

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Estudio a corto plazo de un tratamiento selvícola en una masa forestal de *Quercus illex* en el monte de La Hunde (Ayora) sobre propiedades químicas, biológicas y bioquímicas del suelo”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Gemma Fernández Hernández

Tutor/a:

Cristina Lull Noguera

GANDIA, 2017

Agradecimientos: *A mi tutora Cristina por toda la paciencia que ha tenido conmigo y este proyecto, y todas la horas que ha dedicado a ayudarme.*

RESUMEN

La importancia del suelo como recurso natural y su preservación se ha convertido en un factor importante dentro del marco del desarrollo sostenible, debido a sus múltiples funciones: ambiental, económica y social. La importancia de un uso racional y una correcta gestión forestal, favorecerán un futuro sostenible para este recurso y por lo tanto para la población mundial. La implantación de un tratamiento selvícola supone cambios en la estructura del suelo, modificando las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y variando de este modo su calidad. En este estudio se observa la evolución de estas propiedades en dos parcelas de una misma zona, una tratada y otra control en un periodo a corto plazo, con el fin de determinar la utilidad y funcionalidad de la aplicación de un tratamiento selvícola sobre una masa forestal. Para este fin se han estudiado indicadores de la calidad el suelo como la humedad relativa, respiración microbiana, la dinámica del nitrógeno mineral o el carbono orgánico, observándose diferencias significativas en el Nitrogeno mineral y lixiviado entre ambas parcelas. Por otro lado, el resto de los indicadores no reflejan ninguna diferencia significativa o se mantienen con unos niveles similares.

Palabras clave: Calidad del suelo, tratamiento selvícola, ecosistema forestal, propiedades del suelo, ciclo del nitrógeno.

ABSTRACT

The importance of soil as a natural resource and its preservation has become an important factor within the framework of sustainable development, due to its multiple functions: environmental, economic and social. The importance of a rational use and a correct forest management, will favor a sustainable future for this resource and therefore for the world population. The implantation of a silvicultural treatment implies changes in the structure of the soil, modifying the physical, chemical and biological properties of the same and varying its quality. This study shows the evolution of these properties in two plots of the same area, a treatment and another control in a short term period, in order to determine the usefulness and functionality of the application of a silvicultural treatment on a forest mass . For this purpose, soil quality indicators such as relative humidity, microbial respiration, mineral nitrogen dynamics or organic carbon have been studied. Significant differences were observed in mineral Nitrogen and leachate between both plots. On the other hand, the rest of the indicators do not reflect any significant difference or are maintained at similar levels.

Key words: Soil quality, silvicultural treatment, forest ecosystem, soil properties, nitrogen cycle.

Índice

1.	INTRODUCCION	1
1.1.	Importancia de los ecosistemas forestales	1
1.2.	Caracterización de los bosques mediterráneos	5
1.2.1.	Encinares	5
1.3.	Importancia del suelo y su protección	5
1.3.1.	Secuestro de Carbono en el suelo y la biomasa y su importancia para el medio ambiente 6	
1.4.	Como afecta el cambio climático a los ecosistemas forestales	7
1.5.	CONCEPTO DE SUELO: Calidad de suelo y propiedades físicas, químicas y biológicas	7
1.5.1.	El carbono en el suelo	9
1.5.2.	Los microorganismos en el suelo	11
1.5.3.	El nitrógeno en el suelo.....	12
1.6.	Gestión selvícola	14
1.6.1.	Gestión selvícola en España	15
1.6.2.	La Clara o Resalveo.....	15
2.	OBJETIVOS Y JUSTIFICACION	17
3.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
3.1.	Área de estudio	19
3.2.	Muestreo	22
3.3.	Análisis de los suelos.	23
3.3.1.	Humedad y factor humedad	23
3.3.2.	Materia orgánica	24
3.3.3.	Carbono orgánico soluble	24
3.3.4.	Carbono de la biomasa microbiana.....	25
3.3.5.	Nitrógeno	26
3.3.6.	Respiración microbiana.....	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	29
4.1.	Caracterización del suelo en la zona de estudio	29
4.2.	La humedad del suelo	30
4.3.	El carbono orgánico soluble (COS)	31
4.4.	El carbono de la biomasa microbiana	32
4.5.	Respiración basal o microbiana	33

4.6. Dinámica del Nitrógeno mineral en el suelo	35
4.6.1. Nitrógeno lixiviado	38
4.6.2. Nitrificación	40
4.6.3. Nitrógeno mineralizado.....	41
4.7. Caracterización del mantillo en la zona de estudio	42
4.8. Matriz de correlación	44
5. CONCLUSIONES	46
6. BIBLIOGRAFÍA	48

Índice de Figuras

Figura 1. Funciones designadas a los bosques del mundo. Fuente: FRA 2010.....	3
Figura 2. Mapa de distribución de formaciones boscosas en España. Fuente: Eco-Agricultor	4
Figura 3. Triangulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto de sostenibilidad. Fuente: Hünne Meyer y col. (1997).	8
Figura 4. Ciclo del Carbono y Nitrógeno con los principales procesos mediados por los microorganismos (modificado de Macdonald y col., 2011).....	11
Figura 5. Ciclo del nitrógeno en el suelo en ecosistemas forestales (Schimel y Bennet, 2004; Rennenberg y col., 2009)	12
Figura 6. Localización del área de estudio	19
Figura 7. Ficha de la Hunde y Palomera del catálogo de montes	20
Figura 8. Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio	21
Figura 9. Temperatura y precipitación de la zona de estudio en el periodo de muestreo	22
Figura 10. Parcelas del estudio	22
Figura 11. Puntos de muestreo dentro de las parcelas.	23
Figura 12. Proceso de elaboración de los tubos de resina	28
Figura 13. Humedad (%) en el suelo (septiembre de 2016) de las parcelas Tratada (T) y Control (C), comparándolas por posición. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	30
Figura 14. Humedad (%) en el suelo (noviembre de 2016) de las parcelas Tratada (T) y Control (C), comparándolas por posición. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	31
Figura 15. Carbono orgánico soluble en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).	32
Figura 16. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	33
Figura 17. Respiración basal (C-CO ₂ (mg kg ⁻¹ s)) en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	34
Figura 18. Respiración basal acumulada en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo durante los 15 días de medición.	35
Figura 19. Contenido en nitrógeno mineral en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de septiembre de 2016. Los datos señalados con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	36
Figura 20. Contenido en nitrógeno mineral en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de noviembre de 2016. Los datos señalados con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	36
Figura 21. Contenido en amonio en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de septiembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).	37

Figura 22. Contenido en amonio en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de noviembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).	37
Figura 23. Contenido en nitratos en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de septiembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).	38
Figura 24. Contenido en nitratos en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de noviembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).	38
Figura 25. N lixiviado en las parcelas Tratada (T) y Control (C). Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	39
Figura 26. Amonio lixiviado en las parcelas Tratada (T) y Control (C). Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	40
Figura 27. Nitratos lixiviados en las parcelas Tratada (T) y Control (C).. Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$)	40
Figura 28. Nitrificación en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	41
Figura 29. Mineralización neta en las parcelas Tratada (T) y Control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$)	41
Figura 30. Factor humedad (%) en el mantillo de la zona de estudio en la parcela tratada (T) y control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$).....	42
Figura 31. Carbono orgánico soluble en el mantillo de la zona de estudio en las parcelas tratada (T) y control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$)	43
Figura 32. Nitrógeno en el mantillo de la zona de estudio en las parcelas tratada (T) y control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD ($p \text{ valor} \leq 0.05$)	43

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.	9
Tabla 2. Características de las resinas de intercambio iónico.	27
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del suelo de las parcelas de estudio. Galiana (1998). ..	29
Tabla 4. Matriz de correlación lineal de las variables de estudio. (*, ** y *** significativa a $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$ respectivamente, NS, no significativa).....	45

INTRODUCCION

1.1. Importancia de los ecosistemas forestales

En la Ley de Montes 43/2003, de 21 de noviembre de 2003, se define la superficie forestal o monte como “todo terreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontánea o procedan de siembra o plantación, que cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas o recreativas...”.

Los ecosistemas forestales juegan un papel muy importante desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, de la mitigación del cambio climático (o la adaptación a él) mediante por ejemplo el almacenaje de carbono, de la lucha contra problemas ambientales como la desertificación, la degradación del suelo, etc., y del desarrollo económico y social.

Durante millones de años los bosques han proporcionado beneficios esenciales para la vida en la tierra, y en concreto para la calidad de vida de los seres humanos, proporcionando múltiples recursos y alimentos, como madera, semillas y frutos, cobijo, etc. De este modo el ser humano llegó a desarrollar un vínculo que con el paso de los años y el avance del desarrollo económico, se ha ido perdiendo, y con él el correcto aprovechamiento de estos recursos y por lo tanto el mantenimiento de los ecosistemas forestales. El avance tecnológico ha ayudado a entender el funcionamiento de estos ecosistemas y colabora en la búsqueda de mejoras y soluciones para una buena gestión forestal.

De acuerdo con Pizarro y col. (2005), el bosque es capaz de generar un ecoclima particular comparado con el de un sitio descubierto, dado que en el interior de éste se produce una disminución de la luminosidad de hasta un 90%, disminuyendo la temperatura media anual en unos 4°C. También, en el bosque se reduce la velocidad del viento a la cuarta parte y se presentan condiciones de mayor humedad con un aumento medio del 10% diario (Linsley y col., 1997). En los bosques disminuye la velocidad del viento y se favorece su movimiento ascensional, se atenúa el impacto hídrico directo sobre la superficie del suelo y se reduce la escorrentía superficial. Además, disminuye la probabilidad de desertificación.

Los ecosistemas forestales son un sumidero de CO₂, disminuyendo considerablemente la concentración en la atmosfera, proporcionan el oxígeno necesario para la vida y conforman una cuna de diversidad biológica.

Según el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) se define ecosistema como "un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional". Los componentes vivos de un ecosistema interactúan en cadenas alimentarias de gran complejidad (Schoener, 1989).

Aunque todavía no se conocen plenamente las relaciones entre la diversidad taxonómica, la productividad, la estabilidad y la adaptabilidad de los ecosistemas, las investigaciones indican que la diversidad de especies aumenta la capacidad productiva de muchos ecosistemas forestales y su adaptación a las nuevas condiciones (Johnson y col., 1996).

En junio de 1997 el Grupo Intergubernamental sobre los Bosques establecido por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en las Naciones Unidas, aprobó un texto en relación a la aplicación de los acuerdos de Río, donde resumía la preocupación mundial que existía en relación al trato y el estado de los bosques : “La ordenación, la conservación y el desarrollo sostenible de todos los tipos de bosques son fundamentales para el desarrollo económico y social, la protección del medio ambiente y los sistemas sustentadores de la vida en el planeta. Los bosques son parte integrante del desarrollo sostenible”. Es lógico pensar que en la actualidad, y cada vez con mayor fuerza, en la sociedad empieza a imperar una percepción más clara de las funciones de protección y los servicios ambientales que proporcionan los bosques y la importancia de una correcta ordenación forestal sostenible.

Es interesante conocer el documento “Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010-2015 (FRA (Forest Resources Assessment) 2010-2015)” de la Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) donde se describe la importancia de los bosques del mundo y el papel tan importante que desempeñan estos en el ciclo global del carbono.

Según este documento se estima que los bosques mundiales almacenan 296 Gt de carbono en su biomasa, lo que conlleva que los bosques juegan un papel esencial en la reducción o mitigación de los efectos del cambio climático y por tanto en la posibilidad de una vida sostenible en la Tierra. A pesar de esto, en los últimos 25 años las existencias de carbono en la biomasa forestal han ido reduciéndose casi 11,1 Gt, o lo que es lo mismo 1.6 Gt de dióxido de carbono (CO₂) aproximadamente. Esta disminución se debe a los cambios sufridos en las tierras forestales, debidos a las transformaciones en tierras agrícolas, los asentamientos humanos y la degradación de tierras forestales. No obstante, en el periodo entre 2010 y 2015 las pérdidas netas de carbono disminuyeron de 0,5 Gt a 0,3 Gt por año. Por tanto, esto confirma la concienciación que está tomando el ser humano sobre la necesidad de protección de las áreas forestales ante su utilidad contra la mitigación del cambio climático y sus efectos nocivos.

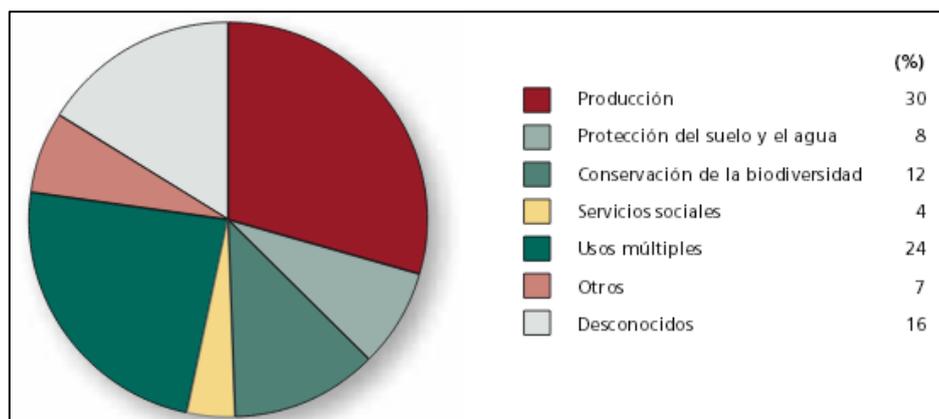


Figura 1. Funciones designadas a los bosques del mundo. Fuente: FRA 2010.

A pesar de las múltiples funciones designadas a los bosques mundiales, nos centraremos en dos: los bosques destinados a conservación de la biodiversidad, que suponen un 13 % en el 2015, y aquellos bosques que poseen protección del suelo y recursos hídricos como función principal que se estiman con un 8% del total.

“Se entiende por diversidad biológica las diversas formas de vida existentes, las funciones ecológicas que estas realizan y la diversidad genética que contienen” (FAO, 1989).

El mantenimiento de una diversidad biológica es crucial para garantizar la supervivencia y evolución de diferentes especies, tanto animales como vegetales, así como su adaptación al medio cambiante. Esta función supone pues, un factor importante para la sostenibilidad de la producción de los bosques a largo plazo, que ha ido evolucionando y progresando junto a la perspectiva de una ordenación forestal sostenible. Además de una función de protección y conservación de los recursos naturales como el suelo y los recursos hídricos, los bosques también poseen funciones en relación a otros recursos ambientales. Estos frenan la dispersión de agua, favoreciendo la infiltración y abastecimiento de aguas pluviales en las capas freáticas subterráneas. Asimismo, protegen el suelo de la erosión eólica e hídrica, la desertificación, las avalanchas y los desprendimientos. Desempeñan una función importante al filtrar contaminantes del agua y el aire. Proporcionan hábitats para el desarrollo de la biodiversidad y procesos ecológicos, económicos y de importancia sociocultural.

Entre 1990 y 2015 ha habido un incremento de 117 millones de ha para la conservación del suelo y los recursos hídricos, correspondiente a un aumento medio anual de 4,7 y 6,0 millones de ha respectivamente. Por lo tanto, se observa, que el bosque como función protectora se ha mantenido estable, mostrando así el interés que la restauración de los bosques despierta en la sociedad actual.

Referente a la evolución y la situación general de los montes españoles, no es hasta 1970 donde se empieza a dar comienzo a los planes de repoblación y se estabiliza la superficie forestal alrededor de unos 25 millones de ha, dejando atrás el declive producido en los

años anteriores y experimentado sobre todo por la conversión de montes en tierras de cultivo debido al incremento poblacional o las consecuencias socioculturales tras la guerra civil. Entre 1975 y 1995 se empieza a incrementar la tasa de superficies arboladas en España por la intensa actividad agrícola y el éxodo rural, dejando paso a una forestación natural o planificada de los terrenos marginales abandonados. A partir de aquí se sigue manteniendo, incluso incrementando, la superficie de bosques con el consiguiente avance de las políticas de forestación de tierras agrarias y regeneración natural.

Según el Perfil Ambiental de España 2015, los montes españoles ocupan un 55% de la superficie nacional, traduciéndose como 27,7 millones de hectáreas. Más del 66% de los montes son bosques, y el resto superficies de arbolado disperso o desarboladas. España, ofrece la tercera mayor extensión arbolada de la UE, siendo el segundo país con mayor superficie forestal tras Suecia.

España está representada por cuatro regiones biogeográficas (mediterránea, atlántica, macaronésica y alpina), distribuyendo así su vegetación de forma desigual e intermitente. Como podemos observar en la Figura 2, la superficie arbolada se puede clasificar en frondosas, coníferas y masas mixtas, representando las primeras un 55 % del total del arbolado en gran parte del país. Habitualmente y dependiendo de la especie, el 60 % de las superficies boscosas se componen por formaciones de una especie dominante, estando compuestos algo más de un 80% de los bosques españoles de dos o más especies arbóreas.

