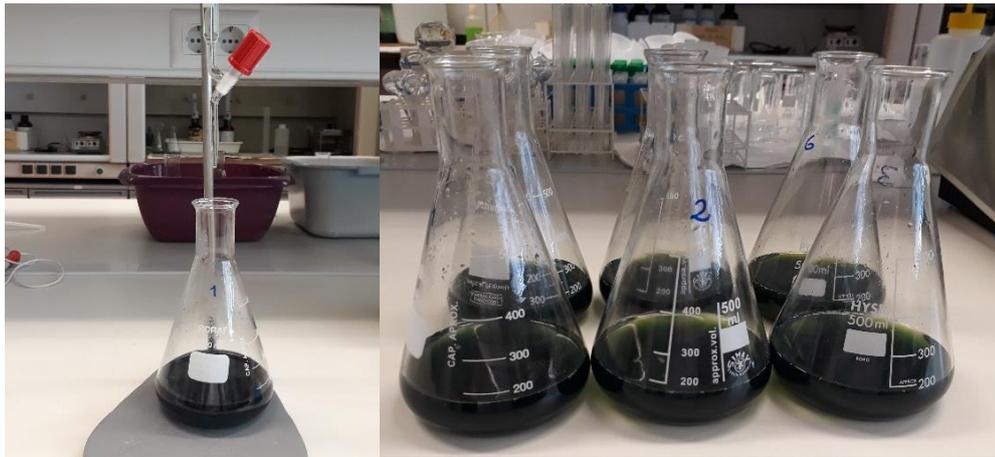
$$\% \text{Carbono Orgánico Oxidable} = \frac{0,003 * 100 * M - M'}{P} \text{ [Ecuación 6]}$$

Donde:

M = miliequivalentes de Dicromato añadidos. (Volumen*Normalidad)

M'= miliequivalentes de Sal de Mohr consumidos.

P = peso (g) de la muestra referido a peso en seco a 105°C



Figuras 7 y 8. Valoración con disolución de Sal de Mohr

1.3 DETERMINACIÓN DEL C Y N DE LA BIOMASA MICROBIANA

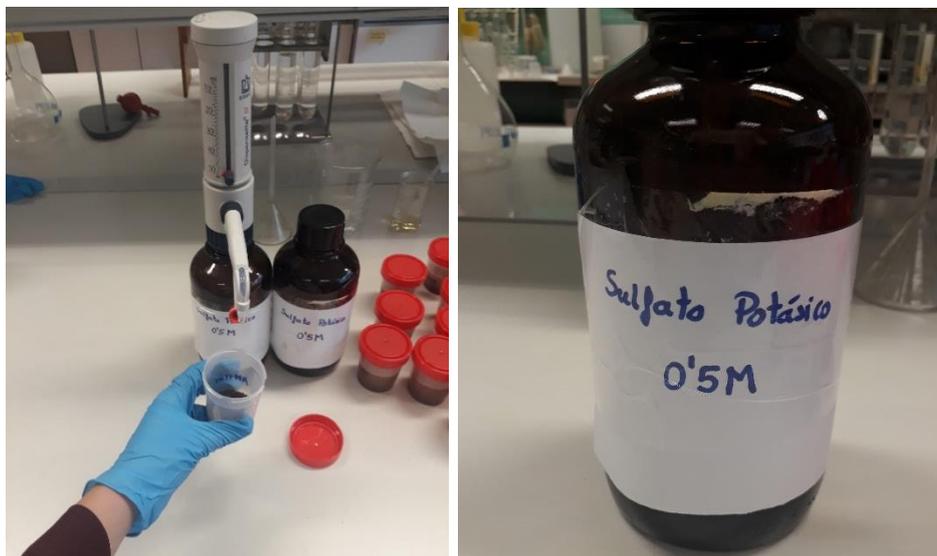
Equipos y materiales

- Balanza
- Capsulas de porcelana
- Recipientes de plástico
- Desecador de vacío
- Bomba de vacío
- Incubadora
- Recipiente de vidrio
- Cloroformo libre de etanol
- Disolución K_2SO_4 0,5 M
- Papel filtro Whatman 42

Procedimiento

Se pesaron en capsulas de porcelana 15 g de suelo de cada muestra incubada, para llevar a fumigar y 15 g de suelo en recipientes de plástico para dejar sin fumigar, posteriormente se preparó el desecador de vacío, el cual fue empleado como recipiente de fumigación, en el fondo del mismo y sin sustancia desecante se colocó un recipiente de vidrio con cloroformo libre de etanol, luego se introdujeron las capsulas de porcelana, se cerró el desecador y se conectó la bomba de vacío por unos minutos, hasta que se evacuo el aire del interior y se provocó la ebullición del cloroformo (desecador saturado de cloroformo).

