

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**DETERMINACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL
SUELO EN TRES ZONAS REPOBLADAS Y NATURALES EN LA CUENCA DEL
RÍO GUADALFEO EN SOPORTÚJAR, GRANADA, ESPAÑA**

POR:

EDISSA ALEJANDRA VALDEZ CRUZ

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS

DICIEMBRE, 2011

DETERMINACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL
SUELO EN TRES ZONAS REPOBLADAS Y NATURALES EN LA CUENCA DEL RÍO
GUADALFEO EN SOPORTÚJAR, GRANADA, ESPAÑA

POR:
EDISSA ALEJANDRA VALDEZ CRUZ

Ph. D. MARLON ONIEL ESCOTO VALERIO.
Asesor Principal

FRANCISCO JOSÉ MARTÍN PEINADO, Ph. D.
Asesor (España)

TESIS

PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS

DICIEMBRE, 2011

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con todo mi corazón a JESUCRISTO, a mis amados padres Emma Ruth Cruz y José Gilberto Valdez, a mis incondicionales Hermanos R. Iliana, Josué G, Leonardo J y S. Saraí, a mi bello sobrino Benjamín J, y a mi querido novio Darcy Martínez.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar las gracias a "Dios Todopoderoso" por iluminarme, por guiarme, por cuidar de mí y de mis seres queridos, por no desampararme, y es que todo se lo debo a Él.

Quiero dar las gracias a la Universidad Nacional de Agricultura y al Ph. D. Francisco José Martín Peinado de la Universidad de Granada, España; por apoyarme durante el tiempo de estudio y por haber participado en mi formación.

También muy especialmente doy las gracias a mis asesores de Tesis M Sc. Oscar Iván Ferreira, porque me dirigió, y siempre tuvo tiempo para mí, al M Sc. Emilio Javier Fuentes, por sus valiosos consejos y por mostrar verdadera amistad hacia mi persona, al M Sc. Oscar Ovidio Redondo y al Ph. D. Marlon Oniel Escoto por apoyar mi estadía en la UNA.

Quiero dar las gracias y expresar mi profundo agradecimiento a todos los jóvenes que forman parte del Ministerio Amigos de Jesús, por ser una familia durante cuatro años y porque la huella que un Amigo de Jesús marca es imborrable, bendiciones a todos.

Gracias a mi familia, por todo su amor y respaldo, sobre todo a mi madre Emma Ruth Cruz por sus oraciones; mis hermanos Ili, Sara, Joche y Leo, porque mis días son interesantes, agitados y alegres gracias a ustedes. Le brindo mi más profundo agradecimiento a Darcy Leonardo Martínez Zelaya mi novio, por su incondicional apoyo, porque después de Dios has sido mi refugio y el sol que llenó de alegría cada uno de mis días en la Universidad Nacional de Agricultura.

Rommel Licon, Mirna Zelaya, Sheila Velásquez, Nancy Raudales, Grecia Navarro y Karen Hernández, un agradecimiento especial para ustedes por su amistad y compañía durante el tiempo que estuve en la UNA, quiero expresar mi más profundo cariño, son lo mejor que me llevo de la U.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. General.....	2
2.2. Específicos	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Repoblaciones Forestales.....	3
3.1.1. Generalidades	3
3.2. Propiedades físicas del suelo.....	4
3.2.1. Estructura.....	4
3.2.2. Textura	4
3.2.3. Clasificación	5
3.2.4. Infiltración.....	5
3.2.5. Escorrentía	6
3.2.6. Porosidad del suelo.....	7
3.2.7. Densidad aparente.....	7
3.2.8. Erosión hídrica del suelo	8
3.3. Análisis de suelos	8
3.4. Simulador de lluvia.....	9
3.4.1. Características de la lluvia simulada	9
3.5. USLE (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo).....	10
3.6. Cobertura natural (roble) en la Cuenca del Río Guadalfeo Granada, España	11

3.7. Cobertura de repoblación (pinar) en la Cuenca del Río Guadalfeo Granada, Sp.....	12
3.9. Zona no repoblada (matorral) en la Cuenca del Río Guadalfeo Granada, España....	13
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1. Región de estudio.....	14
4.2. Materiales y equipo utilizados.....	15
4.2.1. Materiales.....	15
4.2.2. Equipo.....	15
4.3. Estudios de campo:.....	16
4.3.1. Toma de muestras.....	16
4.3.2. Uso de simulador.....	18
4.4. Trabajo de laboratorio:.....	20
4.4.1. Medida de la densidad aparente y estimación de la porosidad.....	20
4.4.2. Medida del pH.....	21
4.4.3. Medida de la conductividad eléctrica (CE).....	21
4.4.4. Medida del contenido en carbonato cálcico (CaCO ₃).....	22
4.4.5. Medida del contenido en carbono orgánico (CO).....	23
4.4.6. Medida de la textura.....	24
4.4.7. Medida de las bases y capacidad de cambio.....	27
4.4.8. Medida de la retención de agua útil.....	28
4.4.9. Medida del contenido en nitrógeno.....	29
4.5 USLE.....	30
4.6 Análisis Estadístico.....	30
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
5.1. Características topográficas de los perfiles de suelo.....	31
5.1.1 P-10 Robledal.....	31
5.1.2 P-10 Pinar.....	33
5.1.3 P-10 Matorral.....	34
5.1.4. P-11 Pinar.....	36
5.1.5 P-11 Matorral (sin repoblación).....	37
5.2. Propiedades físicas y químicas del suelo.....	39
5.2.1. Análisis de textura.....	39

5.2.2. Análisis de pH.....	41
5.2.3. Análisis de Conductividad Eléctrica (CE).....	42
5.2.4. Análisis de carbonatos de calcio (CaCO ₃)	43
5.2.5. Análisis del porcentaje de humedad	44
5.2.6. Análisis de la Densidad Aparente (Da).....	46
5.2.7. Análisis de la Porosidad (Po)	48
5.2.8. Análisis del Carbono Orgánico (CO).....	49
5.2.9. Análisis del Nitrógeno (N)	50
5.2.10. Análisis de la relación Carbono-Nitrógeno (C/N)	51
5.2.11. Análisis de la Materia Orgánica (MO)	52
5.2.12. Análisis de Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	53
5.3. Simulador de lluvia.....	55
5.3.1. Erosión de las tres coberturas según intensidades de lluvia alta, media y baja	56
5.3.2. USLE.....	57
5.3.3. Comparación entre la USLE y el Simulador de lluvia	58
5.4. Análisis Estadístico.....	58
5.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA).....	58
5.4.2. Comparación entre tipos de cobertura (todas las profundidades)	59
5.4.3. Comparación por profundidades para cada tipo de vegetación.....	60
VI. CONCLUSIONES	65
VII. RECOMENDACIONES	66
VIII. BIBLIOGRAFÍA	67
IX. ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de las partículas del suelo (Rucks <i>et al</i> 2004).....	5
Tabla 2	Descripción macromorfológica del perfil robledal (bosque natural) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	32
Tabla 3	Descripción macromorfológica del perfil pinar (bosque de repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	34
Tabla 4	Descripción macromorfológica del perfil matorral (sin repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	35
Tabla 5	Descripción macromorfológica del perfil pinar (bosque de repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	36
Tabla 6	Descripción macromorfológica del perfil matorral (sin repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	38
Tabla 7	Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para el robledal en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	54
Tabla 8	Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para el pinar en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	54
Tabla 9	Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para el matorral en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	55
Tabla 10	Cálculo de la erosión/año para cada cobertura según la USLE en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.	57
Tabla 11	Diferencias estadísticamente significativas entre tipos de cobertura en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.	59
Tabla 12	Diferencias estadísticamente significativas entre profundidades para el robledal en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.	61
Tabla 13	Diferencias estadísticamente significativas entre profundidades para el pinar en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.	62
Tabla 14	Diferencias estadísticamente significativas entre profundidades para el matorral en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área del estudio de suelos en la cuenca del río Guadalfeo en Granada, en el sur de España.	14
Figura 2. Equipo para toma de muestras de la densidad aparente en el estudio de suelos en la cuenca del río Guadalfeo, en Granada, España.	17
Figura 3. Componentes del simulador de lluvia utilizados en el estudio de la cuenca del río Guadalfeo Granada, España.	18
Figura 4. Porcentaje de arena, limo y arcilla para cada cobertura y perfil; en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	39
Figura 5. Datos analíticos en cuanto al pH de cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	41
Figura 6. Conductividad Eléctrica de cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	42
Figura 7. Niveles de carbonatos cálcico para cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	43
Figura 8. Porcentajes de humedad para cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	44
Figura 9. Comportamiento de la densidad aparente en la primera profundidad (0-5 cm) de cada perfil con su respectiva cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	46
Figura 10. Porcentaje de la porosidad en la primera profundidad (0-5 cm) de cada perfil con su respectiva cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	48
Figura 11. Porcentajes de carbono orgánico en cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	49
Figura 12. Porcentajes de nitrógeno en cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	50
Figura 13. Porcentajes de la relación carbono-nitrógeno en cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	51
Figura 14. Porcentajes de materia orgánica de cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	52
Figura 15. Capacidad de intercambio catiónico de las tres coberturas, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	53
Figura 16. Diferencias en cuanto a la infiltración y la escorrentía de cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	55
Figura 17. Erosión por hora de cada cobertura según la intensidad de lluvia, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	56
Figura 18. Diferencias del cálculo de la erosión/año de cada cobertura con la USLE y el Simulador de lluvia, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.	58

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Descripción de la textura en los perfiles bajo robledal (cobertura natural) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	70
Anexo 2. Descripción de la textura en los perfiles bajo pinar (cobertura de repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	70
Anexo 3. Descripción de la textura en los perfiles bajo matorral (suelo sin repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	71
Anexo 4. Triángulo de texturas	71
Anexo 5. Descripción de la humedad en los perfiles bajo robledal (cobertura natural) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	72
Anexo 6. Descripción de la humedad en los perfiles bajo pinar (cobertura de repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	72
Anexo 7. Descripción de la humedad en los perfiles bajo matorral (suelo sin repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.	73
Anexo 8. Robledal con intensidad de lluvia alta, media y baja	73
Anexo 9. Pinar con intensidad de lluvia alta, media y baja	74
Anexo 10. Matorral con intensidad de lluvia alta, media y baja	75
Anexo 11. Prueba de Normalidad:	76
Anexo 12. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en robledal.....	76
Anexo 13. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en pinar	77
Anexo 14. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en matorral	77
Anexo 15. Correlación entre la erosión y las propiedades de los suelos	78
Anexo 16. Fotografías de la metodología en el Laboratorio de Edafología en Universidad de Granda, España.	