La variedad de bosques en España está formada principalmente por encinares (*Quercus ilex*), ocupando 2,8 millones de ha (15,4 % de la superficie arbolada), seguido por las coníferas (*Pinus halepensis*, *P.pinaster* y *P.sylvestris*), que conforman un 11% de la superficie de bosque, traduciéndose en 2 millones de hectáreas. En total, las masas de pinar ocupan un 28,5% de la superficie total del país.

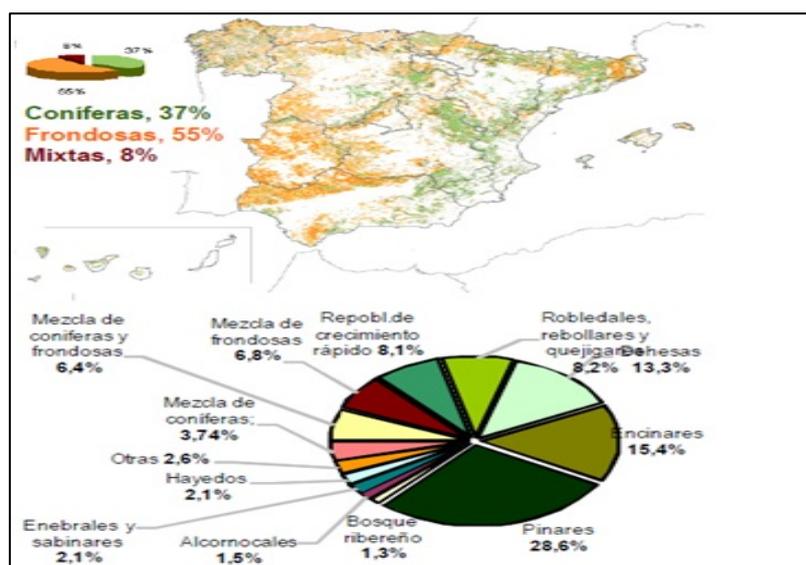


Figura 2. Mapa de distribución de formaciones boscosas en España. Fuente: Eco-Agricultor

1.2. Caracterización de los bosques mediterráneos

La principal característica de la región mediterránea es la existencia de un periodo de sequía estival de una duración de entre 2 a 4 meses. Las temperaturas por lo general varían desde zonas donde no se llegan a alcanzar fuertes heladas, hasta zonas donde se puede llegar a -20°C o más, y las precipitaciones pueden encontrarse entre 350 mm y los 1500 mm.

La región mediterránea peninsular viene presentada por bosques típicos de árboles perennifolios de hoja endurecida, como los encinares, alcornocales, enebrales, etc. Estos pueden estar acompañados o incluso reemplazados en las zonas más cálidas y donde existe mayor erosión, por masas de pino carrasco. En las zonas de duna o arenales, los sabinares o el pino piñonero son las especies con mayor influencia. En las zonas más áridas al sureste del país, como Murcia y Almería, o las zonas más salinas con mayor oscilación de temperaturas, como la depresión del Ebro, las especies que imperan son los palmitos y espinares, así como los coscojares y lentiscales a mayor altura.

1.2.1. Encinares

Los encinares forman los bosques de la mayor parte de la zona mediterránea, penetrando en solanas y laderas cálidas en la parte atlántica. Su presencia se extiende desde el nivel del mar, donde la especie principal es el *Quercus ilex* subsp *ilex*, hasta zonas a 1400 m de altitud en algunas montañas. En la zona más continental encontramos *Quercus ilex* subsp *rotundifolia*, debido a que es más resistente a este tipo de clima. Los encinares son capaces de subir a altitudes mayores, pero sin formaciones boscosas. En el caso de los encinares costeros, forman una gran variedad, y suelen estar acompañados de zarzaparrillas, madreselvas, hiedra, durillo, rusco, incluso de olivares silvestres en la parte más suroeste de la península.

1.3. Importancia del suelo y su protección

La importancia del suelo como recurso natural y la aparición de diferentes problemas ambientales han conducido a la creación del concepto “desarrollo sostenible” por parte de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, 1992), así como una concepción de la necesidad de un uso racional de los recursos actuales por parte de las diferentes sociedades, con el fin de alcanzar los objetivos deseados en cuanto a crecimiento y desarrollo sin pérdida para las generaciones futuras. En el caso de la Unión Europea, este hecho ha llevado a la creación y desarrollo de diferentes estrategias que aborden los principales recursos, teniendo especial importancia la Estrategia Europea de Protección del Suelo, que considera el suelo como un recurso fundamental junto al agua, aire y biota, constituyendo estos los 4 pilares o recursos fundamentales básicos que deben ser protegidos y preservados por normativas y sistemas legislativos adecuados.

Como principales funciones del suelo se reconocen la de productor de materias primas, alimentos y fibras, o la de sistema físico de soporte para actividades humanas. Por otro lado tenemos aquellas que hacen referencia al suelo como sistema ecológico con funciones clave para el mantenimiento ambiental tales como, protector de sistemas más sensibles y con menos capacidad de amortiguación frente a modificaciones ambientales. Capacidad de filtro, retención y absorción de sustancias, amortiguador de impactos, regulador de movilidad y medio de vida, reserva genética. El suelo supone el hábitat con mayor diversidad genética, considerando su actividad y funcionalidad, extremadamente importante para muchos aspectos ambientales.

Podemos contabilizar como ocho las principales amenazas sobre los suelos en Europa: Erosión, pérdida de materia orgánica, contaminación, sellado y compactación, reducción de la biodiversidad, salinización, inundaciones y deslizamiento de tierras, aunque los más importantes por su relevancia y los daños directos e indirectos que producen son tanto la contaminación como la degradación del suelo.

1.3.1. Secuestro de Carbono en el suelo y la biomasa y su importancia para el medio ambiente

Según un gran número de autores (Robert, 1996) el descenso de contenido en materia orgánica en los suelos sigue en aumento, y esto continuará agravándose si tienen lugar las condiciones previstas de temperatura dadas en los modelos de cambio climático debido al efecto invernadero. La Agencia Europea de Medio Ambiente (1998) estima que 115 millones de ha sufren erosión por agua y 42 por aire, donde el área mediterránea está siendo la más afectada por degradación de suelos por parte de la desertificación y salinización tan frecuentes. La pérdida de materia orgánica es uno de los factores desencadenantes en estos procesos, que conlleva a un aumento correlativo de la pérdida de Carbono en el suelo. La capacidad de retención de C o secuestro de C del suelo, supone una reserva futura de energía, es por ello que esta capacidad añade valor al suelo como recurso y medio tanto en el sentido ecológico, como económico y social, incidiendo así en el concepto de sostenibilidad.

Además de existir una carencia importante de Carbono en los suelos de cultivo, también se da en aquellos que han sufrido procesos de degradación erosiva, incendios constantes o la destrucción de los horizontes superficiales por parte de actividades mineras, construcción de infraestructuras y actividades humanas, etc. Por ello, la adición de materia orgánica en estos suelos es una acción casi obligatoria, bien de forma directa mediante biorremediación, como recurriendo a técnicas forestales de gestión como los aclareos o resalveo, que proveen de una nueva estructura selvícola, promoviendo la recuperación de los suelos mediante la apareciendo de nuevas especies y por tanto, el aumento de materia orgánica en el suelo. Esto supondría vital para los microorganismos del suelo, recuperando así el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos.

1.4. Como afecta el cambio climático a los ecosistemas forestales

Los ecosistemas forestales destacan por su capacidad para albergar gran parte de la biodiversidad terrestre así como contribuir en su mantenimiento. El cambio climático supone una de las mayores alteraciones para los ecosistemas, y en estos últimos años y mediante números estudios, se ha intentado aclarar los efectos del mismo en su triple vertiente: el impacto habido en los ecosistemas, la adaptación de los ecosistemas forestales antes las perspectivas del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero.

Actualmente, los bosques ocupan entre un tercio de la superficie terrestre (FAO, 1997) y contienen un 77% de la biomasa viva (PICC, 2000). Los cambios en las concentraciones de CO₂ atmosférico y el incremento de la temperatura, tienen y tendrán impactos directos e indirectos sobre las comunidades que estos constituyen. El cambio climático afecta de una forma global y genérica a los ecosistemas forestales, desde la modificación de su estructura y composición, hasta variaciones en los ciclos del carbono y nitrógeno, y la disponibilidad de nutrientes y agua. Es por ello, que actualmente la sociedad ha salido en busca de soluciones que puedan frenar o mitigar el gran avance que el cambio climático está teniendo, y apoyan estrategias de manejo y gestión más sostenible.

Los bosques mediterráneos y en general los ecosistemas mediterráneos, se consideran de los más afectados debido a los cambios complejos en las precipitaciones y las constantes épocas de sequía en algunas zonas. Estos cambios pueden originar pérdida de biodiversidad, reduciendo así los rangos geográficos de especies endémicas, afectando en general a la riqueza de especies, expansión de áreas desérticas y pastizal a expensas de bosque y matorral si el aumento de temperatura supera 2°C, también pueden producir un aumento del número de incendios forestales con el consiguiente incremento del CO₂ atmosférico.

Una correcta gestión, un aumento de las áreas forestales y llevar a cabo los adecuados tratamientos selvícolas, puede contribuir a compensar las emisiones de gases a la atmosfera y de este modo mitigar los efectos negativos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales, y en general sobre el sistema Tierra.

1.5. CONCEPTO DE SUELO: Calidad de suelo y propiedades físicas, químicas y biológicas

El suelo representa uno de los recursos más importantes para la vida en la tierra debido a su uso fundamental para la explotación agropecuaria y forestal, además de la producción de alimentos, madera y semillas y sus usos socioeconómicos. Según el concepto de Atlas y Bartha (2002) y Nannipieri y col. (2003) “el suelo es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y los microorganismos”. Su formación es un proceso

complejo que involucra los cambios físicos, químicos y biológicos sufridos en la roca originaria. Por tanto, un suelo fértil, será aquel que conserve estas tres propiedades (físicas, químicas y biológicas) estrechamente relacionadas y mantenga un correcto suministro de agua y nutrientes para un correcto sustento de las plantas y microorganismos que en él habitan.

La calidad del suelo se considera como una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente en relación con un uso específico (Gregorich y col., 1994). Sin embargo, Arshad y Coen (1992) le adjudicaron a este concepto un vínculo más ecológico, al definirlo como su capacidad para aceptar, almacenar y reciclar agua, minerales y energía para la producción de cultivos, y a la vez preservar un ambiente sano.

Este término se empezó a utilizar tras reconocer las funciones del mismo:

- Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible).
- Atenuar los contaminantes ambientales y los patógenos (calidad ambiental).
- Favorecer la salud de las plantas, los animales y los humanos.

El Comité para la Salud del Suelo de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA) sintetizó esta definición como “la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat”.

El suelo funciona como un sistema, y como todo sistema dispone de determinados subsistemas para su correcto funcionamiento y evolución. En el caso del suelo, sus propiedades están determinadas por diferentes indicadores, y la persistencia de unos buenos valores en estos deben indicar la resiliencia y la sostenibilidad del mismo. Un suelo con buena calidad mantiene un equilibrio entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

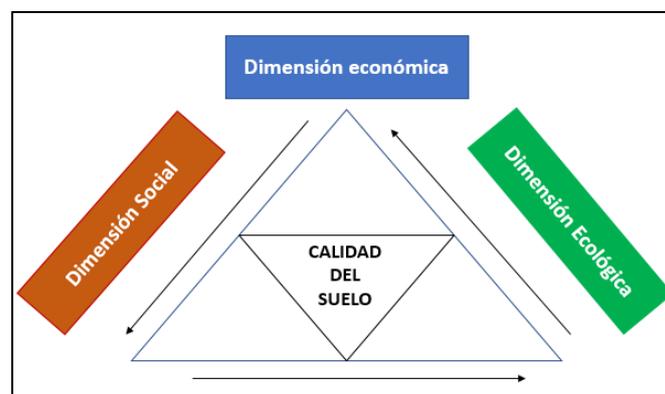


Figura 3. Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto de sostenibilidad. Fuente: Hünemeyer y col. (1997).

El desarrollo sostenible está íntegramente ligado con la calidad de los suelos, como se puede observar en la Figura 3. Y la presencia de tantos indicadores indica que cada uno se utilizará en función de un objetivo, con el fin de ver una evolución a corto o largo plazo.

Los indicadores físicos y químicos son los que se han utilizado principalmente para evaluar la calidad de los suelos (Schoenholtz y col., 1991; Boix-Fayos y col., 2001; Mataix-Solera y col., 2002; Sánchez-Marañón y col., 2002; Bone y col., 2013; Pulido-Moncada y col., 2013), aunque en los últimos años han tomado auge las propiedades biológicas y bioquímicas ya que éstas responden de una manera más rápida a las perturbaciones ambientales y al manejo de las tierras.

Los parámetros bioquímicos por otra parte conllevan una dificultad añadida, ya que las actividades enzimáticas dependen mucho de su comportamiento en el suelo, por lo que utilizarlas de indicador supone tener en cuenta los procesos metabólicos que se producen y evaluar la variedad de parámetros que se obtienen de los mismos.

Tabla 1. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

PROPIEDADES DEL SUELO	
PROPIEDADES FISICAS	
Textura	Regula la retención transporte de agua y compuestos químicos. Se mide en % de arena, limo y arcilla.
Profundidad del suelo	Horizonte humico superficial y de enraizamiento (cm o m).
Densidad aparente	Regula la permeabilidad y erosividad (g cm ³)
Infiltración	Regula el potencial de lavado, productividad y erosividad (minutos/25 mm de agua)
Capacidad de retención de agua	Retención de agua capilar y humedad útil. Viene condicionada por la textura y MO
Agua útil	Agua aprovechable o útil por las plantas
Acidez edáfica (pH)	Define la actividad química y biológica en un determinado rango
Conductividad eléctrica	Modula la actividad vegetal y microbiana dentro de un rango (dS m ⁻¹)
PROPIEDADES BIOQUIMICAS	
Materia orgánica (MO)	C orgánico del suelo (COS), N total: Define la fertilidad del suelo, estabilidad y erosión (Mg de C o N, ha)
N mineralizable	Suministro potencial de N (g de N ha día)
P, Ca, Mg, K asimilables	Nutrientes disponibles para las plantas (kg forma asimilable ha)
PROPIEDADES BIOLÓGICAS	
Respiración microbiana	Mide la actividad de la biomasa microbiana. Depende de la humedad y temp. (kg C o CO ₂ ha día)
C y N en biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico (kg de N o C microbiano ha)

En este estudio se han determinado tanto propiedades físicas como la humedad relativa, químicas como el contenido en materia orgánica, el carbono orgánico soluble, N mineralizado (amonio y nitratos) y los carbonatos, y propiedades biológicas y bioquímicas como el carbono de la biomasa microbiana (CBM) y la respiración microbiana.

1.5.1. El carbono en el suelo

Los suelos contienen más C que la suma existente entre la vegetación y la atmósfera (Swift, 2001), encontrándolo de forma orgánica e inorgánica. Se estima, que la cantidad de C orgánico total almacenada en los suelos, determinada mediante diversos métodos, alcanza un valor cercano a 1.500 Pg a 1 m de profundidad. Así mismo el C inorgánico se

encuentra alrededor de un valor de 1.700 Pg en formas estables como CaCO_3 , CO_2 , HCO_3 y CO_3 (FAO, 2001, y Swift 2001). El carbono orgánico del suelo (COS) es uno de los componentes más importantes en el ciclo global del C, siendo un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO 2001). El suelo tiene muchas funciones, pero una de las más importantes es la de actuar como fuente o reserva de C. Actualmente la pérdida de material húmico en suelos cultivados es mayor a la tasa de formación de humus en los suelos no perturbados, por lo que bajo condiciones de cultivo convencionales, el suelo es una fuente de CO_2 para la atmosfera (Kern y Johnson, 1993, Gifford, 1994, y Reicosky, 2002). La importancia del carbono orgánico del suelo (COS), reside en su capacidad para afectar tanto a las propiedades físicas, químicas como biológicas del suelo, modificando o afectando así a la calidad, sustentabilidad o productividad del mismo (Carter, 2002, Wander y col., 2002), por lo que es necesario un manejo sostenible del mismo para aumentar o al menos mantener la cantidad de este en los suelos. El COS afecta a la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, aportando elementos como el N cuyo aporte mineral suele ser deficiente, además, moldea la acidez y la alcalinidad hacia valores más neutrales, aumentando también la solubilidad de varios nutrientes. En condiciones naturales, el C orgánico del suelo es el balance entre la incorporación de material orgánico, la salida de C a la atmosfera en forma de CO_2 , la erosión y la lixiviación (Swift, 2001, y Aguilera, 2000).