Posteriormente las muestras se dejaron fumigando en total oscuridad a 25 °C durante 24 horas. Transcurrido el tiempo de fumigación se eliminó la mayor cantidad posible de cloroformo contenido en las muestras mediante el procedimiento de aireación y succión. Luego se tomaron tanto las muestras fumigadas como las no fumigadas y se le añadió 50 ml de disolución K_2SO_4 0,5 M (solución extractante), posteriormente se agitaron durante 45 minutos a 40 r.p.m. Tras la extracción, se realizó el filtrado del extracto, con papel filtro Whatman 42 y finalmente se procedió a analizar el filtrado. En los extractos resultantes se determinó la concentración de C y N mediante el analizador TOC SKALAR.



Figuras 9 y 10. Solución extractante



Figuras 11 y 12. Procedimiento de Filtrado y Extracción



ANEXO 2: Descripción de los perfiles edáficos



Parcela/Subparcela: APine1 Tipo de masa: Monoespecífica (Pino)

1. Descripción del sitio

Descrito por:	Marina Getino Álvarez
Fecha:	10/07/18
Condiciones meteorológicas:	Húmedo y soleado Tº max 24°C; Tm 18°C; Tº min 13°C; lluvia en días previos
Datos climáticos:	Temperatura media anual 9,9°C; Precipitación media anual 658 mm
Sitio de estudio:	Monte utilidad pública nº1 "Aguilar"
Localización:	Valberzoso, Aguilar de Campoo (Palencia)
Coordenadas (UTM, WGS84):	30T 398583 4750297
Altitud:	1155 msnm
Geomorfología:	Montaña de gradiente medio
Pendiente:	Inclinación moderada; 25,6%
Orientación:	Sur-Este
Material original:	Areniscas, conglomerados y lutitas
Uso del suelo y vegetación:	Repoblación de <i>Pinus sylvestris</i> . Sotobosque dominado por zarzales y helechos. Desarrollo MEDIO.
Profundidad efectiva:	72 cm
Pedregosidad superficial:	Baja
Afloramientos rocosos:	Sin afloramientos rocosos
Clima del suelo (Soil Taxonomy):	
Régimen de humedad:	Ústico
Régimen de temperatura:	Mésico
Drenaje:	Bueno
Evidencias de erosión:	Sin evidencias
Influencia humana:	luocercada
Salinidad:	Sin evidencias
Costra superficial:	Sin evidencias



Ilustración 1. Parcela APine1. Getino-Álvarez, M. (2018)



Descripción de la hojarasca: Material fresco (L): 1 cm, Fragmentado (F): 1 cm, Humificado (H): 2 cm
Cantidad de hojarasca total: 30,2 Mg/ha

2. Descripción de los horizontes

- A** (0-24 cm) brown (7.5YR 4/2) en seco, very dark brown (10YR 2/2) en húmedo; pocos elementos gruesos (1,13%); textura franco-arenosa; estructura granular, moderada-fuerte; duro, friable; no adherente; porosidad (muy alta) 57,19%; act. biológica no aparente; pocas raíces finas, abundantes medias; límite difuso.
- B** (24-43 cm) brown (7.5YR 4/2) en seco, dark brown (10YR 3/3) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,65%); textura franco-arenosa; estructura en bloques angulares, moderada; duro, friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 37,82%; actividad biológica no aparente; frecuentes raíces medias y gruesas; límite gradual, plano.
- C** (43-72 cm) strong brown (7.5YR 5/6) en seco, strong brown (7.5YR 5/6) en húmedo; frecuentes manchas negruzcas; frecuentes elementos gruesos (14,90%); textura franco-arenosa; estructura en bloques angulares, fuerte; muy duro, firme; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 34,85%; actividad biológica no aparente; pocas raíces gruesas.