Valdez Cruz, EA. 2011. Determinación de algunas propiedades físicas y químicas del suelo en tres zonas repobladas y naturales en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España. Tesis Licenciada en Manejo de Recursos Naturales y Ambiente Catacamas, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura. 93 pag.

RESUMEN

El trabajo se efectuó en el laboratorio de edafología de la Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, ubicada en la provincia de Andalucía, entre el 1 de Septiembre y el 18 de Noviembre de 2011, con el objetivo de determinar algunas propiedades físicas y químicas del suelo en tres zonas de la cuenca del río Guadalfeo. El cual consiste primeramente en el muestreo de 3 zonas una natural, otra de repoblación y la última sin vegetación; para tener material dispuesto y luego proseguir con el análisis de suelo para cada propiedad. Segundo mediante el método del cilindro calcular la densidad aparente y tercero realizar una simulación de lluvia para comprobar los resultados de erosión en campo con un modelo existente. Se logró el análisis de cada propiedad del suelo de manera exitosa, obteniendo una porosidad alta tanto en la zona repoblada como en la natural, ambas de cobertura boscosa; relacionada con una densidad aparente baja, una textura gruesa y agua útil similar. Seguimiento de la comparación de resultados de erosión en campo con el Simulador de Lluvia y la ecuación de pérdida del suelo (USLE), presentando esta última valores mayores de erosión. Esto llevó a poder sacar conclusiones de cada una de las propiedades evaluadas; con esto que la información obtenida pueda servir para la revalidación del estudio ya evaluado y para futuros investigadores. De las tres zonas evaluadas la de repoblación con pino y el robledal presentan los mejores resultados en cuanto a disminuir la erosión del suelo. Las repoblaciones o reforestaciones con pino en la cuenca del río Guadalfeo presentan los resultados esperados, por lo que se consideran estas repoblaciones buenas para la disminución de pérdida de suelo en el Mediterráneo.

Palabras Claves: Repoblación, Erosión, USLE, Simulador de lluvia.

I. INTRODUCCIÓN

La protección del suelo constituye un objetivo prioritario en las políticas medioambientales en numerosos países y organizaciones internacionales (Comisión Europea 2006). Los severos procesos de erosión y desertificación de amplias zonas de la región mediterránea semiárida preocupan desde hace décadas a políticos e investigadores. La erosión hídrica es el proceso de degradación más importante y está muy relacionado con la presión humana, la reducción de la cubierta vegetal, las especiales características del clima mediterráneo, la topografía, las propiedades del suelo y la naturaleza del material parental.

El problema de la erosión trae como consecuencia la desertificación o degradación del suelo los cuales provocan una serie de efectos que pueden ser irreversibles, y como tal vienen a repercutir en el ambiente y la vida humana. La repoblación forestal de suelos post-agrícolas es un cambio radical del uso del suelo, en parte debido a la falta de cultivación así como por el efecto de los árboles. Este cambio de uso de la tierra trae algunos cambios en la mayoría de las propiedades del suelo: materia orgánica, pH, contenido de nitrógeno y otros elementos, porosidad, densidad aparente y la actividad biológica.

Las repoblaciones más extensas en el Mediterráneo semiárido se han realizado con coníferas, especialmente con *Pinus halepensis* Mill., al tratarse de una especie considerada como pionera y poco exigente respecto al clima y al suelo. Los efectos de las repoblaciones en las propiedades del suelo dependerán fundamentalmente de las técnicas de plantación empleadas. La influencia de las repoblaciones en las propiedades del suelo se estudiará comparando muestras recogidas debajo de la copa de los árboles con otras situadas en suelos desnudos

II. OBJETIVOS

2.1. General

Determinar algunas propiedades físicas y químicas del suelo, mediante el estudio comparativo entre zonas de bosque natural, zonas repobladas y zonas no repobladas en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.

2.2. Específicos

- ✓ Medir los parámetros de infiltración, escorrentía y erosión de suelo “*in situ*” en las coberturas siguientes: bosque natural (robleal), repoblación de pinar y en un sitio no repoblado (matorral) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.
- ✓ Determinar la densidad aparente, porosidad y estimación de la retención de agua útil en las tres coberturas.
- ✓ Medir la retención de humedad: capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente en el robleal, en el pinar y en el matorral.
- ✓ Comprobar los resultados de erosión en campo con un modelo existente.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Repoblaciones Forestales

3.1.1. Generalidades

El término repoblación forestal es sinónimo de reforestación y se refiere a la introducción de la masa forestal en un terreno que ya la poseía con anterioridad en un tiempo relativamente cercano. Sin embargo, el término forestación hace referencia a la introducción de una masa forestal en lugares donde nunca ha existido ese tipo de vegetación (InfoAgro 2011).

La repoblación forestal se entiende como el conjunto de técnicas que son necesarias aplicar para crear una masa forestal, formada por especies leñosas, arbóreas o arbustivas, que sean estables con el medio, en un terreno cuya vegetación actual es ineficaz en mayor o menor grado según el uso asignado al territorio, y que adoptando las características deseadas, cumple los fines que de ella se demandan (Serrada 2000).

La repoblación forestal en España, desde su generalización como técnica silvícola en el último cuarto del siglo XIX, ha sido utilizada en la mayoría de las ocasiones con un fin restaurador, al menos en el ámbito mediterráneo, aunque es cierto que las necesidades de una política autárquica impusieron repoblaciones con un marcado carácter productor (Ximénez de Embún 1933; Ximénez de Embún y Ceballos 1939; Ceballos 1960).

3.2. Propiedades físicas del suelo

3.2.1. Estructura

Se habla de estructura como una propiedad y es más bien un estado, ya que cuando el suelo está seco, se agrieta y se manifiesta la estructura, pero si está húmedo, el suelo se vuelve masivo, sin grietas y la estructura no se manifiesta. En los peds (partículas) hay un material inerte, arenas, que se unen por la materia orgánica y las arcillas y otros agentes cementantes. Si las arcillas están dispersas, el suelo carece de estructura, si están floculadas, forman estructura.

Desde el aspecto morfológico la estructura del suelo se define por una forma, un tamaño y un grado de manifestación de los agregados (Rucks *et al* 2004). Se definen los siguientes tipos: Migajosa, Granular, Angular (o en bloques angulares), Sub-angular (o en bloques sub-angulares), prismática, columnar, laminar y sin estructura.

3.2.2. Textura

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks *et al* 2004).

Se refiere a la proporción relativa de arena, arcilla y limo de un suelo y es una de las propiedades morfológicas más importantes y de gran utilidad en la caracterización de los suelos. Está relacionada con otras características, tales como la densidad aparente, facilidad para el laboreo y retención de humedad (Orellana 2005).

3.2.3. Clasificación

Se han propuesto varias y diferentes clasificaciones de las fracciones. Se citan dos de las más importantes, la establecida por el Departamento de Agricultura de U.S.A. y la propuesta últimamente por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (Rucks *et al* 2004).

Tabla 1. Clasificación de las partículas del suelo (Rucks *et al* 2004).

	Sistema del Depto. de Agricultura de EE.UU.	Sistema Internacional
Fracción del Suelo	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00	
Arena gruesa	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
Arena Media	0.50 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.20 - 0.002
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

3.2.4. Infiltración

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores (Vélez *et al* 2002). Si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua y, el exceso se acumula sobre la superficie, este exceso escurre si las condiciones de pendiente lo permiten.

Mientras la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se infiltra tan rápidamente como es aportada, esto nos dice que la velocidad de aporte determina la velocidad de infiltración (o sea, el proceso es controlado por el flujo). Sin embargo existe también la posibilidad que la velocidad de aporte exceda la

infiltrabilidad del suelo y en ese mismo momento ésta última es la que determina la velocidad real de infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil (Gurovich 1985).

La infiltración posee un rol fundamental en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud; lluvias de iguales intensidades pueden producir caudales diferentes, esto es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de “erosión hídrica” (Estevez *et al* 2004).

3.2.5. Escorrentía

Cuando la lluvia o el riego caen sobre la superficie del terreno, una parte del agua comienza a infiltrarse en el suelo, mientras que otra puede empezar a deslizarse por su superficie. Esta agua que no se infiltra es el agua de escorrentía o agua de arroyada y es la principal responsable de la erosión del suelo. Hay un agua de escorrentía denominada hipodérmica o flujo intermedio que circula, dentro de los horizontes superficiales del suelo, paralelamente a la superficie y a favor de la pendiente. Suele ser importante cuando los horizontes superficiales son arenosos y en profundidad existen horizontes arcillosos o una capa de roca impermeable (Zaballos 2006).