La mitad del CO_2 que la vegetación absorbe de la atmosfera mediante el proceso de la fotosíntesis se deposita en el suelo, donde se acumula en forma de materia orgánica (M.O) y se devuelve en forma de CO_2 mediante procesos de mineralización. El CO_2 que es capturado por las plantas, se transforma y es incorporado en sus estructuras. Una vez la planta muere o se produce la caída del follaje, el carbono pasa al suelo. A su vez, la fauna que se alimenta de esta vegetación, libera CO_2 a la atmosfera mediante la respiración e incorpora C al suelo cuando defecan o mueren. La materia orgánica formada por restos tanto animales como vegetales se descompone (mediante los microorganismos descomponedores, que llevan a cabo tanto el proceso de descomposición como el de mineralización), y se transforma mediante procesos de hidrolisis, oxidación-reducción, condensación o fototransformación. Estas transformaciones de las moléculas orgánicas son llevadas a cabo en la solución del suelo, reguladas mediante enzimas, que proceden principalmente de los microorganismos que habitan en él.

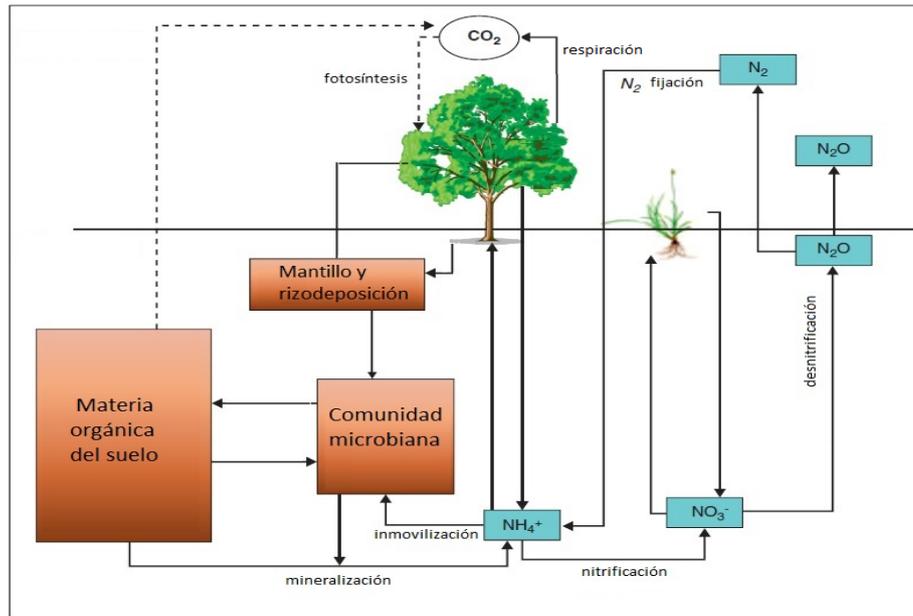


Figura 4. Ciclo del Carbono y Nitrógeno con los principales procesos mediados por los microorganismos (modificado de Macdonald y col., 2011)

Tanto el ciclo del carbono como el ciclo del nitrógeno, están muy presentes en los procesos naturales y ecológicos de los ecosistemas forestales, jugando un papel muy importante en problemas ambientales tan presentes como es el cambio climático. Además, la presencia de C en un suelo forestal aporta información sobre la calidad y la productividad del mismo, por lo que en este estudio se ha incorporado la medición tanto del Carbono orgánico (COS) como de la materia orgánica en el suelo (MOS).

1.5.2. Los microorganismos en el suelo

La importancia de los microorganismos en el suelo reside en la influencia que ejercen sobre la calidad del mismo mediante las diferentes reacciones que llevan a cabo (degradación de la materia orgánica, oxidación, hidrólisis), además de afectar o tomar parte en los ciclos del carbono, nitrógeno u otros elementos que contribuyen a la dinámica del suelo. Esta actividad microbiana condiciona el desarrollo de la cubierta vegetal contribuyendo al correcto desarrollo y mejorando la calidad del suelo. En el suelo podemos encontrar gran variedad de microorganismos, tales como bacterias, hongos, algas y protozoos entre otros. Estos afectan directamente a la vegetación mediante las transformaciones que llevan a cabo en la materia orgánica y los compuestos que mineralizan (García, 2011). La interacción que se produce entre la planta y los microorganismos se lleva a cabo en la rizosfera, segregando carbono orgánico al suelo por las raíces y sustentando así a los microorganismos. Esta relación suele generar un sistema que se retroalimenta, por lo que aporta estabilidad y resiliencia a los ecosistemas forestales (Bever, 2003). Estos microorganismos se verán condicionados por la cubierta vegetal, su abundancia y calidad, así como de las condiciones (temperatura, humedad, ect.) que se puedan dar.

La actividad microbiana es un indicador muy importante de las perturbaciones y cambios que pueda sufrir el suelo, por lo que es muy útil a la hora de analizar los procesos de degradación que pueda sufrir, así como ayudar a determinar la calidad del mismo. Es por eso, que en este estudio se ha analizado la presencia microbiana mediante la medida de la respiración.

1.5.3. El nitrógeno en el suelo

El nitrógeno se presenta como uno de los elementos más importantes en la naturaleza y de gran importancia si hablamos del término suelo, debido a que es uno de los nutrientes de mayor presencia en la biomoléculas vegetales. A esto cabe añadir que la mayoría de suelos suelen soportar una carencia del mismo, por lo que junto al fósforo y potasio, es uno de los elementos claves en la nutrición mineral. El nitrógeno en el suelo contribuye a la formación de proteínas necesarias para la existencia de la mayoría de plantas, por lo que desempeña un papel fundamental. Es considerado un macronutriente y uno de los factores limitantes en el crecimiento de las plantas. La principal vía de absorción es radicular, en forma de NO_3^- y NH_4^+ .

Gran parte del nitrógeno que encontramos en el suelo se encuentra de forma orgánica (95%), mientras que el nitrógeno inorgánico lo encontramos en las siguientes formas: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , N_2O y NO . Fundamentalmente lo encontramos con la forma de amonio (NH_4^+), aunque solo una pequeña parte de este se encuentra en solución en el suelo, ya que se nitrifica muy rápidamente. En la naturaleza la transformación del nitrógeno a unas formas y otras depende en gran medida de las condiciones que se dan en el ambiente, tales como la temperatura, el pH, la humedad o la acción de las diferentes clases de organismos. El balance de todos estos procesos condiciona la cantidad de este elemento disponible y asimilable en el suelo. Todos estos balances y cambios se conocen como el ciclo del nitrógeno.

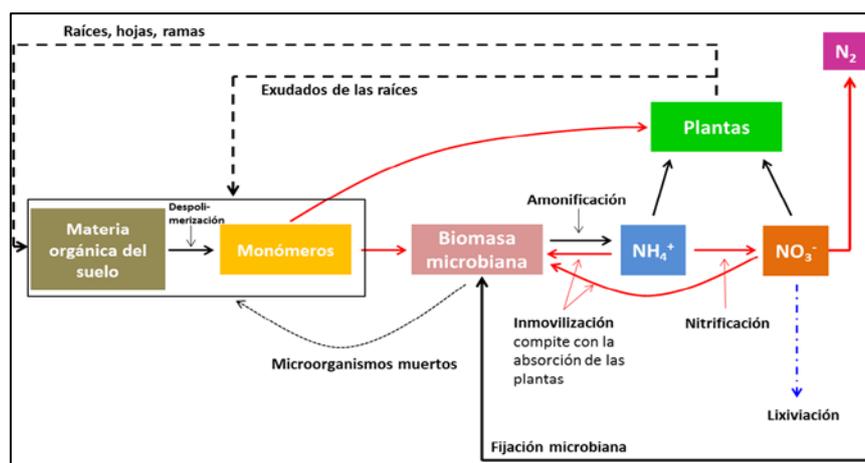


Figura 5. Ciclo del nitrógeno en el suelo en ecosistemas forestales (Schimel y Bennet, 2004; Rennenberg y col., 2009)

La característica principal del ciclo del N es sus transformaciones continuas desde la fase orgánica (N-insoluble) a la inorgánica o mineral (N-soluble) a través de procesos como la mineralización (transformación microbiana del N-orgánico a N-inorgánico o mineral) e inmovilización (conversión de N-mineral a N-orgánico). El N-mineral, amonio y nitrato, es fácilmente absorbido por las plantas y asimilado por los microorganismos, y transformado a N-orgánico. Es por ello que la mayor parte de los problemas ambientales relacionados con el suelo y su calidad, están muy ligados de forma directa o indirecta a este elemento.

El nitrógeno disponible para las plantas depende del equilibrio entre la mineralización y la inmovilización. La mineralización (NH_2 -orgánico – NH_4^+) depende de factores como la temperatura, humedad y aireación del suelo (textura, contenido en humedad, estructura y características, etc.)

La vía principal de paso de nitrógeno atmosférico a nitrógeno del suelo es la fijación por parte de los microorganismos. La fijación biológica hace referencia al nitrógeno presente en la materia orgánica que se deposita en el suelo, debido principalmente a la muerte de organismos como animales y plantas. Tras una serie de procesos este nitrógeno se transformara en compuestos mucho más simples como sales amónicas, nitratos o aminoácidos, que son fácilmente asimilables por las plantas y de donde ellas obtienen el nitrógeno necesario.

Por otro lado está la nitrificación, un proceso de oxidación por parte de bacterias que transforman el nitrógeno amoniacal en nitratos y nitritos. Esta consta de dos partes, la primera es la oxidación del amonio a nitrito, mientras que la segunda consta de la oxidación del nitrito a nitrato. Estos procesos se ven favorecidos por la presencia de oxígeno y suficiente alcalinidad para ajustar la bajada de pH en la nitrificación. Por lo tanto, y basándonos en las reacciones anteriores, afirmamos que los procesos anteriores se producirán más fácilmente en suelos aireados.

El proceso de la nitrificación se ve afectada por diferentes factores a tener en cuenta como la humedad, la temperatura del suelo, la aireación, la relación C:N, el contenido en ion amonio o el pH.

Tras todo esto, hay que tener en cuenta las pérdidas de nitrógeno producidas por diversos procesos como la lixiviación de nitratos, la asimilación por parte de las plantas, la fijación en las arcillas o en suelos con gran proporción de materia orgánica o las posibles reacciones químicas de los elementos que lo conforman.

Durante el estudio se han determinado los valores de nitrógeno inorgánico en el suelo (NH_4^+ , NO_3^-) además de estudiar la mineralización neta y la nitrificación utilizando un método *in situ* basado en incubaciones en tubos de resinas de intercambio iónico.

Llevar a cabo procedimiento *in situ* supone una gran ventaja a la hora de analizar las muestras, ya que la exposición directa con el medio en el caso de las incubaciones, nos lleva a calcular de forma más precisa la mineralización de las muestras en el periodo de

incubación. Las resinas de intercambio iónico tienen la capacidad de retención de iones muy parecida a la de los coloides del suelo, por lo que las convierte en un método más que aceptable para este tipo de análisis. Además, al tratarse de un tubo de dimensiones conocidas nos permite expresar los resultados con conocimiento del volumen y la masa de suelo que albergan.

En este estudio se han utilizado resinas con cargas de K^+ y Cl^- que se intercambian con iones de carga similar NH_4^+ y NO_3^- (Skogley and Dobermann, 1996). De este modo, los iones son transferidos directamente de la solución del suelo a la resina por procesos de difusión. Es importante que durante el proceso exista una gran presencia de agua, ya que es el medio de transferencia de los iones de un medio a otro. Las resinas utilizadas han sido una mezcla de resinas catiónicas y aniónicas, y el proceso de sustitución de los tubos de incubación se ha llevado a cabo cada dos meses.

1.6. Gestión selvícola

Etimológicamente el significado de selvicultura significa “cultivo del bosque”. Podríamos definir selvicultura como “el modo de aplicar el conocimiento de la estructura, crecimiento, reproducción y formas de agrupación de los vegetales que pueblan los montes, de forma que se obtenga de ellos una producción continua de bienes y servicios necesarios para la sociedad” (Serrada, 2008a). Según el grupo IUFRO (Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal) en España y Portugal en 1996 la selvicultura fue definida como “una ciencia aplicada que rige el manejo económicamente sostenible de los ecosistemas forestales para la satisfacción de las demandas de la sociedad (bienes y servicios). Para conseguir estos objetivos, la selvicultura diseña tratamientos ecológicamente sostenibles, abiertos al ejercicio de otras opciones por las generaciones venideras. La Selvicultura integra teorías, principios y métodos biológicos y ecológicos inferidos de los bosques, ya sean estos espontáneos o artificiales, así como ciertas teorías y planteamientos económicos.”

Desde un punto de vista práctico, el uso de la selvicultura implica la manipulación de masas forestales con el fin de:

- Obtener productos forestales deseados.
- Permanencia y renovabilidad en cuanto a criterios biológicos, ecológicos, económicos y sociales (Santillana 1986).
- Obtener beneficios directos e indirectos como: Mitigar o corregir la erosión en el suelo, regular los caudales hídricos tanto superficiales como subterráneos, evitar los desprendimientos y la desertificación, atenuar el efecto de los vientos, regular el microclima y mejorar la calidad de los suelos.

Una correcta gestión forestal debe incluir la adaptación a los distintos futuros cambios en el medio, así como contribuir al sumidero de carbono. Encontrar la capacidad de modular la estructura del bosque (densidad, especies, patrón espacial) como respuesta

de los ecosistemas forestales ante las consecuencias del cambio climático, es decir “*gestionar para adaptar*”.

La modificación de los bosques por parte del hombre data de muchos años atrás. Ambos han evolucionado y cambiado conjuntamente. El ser humano ha modificado, favorecido y plantado especies por su utilidad o simplemente por su valor ornamental, haciendo selección de especies, quema de bosques para su uso propio como la caza o las zonas de cultivo, o simplemente por motivos políticos o sociales. En definitiva, el hombre ha modificado las masas forestales a su antojo sin pensar en la importancia que esto podría tener en un futuro, tanto para el medio ambiente, como para él mismo.

1.6.1. Gestión selvícola en España

En las zonas del mediterráneo, la presencia de largas sequías y elevadas temperaturas hacen propios los incendios forestales. Este fenómeno, junto con los efectos de la erosión, hace que la recuperación del ecosistema por sí mismo no sea posible de forma natural y a una escala asumible, por lo que conforman los mayores problemas de los bosques españoles.

La gestión selvícola que se practica en los montes mediterráneos, es por lo tanto, preventiva, con el fin de romper la continuidad de combustible y dificultar así la propagación del fuego en los incendios forestales. A pesar de ser esta su principal función, existen otros tipos de tratamientos preventivos, con la finalidad de mitigar plagas, eliminar competencia para favorecer y mejorar las condiciones de los individuos que quedan, aumentar la producción de semillas y la regeneración natural o para reconducir a una especie de determinada forma.

1.6.2. La Clara o Resalveo

En este estudio se tratará una masa de *Quercus ilex*, y sobre ella se realizará un tratamiento de clareo o resalveo.

La productividad del suelo depende de muchos factores que se encuentran en una estrecha correlación como las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. La influencia sobre estas determinará un cambio u otro en la productividad de este recurso y afectará a su conservación. Por regla general, los tratamientos selvícolas mediante el manejo de masas forestales suele producir efectos beneficiosos, pero en el caso de los aclareos las condiciones microclimáticas del bosque se ven modificadas, como el caso de la temperatura y la humedad, provocando una alteración de los aportes orgánicos en el suelo (disminución de la biomasa viva, madera y entrada de hojarasca).

En los sistemas forestales, tanto los árboles como los matorrales que conforman el sistema son los encargados de variar la disponibilidad de los recursos necesarios para los organismos del mismo, como la temperatura, la entrada de luz, la humedad o los nutrientes. Los efectos que se produzcan dentro de este sistema dependerán casi por

completo de las especies que lo componen, como por ejemplo, la variación de la cantidad o la calidad de la hojarasca en el suelo generará variaciones en las condiciones abióticas del mismo. Esto implicará la formación de agregados que incide directamente en la estructura del suelo, la porosidad, aireación y almacenamiento de agua, mejorando la infiltración y disminuyendo el riesgo de erosión y encostramiento superficial. La materia orgánica posee un carácter negativo que facilita la interacción con los cationes que están presentes en el agua del suelo (intercambio catiónico), permitiendo así una forma de almacenamiento de nutrientes fácilmente accesible para las plantas, además de un amortiguador de pH para el suelo. A su vez, se trata de un aporte de energía metabólica, ya que al mineralizarse se convertirá en un aporte de macro y micronutrientes necesarios para el correcto desarrollo de los microorganismos del suelo.

Según la legislación española encontramos definido el resalveo como “tratamiento selvícola de los montes poblados con encina, alcornoque, rebollo o melojo y quejigo, con presencia simultánea de árboles procedentes de semilla y cepa o raíz, mediante el que se eliminan, selectivamente, parte de los brotes de cepa y raíz de cada edad, dejando y formando, mediante poda ligera, los mejores en número adecuado a las características del lugar”.

El resalveo consiste en eliminar parte de los brotes que salen directamente de la cepa y que por lo tanto compiten todos muy juntos por nutrientes y luz, con la consecuencia de que ninguno crezca en buenas condiciones y se generen débiles y con muchas carencias. En el resalveo se dejan algunos árboles que forman parte de la masa (resalvos) más espaciados unos de otros, por lo que recibirán mayor aporte de luz y nutrientes, ayudando así a que los arboles crezcan vigorosos y posean mejores características. Este tratamiento suele llevarse a cabo en zonas donde las masas se encuentran en mal estado, debido a un mal crecimiento, una mala tala o simplemente por ser una zona excesivamente poblada. Al eliminar la gran cantidad de brotes que se produce en exceso, se favorece el crecimiento tanto en altura como en diámetro, por lo que dejando algunos brotes dominantes se consiguen resultados muy positivos. Al sanear la masa en conjunto se provoca un incremento de la productividad de los montes, mejorando su estructura y produciendo una mejor regeneración del bosque.