Ilustración 2. Perfil edáfico APine1.
Getino-Álvarez, M. (2018)



Parcela/Subparcela: APine2 Tipo de masa: Monoespecífica (Pino)

1. Descripción del sitio

Descrito por:	Marina Getino Álvarez
Fecha:	20/11/17
Condiciones meteorológicas:	Seco y soleado Tmax 16°C; Tm 8°C; Tmin 4°C; sin precipitaciones
Datos climáticos:	Temperatura media anual 9,9°C; Precipitación media anual 658 mm
Sitio de estudio:	Monte utilidad pública nº1 "Aguilar"
Localización:	Valberzoso, Aguilar de Campoo (Palencia)
Coordenadas (UTM, WGS84):	30T 398484 4750270
Altitud:	1183 msnm
Geomorfología:	Montaña de gradiente medio
Pendiente:	Inclinación moderada, 25,5%
Orientación:	Sur-Este
Material original:	Areniscas, conglomerados y lutitas
Uso del suelo y vegetación:	Replacación de <i>Pinus sylvestris</i> . Sotobosque herbáceo, algún helecho. Desarrollo BAJO.
Profundidad efectiva:	71 cm
Pedregosidad superficial:	Muy baja
Afloramientos rocosos:	Sin afloramientos rocosos
Clima del suelo (Soil Taxonomy):	
Régimen de humedad:	Ústico
Régimen de temperatura:	Mésico
Drenaje:	Bueno
Evidencias de erosión:	Erosión superficial leve (escorrentía)
Influencia humana:	Zona cercada
Salinidad:	Sin evidencias
Costra superficial:	Sin evidencias

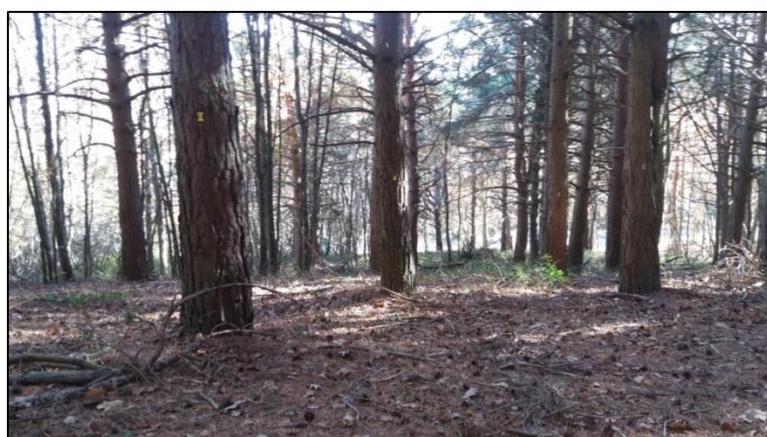


Ilustración 3. Parcela APine2. Getino-Álvarez, M. (2017)

Descripción de la hojarasca: Material fresco (L): 2,5 cm, Fragmentado (F): 1 cm, Humificado (H): 0,5 cm
Cantidad de hojarasca total: 25,7 Mg/ha

2. Descripción de los horizontes

- A (0-20 cm) brown (7,5YR 4,5/2) en seco, dark redish brown (5YR 3,5/2) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,01%); textura franco-arenosa; estructura granular; ligeramente duro, muy friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 45,18%; no mucha act. biológica apreciable; abundantes raíces finas y medias; límite neto, plano-ondulado.
- B (20-42 cm) pinkish gray (7,5YR 6/2) en seco, Brown (7,5YR 4/2) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,01%); textura franco-arenosa; estructura granular- en bloques; ligeramente duro-duro, friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 50,57%; no mucha act. biológica apreciable; algunas raíces medias; límite neto, plano-ondulado.
- BC (42-64 cm) pinkish gray (7,5YR 7/2) en seco, Brown (7,5YR 5/2) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,33%); textura franco-arenosa; sin estructura, láminas de arenisca; duro-muy duro, firme; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 46,81%; no mucha act. biológica apreciable; límite neto, plano-ondulado.
- C (64-71 cm) very pale brown (10YR 7/3,5) en seco, pale brown (10YR 5,5/3) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,34%); textura franco-arenosa; sin estructura roca madre; extraduro, friable; ligeramente adherente-adherente; no mucha act. biológica apreciable.