Este flujo puede rezumar en la base de las laderas y es el responsable del empobrecimiento del horizonte superior del suelo por arrastre de las partículas minerales de menor tamaño. Según Zaballos 2006, la escorrentía, además de producir erosión, hace que sea menor la cantidad de agua, procedente de las precipitaciones o de los riegos, que se puede infiltrar en el suelo y ser aprovechada por las plantas.

La escorrentía superficial tiene mayor importancia cuando más intensa sea la precipitación, mayor sea la pendiente y más compactado esté el suelo. Por el contrario, será menos importante cuando exista una buena cubierta de vegetación, que intercepte las gotas y frene

el flujo de agua, y cuando el suelo mantenga una buena porosidad que favorezca la rápida infiltración (Zaballos 2006).

3.2.6. Porosidad del suelo

Según Rucks *et al* 2004, el crecimiento de las plantas, del que depende su producción económica, está determinado por factores atmosféricos, biológicos y edáficos. Estos últimos son físicos y químicos, siendo los primeros las propiedades del suelo que determinan el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua. Estas propiedades del suelo, están determinadas por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso.

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo (Rucks *et al* 2004).

3.2.7. Densidad aparente

La densidad aparente consiste en calcular la lámina de agua que es necesaria aplicar a un suelo con un espesor determinado y llevar la humedad a la capacidad de campo. También es importante para determinar la disponibilidad de los nutrientes (Orellana 2005). Según Rucks *et al* 2004, la densidad aparente es la relación que existe entre el peso seco (105° C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo:

$$\text{D.a.} = \frac{\text{M (masa)}}{\text{V (volumen)}}$$

3.2.8. Erosión hídrica del suelo

Según las Comunidades Europeas 2009, la erosión es la pérdida de suelo. Cuando las gotas de lluvia impactan en el suelo, disgregan partículas de éste. La magnitud con que esto ocurre depende del tamaño y la velocidad de las gotas de lluvia. Las partículas del suelo disgregadas son arrastradas después por escurrimiento superficial.

La erosión se produce cuando la intensidad de las precipitaciones supera la capacidad de infiltración del suelo. Es importante combatir la erosión porque el proceso de pérdida de suelo por la erosión es mucho más rápido que el de formación de suelo. Por eso, la pérdida de la capa superficial del suelo disminuye la fertilidad y ocasiona una disminución de los rendimientos de las cosechas. La tierra arrastrada contribuye además a la contaminación y el aterramiento de los ríos.

Se estima que en Europa, unos 115 millones de hectáreas (equivalente a una octava parte de la superficie total de Europa) están afectadas por la erosión hídrica y 42 millones, por la erosión eólica. El área mediterránea está especialmente expuesta a la erosión cuando se producen fuertes lluvias tras períodos largos de sequía (Comunidades Europeas 2009).

3.3. Análisis de suelos

Según SIAR Limarí 2011, el análisis del suelo es una práctica usual, ampliamente aceptado como informativo y como una parte esencial de cualquier programa de manejo adecuado. Este análisis entrega una estimación de la fertilidad del suelo ya que solamente se analiza una muy pequeña muestra que representa todo el suelo del predio, por ende el análisis de fertilidad de suelo debe ser complementado con análisis de fertilidad foliar.

La fertilidad de un suelo está relacionada con la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas. Esta depende de un complejo equilibrio de macro y micro-elementos minerales esenciales para las plantas. Los tres más importantes son nitrógeno, fósforo y potasio. Si

estos macro-elementos se encuentran en niveles disponibles adecuados en el suelo, generalmente el resto de los nutrientes también lo está. Por otro lado se debe considerar, que la fertilidad del suelo no es constante en el espacio y el tiempo. Así, cuando se realiza un análisis de suelo, además de la fertilidad global, otros factores como la profundidad y el momento de muestreo tienen un gran efecto sobre el resultado de la evaluación (SIAR Limarí 2011).

3.4. Simulador de lluvia

Los simuladores de lluvia son ampliamente utilizados en la actualidad, y se hacen cada vez más populares para la determinación de propiedades hidrológicas del suelo, la erosión, la infiltración y generación de escorrentía y el movimiento de nutrientes y agentes contaminantes en condiciones de lluvia simulada (Miller *et al* 2006).

Los simuladores de lluvia tienen la ventaja de simular el efecto del impacto de la lluvia. El simulador de lluvia es una mejora del diseño de Simón *et al* (1998), que fue construido para los estudios de campo y se ha utilizado hasta ahora para diferentes tipos de estudios. El simulador propuesto es fácilmente transportable, fácil de montar y utilizar, no perturba de manera significativa la estructura del suelo y mide con exactitud la escorrentía y las tasas de infiltración.

El simulador de lluvia está diseñado para su uso en parcelas de 50×50 cm y consiste esencialmente de una cámara formadora de gotas que se apoya sobre una estructura de metal de cierta altura sobre la superficie del suelo.

3.4.1. Características de la lluvia simulada

a) Intensidad de la lluvia: El simulador de lluvia permite una amplia gama de intensidades de lluvia. La bomba peristáltica permite intensidades de lluvia simulada a variar desde casi cero a más de 120 mm/h. Intensidades de alrededor de 20-120 mm/h se utilizan para una

variedad de aplicaciones. En medio de este rango, eventos de precipitaciones naturales alrededor de 50 mm/h tiene períodos de retorno de 5-10 años a lo largo de la cuenca mediterránea, y en el sur de España tormentas de esta intensidad son bastante común (Elías Castillo y Ruiz Beltrán 1979).

b) Tamaño de la gota: La precipitación natural consiste de una amplia distribución de tamaños de gotas que pueden variar desde casi cero en lluvia de baja intensidad, alrededor de 7 mm de diámetro para lluvia de alta intensidad. Sin embargo, a diferencia de la lluvia natural, la lluvia simulada tiene un alcance muy limitado de tamaños de gota, alrededor de 3.5-4.0 mm de diámetro y que no varían con intensidad. Variar la distribución del tamaño de la gota es posible mediante el cambio de diámetro del tubo capilar y/o mediante el uso de la malla de metal para romper las gotas en una distribución de tamaño adecuado (Fernández-Gálvez *et al* 2008).

c) Velocidad de la gota: Según Fernández-Gálvez *et al* 2008, las gotas simuladas tienen menores velocidades que las gotas de lluvia natural en intensidades similares. La velocidad de las gotas depende de la altura de caída de las gotas, debido a la estructura limitada del simulador de lluvia. La altura de caída puede variar entre 1-1,75 m por medio de la estructura telescópica pero una altura de caída de 1,5 m es normalmente utilizada con una velocidad en el momento de impacto de cerca 5 m/s.

Gotas que caen desde una altura de 1,5 m no pueden llegar a su velocidad terminal, ya que sería necesario una altura de más de 10 m. Por otra parte, todas las gotas tienen velocidad inicial nula por lo que las velocidades finales son las mismas, independientemente de la intensidad de la lluvia.

3.5. USLE (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo)

Se encuentra entre los modelos de erosión por el agua más comúnmente utilizados que significa Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo que describe los riesgos de erosión en

los suelos debido a los cambios en el manejo en el uso de la tierra. Esta fórmula empírica predice las pérdidas anuales de suelo durante un largo período en circunstancias específicas, tales como las precipitaciones, la textura del suelo, la parcela agrícola y el sistema de ordenamiento de la tierra y los cultivos; predice estas pérdidas solo en lo que respecta a la erosión superficial y en cárcavas (Wischmeier y Smith 1978).

La desventaja de este modelo empírico consiste en que es una generalización extrema del problema real para el cálculo de la erosión. Otras limitaciones están dadas porque esta ecuación no incluye el cálculo de la deposición y acumulación de sedimentos (Roo 1993).

3.6. Cobertura natural (robleal) en la Cuenca del Río Guadalfeo Granada, España

El roble melojo o rebollo (*Quercus pyrenaica*) (Figura 1) es un árbol que tiende a formar bosques mono-específicos, pues posee una gran capacidad de regeneración, tras las talas e incendios. Para su correcto desarrollo exige precipitaciones anuales de entre 650 y 2.000 mm, que estacionalmente han de estar bien repartidas, en el verano necesita de 100-200 mm, ya que en esta época del año es cuando alcanza la plenitud vegetativa, pues es un árbol que echa las hojas con cierto retraso. En cuanto al suelo, este debe ser ácido o neutro. En la provincia de Granada siempre se encuentra sobre suelos silíceos, huyendo de los carbonatados o calizos (Granada Natural, 2007).

Según Granada Natural 2007, soporta muy bien las temperaturas extremas, ya sean heladas y nevadas invernales o fuertes irradiaciones en el verano. Puede alcanzar los 20-25 m de altura y un diámetro de un metro de grosor, si no ha sido irrespetado. Esta especie ha sido sometida a talados intensos para la obtención de leña y carbón vegetal. En estas circunstancias los robles no suelen pasar de los 5-10 m de altura. Debido a la presión y sobreexplotación de estos bosques, esta es la formación típica que tienen los melojares en Granada, la de un arbolado denso formado por escuálidos árboles, con un tronco de diámetro menor de los 20 cm (Granada Natural 2007).

3.7. Cobertura de repoblación (pinar) en la Cuenca del Río Guadalfeo Granada, Sp.

Según Pemán y Navarro 1998, *Pinus halepensis* (Figura 2.) es una de las especies de pino más abundantes en la Península Ibérica y está perfectamente adaptados al territorio. Históricamente ha sido utilizado ampliamente en repoblaciones forestales por todo el territorio español, caracterizado, en gran parte, por las condiciones edáficas y climáticas desfavorables para la supervivencia y desarrollo inicial de las plantas, propias de la región mediterránea.