En este estudio se compara la calidad de dos suelos forestales donde en uno de ellos se ha realizado un tratamiento selvícola de resalveo (parcela tratada) y en el otro no se ha realizado ningún cambio ni tratamiento (parcela control).

2. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION

La finalidad de este estudio es observar cómo afecta a corto y medio plazo un tratamiento selvícola de resalveo sobre la calidad y características del suelo de una masa forestal, situada en el monte de La Hunde (Ayora). Así mismo, analizar las diferencias significativas que puedan existir al comparar la parcela sometida a tratamiento selvícola con una parcela de idénticas características que no fue intervenida. En este estudio se realizaron dos muestreos: el primero el día 16/09/2016 y el segundo el 17/11/2016. En ambos casos hay que tener en cuenta el parámetro estacional, ya que ambos se realizaron en el periodo entre septiembre y noviembre, donde las temperaturas son más bajas y las precipitaciones suelen ser más habituales.

Las conclusiones derivadas de este análisis ayudaran a definir un poco más los resultados obtenidos en la realización de la gestión de masas forestales, y de este modo apoyar estas iniciativas y orientar sus objetivos y funcionalidad.

Para alcanzar este objetivo principal hay que llevar a cabo una serie de objetivos secundarios:

- **Medida del carbono orgánico soluble en el suelo**
- **Medida del carbono de la biomasa microbiana (CBM) y respiración basal**
- **Análisis de la dinámica del nitrógeno inorgánico en el suelo**

El **carbono orgánico** está considerado un indicador clave de la calidad del suelo, ya que la mayoría de propiedades físicas, químicas y biológicas están relacionadas con este parámetro. Es una de las principales fuentes de energía para los microorganismos y las plantas y una fuente de nutrientes, además afecta en gran medida a la estabilidad estructural del suelo, disminuyendo de forma indirecta la erosión del mismo.

Los microorganismos presentes en el suelo están muy involucrados en las características y calidad del mismo, además de su sensibilidad a los cambios en el medio, por lo que utilizarlos como indicador es muy efectivo sobre todo cuando se trata de análisis a corto y medio plazo. El **carbono de la biomasa microbiana** abarca el conjunto de microorganismos que están presentes en el medio y afectan tanto a la descomposición de la materia orgánica como a algunos ciclos de nutrientes. Así mismo, la **respiración basal** refleja la actividad microbiana del suelo y su metabolismo puede medirse mediante el análisis del CO₂ o el consumo de oxígeno. La respiración basal refleja la población microbiana activa en el suelo, mientras que el CBM engloba tanto a los organismos vivos como los muertos.

-El **nitrógeno** es un elemento indispensable para la vida, formando parte de las principales biomoléculas de los organismos. A pesar de ser uno de los elementos más abundantes en la Tierra, la cantidad presente en los suelos es escasa. El análisis de la dinámica del nitrógeno inorgánico del suelo estudia la transformación del nitrógeno orgánico en formas minerales más disponibles para las plantas. Este se transforma mediante procesos de mineralización, los cuales suponen un buen indicador de la medida de la calidad del suelo debido a que, por lo general, el N del suelo suele encontrarse en una forma orgánica poco disponible y no puede ser utilizado por las plantas. En este estudio se analiza el nitrógeno mineral del suelo en forma de amonio (N-NH_4^+) y en forma de nitratos (N-NO_3^-), como el nitrógeno lixiviado (amonio y nitratos), así como la nitrificación y la mineralización neta. Para el estudio de la dinámica del nitrógeno en el suelo se realizan incubaciones de suelo en campo, utilizando muestras de suelo incubadas en tubos con resina de intercambio iónico.

Este Trabajo Final de Carrera se enmarca en un proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D que lleva por título “Desarrollo de conceptos y criterios para una gestión forestal de base ecohidrológica como medida de adaptación al cambio global (SILWAMED)”, ref. CGL2014-58127-C3-2-R-AR. Este proyecto es llevado a cabo por investigadores del Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología Forestal del Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y medio Ambiente perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra al pie de la Sierra Palomera, en el paraje natural de La Hunde (39°05'30" N, 1°12'30" W) en el término municipal de Ayora, al suroeste de la provincia de Valencia. Debido a que en este paraje se encuentra uno de los mayores y mejor conservados carrascales de la comunidad, así como el más amplio y extenso, se considera al paraje de La Hunde, uno de los patrimonios naturales más importantes de la comunidad.

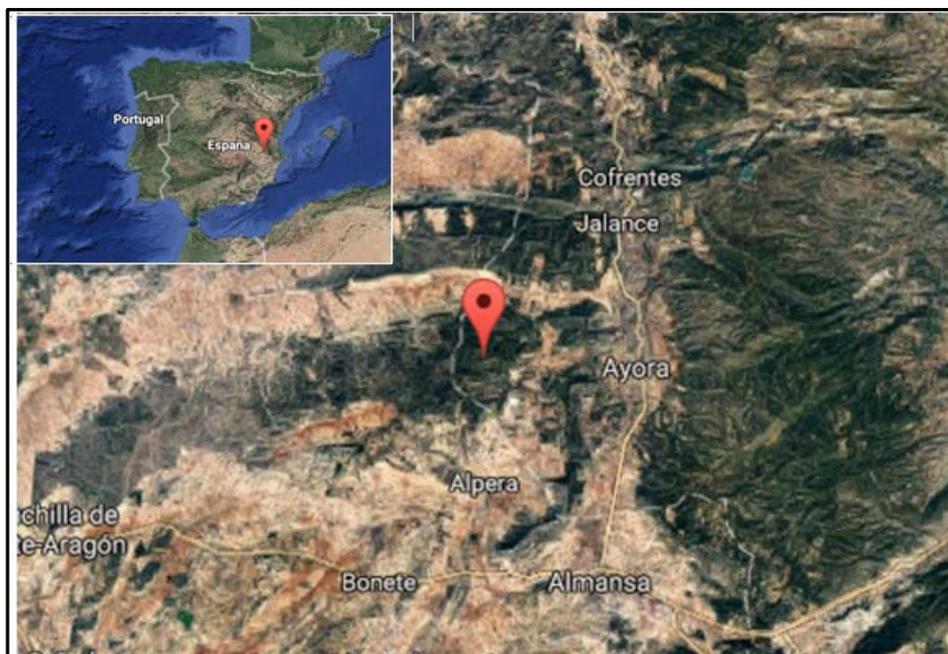


Figura 6. Localización del área de estudio

Las parcelas que se crearon para la realización de este estudio poseen una extensión de 1800 m² cada una. En ambas la densidad arbustiva inicial era de 942 árboles por hectárea, mientras que tras la intervención y el tratamiento sobre la parcela tratada se redujo la densidad aproximadamente un 44 %, quedando una densidad de 414 árboles por hectárea.

La intención de este tratamiento fue favorecer el crecimiento y desarrollo del *Quercus* sp., debido a su importancia medioambiental en esta zona, así como favorecer el desarrollo de una nueva y mayor biodiversidad en el mismo área, evitando el monocultivo y la superpoblación uni-especie.

La creación de las parcelas, así como las labores de tratamiento, fueron llevadas a cabo en Abril de 2012 por el servicio de brigadas forestales de la provincia de Valencia.

Actualmente, estas parcelas siguen siendo estudiadas y controladas, para llevar un registro y control de la funcionalidad y efectividad del tratamiento.

- **Caracterización de la zona de estudio:**

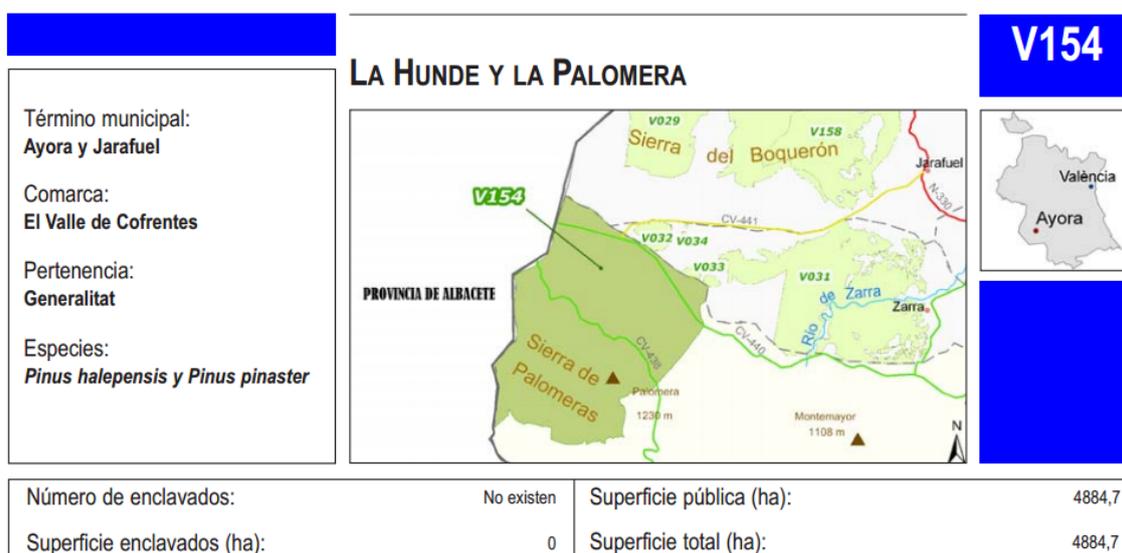


Figura 7. Ficha de la Hundede y Palomera del catálogo de montes

El monte de la Hundede-Palomera se sitúa en el término municipal de Ayora, formando parte de la comarca del Valle de Ayora y Cofrentes, al suroeste de la provincia de Valencia. La sierra de la Hundede-Palomera se sitúa en el punto más alto de la comarca, a 1258 msnm. Su número de identificación en el catálogo de montes de la comunidad valenciana es el 154 (V1007).

- **Geología, geomorfología y suelos**

La geomorfología de la zona se caracteriza por ser la típica de valles y muelas, derivada de una serie de plataformas individualizadas, y una serie de glaciares de pendientes suaves y masas pseudohorizontales, que conforman esta morfología característica (mapa de suelos de la Comunidad Valenciana 1997). Localizada en el sistema ibérico suroccidental, posee un predominio de materiales carbonatados y afloramientos triásicos en los valles. Los suelos presentan alto contenido en carbonato cálcico (25-38%) y poseen un pH entre 7.7 y 8.2. Además, un horizonte superficial de 50-60 cm aproximadamente.

- **Hidrología**

La zona se sitúa dentro de la cuenca hidrográfica del Júcar, unidad hidrogeológica 29. Los cauces siguen un régimen intermitente, con irregularidad de aforo y fuertes sequías en verano e inundaciones en otoño, convirtiéndolo así en un régimen hidrológico típico

mediterráneo. Existe la presencia de barrancos y ramblas, siendo la de mayor superficie la de Espadilla, entre la Loma del cuervo y la parte norte de la Muela de la Palomera, desembocando en el río Júcar, a la altura de Jalance.

- **Clima**

La Hunde presenta un tipo climático seco-subhúmedo, con un ombroclima seco con tendencia al subhúmedo, y unas temperaturas medias suaves, aunque con diferencia notable entre el invierno y el verano. Las precipitaciones que presentan corresponden con un clima mediterráneo con máximas en otoño y primavera y mínimas durante el verano.

En la Hunde se desarrolla un clima de tipo continental, debido a la lejanía del litoral y de otras masas de agua considerables.

Mediante los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología (INM) ahora llamado Agencia Estatal de Meteorología, se ha obtenido el diagrama ombrotérmico recopilando datos anuales y mensuales de los últimos 10 años referentes a la zona de la Hunde-Palomera.

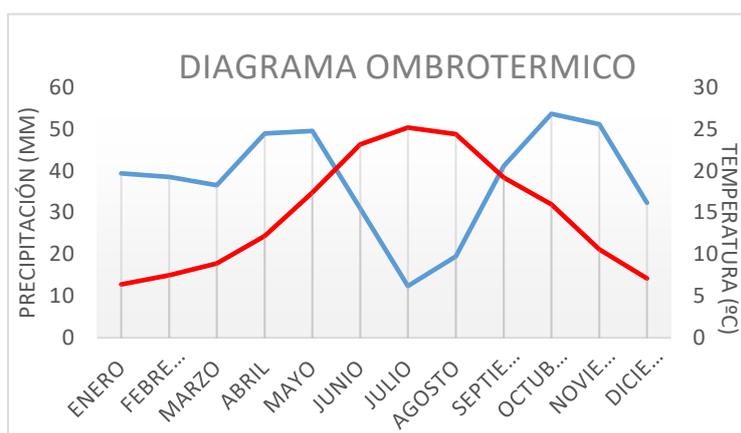


Figura 8. Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio

La temperatura media ronda los 14,03°C, pudiendo alcanzar mínimos absolutos de hasta -8°C, y una temperatura de 24,10°C en verano. Como es característico del clima mediterráneo, las temperaturas evolucionan de forma más suave durante los meses de primavera, mientras que a la llegada del otoño empiezan a tornarse más frescas. La zona presenta una precipitación media anual de unos 38 mm y la evapotranspiración potencial está entorno a los 750 mm. Estas características confieren a la zona de estudio que sea una zona especialmente húmeda, al contrario que las zonas de alrededor, por lo que se obtiene un mayor índice de productividad forestal.

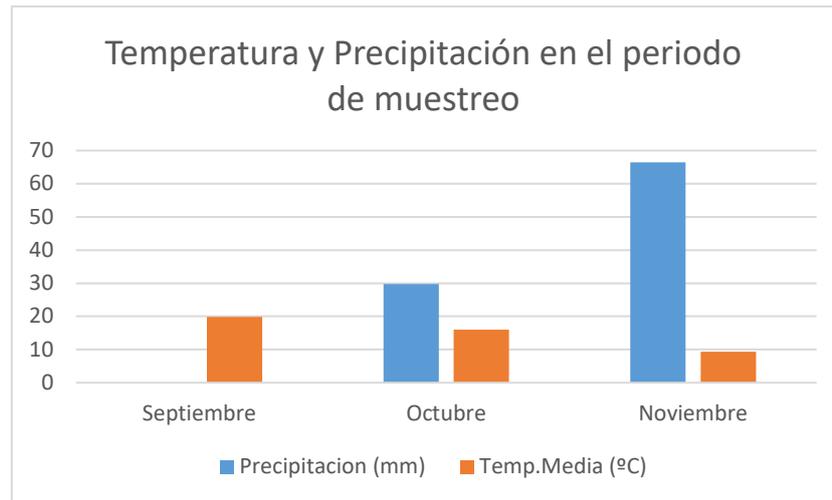


Figura 9. Temperatura y precipitación de la zona de estudio en el periodo de muestreo

En el periodo de muestreo (Figura 9) la temperatura media se encuentra entorno a los 15 °C, y la precipitación media es de unos 32 mm, siendo el Noviembre el mes donde se registraron las temperaturas más bajas y mayores precipitaciones.

3.2. Muestreo

El área de estudio ha sido dividida en dos parcelas, una en la que se practicó un tratamiento selvícola (tratada) y una parcela que ha permanecido exenta de tratamientos (control). (Figura 10)

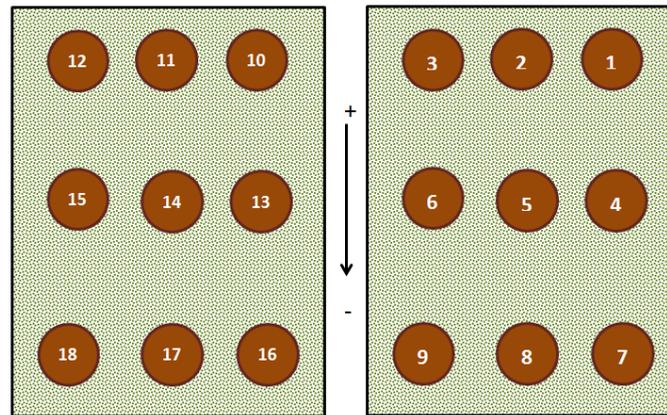
Las dos parcelas están orientadas al noroeste (NO), con una pendiente de un 30%.



1. Parcela control

2. Parcela tratada

Figura 10. Parcelas del estudio



1. Parcela control

2. Parcela tratada

Figura 11. Puntos de muestreo dentro de las parcelas.

Este estudio se ha realizado con los datos obtenidos durante los dos muestreos (16/09/2016) y (17/11/2016). En el primero de ellos, se introdujeron los tubos de resinas de intercambio iónico preparados con antelación, para poder estudiar la mineralización, nitrificación y lixiviación del nitrógeno. El suelo fresco se ha pasado por un tamiz de 2 mm para eliminar la gravilla y los restos orgánicos que pudiese haber. Tras esto, se guardaron en nevera para mantenerlas lo más frescas posibles hasta su análisis.