Ilustración 4. Perfil edáfico APine2. Getino-Álvarez, M. (2017)

Parcela/Subparcela: AOak1 Tipo de masa: Monoespecífica (Roble)

1. Descripción del sitio

Descrito por:	Marina Getino Álvarez
Fecha:	23/11/2017
Condiciones meteorológicas:	Seco y soleado Tmax 13°C; Tm 10°C; Tmin 8°C; sin precipitaciones
Datos climáticos:	Temperatura media anual 9,9°C; Precipitación media anual 658 mm
Sitio de estudio:	Monte utilidad pública nº1 "Aguilar"
Localización:	Valberzoso, Aguilar de Campoo (Palencia)
Coordenadas (UTM, WGS84):	30T 398608 4749704
Altitud:	1213m
Geomorfología:	Montaña de gradiente medio
Pendiente:	Inclinación moderada, 21,7%
Orientación:	Sur-Este
Material original:	Areniscas, conglomerados y lutitas
Uso del suelo y vegetación:	Parcela natural de <i>Quercus petraea</i> . Sotobosque dominado por zarzas y rebrotes de roble. Desarrollo MEDIO.
Profundidad efectiva:	62 cm
Pedregosidad superficial:	Muy baja
Afloramientos rocosos:	Algunos afloramientos rocosos
Clima del suelo (Soil Taxonomy):	
Régimen de humedad:	Ústico
Régimen de temperatura:	Mésico
Drenaje:	Bueno
Evidencias de erosión:	Sin evidencias
Influencia humana:	Zona cercada
Salinidad:	Sin evidencias
Costra superficial:	Sin evidencias



Ilustración 5. Parcela AOak1. Getino-Álvarez, M. (2017)

Descripción de la hojarasca: Material fresco (L): 4 cm, Fragmentado (F): 2 cm, Humificado (H): 1 cm
Cantidad de hojarasca total: 19,1 Mg/ha

Descripción de los horizontes

- A (0-20 cm) brown (7,5YR 5,5/2) en seco, dark brown (7,5YR 3,5/2) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,10%); textura franco-arenosa; estructura granular; ligeramente duro, muy friable; ligeramente adherente; bastante act. biológica apreciable; abundantes raíces finas y medias; límite gradual, plano-ondulado.
- B (20-40 cm) very pale brown (10YR 7/3) en seco, brown (7,5YR 4,5/3) en húmedo; pocos elementos gruesos (1,41%); textura franco-arenosa; estructura angular, fuerte; muy duro, friable; ligeramente adherente-adherente; porosidad (muy alta) 47,04%; bastante act. biológica apreciable; abundantes raíces finas; límite difuso.
- C (40-62 cm) very pale brown (10YR 7/4) en seco, light brown (7,5YR 5,5/4) en húmedo; frecuentes manchas marrón oscuro; abundantes elementos gruesos (39,24%); textura franco-arenosa; sin estructura roca madre; muy duro-extraduro, friable; ligeramente adherente; act. biológica no aparente.



Ilustración 6. Perfil edáfico AOak1.
Getino-Álvarez, M. (2017)



Parcela/Subparcela: AOak2 Tipo de masa: Monoespecífica (Roble)

1. Descripción del sitio

Descrito por:	Marina Getino Álvarez
Fecha:	10/07/18
Condiciones meteorológicas:	Húmedo y soleado Tmax 24°C; Tm 18°C; Tmin 13°C; lluvia en días previos
Datos climáticos:	Temperatura media anual 9,9°C; Precipitación media anual 658 mm
Sitio de estudio:	Monte utilidad pública nº1 “Aguilar”
Localización:	Valberzoso, Aguilar de Campoo (Palencia)
Coordenadas (UTM, WGS84):	30T 398602 4749606
Altitud:	1219 msnm
Geomorfología:	Montaña de gradiente medio
Pendiente:	24,8%
Orientación:	Sureste
Material original:	Areniscas, conglomerados y lutitas
Uso del suelo y vegetación:	Parcela natural de <i>Quercus petraea</i> . Sotobosque herbáceo, algún acebo. Desarrollo BAJO.
Profundidad efectiva:	65 cm
Pedregosidad superficial:	Baja
Afloramientos rocosos:	Algún afloramiento rocoso
Clima del suelo (Soil Taxonomy):	
Régimen de humedad:	Ústico
Régimen de temperatura:	Mésico
Drenaje:	Bueno
Evidencias de erosión:	Sin evidencias
Influencia humana:	Zona cercada
Salinidad:	Sin evidencias
Costra superficial:	Sin evidencias