Entre los años 1940 y 1984 fueron repobladas más de medio millón de hectáreas con *Pinus halepensis* y más de un cuarto de millón con *Pinus pinea*. En conjunto, la superficie forestada durante ese periodo con ambas especies es prácticamente la cuarta parte de la superficie total repoblada. Son, pues, dos especies de gran importancia en el ámbito de la reforestación en el país (Pemán y Navarro 1998).

Pinus halepensis es la especie de pino más extendida en la región mediterránea, cuyas formaciones caracterizan el paisaje de la parte oriental y sur de la Península Ibérica. Es un árbol de porte mediano y tortuoso ya que normalmente queda relegado a las zonas más estresadas, si bien bajo condiciones ecológicas no limitantes llega a sobrepasar los 20 m de altura y con fustes rectos (Blanco *et al* 1997).

Según Blanco *et al* 1997 como especie pionera típica, es poco longevo (200-250 años), y debido a la morfología tortuosa del fuste ha sido empleado para la obtención de leña y resina en épocas de mucha demanda. Aunque se desarrolla sobre sustratos silíceos y calizos, tiene preferencia por los segundos, incluso con gran abundancia de yesos, siendo el árbol forestal de la Península con mayor capacidad para sobrevivir en las condiciones de cal y pobreza de suelo más extremas. La verdadera limitación edáfica para esta especie es la salinidad.).

3.9. Zona no repoblada (matorral) en la Cuenca del Río Guadalfeo Granada, España

Según la Junta de Andalucía 2011, el matorral es un elemento indisociable del monte mediterráneo. Dentro de éste puede desempeñar los papeles más variados: como acompañante en el sotobosque o como formación específica y dinámica hasta representar uno de los últimos niveles de regresión ecológica. Los matorrales cumplen, además, funciones ambientales muy similares a las del bosque. El matorral predomina en zonas con precipitaciones inferiores a los 200 milímetros, irregularmente repartidas y con importantes variaciones intra-anales; zonas difícilmente conquistables para el arbolado, que suele refugiarse allí donde puede compensar el déficit hídrico.

Este matorral está formado por especies tan adaptadas a la falta de agua que incluso llegan a tirar las hojas durante el verano, invirtiendo el proceso normal de defoliación. Los matorrales adoptan formas achaparradas (Figura 3.), con escasa área foliar e incremento de las partes leñosas y con una floración breve pero intensa. Estas formaciones se manifiestan en la mayor parte de las sierras por encima de los 1.900 m y hasta los 2.900 m (Junta de Andalucía 2011).

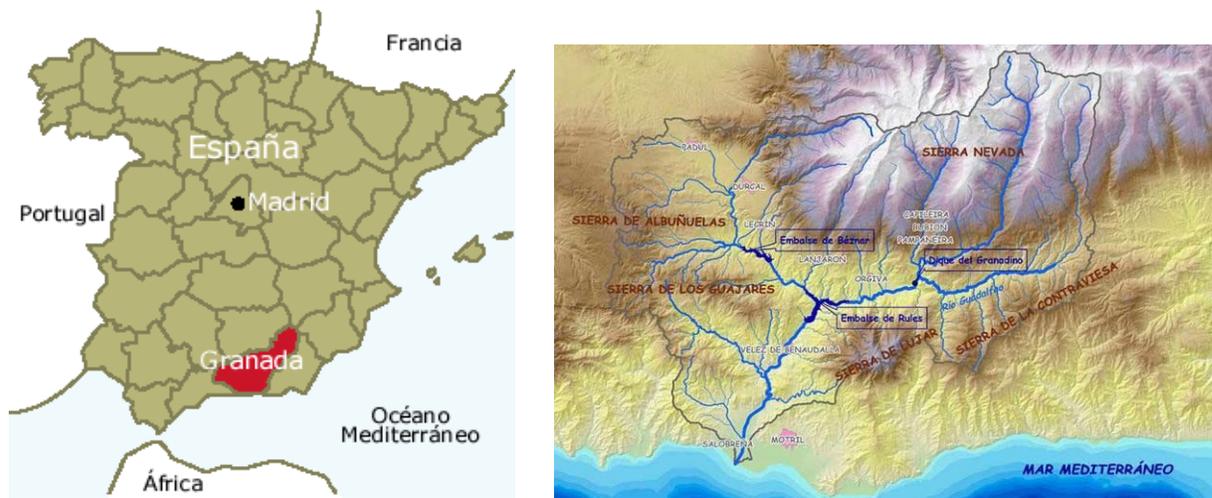
Hay que tener en cuenta, sin embargo, que estos matorrales han podido invadir ladera abajo zonas en las que se ha eliminado el arbolado para ampliar la superficie de pastoreo. Considerados como un aspecto residual del medio durante muchos años, hoy en día los matorrales han cobrado la importancia que merecían y ello no sólo por su extensión sino por la diversidad de usos posibles. En determinadas condiciones su papel ecológico como protección del suelo, regulación hídrica y hábitat de comunidades faunísticas, no es muy diferente del bosque denso (Junta de Andalucía 2011).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Región de estudio

El experimento se realizó en la Universidad de Granada, España; asociada a la Cuenca del Río Guadalfeo, limitada al Norte por las cumbres de Sierra Nevada, con más de 3000 m de altitud; situada en la mitad sur de la provincia de Granada, donde se extiende por una superficie de 1.295 km² (Figura 4).

Una de las características más significativas de la cuenca a estudiar es la intensidad de su relieve, con valores medios de pendiente superiores al 35%, lo que permite hablar de una región muy accidentada con temperaturas máximas de 18.8°C y mínimas de 6.3°C y una precipitación media anual que supera los 500 mm (Junta de Andalucía- Universidad de Granada 2011).



Fuente: Junta de Andalucía. 2011/mapa.

Figura 1. Ubicación geográfica del área del estudio de suelos en la cuenca del río Guadalfeo en Granada, en el sur de España.

El trabajo se realizó en un período comprendido de Septiembre a Noviembre y consistió en evaluar la influencia en las características del suelo de las repoblaciones realizadas en la Cuenca del Río Guadalfeo en tres tipos de coberturas: natural, repoblación de pinar y matorral.

La zona se seleccionó en base a un proyecto previo que se finalizó en el 2009 titulado “Evaluación sistemática de las acciones de repoblación forestal para la lucha contra la desertificación aplicadas en las cuencas del Adra y Guadalfeo”. En este proyecto se hizo un estudio integral de la cuenca y se localizó esta zona como idónea para este estudio, ya que cumple los requisitos de presentar un bosque de repoblación, junto a un bosque natural (robleal) y zonas no repobladas. La selección de los puntos de muestreo se realizará en base a los siguientes criterios:

- ✓ El clima, la pendiente y el material original
- ✓ Métodos de repoblación utilizados
- ✓ La cobertura vegetal existente

4.2. Materiales y equipo utilizados

4.2.1. Materiales

Libreta, tinta indeleble, cámara digital, gabacha, bolsa plástica, pala, martillo, azadón, metro, nivel, espátula, calculadora, probeta, peso sustancias con tapadera, embudos, papel filtro, lana de vidrio, matraces, cronometro, pipetas aforadas, peras de goma, entre otros.

4.2.2. Equipo

Simulador de lluvia; cilindros de referencia de volumen conocido; horno o estufa; balanza analítica; porta-cilindros; bomba peristáltica, calcímetro de Bernard, motor o planta, desecador de vidrio, capsulas, tamizador, pH-metro, baño de arena, conductivímetro, ollas de presión regulable, membranas porosas, arandelas, compresor, entre otros.

4.3. Estudios de campo:

4.3.1. Toma de muestras

a) **Método del cilindro:** Entre estos tipos de análisis son comunes las determinaciones de densidad aparente, volumen total de poros, distribución de poros (gruesos, medios, finos, capacidad de agua aprovechable, etc.), textura, tamaño y estabilidad de los agregados, etc.

Para la determinación de porosidad y densidad aparente, se tomaron muestras de suelo inalterado, es decir, conservando la estructura natural del suelo con cilindros metálicos de 4 cm de altura y 8 cm de diámetro, obteniéndose de la parte superior de cada horizonte (tres por el horizonte). Para el resto de los análisis, las muestras de suelo (de aprox. 10 kg) fueron tomadas de cada horizonte maestro en todo su espesor.

La profundidad de las muestras depende del objetivo; normalmente se extraen muestras en varias profundidades del suelo y en este estudio se extrajeron tres profundidades para cada tipo de cobertura:

- Robledal: 0-5; 5-10 y 10-30 cm
- Pinar: 0-5; 5-10 y 10-30 cm
- Matorral: 0-5; 5-10 y 10-30 cm

Según Radulovich 2009, la mayor ventaja del método del cilindro presentado aquí es que permite la medición de D_a confiablemente y a bajo costo, directamente en el campo.

b) **Procedimiento de muestreo:** Se despejó una superficie horizontal (o paralela a la superficie del suelo) de suelo lo suficientemente amplia como para que quepan los cilindros dejando un espacio entre ellos de unos 3-5 cm. Se enterraron los cilindros (Figura 5.), utilizando una placa metálica y un combo de plástico o goma dura, hasta la profundidad deseada (0-5 cm bajo la superficie superior).



Figura 2. Equipo para toma de muestras de la densidad aparente en el estudio de suelos en la cuenca del río Guadalfeo, en Granada, España.

Se extrajeron los mismos evitando perder material de su interior y se nivelaron para obtener el volumen correspondiente, sin alterar su estructura natural. Para determinar densidad aparente, se procedió de la siguiente forma: Una vez obtenido cada cilindro de un estrato, se vació su contenido íntegramente (sin perder nada) en una bolsa de plástico-resistente al transporte y se identificó claramente con lápiz de tinta indeleble.