3.3. Análisis de los suelos.

3.3.1. Humedad y factor humedad

La humedad de un suelo se entiende como la cantidad de agua que hay por volumen de suelo seco. Este parámetro es necesario para comparar las diferentes muestras de suelo, ya que dependiendo de la cantidad de agua retenida en él afectará al peso del mismo, a pesar de haber medido una misma cantidad.

Todos los análisis se realizarán en función del peso seco, por ello es necesario obtener el factor humedad, así se obtendrá la equivalencia entre peso seco y peso húmedo.

-Método y procedimiento:

Tras pesar 25 g de suelo húmedo en las cajas metálicas, estas se introducen abiertas en la estufa a una temperatura de 105°C. Tras su secado, se retiran y se dejan enfriar a temperatura ambiente en un desecador. Posteriormente se pesan las cajas para obtener el peso de suelo seco.

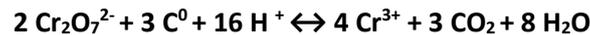
$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de suelo seco}} \times 100$$

$$f \text{ humedad} = \frac{\text{masa suelo seco}}{\text{masa suelo húmedo}}$$

3.3.2. Materia orgánica

Para la determinación de este factor se ha empleado el método de *Walkey-Black* (1934) que consiste en la oxidación del carbono orgánico usando como oxidante el ión dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

El método de *Walkey-Black* asume que cada átomo de carbono es oxidado desde el estado de oxidación 0 hasta el nivel +4, para poder reflejar así todo el intercambio de electrones que tiene lugar en la reacción.



Teniendo en cuenta el dicromato potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) que queda tras producirse la reacción y que no ha reaccionado con el carbono, podemos calcular de forma indirecta el carbono orgánico.

-Método y procedimiento:

Tras tamizar a través de un tamiz de 500 μm el suelo seco, se pesan 0.5 g en matraces de 250 mL. Se añaden 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N y se agitan para facilitar la dispersión del suelo. Utilizando la campana de extracción de gases, se añaden 10 mL de H_2SO_4 concentrado y se mezclan bien los componentes moviendo el matraz durante un minuto aproximadamente.

Tras dejar enfriar durante unos 30 minutos (debido al carácter exotérmico de la reacción), se añaden 25 mL de agua destilada y se deja enfriar de nuevo 30 minutos. Posteriormente se añaden 8 gotas del indicador (ortofenantrolina) y se valora el exceso de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N con sulfato ferroso 0,5 N. El punto final de la reacción se dará cuando el color de la misma se torne a un tono pardo.

El **Blanco** se prepara del mismo modo pero sin añadir suelo a la solución.

$$\% \text{ MO} = [(m_{\text{eq}} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - m_{\text{eq}} \text{FeSO}_4) / P_{\text{ssa}}] \times 0,003 \times 100 \times 1,3 \times 2$$

3.3.3. Carbono orgánico soluble

Para determinar este factor se utiliza el método de *Yakovchenko y Sikora* (1998).

-Método y procedimiento:

Para cada muestras se pesa, en tubos de centrifuga, suelo húmedo tamizado a 2 mm, correspondiente a 10 g de suelo seco y se añaden 25 mL de agua destilada. Las muestras se agitan en el agitador de brazos durante unos 30 min y posteriormente son centrifugadas (2500 r.p.m) durante 10 minutos. Tras esto se filtran a botellitas de plástico con papel de filtro Whatman nº42.

Para la detección colorimétrica se pipetea 2 ml del extracto filtrado anteriormente, en tubos de ensayo, y se añaden 3 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,20 N en H_2SO_4 26,7 N. Mediante el Vortex se agitan durante 15 minutos y posteriormente se introducen (cubiertos de papel

aluminio) en estufa a 140°C durante 20 minutos. Tras enfriarse se lee la absorbancia a una longitud de onda de 590 nm (2 repeticiones por muestra).

El cero se realiza con el patrón 0. El Blanco sigue el mismo procedimiento pero sin suelo (dos blancos).

3.3.4. Carbono de la biomasa microbiana

Para la determinación de este factor se utiliza el método de fumigación-extracción (*Vance y col.* 1987) modificado por *Wu y col.* 1990.

El hecho de fumigar las muestras de suelo produce que las células de los microorganismos se rompan liberando compuestos orgánicos, pero sin afectar directamente de manera significativa con el resto de componentes del suelo. De este modo, comparando las muestras fumigadas donde encontraremos el carbono orgánico de los microorganismos más el contenido en el suelo, y las muestras no fumigadas donde solo se detecta el carbono orgánico contenido en el suelo, obtendremos el carbono orgánico de la biomasa microbiana.

El carbono orgánico se extrae de ambas muestras utilizando sulfato potásico 0.5 M.

-Método y procedimiento (fumigación-extracción):

Se pesa suelo húmedo correspondiente a 5 g de suelo seco tamizado a través de 2 mm. Se realizan 4 réplicas por muestra, de las cuales dos se fumigan y dos no.

Las muestras que se van a fumigar se colocan en un desecador con el fondo cubierto por papel de filtro humedecido. Tras esto se introduce un vaso con 25 mL de cloroformo libre de etanol y unos gránulos de control de la ebullición, y otro vaso con Na₂CO₃. Se tapa el desecador y se hace el vacío, provocando así la ebullición del cloroformo. Tras dos minutos se detiene la bomba y se cierra la válvula del desecador, y se deja en un incubador a 25°C en plena oscuridad durante 24 h.

Pasado este tiempo se retira el vaso con cloroformo y el papel de filtro del fondo, y se eliminan los vapores del cloroformo haciendo el vacío varias veces en el desecador (aproximadamente unas 5 o 6 veces durante 2 minutos). Tras estos se extrae el carbono orgánico, tanto de las muestras fumigadas como las no fumigadas.

Para la extracción del carbono orgánico se añaden 25 mL de K₂SO₄ 0,5 M, agitando en un agitador rotativo a 200 r.p.m. Posteriormente se filtran a través del papel Whatman nº42.

(Si las muestras han sido congeladas previamente, han de ser homogeneizadas antes de analizarlas, fundiéndolas a temperatura ambiente).

Para la determinación del carbono orgánico se utiliza el método de *Yakovchenko y Sikora* (1998) descrito anteriormente.

$$C_{\text{biomasa}} = E_c / K_{EC}$$

$$EC = [\text{Corg fumigado}] - [\text{Corg no fumigado}]$$

[Corg fumigado] = C orgánico extraíble en el suelo fumigado

[Corg no fumigado] = C orgánico extraíble en el suelo no fumigado

$K_{EC} = 0,38$ (Vance y col., 1987).

3.3.5. Nitrógeno

3.3.5.1. Nitrógeno mineral

Mediante este método se determina el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo (nitratos y amonio).

-Método y procedimiento:

Se pesan 5 g de suelo húmedo en los erlenmeyers y se añaden 50 mL de KCl 2M. Se agita durante 1 hora a 125 r.p.m dejando sedimentar durante unos minutos. Tras esto, se decantan en las botellas de plástico de 60 mL y se centrifugan durante 10 minutos a 2500 r.p.m. Posteriormente se hace pasar por un tamiz de malla $<74 \mu\text{m}$ y se guarda en la nevera hasta el momento de la determinación de nitratos y amonio.

Para la determinación de N-NO_3^- y N-NH_4^+ se utiliza el FIAStar 5000 Analyzer FOSS TECATOR.

En la determinación de los nitratos se utilizan patrones preparados a partir de la disolución de nitrato potásico, y en la determinación del amonio a partir de una disolución de cloruro de amonio. Igual a las muestras, los patrones se preparan en KCl 2M.

3.3.5.2. RESINAS DE INCUBACIÓN IN SITU (N lixiviado, nitrificación y mineralización)

Para poder obtener los parámetros relacionados con nitrógeno lixiviado, la nitrificación neta y la mineralización neta se ha empleado el método de incubación in situ, mediante tubos de incubación provistos con una mezcla de resinas de intercambio catiónico y aniónico en la parte inferior (DiStefano y Gholz, 1986; Binkley y Hart 1989; Robertson y col. 1999).

Cada tubo se rellena con suelo correspondiente a cada parte de la zona de muestreo, colocando un total de 9 tubos por parcela (control y tratada), procurando que cada tubo tenga la misma compactación. Estos han de mantenerse enterrados y sustituirse cada dos meses, de este modo y analizando el nitrógeno inicial, el nitrógeno tras los meses de incubación y el nitrógeno captado por las resinas, se obtienen los factores anteriormente descritos.

-Método y procedimiento:

- ✓ **Lavado de resinas:** Es imprescindible lavar las resinas con agua desionizada con la finalidad de eliminar las posibles impurezas o partículas que puedan estar adheridas en las mismas. Es necesario ya que posteriormente ha de hacerse un

análisis colorimétrico, y no debe haber ningún color que interfiera con los resultados.

- ✓ **Conversión de resinas:** Es necesario pasar las resinas a la forma iónica que es requerida. La resina catiónica ha de cambiar su forma de H^+ a K^+ .
- ✓ **Tubos de incubación:** Los parches de resina se preparan con 2.5 gramos de resina seca catiónica y 2.5 gramos de resina seca aniónica colocados en la tela de nailon, y pegada a la junta tórica con silicona. Los tubos se guardan en la nevera ($4^{\circ}C$) mientras que las resinas se mantienen cubiertas de agua desionizada para su posterior uso.
- ✓ **Montaje en campo:** En los puntos próximos al muestreo se retira suelo (10 cm aprox.), parte del mismo se introduce en los tubos de incubación y el resto se lleva al laboratorio para analizar.
- ✓ **Recogida y sustitución de los tubos de incubación:** Los tubos se dejan en el campo durante 2 meses. A la vez que los tubos son retirados, se sustituyen por otros nuevos. El suelo del interior se tamiza en fresco por un tamiz de 2 mm.
- ✓ **Análisis:** La extracción del nitrógeno del interior de las resinas sigue el mismo procedimiento que la extracción del nitrógeno inorgánico descrito anteriormente. Las extracciones se producen en tres fases :
 1. 40 mL KCl 2M durante 1h.
 2. 30 mL KCl 2M durante 1h.
 3. 30 mL KCl 2M durante 1h.

Las muestras se guardan en el frigorífico para su posterior análisis con un FIAStar 5000 Analyzer FOSS TECATOR.

Cálculos necesarios:

$$N_{\text{mineralizado}} = N_{\text{min } i+1} - N_{\text{min } i} + N_{\text{min resina}}$$

$$N_{\text{nitrificado}} = N\text{-NO}_3^-_{i+1} - N\text{-NO}_3^-_i + N\text{-NO}_3^-_{\text{resina}}$$

$$N_{\text{lixiviado}} = N_{\text{min resina}}$$

$$N_{\text{min}} = N\text{-NO}_3^- + N\text{-NH}_4^+$$

Tabla 2. Características de las resinas de intercambio iónico.

	Resina catiónica Dowex® 50x8 forma H^+	Resina aniónica Dowex® 1x8 forma Cl^-
Tipo	Geliforme	Geliforme
Descripción	Fuertemente ácida	Fuertemente básica
Matriz	Estireno-divinilbenceno	Estireno-divinilbenceno
Reticulación (%)	8%	8%
Humedad	50-58%	39-45%
Tamaño granular	50-100 mesh	100-200 mesh
Capacidad	1,1 meq/mL	1,2 meq/mL
Numero CAS	69011-20-7	69011-19-4
Fluka	44504	44324
Contraion	H^+	Cl^-



Figura 12. Proceso de elaboración de los tubos de resina

3.3.6. Respiración microbiana

Como resultado de los procesos metabólicos de los organismos vivos del suelo se produce cierta cantidad de CO_2 que se puede analizar y cuantificar midiendo la respiración del suelo, o actividad mineralizadora de carbono. Para ello es necesario medir el CO_2 desprendido de muestras incubadas en unas condiciones óptimas, tanto de temperatura como humedad, en un sistema cerrado y controlado.

La respiración se mide cada 24 horas durante un periodo de 15 días.

Los tres primeros días sí es necesario medir la respiración diariamente, ya que es donde mayor actividad metabólica va a haber, pasado este periodo, se puede medir haciendo pausas alternas pues los microorganismos irán muriendo y produciendo menor actividad metabólica.

Para mejorar la toma de medidas es necesario eliminar de las muestras todas aquellas raíces, pequeñas hojas o macroorganismos que pueda haber, ya que el objetivo es centrarnos en la respiración microbiana.

-Método y procedimiento:

Pesar y añadir a los matraces la cantidad correspondiente a 10 gramos de suelo seco. Tapar los matraces con los tapones septa e incubar en una sala a temperatura constante de 25 °C. Pasadas 24 horas, medir la concentración de CO_2 de cada matraz acompañando cada medida de una pequeña agitación manual, para homogeneizar el aire contenido. A continuación, se abren los matraces para que se aireen, y se vuelven a cerrar. Tras la toma de medidas, se vuelven a introducir en la sala de incubación. Este procedimiento ha de repetirse durante 15 días alternos (7 medidas).

Han de prepararse dos blancos (matraces sin suelo), que se analizarán de la misma forma.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

La productividad del suelo está estrechamente relacionada con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La aplicación de técnicas de gestión forestal sobre una determinada masa tiende a producir efectos sobre la estructura edáfica, modificando las condiciones microclimáticas como la humedad o temperatura. Así mismo, pueden producir cambios y variaciones en los aportes de materia orgánica del suelo y alterar el sistema suelo-biota. Por ello, para poder realizar una correcta evaluación de los posibles impactos, tanto positivos como negativos, que pueda producir el tratamiento selvícola, es necesario conocer las características de los suelos de la zona.

4.1. Caracterización del suelo en la zona de estudio

Según datos obtenidos en estudios anteriores de la zona (Galiana, 1998) y que se muestran en la Tabla 4.1, podemos deducir que el suelo de ambas parcelas presenta propiedades óptimas para un correcto desarrollo de la cubierta vegetal y de las funciones edáficas.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del suelo de las parcelas de estudio. Galiana (1998).

	Control	Tratada
Arcilla (%)	23,02	
Limo (%)	33,12	
Arena (%)	43,86	
Clase textural	Franca	
Materia orgánica (%)	21,76 ± 5,13	27,73 ± 6,51
pH (H₂O)	7,92 ± 0,16	7,97 ± 0,10
CE (dS/m)	0,400 ± 0,4	0,405 ± 0,08
Carbonatos (%)	33,57 ± 8,91	36,25 ± 16,22
Capacidad de retención de agua (%)	116,24 ± 7,55	129,49 ± 33,91

Los datos son medias y desviaciones estándar de n=3 para pH, CE, carbonatos y capacidad de retención de agua; n=9 para la materia orgánica. Los ensayos se llevaron a cabo en las muestras del primer muestreo (octubre 2012).

Como podemos observar en la Tabla 3, se trata de un suelo franco en ambas parcelas, el porcentaje de materia orgánica de la parcela tratada es ligeramente mayor siendo un 27,73 % mientras que en la control es del 21,76 %. Algunos estudios de suelos forestales mediterráneos, atribuyen un mayor índice de materia orgánica a aquellos suelos que tienen más cobertura vegetal, debido a que existirá un gran aporte de restos vegetales

y exudados de las raíces. Estos aportes, y los procesos de descomposición, contribuyen a aumentar las fracciones de carbono orgánico en el suelo. Aun así, será necesario un estudio a largo plazo para poder verificar si esta variable se ve afectada directamente por el tratamiento selvícola.

El suelo de ambas parcelas presenta un pH cercano a 8, siendo suelos no salinos y con un contenido en carbonatos de un 33,57 % en la parcela control y un 36,25 % en la tratada. Se puede apreciar que en la parcela tratada el contenido en carbonatos es ligeramente mayor, aunque el resultado entre ambas es bastante cercano.

Los suelos presentaron una capacidad de retención de un 116,24 % en la parcela control frente a un 129,49 % en la tratada. La variación de este factor puede deberse a la diferencia en el contenido en materia orgánica. Así, según Hudson (1994) por cada aumento del 1% de materia orgánica en el suelo, la capacidad de retención hídrica aumenta en un 3,7%.

4.2. La humedad del suelo

El agua es esencial para la vida ya que en su forma molecular participa en diversas reacciones metabólicas a nivel celular. Además, actúa como un solvente y ayuda a transportar nutrientes desde el suelo hasta las plantas y por su interior. Es el medio donde se encuentran disueltos gran parte de los macro y micronutrientes y permite que la materia se degrade con mayor facilidad. El contenido de agua en los suelos puede ser beneficioso, pero también perjudicial, ya que un exceso favorece la lixiviación de sales y demás compuestos, influyendo directamente tanto en los procesos físico-químicos como biológicos del suelo. Así mismo, la humedad de un suelo dependerá mucho de la estacionalidad y las precipitaciones de la zona.