Ilustración 7. Parcela AOak2. Getino-Álvarez, M. (2018)

Descripción de la hojarasca: Material fresco (L): 1,5 cm, Fragmentado (F): 1 cm, Humificado (H): 2,5 cm
Cantidad de hojarasca total: 18,4 Mg/ha

2. Descripción de los horizontes

- A (0-20cm) grayish brown (10YR 5/2) en seco, black (10YR 2/1) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,10%); textura franco-arenosa; estructura granular, moderada; blando, muy friable; no adherente; porosidad (muy alta) 58,68%; presencia de lombrices; pocas raíces finas, frecuentes medias y gruesas; límite neto, plano.
- B (20-43cm) pale brown (10YR 6/3) en seco, brown (7.5YR 4/4) en húmedo; algunas manchas marrones claro; pocos elementos gruesos (3,01%); textura franco-arenosa; estructura en bloques angulares, moderado; duro, muy friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 39,87%; act. biológica no aparente; pocas raíces finas, frecuentes medias y gruesas; límite gradual, plano.
- C (43-65cm) light yellowish brown (10YR 6/4) en seco, strong brown (7.5YR 4/6) en húmedo; frecuentes manchas gris oscuro; muchos elementos gruesos (16,03%); textura franco-arenosa; estructura en bloques angulares, moderado; duro, muy friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 35,79%; act. biológica no aparente; pocas raíces finas y gruesas.



Ilustración 8. Perfil edáfico AOak2.
Getino-Álvarez, M. (2018)



Parcela/Subparcela: AMix1

Tipo de masa: Mixta (Pino-Roble)

1. Descripción del sitio

Descrito por:	Marina Getino Álvarez, Luisa Fernanda Velásquez Camacho
Fecha:	10/07/18
Condiciones meteorológicas:	Húmedo y soleado (algunas zonas encharcadas) Tmax 24°C; Tm 18°C; Tmin 13°C; lluvia en días previos
Datos climáticos:	Temperatura media anual 9,9°C; Precipitación media anual 658 mm
Sitio de estudio:	Monte utilidad pública nº1 "Aguilar"
Localización:	Valberzoso, Aguilar de Campoo (Palencia)
Coordenadas (UTM, WGS84):	30T 398564 4749973
Altitud:	1193 msnm
Geomorfología:	Montaña de gradiente medio
Pendiente:	20,4%
Orientación:	Sur-Este
Material original:	Areniscas, conglomerados y lutitas
Uso del suelo y vegetación:	Parcela mixta de <i>Pinus sylvestris</i> y <i>Quercus petraea</i> . Sotobosque dominado por gramíneas. Desarrollo BAJO.
Profundidad efectiva:	70 cm
Pedregosidad superficial:	Baja
Afloramientos rocosos:	Algún afloramiento rocoso
Clima del suelo (Soil Taxonomy):	
Régimen de humedad:	Ústico
Régimen de temperatura:	Mésico
Drenaje:	Bueno
Evidencias de erosión:	Erosión superficial leve (escorrentía)
Influencia humana:	Zona cercada
Salinidad:	Sin evidencias
Costra superficial:	Sin evidencias



Ilustración 9. Parcela AMix1. Getino-Álvarez, M. (2018)