4.3.2. Uso de simulador

Uso del simulador de lluvia portátil (Figura 6.) para el estudio de los parámetros de infiltración, escorrentía y erosión “*in situ*”.

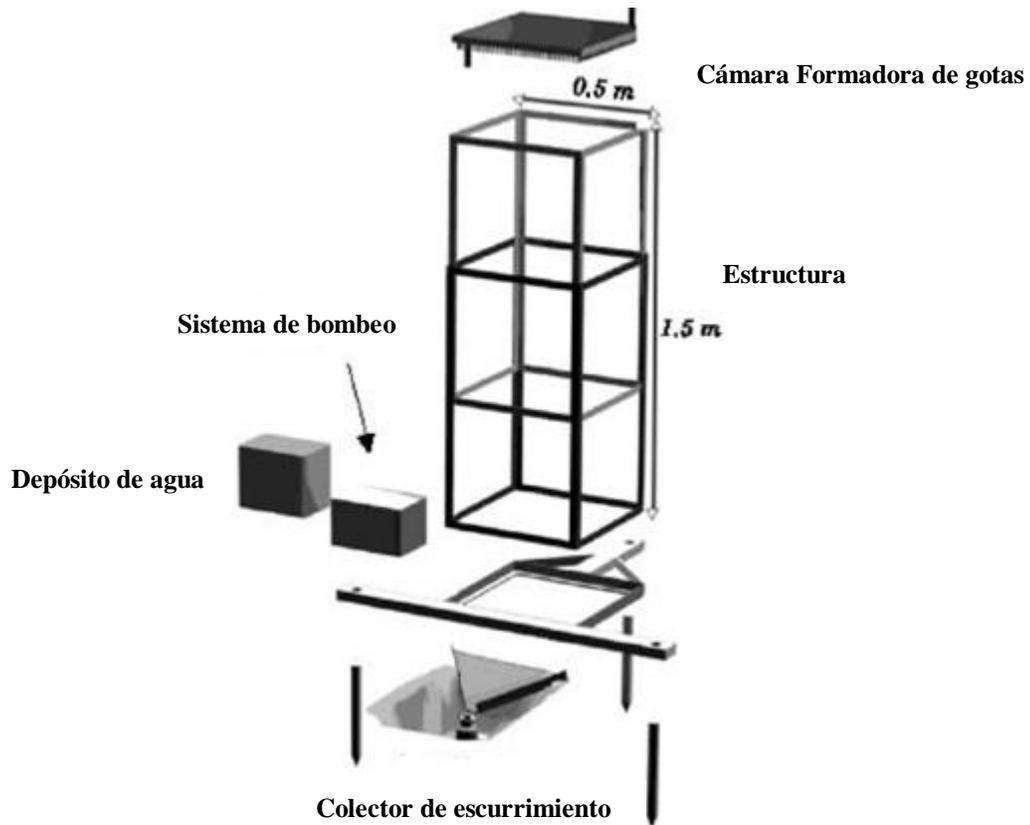


Figura 3. Componentes del simulador de lluvia utilizados en el estudio de la cuenca del río Guadalfeo Granada, España.

a) Cámara formadora de gotas: Según Fernández-Gálvez *et al* 2008, la cámara formadora de gotas es conectada a un depósito de agua y el agua es suministrada por una bomba en un ajuste constante de velocidad. El mecanismo de formación de gotas es el corazón de cualquier simulador de lluvia, ya que produce gotas de agua simulando lluvia natural. Las dimensiones totales son $58 \times 58 \times 2$ cm, y las gotas formadas cubren un área de 50×50 cm².

La tasa de formación de la gota y el diámetro de la gota son controlados por la longitud de los tubos capilares, el diámetro de los tubos capilares, los hilos interiores, y la presión del agua dentro de la cámara. La cámara dispone de una entrada de agua en la parte inferior y una toma de aire en la parte superior, cuando la cámara está llena de agua, la salida se cierra y la presión en el ángulo de caída es controlada por el flujo de agua (Fernández-Gálvez *et al* 2008).

b) Estructura: La estructura entera está sostenida por una base triangular con tres puntas en cada esquina, que pueden ser clavadas en el suelo para permitir la facilidad de nivelación en un terreno accidentado, adaptándose a pendientes aún de 45°. La cámara de lluvia puede llegar a medir hasta 1,5 m por encima de la superficie del suelo (Fernández-Gálvez *et al* 2008).

c) Protector de viento: Esta protección evita la posible evaporación de las gotas, impide que las gotas salgan fuera de la parcela y la distorsión de las gotas de lluvia simulada por el viento. Una pequeña porción de la parte superior es abierta al aire porque la asignación al azar de la gota patrón depende de las turbulencias del aire (Fernández-Gálvez *et al* 2008).

d) Sistema de Bombeo: Una bomba peristáltica controlada por un microprocesador suministra un volumen de agua que se puede ajustar continuamente. La electricidad es suministrada por un generador portátil de 45 kW impulsado por un motor de gasolina de 98 hp (Fernández-Gálvez *et al* 2008).

e) Depósito de agua: Según Fernández-Gálvez *et al* 2008, el depósito de agua con capacidad de 25 litros o más sirve para almacenar y suministrar agua para la producción de las gotas de lluvia simulada. Un tubo de polietileno flexible conecta el depósito de agua a la cámara de la lluvia a través de la bomba peristáltica. Cuando el agua entra en la cámara un termómetro se ha instalado en el tubo flexible para controlar la temperatura del líquido dentro de la cámara.

f) Colector de escurrimiento: Escorrentía y sedimentos transportados a través del borde inferior de la parcela experimental son recogidos por una placa de aluminio triangular y canalizados en botellas colocadas en la salida del canal (Fernández-Gálvez *et al* 2008).

4.4. Trabajo de laboratorio:

4.4.1. Medida de la densidad aparente y estimación de la porosidad

La densidad aparente consiste en calcular la lámina de agua que es necesaria aplicar a un suelo con un espesor determinado y llevar la humedad a la capacidad de campo. También es importante para determinar la disponibilidad de los nutrientes.

Método de Bourger: Una vez recogidas las muestras se secaron en horno a 105° C hasta peso constante (**M**), dejándose enfriar en desecador para su posterior pesada.

Calculando el volumen (**V**) de la muestra que ocupa el cilindro de la siguiente manera:

$$V = \pi \frac{(d)^2}{2} h$$

Dónde:

d = diámetro cilindro

h = altura cilindro

Y determinando por último la densidad aparente (**Da**), según la expresión:

$$Da = \frac{M}{V}$$

La porosidad total (**Po**) es el volumen de espacios vacíos del suelo. Se calculó indirectamente, a través de la determinación de sus densidades aparente y real; donde esta última casi siempre es la misma (2.5 g/cm³); y donde la porosidad viene expresada en porcentaje sobre el volumen total del suelo, mediante la fórmula:

$$Po = \frac{Dr - Da}{Dr} * 100$$

4.4.2. Medida del pH

Se pesó 10 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm, introduciéndose este, en un vaso de precipitado de 100 ml. Se añadió 25 ml de agua destilada, agitándose la suspensión durante 5 minutos y dejándose en reposo durante otros treinta, para lograr el equilibrio iónico. Antes de la realización de las lecturas se calibró el pH-metro empleando dos soluciones tampón de pH. Una vez transcurridos los treinta minutos, se agitó la suspensión, se introdujo en ella el electrodo y se accionó el pH-metro, anotándose el resultado cuando la lectura fue constante. Antes y después de cada lectura se tuvo la precaución de lavar y secar cuidadosamente el electrodo.



Figura 4. Agitador y pH-metro utilizados para la medida del pH en el Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

4.4.3. Medida de la conductividad eléctrica (CE)

Se pesó 10 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm, introduciéndose este, en un vaso de precipitado de 100 ml. Se añadió 100 ml de agua destilada, agitándose la suspensión durante treinta minutos. Transcurrido el tiempo, en recipientes limpios y secos; con la ayuda de embudos (a los que se les colocó previamente un papel de filtro), se rellenaron los mismos con la pasta saturada; manteniendo esta situación hasta haber recogido un volumen suficiente de extracto de saturación. Una vez recogido el extracto suficiente, en el que se pueda introducir fácilmente el electrodo del conductivímetro, se efectuó cada lectura.



Figura 5. Conductivímetro utilizado para la medida de la CE en el Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

4.4.4. Medida del contenido en carbonato cálcico (CaCO_3)

En un biberón se introdujo aproximadamente 1 g de suelo finamente molido, anotando el peso exacto hasta la diezmilésima. Hay dos biberones especiales:

- Biberón P 1, con 0.8 g de CaCO_3 puro
- Biberón P 0,1, con 0.08 g de CaCO_3 puro

En cada biberón incluyendo los patrones arriba mencionados, se introdujo un tubito lleno de HCl con mucho cuidado de modo que no se derramase nada de su contenido. Se dejaron reposar 5 minutos con el fin de equilibrar las temperaturas de todos ellos con la del laboratorio. No tocando a partir de este momento el vidrio de los frascos sino procurando tomarlos por la tapa de plástico. Se taparon los biberones con agujas hipodérmicas dejándose en reposo 10 minutos para equilibrar la presión en el interior de estos con la del laboratorio.

Transcurridos los 10 minutos se volcó el tubito con HCl en el interior de los frascos dejándose 30 minutos en reposo para que se produjese la reacción. Durante este proceso se observó cuáles de las muestras presentaban una clara y enérgica efervescencia y cuáles no.

Las primeras se colocaron junto a la columna de mercurio, y las segundas a la columna de agua. Pasado el tiempo se midieron los patrones y las muestras en este orden, y en las columnas seleccionadas previamente, anotando cada lectura.