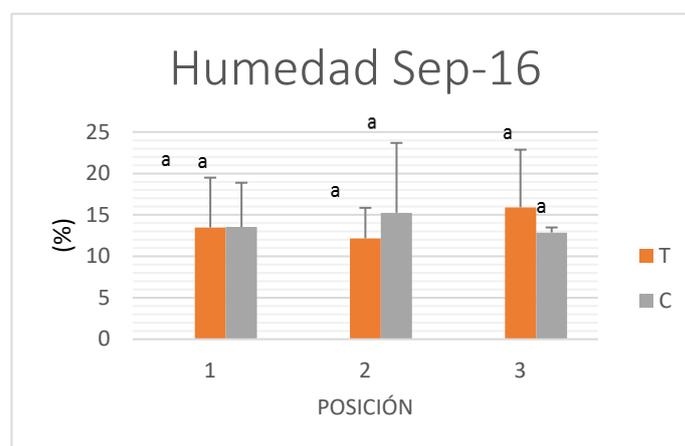


Figura 13. Humedad (%) en el suelo (septiembre de 2016) de las parcelas Tratada (T) y Control (C), comparándolas por posición. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

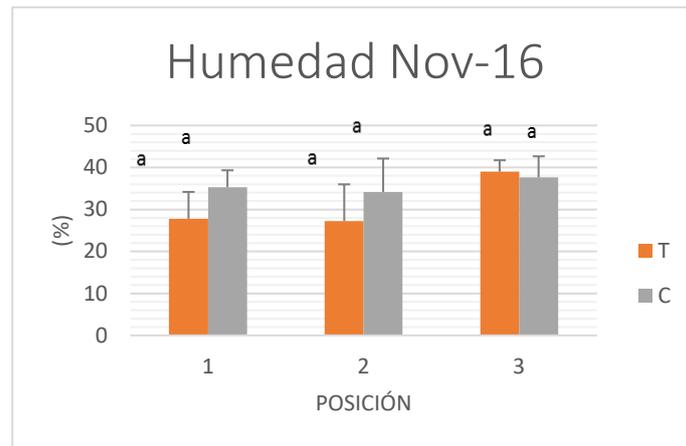


Figura 14. Humedad (%) en el suelo (noviembre de 2016) de las parcelas Tratada (T) y Control (C), comparándolas por posición. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

En el caso de la humedad, no existen diferencias significativas entre las parcelas Tratada y Control, ni grandes diferencias entre las posiciones dentro de las mismas. Sí que se puede observar que la humedad en el segundo periodo (figura 14) se establece en rangos más altos debido a las precipitaciones ocasionadas en ese mes. También podemos deducir que los valores más altos en la posición 3 de ambas parcelas se deben a que estos puntos de muestreo se encuentran en la parte más baja de la pendiente, por lo que, debido a la infiltración y escorrentía del agua, en esa zona hay una mayor humedad.

4.3. El carbono orgánico soluble (COS)

El carbono orgánico soluble del suelo (COS) es una de las partes más activas del carbono orgánico del suelo. El COS está estrechamente relacionado con la sostenibilidad del sistema edáfico, afectando a las propiedades del suelo, estando vinculado a la cantidad y disponibilidad de nutrientes. Cuando el suelo posee condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa es lábil, y se mineraliza rápidamente, y una pequeña fracción se acumula como humus estable (FAO, 2001), actuando como fuente de energía para muchos microorganismos. Los derivados solubles del carbono orgánico del suelo pueden provenir tanto de la degradación de la materia orgánica como de los exudados de las raíces.

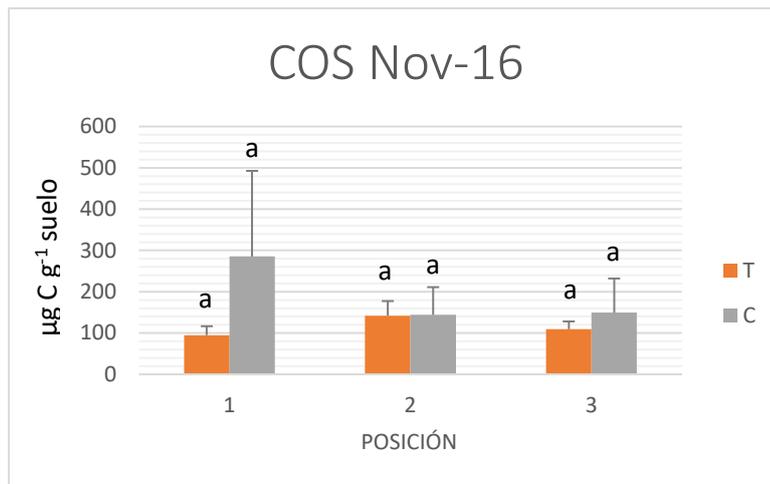


Figura 15. Carbono orgánico soluble en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

Para el COS, los valores de sesgo estandarizado y curtosis estandarizada estaban fuera del rango -2 a +2, lo que indica que los datos no tienen una distribución normal. Al no cumplirse la regla de normalidad se procedió a realizar una transformación de los datos, usándose el Arcotangente (Atan COS) para conseguir este fin y realizar el análisis factorial (ANOVA simple).

Podemos observar que en el caso del COS no existen diferencias significativas entre ambas parcelas, aunque cabe destacar que hay un mayor contenido del mismo en la parcela Control (C). Este hecho difiere de los datos obtenidos de la misma zona en estudios anteriores, donde la parcela Tratada (T) tenía rangos más altos de COS. También observamos que la cantidad de COS es mucho mayor en la posición 1 (Figura 15) de la parcela Control que en la misma posición de la parcela tratada.

4.4. El carbono de la biomasa microbiana

La biomasa microbiana constituye el componente vivo de la materia orgánica del suelo y representa la fracción lábil, conteniendo de 1 a 3% del carbono total del suelo y hasta el 5% del nitrógeno total del suelo. La biomasa microbiana responde de manera más rápida a los efectos de perturbación del suelo que las propiedades físicas y químicas del suelo (Rice y col., 1996; Ross y col., 2001). El carbono de la biomasa microbiana (CBM) es un parámetro que engloba tanto a los microorganismos vivos como muertos y es susceptible de sufrir cambios tanto por variaciones físicas como químicas del suelo. Así, el CBM es muy útil para ser utilizado como indicador, ya que es más sensible que las propiedades físicas y químicas y responde de un modo más rápido a los cambios que se puedan producir en el medio. A pesar de ser más sensible a los cambios, las

modificaciones presentes en el sistema microbiano son mucho más visibles en estudios a largo plazo.

En el caso del CBM no se observan diferencias significativas entre las parcelas (Figura 16), aunque sí que podemos observar que los niveles son más altos en la parcela Control. Estos datos también difieren de los estudios anteriores realizados en la misma zona, donde los valores eran mayores en la parcela Tratada. Sí que podemos ver una pequeña diferencia en la posición 3 de la parcela Tratada, donde los niveles son mayores en comparación a las otras posiciones, aunque en general tampoco existe gran diferenciación entre las posiciones.

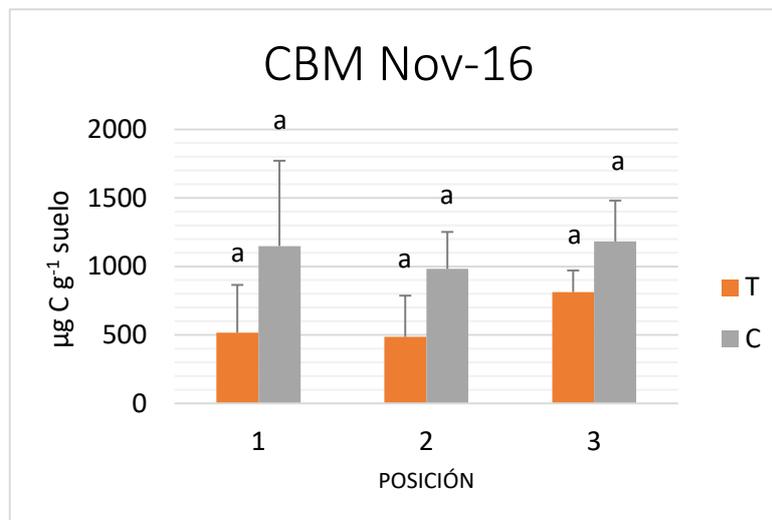


Figura 16. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

4.5. Respiración basal o microbiana

La respiración del suelo es un proceso que refleja la actividad microbiana del mismo, manifestándose a través del desprendimiento de CO_2 o el consumo de oxígeno, resultante del metabolismo de los organismos vivos existentes en ese suelo (Anderson, 1982). Se trata de un parámetro muy útil para medir la descomposición de la materia orgánica, así como la actividad biológica. Así mismo, resulta un factor con mucha variabilidad dependiendo de la disponibilidad del sustrato orgánico, la humedad y la temperatura del medio. De este modo, la respiración basal resulta un factor muy estacional, dependiendo de las condiciones climáticas que se den en la zona de muestreo.

Para el estudio de la respiración basal las muestras se incubaron en laboratorio con la humedad de campo y a temperatura constante.

Como podemos observar en la Figura 17, no existen diferencias significativas entre ambas parcelas, aunque en la parcela Control la respiración tiene valores mayores. También podemos ver que en la parcela Tratada se ve más claramente una tendencia en aumento entre las posiciones, habiendo mayor concentración en la posición 3 que en la 1, pudiendo ser debido a la posición de la pendiente y al arrastre de materia orgánica hacia las zonas más bajas. Mientras, la parcela Control presenta más irregularidades y no muestra una tendencia clara. Cabe destacar que la actividad microbiana en los suelos es estacional, por lo que con un solo muestreo en una época donde las precipitaciones han sido elevadas, los datos no son representativos.

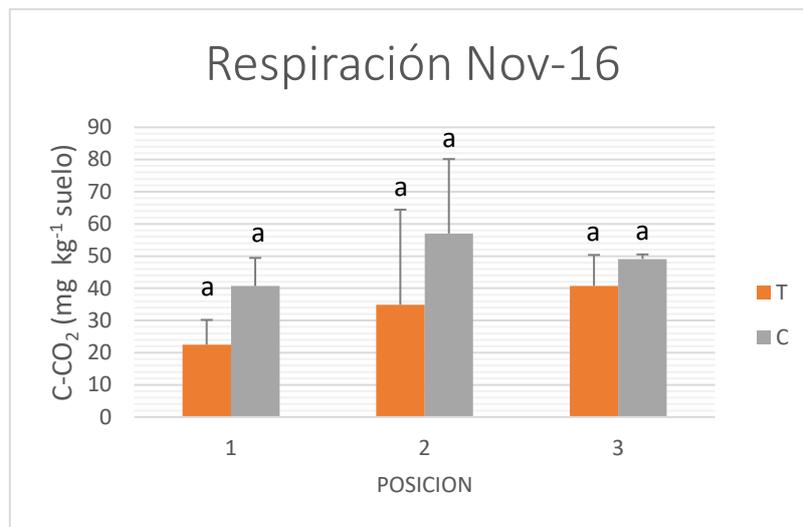


Figura 17. Respiración basal (C-CO₂ (mg kg⁻¹ s)) en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

En la Figura 18 donde se representa la respiración acumulada durante los 15 días de medición, se puede ver una clara tendencia descendente en la concentración de C-CO₂ con el paso del tiempo, debido principalmente a la muerte de los microorganismos presentes en las muestras de suelo. También se observa que a lo largo de los 15 días el suelo de la parcela control respira más que la tratada, esto podría deberse tanto a que la parcela control presenta una mayor humedad, así como un contenido mayor de COS y de CBM.

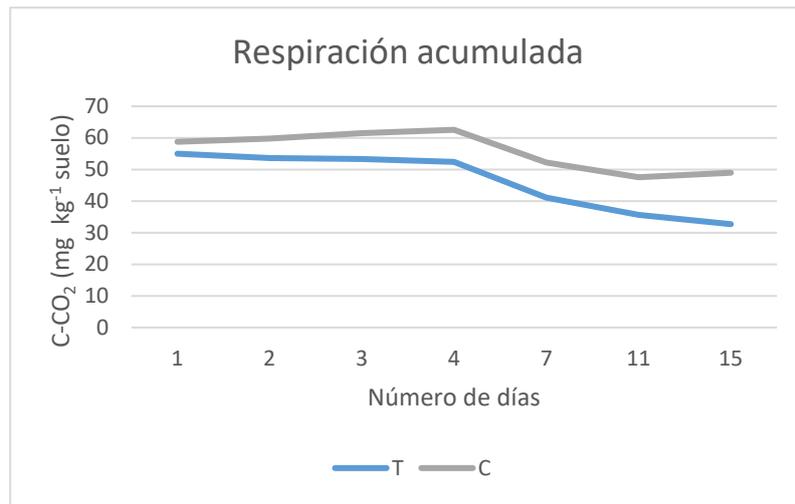


Figura 18. Respiración basal acumulada en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo durante los 15 días de medición.

4.6. Dinámica del Nitrógeno mineral en el suelo

El nitrógeno es un elemento indispensable para el correcto desarrollo de la vida, siendo uno de los elementos principales de las biomoléculas de los seres vivos. A pesar de ser uno de los elementos más abundantes en la Tierra en forma gaseosa, su presencia en muchos suelos suele ser escasa. Una de las características principales del ciclo del N es su continua transformación desde sus formas orgánicas a inorgánicas o mineral mediante procesos de mineralización e inmovilización por parte de la biomasa microbiana (Jansson y Persson, 1982). El proceso de mineralización es determinante para la disponibilidad de este elemento en el ecosistema terrestre. Por otra parte, la asimilación del N mineral por parte de los microorganismos o inmovilización, es un proceso que controla la disponibilidad de N para las plantas. La inmovilización junto con la relación C:N de suelo y plantas, son variables que afectan a la tasa de mineralización. Está a su vez, se ha observado que guarda relación con los contenidos de materia orgánica presente en el suelo (Okano y col., 2004).

Para la extracción del nitrógeno de las muestras de suelo se utilizó KCl 2 M y posteriormente se determinó el amonio y los nitratos en los extractos de suelo. Consideramos nitrógeno mineral la suma de nitratos y amonio.

Para que el estudio de los datos del N mineral fuera normal, se observó tanto el sesgo estandarizado como la curtosis estandarizada. Los valores estadísticos para la normalidad deben encontrarse entre +2 y -2. Al no cumplirse la condición anterior se procedió a transformar los datos usándose el logaritmo (LOG) del Nitrógeno mineral.

En las Figura 19 y Figura 20 podemos observar como el Nitrógeno mineral toma valores más altos en la segunda etapa de muestreo, donde las temperaturas son más bajas y se produjeron mayores precipitaciones. En comparación con estudios anteriores de la zona, muestra una clara tendencia estacional con valores más altos en invierno.

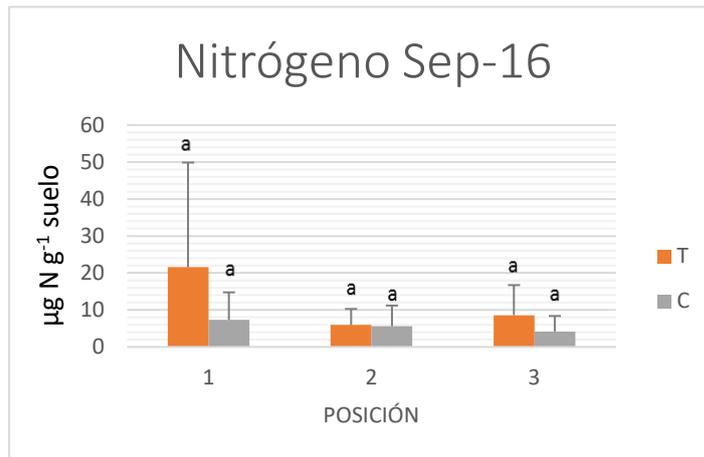


Figura 19. Contenido en nitrógeno mineral en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de septiembre de 2016. Los datos señalados con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

También podemos observar que mientras que en la primera etapa (septiembre 2016) estadísticamente no se muestran diferencias significativas tanto entre las parcelas como entre las posiciones (si bien se dan los valores más altos en la posición más elevada de la pendiente).

En la segunda fecha de muestreo (noviembre 2016) se muestra una diferencia significativa entre la parcela Tratada y Control en la posición 2. En dicha posición, la parcela Tratada tiene un contenido en nitrógeno de $8,94 \mu\text{g N g}^{-1}$ suelo, mientras que la parcela Control presenta un contenido algo superior al doble ($20,30 \mu\text{g N g}^{-1}$ suelo). Esto puede deberse al periodo de lluvias y el arrastre de material orgánico o un estancamiento del mismo en la zona central.