2. Descripción de los horizontes

- A (0-9 cm) grayish brown (10YR 5/2) en seco, dark brown (7.5YR 3/2) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,18%); textura franco-arenosa; estructura granular, moderada; blando, muy friable; ligeramente adherente; act. biológica no aparente; pocas raíces finas, pocas raíces medias; límite neto, plano.
- B (9-33 cm) gray (10YR 6/1) en seco, brown (7.5YR 4/2) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,19%); textura franco-arenosa; estructura en bloques subangulares, fuerte; duro, muy friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 43,09%; act. biológica no aparente; pocas raíces finas, frecuentes medias y gruesas; límite difuso.
- B? (33-43 cm) light gray (10YR 7/2) en seco, brown (7.5YR 5/2) en húmedo; pocos elementos gruesos (3,30%); textura franco-arenosa; estructura en bloques angulares, fuerte; ligeramente duro, muy friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 45,96%; act. biológica no aparente; pocas raíces finas y medias; límite difuso.
- C (43-70 cm) very pale brown (10YR 7/3) en seco, yellowish brown (10YR 5/4) en húmedo; muchas manchas negruzcas; pocos elementos gruesos (1,47%); textura franco-arenosa; estructura en bloques angulares, fuerte; duro, friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 39,49%; act. biológica no aparente; pocas raíces finas y medias.



Ilustración 10. Perfil edáfico AMix1. Getino-Álvarez, M. (2018)



Parcela/Subparcela: AMix2

Tipo de masa: Mixta (Pino-Roble)

1. Descripción del sitio

Descrito por:	Marina Getino Álvarez
Fecha:	20/11/07
Condiciones meteorológicas:	Seco y soleado Tmax 16°C; Tm 8°C; Tmin 4°C; sin precipitaciones
Datos climáticos:	Temperatura media anual 9,9°C; Precipitación media anual 658 mm
Sitio de estudio:	Monte utilidad pública nº1 "Aguilar"
Localización:	Valberzoso, Aguilar de Campoo (Palencia)
Coordenadas (UTM, WGS84):	30T 398601 4749644
Altitud:	1239 msnm
Geomorfología:	Montaña de gradiente medio
Pendiente:	22,6%
Orientación:	Sur-Este
Material original:	Areniscas, conglomerados y lutitas
Uso del suelo y vegetación:	Parcela mixta de <i>Pinus sylvestris</i> y <i>Quercus petraea</i> . Sotobosque herbáceo, algún zarzal. Desarrollo BAJO.
Profundidad efectiva:	52 cm
Pedregosidad superficial:	Escasa
Afloramientos rocosos:	Algún afloramiento rocoso (muchos en los alrededores)
Clima del suelo (Soil Taxonomy):	
Régimen de humedad:	Ústico
Régimen de temperatura:	Mésico
Drenaje:	Bueno
Evidencias de erosión:	Sin evidencias
Influencia humana:	Zona cercada
Salinidad:	Sin evidencias
Costra superficial:	Sin evidencias



Ilustración 11. Parcela AMix2. Getino-Álvarez, M. (2017)

Descripción de la hojarasca: Material fresco (L): 3 cm, Fragmentado (F): 1 cm, Humificado (H): 2 cm
Cantidad de hojarasca total: 24,9 Mg/ha

2. Descripción de los horizontes

- A (0-21 cm) brown (7,5YR 4,5/2) en seco, very dark gray (7,5YR 3/1) en húmedo; frecuentes manchas negruzcas; sin elementos gruesos (0%); textura franco-arenosa; estructura granular, moderada; ligeramente duro-duro, muy friable; ligeramente adherente; porosidad (muy alta) 46,05%; no mucha act. biológica apreciable; abundantes raíces finas y medias; límite difuso.
- B (21-46 cm) pinkish gray (7,5YR 5,5/2) en seco, brown (7,5YR 4/2) en húmedo; algunas manchas negruzcas; muy pocos elementos gruesos (0,08%); textura franco-arenosa; estructura en bloques angulares, moderada; duro-muy duro, friable; ligeramente adherente-adherente; porosidad (muy alta) 52,42%; no mucha act. biológica apreciable; abundantes raíces finas; límite difuso.
- C (46-53 cm) light brown (7,5YR 6/3) en seco, brown (7,5YR 5/3) en húmedo; muy pocos elementos gruesos (0,09%); textura franco-arenosa; sin estructura roca madre; muy duro-extraduro, friable; ligeramente adherente-adherente; no mucha act. biológica apreciable.



Ilustración 12. Perfil edáfico AMix2. Getino-Álvarez, M. (2017)