Figura 6. Biberones con ácido clorhídrico para la medida de CaCO_3 en el Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

4.4.5. Medida del contenido en carbono orgánico (CO)

Se pesó una cantidad de suelo finamente molido, aproximadamente 1 g y se introdujo este en un matraz Erlenmeyer de 100 ml, añadiéndose una pizca de sulfato de plata (catalizador), 10 ml de dicromato potásico 0,4N y un poco de arena de mar (para homogenizar la ebullición). Se introdujo un embudo en el cuello del matraz, con el objeto de impedir pérdidas de dicromato potásico por vaporización.

Colocando posteriormente el conjunto matraz-embudo en el baño de arena se llevó a ebullición, manteniéndose durante cinco minutos más; retirado entonces el matraz, se dejó enfriar y se lavó el embudo sobre el propio matraz, con el fin de recuperar el dicromato potásico que haya podido condensarse sobre sus paredes. Se realizó una prueba en blanco. Por último, se valoró el dicromato potásico en exceso (el que no se ha gastado en oxidar la

materia orgánica), usando como indicador ácido fenil-antranílico y como valorante sal de Mohr. El viraje se produjo de violeta-azulado a verde.



Figura 7. Medida del CO en el Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

4.4.6. Medida de la textura

En un vaso precipitado de 1000 ml se pesó 20 g de muestra tamizada a 2 mm y seca al aire, anotando el peso. Se añadió unos 200 ml de agua y 50 ml de H₂O₂ de 110 vol, agitando la mezcla. Se dejó actuar el peróxido de hidrogeno durante 24 h, sin aporte de calor; transcurrido el tiempo se llevó la mezcla a 80°C en baño de arena o placa calefactora. Durante el ataque se procuró evitar la ebullición y que se llegase a consistencia pastosa,

añadiendo agua si era necesario. Una vez cesó la efervescencia, se calentó la mezcla durante dos horas más para eliminar el H_2O_2 .

Posteriormente se dejó enfriar, y ayudados de agua y de una varilla policia, se limpiaron las paredes del vaso de precipitado, trasvasándose todo el contenido del vaso a una botella de 1000 ml, con ayuda de embudo; procurando que la botella no se llenase excesivamente (aproximadamente 500 ml). Todas las botellas a utilizar se equilibraron con ayuda de la balanza de platos (Anexo 16).

Se añadió con pipeta de doble enrase, 10 ml de hexametáfosfato sódico ($NaPO_3$)₆. Y se agitó en agitador mecánico de botellas, durante un tiempo mínimo de 24 horas. Con ayuda del embudo y de un frasco lavador, se trasvasó todo el contenido de las botellas a probetas de 1000 ml con tapón, y enrasadas. Fue necesario realizar esta operación con la mayor diligencia, procurando que no se perdiera ni la más pequeña cantidad de muestra (Anexo 16).



Figura 8. Placa calefactora y agitador mecánico del Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

Método de la Pipeta de Robinson (Sedimentación discontinua): Esta técnica consistió en tomar alícuotas de la suspensión dispersa, a diferentes tiempos y profundidades, de acuerdo con la tabla 1, que ha sido desarrollada según la Ley Stokes. Permite la cuantificación y

recogida de todas las fracciones: arcillas y limos por pesada de las alícuotas, y arenas por tamizado posterior (Anexo 16).

Una vez dispersa la muestra de suelo y enrasada a 1000 ml en una probeta con tapón, se dejó estabilizar la temperatura durante una hora. Midiendo la temperatura de la suspensión y, de acuerdo con ella y según la tabla 1, se determinó el tiempo de sedimentación para efectuar el pipeteo a una profundidad constante, marcada en la pipeta de Robinson (10 cm). Se preparó previamente una serie de crisoles tarados donde recoger las alícuotas de la suspensión.



Figura 9. Medida de la textura en el Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

Antes de cada extracción, se agitó varias veces (2 min) la probeta que contenía la suspensión, con objeto de conseguir una homogeneización perfecta y se realizó las extracciones con la pipeta de Robinson (20 ml cada una) a los tiempos correspondientes. En primer lugar se extrajeron limos grueso + limos finos + arcillas ($< 50 \mu\text{m}$); en segundo lugar limos finos + arcillas ($< 20 \mu\text{m}$); y por último arcillas ($< 2 \mu\text{m}$). Entre una y otra extracción se eliminó el exceso de pipeteado, enjuagando la pipeta. Posteriormente se

secaron los crisoles en estufa de 110°C durante 24 h. Una vez secos, se dejaron enfriar en un desecador de vidrio para evitar la rehidratación. Ya secos y fríos se pesaron en una balanza con precisión de $\pm 0,1$ mg. Anotando cada peso (Anexo 16).

Se vertió todo el contenido de las probetas en un tamiz cuya luz de malla correspondía con el menor tamaño de las arenas (50 μm) y lavando perfectamente, de tal forma que en el tamiz solo quedase arena. Se pasó las arenas del tamiz a una cápsula grande, previamente tarada, secándose luego en estufa a 110°C y dejándose enfriar. Anotando su peso (Anexo 16).

4.4.7. Medida de las bases y capacidad de cambio

El primer paso consistió en preparar los embudos de percolación (columnas de intercambio) teniendo en cuenta que debía realizarse una prueba en blanco. Para ello se obturaron los embudos con lana de vidrio mojada, ligeramente apretada, hasta un total de $n+1$ embudos, siendo $n = n^\circ$ de muestras.

Una vez preparados los embudos, se colocó en cada uno de ellos, salvo en el blanco, 5 g exactamente pesados de suelo tamizado a 2 mm y seco al aire. Se añadió acetato amónico 1N a pH = 7,0 hasta los 4/5 de la capacidad del embudo y se cerró el drenaje del mismo, dejándose en reposo 24 horas para que se produjese el intercambio.



Figura 10. Medida de laCIC en el Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

Transcurrido este tiempo, se procedió a abrir los embudos y a recoger el lixiviado, enrasándole en matraces aforados de 100 ml. En este lixiviado se midieron las bases de cambio: Na^+ y K^+ por fotometría de llama (emisión atómica) y Ca^{2+} y Mg^{2+} por absorción atómica.

Se rellenó entonces los embudos hasta los 4/5 de su capacidad con acetato sódico 1N a pH = 8,2, cerrando y dejándose en reposo 24 horas para que se produjese el intercambio. Transcurrido este tiempo, se abrieron los embudos, dejando salir el lixiviado, que fue desechado. Para eliminar el exceso de Na^+ (el que no está adsorbido por el complejo de cambio) se lavó los embudos varias veces con alcohol.

Nuevamente se añadió amónico 1N a pH = 7,0 hasta los 4/5 de la capacidad del embudo, cerrando el drenaje de este y manteniéndole en reposo otras 24 horas para que se produjese el intercambio. Transcurrido este tiempo, se abrieron los embudos y se recogió el lixiviado, enrasándole en matraces aforados de 100 ml. En este lixiviado se midió el Na^+ por fotometría de llama. El resultado correspondió a la capacidad de intercambio catiónico total.

4.4.8. Medida de la retención de agua útil

El porcentaje de humedad correspondiente a un potencial hídrico fue determinado en laboratorio mediante el Método de la Membrana de Richard usando ollas de presión. Se reguló la presión en las ollas 33 Atmosferas para la capacidad de campo (CC) y 1500 Atmosferas para calcular el Punto de Marchitez Permanente (PMP).

Método de la Membrana de Richards: Es un método de presión, que consistió en aplicar a la muestra previamente saturada en agua y colocada sobre una membrana porosa, una presión determinada, de tal forma que se extrajo de ella toda el agua que estaba retenida con un potencial matricial más baja que la presión aplicada.

Se colocaron las arandelas sobre la membrana porosa, introduciendo en su interior una cantidad suficiente de suelo molido y tamizado a 2 mm. Debidamente identificada la posición de cada arandela en la membrana se saturaron a continuación las muestras con agua durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se procedió a la eliminación del exceso de agua e introducción del conjunto (membranas, arandelas y muestras) en las ollas de presión.

Reguladas estas a la presión deseada, se mantuvieron de 24 – 48 horas. Al cabo de ese tiempo, se determinó el porcentaje de humedad de las muestras según el método ya descrito.



Figura 11. Medida de la humedad en el Laboratorio de Edafología, Universidad de Granada, España.

4.4.9. Medida del contenido en nitrógeno

Se pesó 0.3 g de suelo finamente molido, anotando el peso exacto hasta la diezmilésima y se analiza el contenido de carbono mediante combustión seca en un analizador elemental LECO® TruSpec® CN.

4.5 USLE

La ecuación que se presenta es la siguiente según Wischmeier y Smith 1978:

$$A = \sum_{m=1}^{12} (R_m * K * L * S * C_m * P)$$

Donde

A: la media anual de las pérdidas de suelo (ton/ha/año)

R: factor de la erosividad de las precipitaciones (MJ/ha/mm/año)

K: factor de la erodabilidad del suelo (ton/MJ/mm)

L: factor de la longitud de la pendiente

S: factor del gradiente de la pendiente

C: factor del tipo de manejo de los cultivos

P: factor de las prácticas de conservación del suelo

Algunos de los componentes de la ecuación USLE varían con las estaciones, principalmente R y C. Estas generalmente se esclarecen primeramente calculando los promedios anuales y posteriormente multiplicando estos promedios. El método empleado se utiliza para calcular las pérdidas de suelo (A) mensualmente y a continuación la sumatoria de los doce meses con vistas a obtener un estimado anual de las pérdidas de suelo.