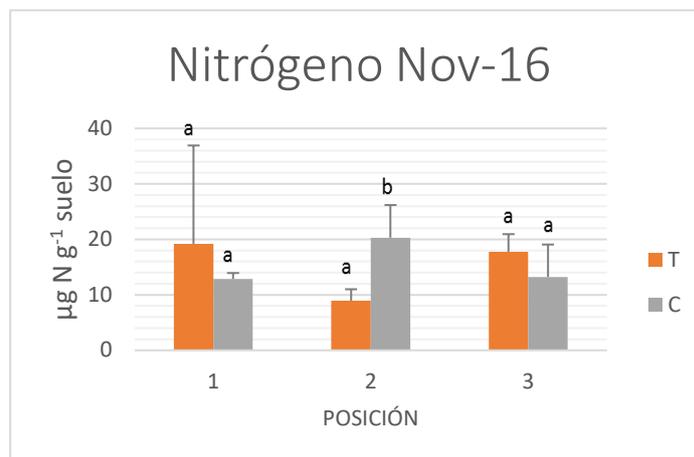


Figura 20. Contenido en nitrógeno mineral en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de noviembre de 2016. Los datos señalados con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

En el caso de la evolución del amonio (NH_4^+) (Figura 21 y Figura 22) y los nitratos (NO_3^-) (Figura 23 y Figura 24) durante la época de muestreo, no existen diferencias significativas entre las parcelas en ninguno de los dos factores. Se puede observar que, en ambos casos, el contenido en nitratos es mayor que el contenido en amonio y que a su vez las concentraciones de ambos son mayores en la segunda fecha de muestreo. En el caso del amonio sí que se observa una tendencia creciente en cuanto a las posiciones en la segunda etapa mientras que los nitratos presentan unos rangos más irregulares, pudiéndose observar un aumento de las concentraciones en la posición 2.

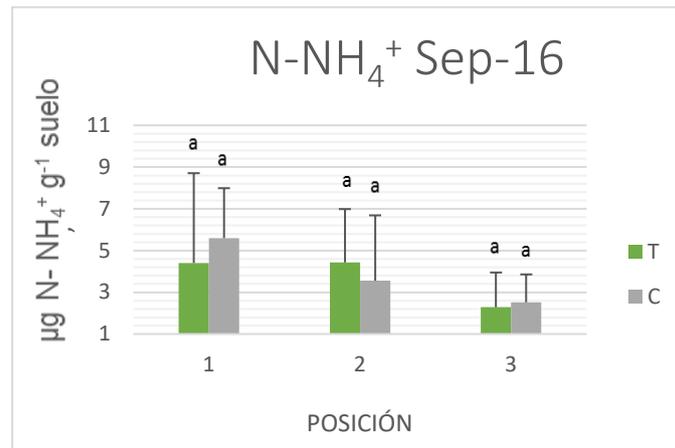


Figura 21. Contenido en amonio en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de septiembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

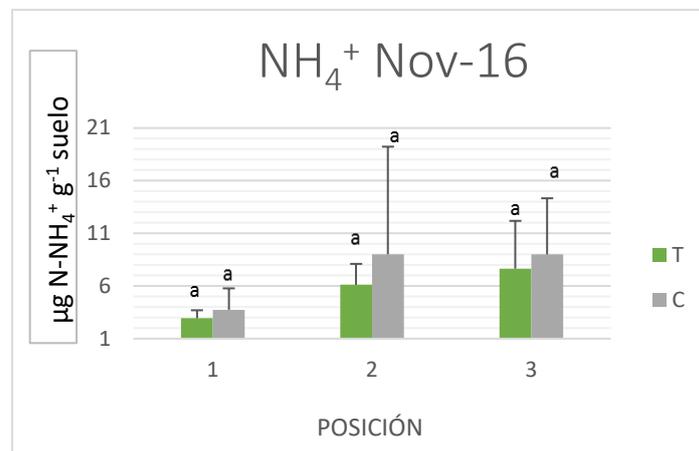


Figura 22. Contenido en amonio en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de noviembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

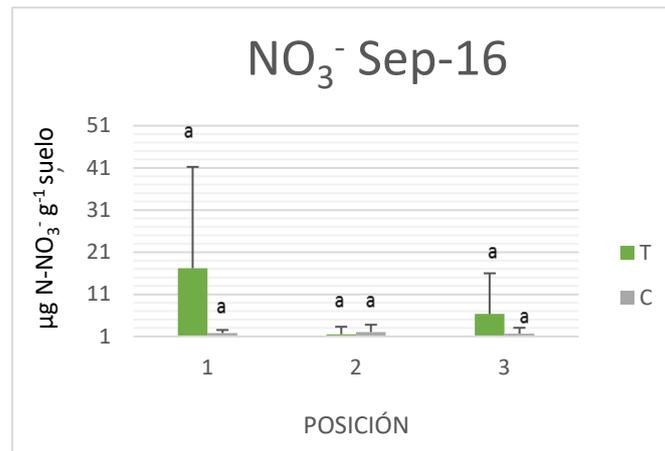


Figura 23. Contenido en nitratos en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de septiembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

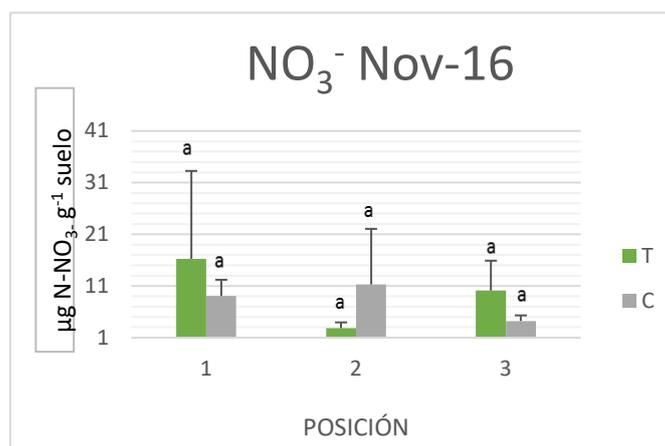


Figura 24. Contenido en nitratos en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el muestreo de noviembre de 2016. Los datos señalados con las mismas letras no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

4.6.1. Nitrógeno lixiviado

La lixiviación del nitrógeno es el proceso por el cual los nitratos y el amonio se pierden desde el suelo por el flujo y el drenado del agua. Esto puede producirse debido a consecuencia de grandes precipitaciones que desplazan los nitratos a mayor profundidad de la que pueden alcanzar las raíces, conllevando consecuencias negativas para el medio.

Al no cumplir los valores de nitrógeno lixiviado la condición de normalidad, se procedió a transformar los datos usándose el logaritmo (LOG) del Nitrógeno lixiviado.

En el caso del nitrógeno lixiviado se puede observar que en la parcela Control existe una mayor estabilidad entre las concentraciones, produciéndose un claro aumento desde la posición 1 hasta la posición 3. Mientras que en la parcela Tratada se observan claras irregularidades. También se puede observar una diferencia significativa en la posición 3, esto puede deberse a la concentración de nitratos, la cual también muestra una diferencia significativa en la misma posición (Figura 25).

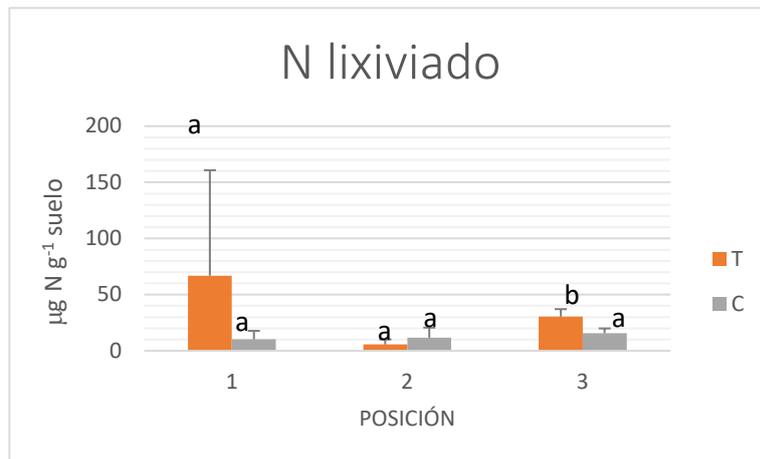


Figura 25. N lixiviado en las parcelas Tratada (T) y Control (C). Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05).

En el caso del amonio, sí que podemos ver una tendencia más estable en la parcela Tratada (Figura 26), aunque las concentraciones no distan mucho de las tomadas en las muestras de la parcela control. Mientras en el caso del nitrato (Figura 27), se da una concentración más elevada en la posición 1 que en el resto, donde se estabilizan. Cabe destacar que únicamente se ha trabajado con dos muestreos, por lo que los valores obtenidos no reflejan el conjunto estacional de la zona, donde en estudios anteriores se mostraba una clara tendencia estacional con picos en invierno y claros descensos en verano, donde las lluvias son casi nulas.

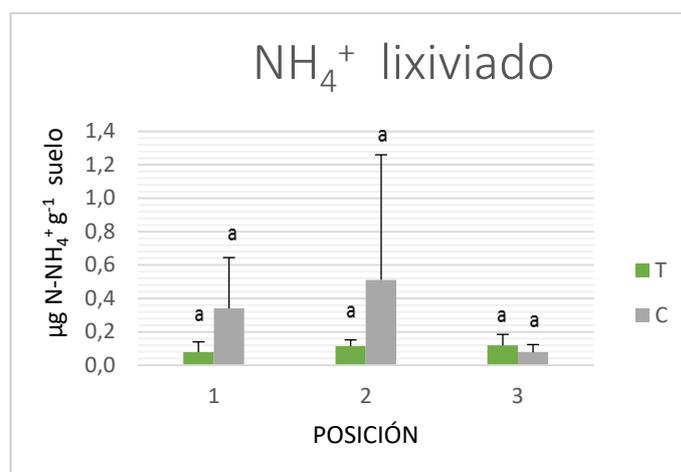


Figura 26. Amonio lixiviado en las parcelas Tratada (T) y Control (C). Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05)

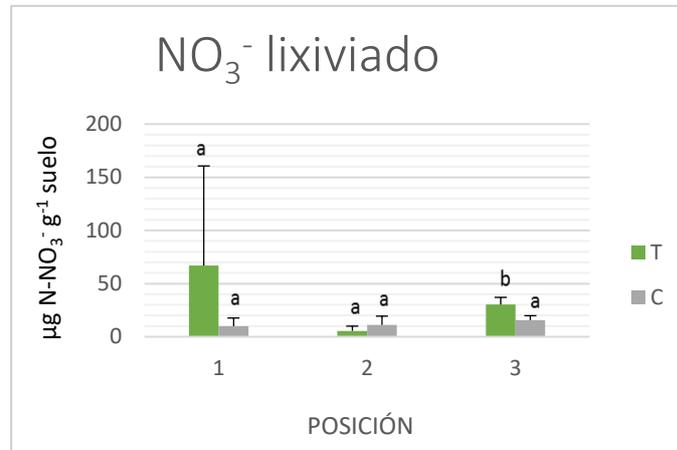


Figura 27. Nitratos lixiviados en las parcelas Tratada (T) y Control (C).. Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD (p valor ≤ 0.05)

4.6.2. Nitrificación

La nitrificación es la oxidación biológica del amonio a nitrato por parte de los microorganismos aerobios, usando el oxígeno molecular como oxidante. Estos organismos utilizan este proceso para la obtención de energía. La nitrificación se ve favorecida por la presencia de oxígeno y un medio alcalino que neutralice la bajada de pH producida por la formación de nitratos. Este factor depende de la presencia total de N-NH₄⁺ disponible.

Para que el estudio de los datos de la nitrificación fuera normal, se observó tanto el sesgo estandarizado como la curtosis estandarizada. En el caso de esta variable y al no encontrarse dentro de la normalidad se procedió a transformar los datos usándose el logaritmo (LOG) del Nitrógeno nitrificado en el interior de la resina para conseguirlo.

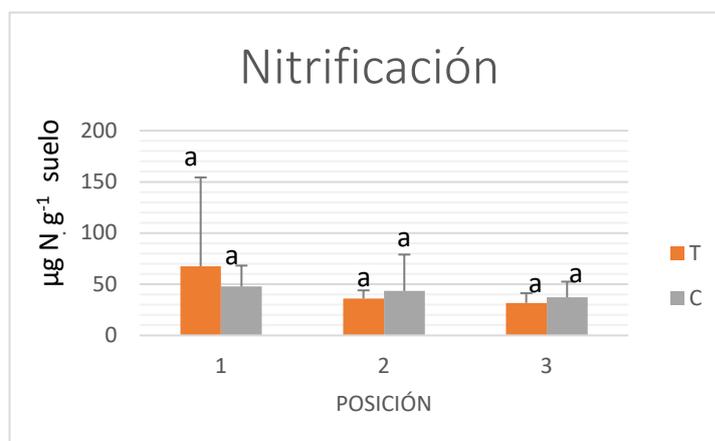


Figura 28. Nitrificación en las parcelas Tratada (T) y Control (C) en el segundo periodo de muestreo. Los datos señalados con distinta letra son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD (p valor ≤ 0.05).

Como se puede observar en la Figura 28 los valores correspondientes a la nitrificación total en ambas parcelas son muy similares, dándose mayores niveles en la posición 1. En el caso de la comparación entre los niveles de amonio y nitratos en ambas parcelas, los niveles de nitratos son mayores que los niveles de amonio, ya que se trata del proceso de nitrificación. A su vez, en el caso del Amonio, los valores son superiores en la parcela control, mientras que en el caso de los nitratos es al contrario. Esto demuestra, que en la parcela tratada existe un mayor grado de nitrificación. No existen diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables.

4.6.3. Nitrógeno mineralizado

La mineralización es el proceso mediante el cual el nitrógeno orgánico se transforma en sus formas inorgánicas (amonio y nitrato) mediante la actividad de los microorganismos. La cantidad total de nitrógeno liberada de la materia orgánica es conocida como mineralización bruta, mientras que la cantidad resultante de eliminar la inmovilización microbiana se denomina **mineralización neta**. La mineralización neta se utiliza para hacer una estimación del nitrógeno disponible para las plantas, y se expresa como la tasa de cambio en un periodo de tiempo. Algunos de los problemas para su medición vienen dados por los procesos derivados como la desnitrificación, volatilización, inmovilización y adquisición por parte de la planta, así como la parte que se lixivia.

Los valores estadísticos para este factor no se encontraban dentro de la normalidad (+2 y -2), por lo que al no cumplirse esta regla se procedió a realizar la transformación de los datos, usándose el arcotangente (ATAN) del nitrógeno mineralizado.

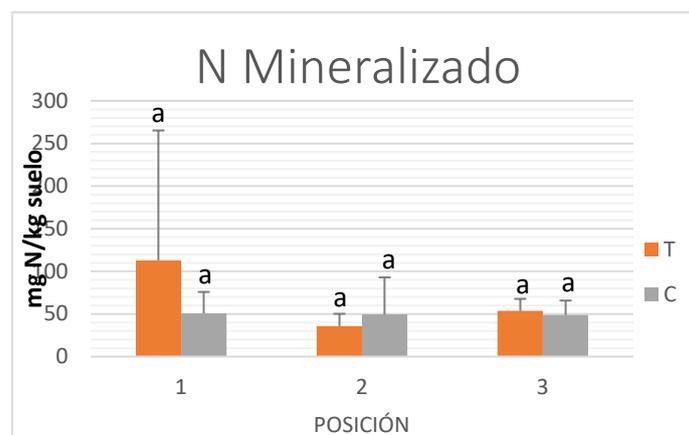


Figura 29. Mineralización neta en las parcelas Tratada (T) y Control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05)

Como podemos observar en la Figura 29, la tasa de mineralización entre las parcelas es muy similar, presentando mayores niveles en la posición 1 de la parcela tratada. Esto guarda mucha relación con los niveles de nitrógeno muestreados, ya que es en esta misma posición donde se dan valores más altos. Por otro lado, los niveles que se dan en las otras dos posiciones no muestran mucha diferencia entre ambas parcelas, mostrando una tendencia parecida a los niveles de nitrógeno medidos anteriormente. Se puede observar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre parcelas y posiciones.

4.7. Caracterización del mantillo en la zona de estudio

El mantillo es la capa más superficial del suelo, formada por restos orgánicos provenientes de la masa vegetal. La profundidad y características del mismo dependen del balance entre la caída de hojarasca y la descomposición de la misma por agentes físicos, químicos y biológicos. El mantillo constituye uno de los principales sitios de almacenamiento de carbono y nutrientes, teniendo un papel fundamental en procesos de flujos de energía y circulación de nutrientes para el medio. Además puede afectar a la estructura de las comunidades vegetales por su capacidad de retención hídrica, mitigación de la erosión del suelo y efecto protector.

Conocer las características del mantillo de la zona de estudio ayudará a cuantificar los aportes de materia orgánica por parte de la masa forestal, así como hacer una caracterización microclimática de la zona de estudio.