4.6 Análisis Estadístico

El análisis de comparación de medias se realizó mediante ANOVA (las diferencias son estadísticamente significativas cuando p (significancia $<0,05$). Para discriminar subconjuntos homogéneos se realizaron pruebas Post hoc de Tukey, utilizando el Paquete Estadístico SPSS ®.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Características topográficas de los perfiles de suelo

A continuación se presentan los perfiles de suelo que se realizaron en las tres coberturas: robledal, pinar y matorral del estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Granada, España. De cada cobertura se evaluaron los perfiles en dos sitios con características similares.

5.1.1 P-10 Robledal



Localidad: Camino forestal de Soportújar a Fuente Palo

Coordenadas: 464225-4089620

Altitud: 1.627 m

Origen: Robledal o melojar (*Adenocarpus decorticans-Quercetum pyrenaicae*)

a) Cobertura: 70%

b) Especies: Dominio de *Quercus pyrenaica* con sotobosque desbrozado para realización de faja cortafuegos que debió estar dominado por *Adenocarpus decorticans* y ahora dominan las herbáceas anuales con algunos rebrotes de encina, *Festuca scariosa*, *Euphorbia nicaeensis*,...

Material Original: micasquistos

Posición fisiográfica: ladera

Orientación: N 90° W

Pendiente: mixta 10%-53%

Manejo: Tratamientos silvícolas, aprovechamiento de leñas y pastos

Drenaje: Clase 4 Bueno

Clasificación: Phaeozem Léptico

Tabla 2. Descripción macromorfológica del perfil robledal (bosque natural) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

Hor.	Prof.	Descripción
Ah	0-5	Color muy oscuro. Estructura migajosa con abundantes raíces finas y muy finas y escasa pedregosidad. Color gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo y gris oscuro 10YR 4/1 en seco. Textura franco arenosa
Ah	5-10	Estructura migajosa con abundantes raíces finas y muy finas y alguna mediana. Frecuentes gravas y muy escasas piedras. Límite gradual y ondulado. Color gris muy oscuro 10YR 3/1 en húmedo y gris 10YR 5/1 en seco. Textura franco arenosa
Ah+C	10-30	Hasta los 12 cm es un hor. Ah con parecidas características a la capa anterior solo que con un ligero aumento de gravas y piedras. A partir de los 12 cm sin estructura (suelto). Abundantes raíces medianas y finas. Aumentan las piedras y gravas. Color pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo y pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco. Textura franco arenosa

5.1.2 P-10 Pinar



Localidad: Carril Forestal de Soportújar a Fuente Palo

Coordenadas: 464242-4989415

Altitud: 1.527 m

Origen: Pinar de repoblación de *Pinus pinaster* y algunos pies de *Pinus sylvestris*

Edad: 89 años, se trata de una de las primeras repoblaciones documentadas de Sierra Nevada

a) Cobertura: 83%

b) Especies: *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Adenocarpus decorticans*

Material Original: micasquistos

Posición fisiográfica: ladera

Orientación: N 90° W

Pendiente: 45%

Manejo: Hoyos, sotobosque recientemente desbrozado para construcción de faja auxiliar contra incendios

Drenaje: Clase 4 Bueno

Erosión: Terreno muy ozado

Clasificación: Phaeozem Léptico

Tabla 3. Descripción macromorfológica del perfil pinar (bosque de repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

Hor.	Prof.	Descripción
Ah	0-5	Estructura migajosa con muy abundantes micelios de hongos y frecuentes raíces, principalmente medianas. Frecuentes piedras. Color pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2 en húmedo y pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco. Textura franco arenosa
Ah	5-10	Estructura migajosa con tendencia a suelta (debilitación de la estructura). Pedregosidad abundante y gravas muy abundantes. Color pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2 en húmedo y pardo grisáceo 10YR 5/2 en seco. Textura franco arenosa
AC+C	10-30	De 10 a 18 cm es un horizonte AC con estructura muy débil. El color se hace más rojizo. Abundantes raíces gruesas y medianas. A partir de los 18 cm, horizonte C, donde las gravas y las piedras aumentan considerablemente. Color pardo amarillento oscuro 10YR 4/4 en húmedo y pardo amarillento 10YR 5/4 en seco. Textura franco arenosa

5.1.3 P-10 Matorral



Localidad: Carril Forestal de Soportújar a Fuentepalo

Coordenadas: 464373-4088923

Origen: Lastonar (*Dactylo hispanicae-Festucetum scariosae*)

a) Cobertura: 65%

b) Especies: Comunidad dominada por gramíneas vivaces como *Festuca scariosa* y en menor medida *Thymus zygis* subsp. *gracilis*, *Ulex parviflorus*, *Digitalis obscura*, *Thapsia villosa*, *Dactylis glomerata*, *Helichrysum italicum* subsp. *serotinum*...

Material Original: micasquistos

Posición fisiográfica: ladera

Orientación: N 90° W

Pendiente: 40%

Manejo: Ganadería extensiva

Pedregosidad superficial: Abundante

Drenaje: Clase 4 Bueno

Erosión: laminar débil

Clasificación: Regosol Eutrico

Tabla 4. Descripción macromorfológica del perfil matorral (sin repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

Hor.	Prof.	Descripción
Ah	0-5	Estructura migajosa débil con abundantes raíces finas y muy finas. De frecuentes a abundantes gravas. Color pardo amarillento oscuro 10YR 3/4 en húmedo y pardo amarillento 10YR 5/4 en seco. Textura franco arenosa
C	5-10	Sin estructura (suelta). Abundantes raíces finas y alguna mediana. Frecuente Pedregosidad y abundante grava. Mismo color anterior. Textura franco arenosa
C	10-30	Características iguales a las de la capa anterior. Igual color anterior. Textura franco arenosa

5.1.4. P-11 Pinar

Localidad: Alrededores de la Casa Forestal de Soportújar

Coordenadas: 463867-4088544

Altitud: 1.372 m

Origen: Repoblación de *Pinus radiata* junto a otras especies exóticas como *Pseudotsuga menziesii*, *Cedrus atlantica*, *Cupressus arizonica*,...

Edad: 42 años

a) Cobertura: 70%

Material Original: micasquistos

Posición fisiográfica: ladera

Orientación: N 110° W

Pendiente: 20%

Manejo: Terrazas

Drenaje: Clase 4 Bueno

Clasificación: Phaeozem Léptico

Tabla 5. Descripción macromorfológica del perfil pinar (bosque de repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España..

Hor.	Prof.	Descripción
Ah	0-5	Estructura migajosa con abundantes raíces finas y muy finas. Frecuentes gravas. Color pardo oscuro 7.5YR 3/2 en húmedo y pardo grisáceo oscuro 7.5YR 4/2 en seco. Textura franco arenosa
Ah+C	5-10	De 5 a 7 horizonte Ah con características similares a las de la capa anterior, con alguna raíz mediana y más grava. A partir de los 7 cm sin estructura (horizonte C) con las mismas raíces y más grava. Igual color que capa anterior. Textura franco arenosa
C	10-30	Color más claro. Sin estructura. Mayor cantidad de grava que el horizonte anterior. Color pardo 7.5YR 4/2 en húmedo y 7.5YR 5/2, pardo, en seco. Textura franco arenosa

5.1.5 P-11 Matorral (sin repoblación)

Localidad: 250 m más debajo de la Casa Forestal de Soportújar

Coordenadas: 464247-4087612

Altitud: 1.194 m

Origen: Mecla de pastizal-matorral pastoreado generado tras abandono de antiguo cultivo (*Artemisio glutinosae-Santolinetum rosmarinifoliae* y *Dactylo hispanica-Fastucetum scariosae*)

a) Cobertura: 40%

b) Especies: Domina *Poa bulbosa*, acompañan *Andryala ragusina*, *Retama sphaerocarpa*, *Festuca scariosa* y especies herbáceas anuales

Material Original: micasquistos

Posición fisiográfica: ladera

Orientación: N 110° W

Pendiente: 20%

Manejo: Matorral-pastizal degradado por acción antrópica, fundamentalmente por recurrencia de incendios, sobrepastoreo, erosión subsecuente.

Pedregosidad superficial: escasa

Drenaje: Clase 4 Bueno

Clasificación: Regosol Eutrico

Tabla 6. Descripción macromorfológica del perfil matorral (sin repoblación) en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

Hor.	Prof.	Descripción
Ah	0-5	Estructura migajosa con abundantísimas raíces finas y muy finas. Pedregosidad superficial escasa. De poca a común grava. Color pardo oscuro 7.5YR 3/2 en húmedo y pardo 7.5YR 5/2 en seco. Textura franco arenosa
Ah+AC	5-10	La estructura se va haciendo más débil, disminuyen las raíces y las gravas van aumentando. Color pardo 7.5YR 4/4 en húmedo y pardo ligero 7.5YR 6/4 en seco. Textura franco arenosa
C	10-30	Color más claro. Sin estructura con menos raíces y más grava que el horizonte anterior. Por debajo de los 25 cm se trata de micasquisto puro muy alterado. Igual color que la capa anterior. Textura franco arenosa.

5.2. Propiedades físicas y químicas del suelo

A continuación se presentan los resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo evaluadas para los perfiles de suelos mediterráneos utilizados para las coberturas: natural, de repoblación y matorral.