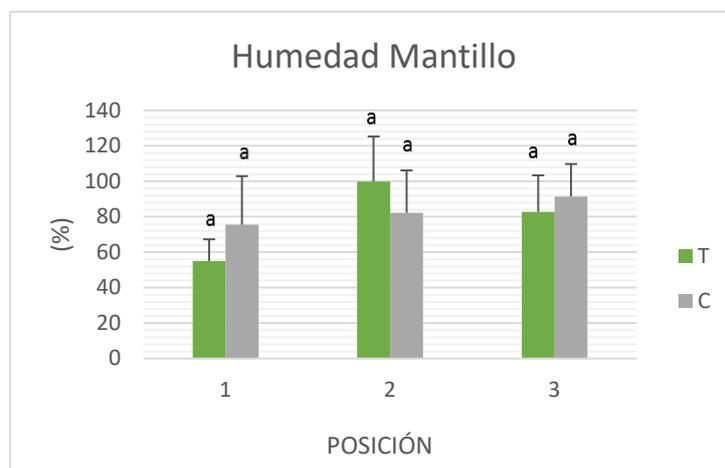


Figura 30. Factor humedad (%) en el mantillo de la zona de estudio en la parcela tratada (T) y control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con el test LSD (p valor ≤ 0.05)

En el caso de la humedad del mantillo (Figura 30) podemos observar que los niveles (55.03 ± 99 % en la parcela Tratada, $75,53 \pm 91,51$ % en la parcela Control) superan con creces al porcentaje de humedad del suelo, dándose unos niveles más altos en las posiciones 2 y 3. Esto puede estar relacionado con la pendiente de la zona y el arrastre de material húmico a las zonas más bajas. Además, explicaría el cambio tan alto de

humedad sufrido en la parcela tratada de la posición 1 a la posición 2. En ambas parcelas se estabiliza en la posición 3. No existen diferencias significativas entre posición ni parcela.

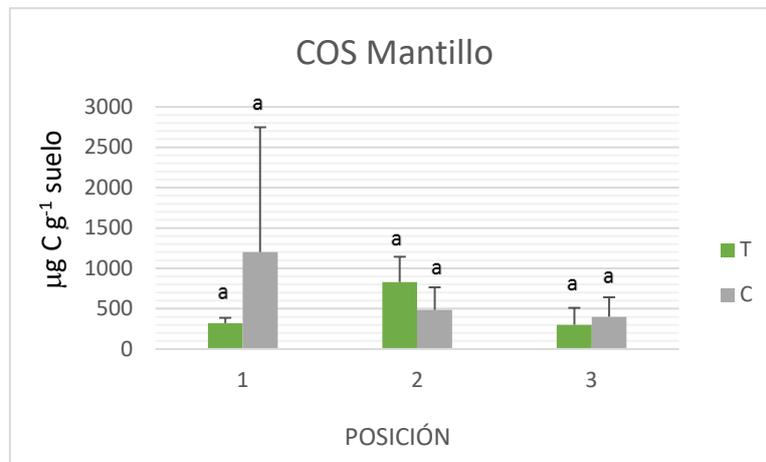


Figura 31. Carbono orgánico soluble en el mantillo de la zona de estudio en las parcelas tratada (T) y control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD (p valor ≤ 0.05)

En general, los valores de carbono orgánico soluble en el mantillo (figura 31), son mayores que en el suelo ($300,79 \pm 830,54 \mu\text{g C g}^{-1}$ suelo en la parcela tratada, $399,99 \pm 1201,73 \mu\text{g C g}^{-1}$ suelo en la parcela a control). Esto demostraría la función sumidero de carbono orgánico que posee el mantillo. También podemos observar que en general los niveles son más altos en la parcela control que en la parcela tratada, esto podría deberse a que en la parcela Tratada existe una mayor absorción de carbono orgánico tanto en el suelo como por parte de la vegetación. En ninguno de los casos existen diferencias significativas.

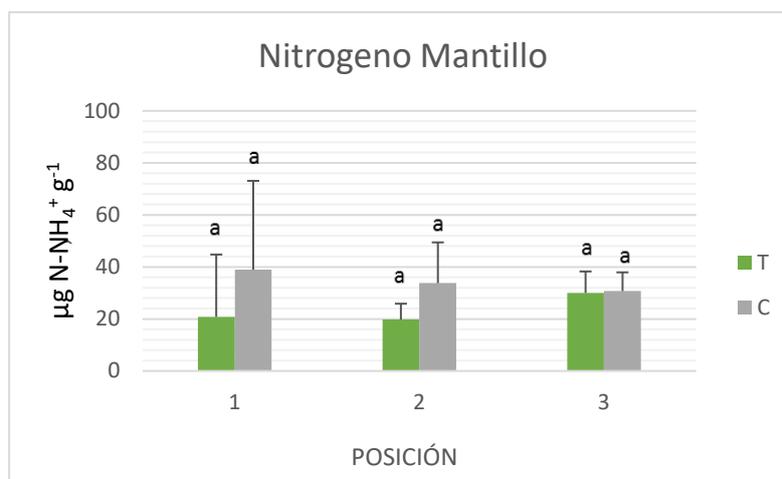


Figura 32. Nitrógeno en el mantillo de la zona de estudio en las parcelas tratada (T) y control (C). Los datos señalados con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD (p valor ≤ 0.05)

Los valores de nitrógeno dados en el mantillo (Figura 32) son bastante similares a los obtenidos para el suelo en las mediciones, dándose en este caso niveles ligeramente superiores ($19,77 \pm 29,99 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$ suelo en la parcela Tratada, $30,71 \pm 38,93 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$ suelo en la Control). Esto podría deberse a la descomposición de la materia orgánica y el consiguiente aumento de nitrógeno. Los valores dados en la parcela tratada son algo inferiores a los valores de la parcela control, posiblemente debido a la infiltración de este nitrógeno en el suelo para su posterior uso por parte de la comunidad vegetal y microbiana. También se puede observar que en la parcela tratada los valores van en aumento, debido a la pendiente de la zona en las distintas posiciones de muestreo. No existen diferencias significativas entre ambas parcelas ni posiciones.

4.8. Matriz de correlación

En la Tabla 4 podemos observar las correlaciones de todas las variables analizadas durante el muestreo de suelo en las parcelas. Algunas de estas relaciones son tan débiles que no representan ninguna significación con el resto.

Podemos observar que tanto el nitrógeno mineral como el nitrógeno mineralizado poseen bastantes factores con correlación, estando correlacionados entre sí. Ambas poseen correlación con la mayoría de factores que incluyen procesos de transformación del nitrógeno, como la nitrificación o la lixiviación. En el caso de la humedad, esta correlacionada con la respiración y el carbono de la biomasa microbiana, factores que depende de ella para un buen desarrollo.

Podemos observar que en el caso de la respiración hay bastante correlación con los factores relacionados con la nitrificación, siendo bastante lógico, ya que este proceso depende de la oxidación por parte de los microorganismos presentes en el medio. Se puede ver que en el caso del carbono orgánico soluble no existen apenas correlaciones, siendo la única con el amonio de la nitrificación, posiblemente relacionado con la actividad microbiana. Así como el CBM que únicamente posee una única relación con la humedad, nombrada anteriormente.

	Nitrogeno mineral	N.Mineral izado	Humedad (%)	N.Lixiviado	COS	Respiración (15 días)	CBM (carb. micro)	IRP	Amonio NH4+	Nitrato NO3-	Amonio _RP	Nitrato RP	Amonio _IRP	Nitrato _IRP
Nitrogeno mineral	1													
N.Mineralizado	0,7886***	1												
Humedad (%)	NS	NS	1											
N.Lixiviado	0,7949***	0,9565***	NS	1										
COS	NS	NS	NS	NS	1									
Respiración (15 días)	NS	NS	0,6741**	NS	NS	1								
CBM (carb.bio.micro)	NS	NS	0,6344**	NS	NS	0,5506*	1							
IRP	0,7425***	0,9724***	NS	0,9685***	NS	NS	NS	1						
Amonio NH4+	NS	NS	NS	NS	NS	0,596**	NS	NS	1					
Nitrato NO3-	0,8206***	0,8576**	NS	0,7504***	NS	NS	NS	0,5614**	NS	1				
Amonio_RP	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,5719*	NS	1			
Nitrato_RP	0,793***	0,9549***	NS	NS	NS	NS	NS	0,8658***	NS	0,7515***	NS	1		
Amonio_IRP	NS	NS	NS	NS	0,6571**	0,5887*	NS	NS	0,7328***	NS	0,6669**	NS	1	
Nitrato_IRP	0,7242***	0,9096***	NS	0,9591***	NS	NS	NS	0,8267***	NS	0,7946***	NS	0,9597***	NS	1

Tabla 4. Matriz de correlación lineal de las variables de estudio. (*, ** y *** significativa a $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$ respectivamente, NS, no significativa)

5. CONCLUSIONES

Este trabajo comparativo entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo entre dos parcelas donde se ha practicado un tratamiento selvícola (en una de ellas), se ve un poco dificultado por la escasa información aportada debido a los pocos muestreos realizados. En este caso se dispone de datos obtenidos del muestreo realizado al suelo del monte de La Hunde (Ayora) entre Septiembre y Noviembre del 2016, ofreciendo únicamente datos de una época de transición, por lo que gran parte de los resultados no aportaran una información clara de las consecuencias que puede conllevar un tratamiento selvícola a corto plazo en una masa forestal. De todos modos, con los resultados obtenidos se pueden hacer suposiciones que ayudan a entender los efectos del manejo forestal y la importancia de una buena gestión selvícola.

Podemos observar que la parcela que ha recibido un tratamiento selvícola posee niveles inferiores de humedad en el suelo mineral, pero el porcentaje de esta es mayor en el mantillo, por lo que podemos suponer que en la parcela tratada, la fracción orgánica derivada de restos de hojarasca provenientes de los árboles y la masa arbustiva es mayor, y por lo tanto hay un mayor ingreso de materia orgánica sobre la superficie.

En el caso del Carbono orgánico soluble (COS), el carbono de la biomasa microbiana (CBM) y la respiración basal, los datos obtenidos muestran que la parcela con valores más altos es la Control. Esto difiere de los datos obtenidos en estudios anteriores de la misma zona. Puede ser debido a la época de muestreo, ya que hubo un periodo de altas precipitaciones (Noviembre), dotando al suelo de unos factores microclimáticos propicios para una alta actividad microbiana. Así mismo, la parcela tratada sigue una línea ascendente, denotando así la pendiente de la zona de muestreo, pues debido a la clara realizada, la materia orgánica puede haber sido lavada hacia la zona de menor pendiente, es decir, la más baja. También hay que destacar que ya que la parcela tratada estaba dotada de mayor masa húmica, el déficit de estos factores puede deberse a esto, ya que en la control pasarían directamente al suelo mineral.

En relación al ciclo del nitrógeno producido durante el muestreo, se puede observar que en el nitrógeno mineral los resultados obtenidos para ambas parcelas son prácticamente iguales, describiendo un leve aumento en la época de lluvias. Por otra parte, el nitrógeno mineral en el mantillo posee valores más altos para ambas dos. En el caso del nitrógeno lixiviado, la parcela tratada posee niveles mucho más altos en la posición 1 en relación al resto de posiciones y en comparación con la parcela control, pudiendo deducir que hay mayores pérdidas de nitrógeno por lixiviación. En cuanto a la nitrificación podemos ver como en la parcela tratada sigue una tendencia descendente junto a la pendiente, por lo que se puede deducir que el nitrógeno está siendo oxidado por los

microorganismos. Esto se ve reflejado en el claro descenso del nivel de nitratos y la estabilización en el amonio. Con el nitrógeno mineralizado nos encontramos que los niveles en la parcela tratada van descendiendo, lo que muestra una inmovilización por parte de los microorganismos. Mientras que en la parcela control sigue una estabilidad más o menos constante.

Las mayores correlaciones se pueden ver reflejadas dentro del ciclo del nitrógeno, englobando el nitrógeno mineral y todos los procesos sufridos en el medio.

En este trabajo podemos considerar que se ha hecho una caracterización general del medio de estudio, considerando que los muestreos realizados han sido muy pocos y por lo tanto los resultados no deben considerarse del todo significativos. Además, en comparativa con estudios anteriores de la zona, la evolución de muchos de los factores anteriormente citados es estacional, por lo que en diferentes condiciones microclimáticas los valores obtenidos pueden ser diferentes. Es necesario seguir con estudios para poder ver la evolución del proyecto en un plazo más largo, con el fin de ver si la dinámica de la parcela tratada continúa con este comportamiento.

Los resultados obtenidos en este estudio confirman la complejidad de tratar con el estudio de un ecosistema forestal debido a la dinámica de todos los factores que lo conforman. A su vez, este se ve muy afectado tanto por factores de carácter ambiental como antrópico, que modifican su desarrollo y por lo tanto sus condiciones. Por tanto, y analizando las conclusiones de este estudio y los anteriores realizados en la misma zona, se puede valorar positivamente este trabajo, aportando datos que mejorarían la visión presente y futura en cuanto a la investigación de posibles estudios de tratamiento y gestión selvícola.

6. BIBLIOGRAFIA

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2004). Medio ambiente en Europa: tercera evaluación. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Madrid

Alfaro-Sanchez, R. (2013). *La importancia del sotobosque en la cuantificación de los depósitos de carbono en masas jóvenes de Pinus halepensis Mill. en el SE español*. 6º Congreso Forestal Español.

Attiwill P.M., Adams M.A.(1993). Nutrient cycling in forest. *New Phytologist*, 124: 561-582.

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., & Guitierrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 90-97.

Binkley D., Hart S.C. (1989) The components of nitrogen availability assessments in forest soils. En: *Advances in soil science*. Stewart S.A. (Ed.). Springer, New York. p. 57-112.

Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización del nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 343-356.

Cerón Rincón, L. E., & Ancízar Aristizábal Gutiérrez, F. (2012). *Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos*.

Cervelló Royo, J. (2008). *Estudio climatológico del monte V-1007 de La Hunde y La Palomera en el término municipal de Ayora (Valencia)*. Trabajo final de carrera. UPV.

Crichton R.R. (2012) Chapter 18 Non-metals in Biology. En: *Biological inorganic chemistry: a new introduction to molecular structure and function*. Crichton R.R.343-358.

Daily G.C. (1997) *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. 392 pp.

DiStefano J.F., Gholz H.L. (1986) A proposed use of ion exchange resins to measure nitrogen mineralization and nitrification in intact soil cores. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17: 989-998

Fernández, A. T., & Hernández, C. M. (1993). *Determinación de la cobertura forestal límite para la conservación de los suelos y otros recursos naturales dentro de la cuenca hidrográfica*. Congreso Forestal Español.

García C., Hernández T., Costa F. (1999) Suelos erosionados: bioindicadores de su calidad biológica y bioquímica. *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 4:165-175.

García Valdés, R., & Morales Castilla, I. (2016). Efectos el cambio climático en los ecosistemas forestales: integrando inventarios y modelos. *Ecosistemas*, 51-59.

García-Güemes, C., & Calama, R. (2013). *La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático*.

Gracia, Y., Ramirez, W., & Sanchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 125-138.

J.A.Pardos. (2006). *La contaminación atmosférica y los ecosistemas forestales*.

- Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkinen K., Byrne K. A. (2007) How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137: 253-268.
- L.Hernández. (2016). Impactos del cambio global en ecosistemas forestales ibéricos a partir del inventario Forestal Nacional. *Ecosistemas*, 112-115.
- Macdonald C. A., Anderson I. C., Bardgett R. D., Singh B. K. (2011) Role of nitrogen in carbon mitigation in forest ecosystems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3: 303-310.
- Marañón, T., Padilla Díaz, C., Pérez Ramos, I., & Villar, R. (2014). Tendencias de la investigación sobre ecología y gestión de las especies de *Quercus*. *Ecosistemas*, 124-129.
- Marcano, L., & Graciano, E. (2010). *Dinámica del nitrato en dos suelos de la cuenca del lago de Valencia, Venezuela*.
- Martinez Yrizar, A., & Sarukhan, J. (1993). *Cambios estacionales del mantillo en el suelo de un bosque tropical caducifolio y uno subcaducifolio en Chamela, Jalisco, México*.
- Martinez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*.
- Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *Perfil Ambiental de España 2015*.
- Miralles I., Ortega R., Sánchez-Marañón M, Leirós M.C., Trasar-Cepeda C., Gil-Sotres F., (2007) Biochemical properties of range and forest soils in Mediterranean mountain environments. *Biology and Fertility of Soils*, 43: 721-729.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Roma.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*.
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*.
- Paz-Ferreiro J, Trasar-Cepeda C, Leirós MC, Seoane S, Gil-Sotres F. (2007) Biochemical properties of acid soils under native grassland in a temperate humid zone. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50: 537–548.
- Serrada R. (2008a). Avance apuntes de silvicultura. Ed. Serrada R. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Cap. I pag.3.
- Serrada R. (2008b). Avance apuntes de silvicultura. Ed. Serrada R. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Cap. XIV.
- Singer M.J., Ewing S.A. (2000) Soil quality. En: *Handbook of soil science*. Summer M.E. (ed.). CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- Van Cleemput O.V., Samater A.H. (1996) Nitrite in soils: accumulation and role in the formation of gaseous N compounds. *Fertilizer Research*, 45: 81-89.
- Wic Baena, C. (2015). *Impacto ambiental de los tratamientos selvícolas e incendios en suelos forestales de la serranía de Cuenca. Propuesta de un índice de recuperación de calidad del suelo*. Tesis Doctoral.

Zornoza R., Mataix-Solera J., Guerrero C., Arcenegui V., García-Orenes F., Mataix-Beneyto J., Morugán A. (2007) Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties. *Science of the Total Environment*, 378: 233-237.