5.2.1. Análisis de textura

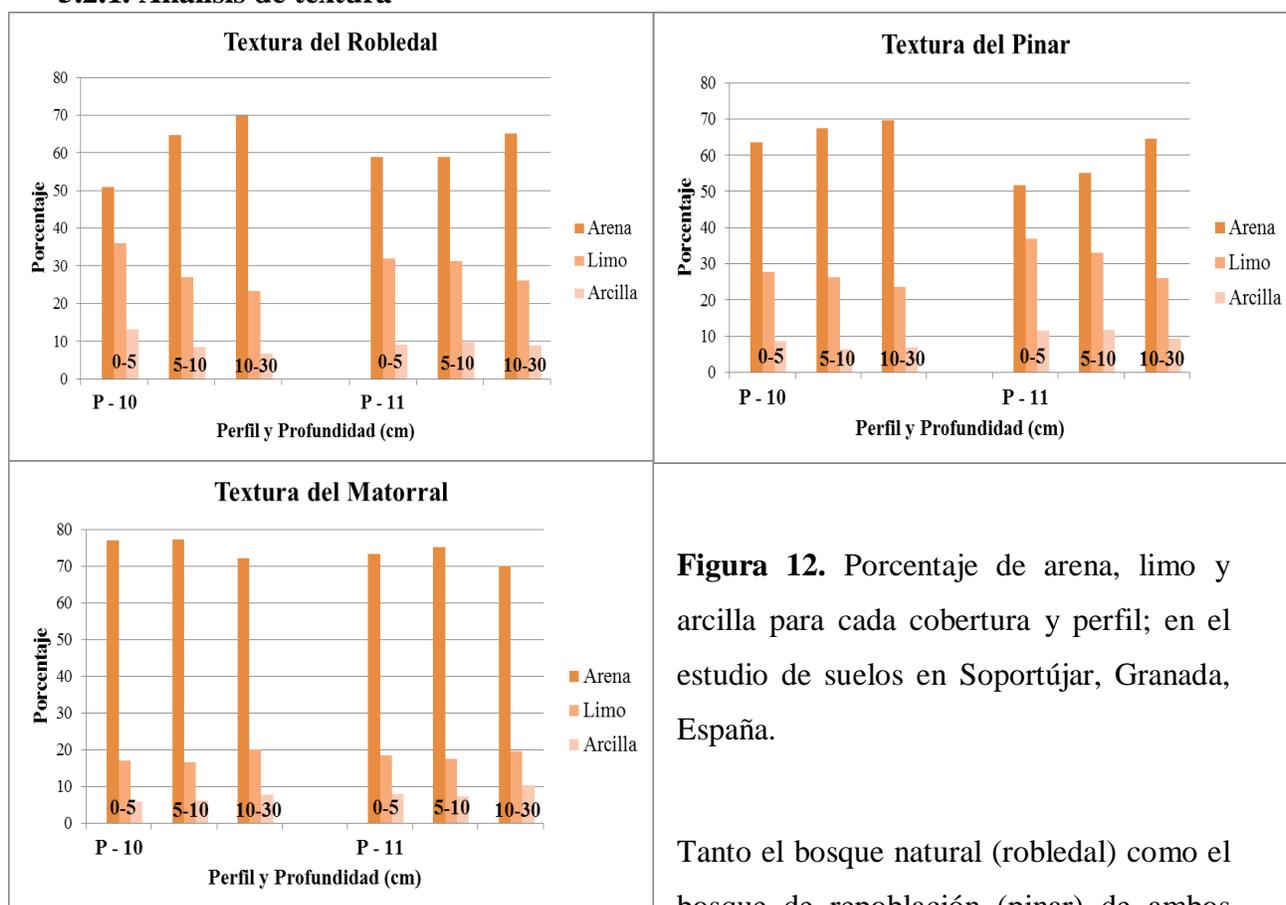


Figura 12. Porcentaje de arena, limo y arcilla para cada cobertura y perfil; en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

Tanto el bosque natural (robledal) como el bosque de repoblación (pinar) de ambos

perfiles (P-10 y P-11) se consideran de textura moderadamente gruesa y suelo franco arenoso (Anexo 1 y 2), debido a que contiene un máximo de 15% de arcilla, 15 a 35% de limo y más del 45% de arena.

Los suelos francos presentan una mezcla de arena, limos y arcillas en proporciones equilibradas. Estos suelos presentan todas las ventajas de los distintos tipos de partículas, eliminándose sus desventajas (Figura 12).

El matorral P-11 también se considera de textura moderadamente gruesa y suelo franco arenoso, mientras que el matorral P-10 solamente en su última profundidad (10-30 cm) presenta suelo franco arenoso (Anexo 3). Al compararlo con el P-11 a la misma profundidad, el P-10 posee mayor porcentaje de arena y menor porcentaje de arcilla, y aunque ambos son suelos franco arenosos, el P-10 es más netamente arenoso que el P-11, el cual podría clasificarse como ligeramente arenoso (Figura 12).

Las primeras dos profundidades (de 0-5 y 5-10) se consideran de textura gruesa y suelo arenoso franco (Anexo 3), por su bajo porcentaje en arcillas (< 15%) y altos contenidos en arena (70 a 86%). Es un suelo que tiene bastante arena pero tiene la suficiente cantidad de arcilla y limo para hacerlo ligeramente más coherente. La variación de este matorral en sus dos primeras profundidades podría ser porque en el P-10 la pedregosidad es abundante y en el P-11 esta es escasa; la pendiente es mayor en el P-10 de 40% y es de 20% en el P-11, por lo tanto, es probable que haya una degradación de las piedras en el P-10 que a su paso va dejando arena en ese perfil; colocándole entre los suelos arenosos.

5.2.2. Análisis de pH

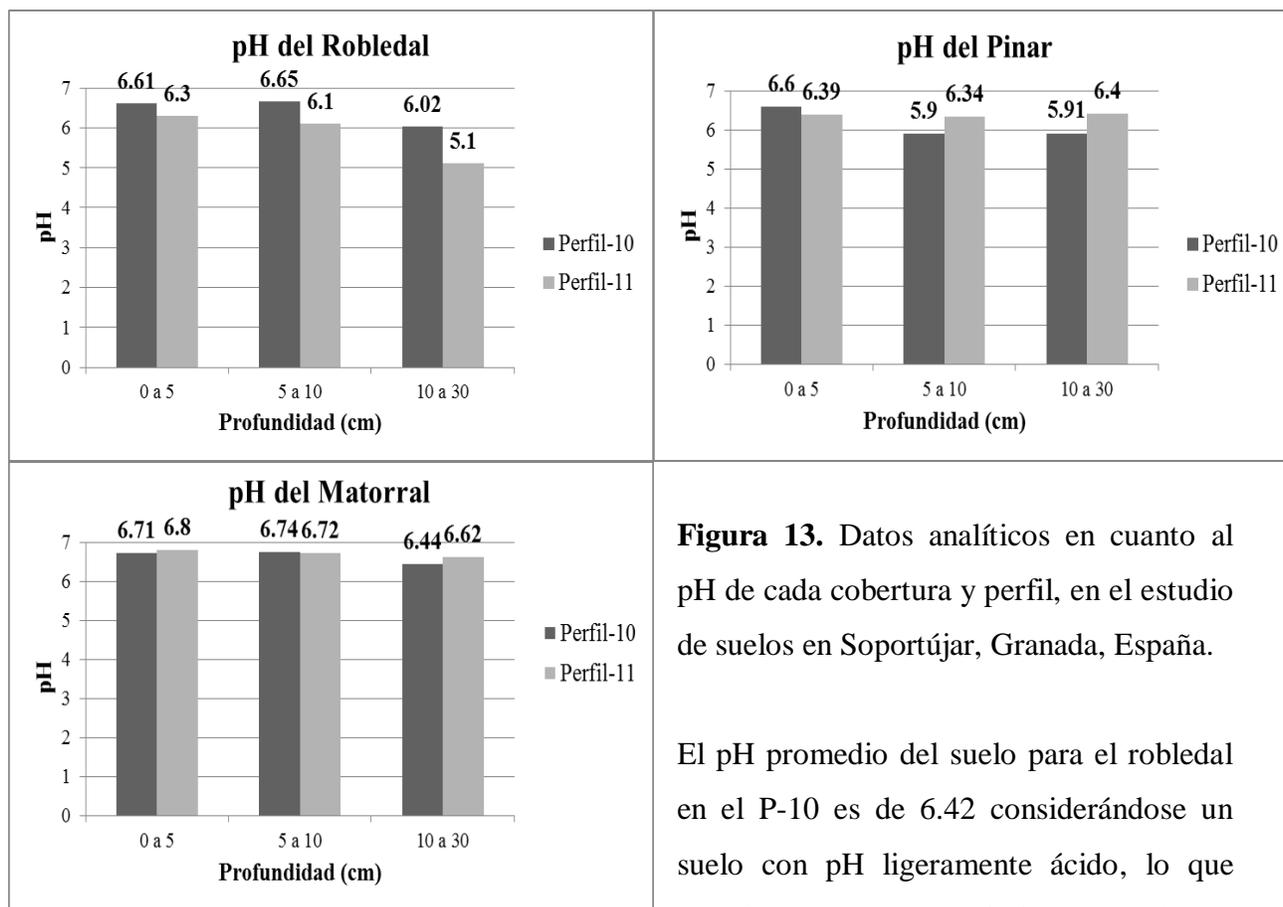


Figura 13. Datos analíticos en cuanto al pH de cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

El pH promedio del suelo para el robledal en el P-10 es de 6.42 considerándose un suelo con pH ligeramente ácido, lo que significa que en este suelo hay una máxima

disponibilidad de nutrientes y una mayor mineralización de la materia orgánica. En el P-11 el pH promedio es de 5.83 considerándose un suelo con pH medianamente ácido; intervalo adecuado para la mayoría de los cultivo. Al igual que el P-10 robledal, el sistema de repoblación con pino de ambos perfiles también presenta un pH ligeramente ácido. En el matorral de ambos perfiles encontramos el mejor pH oscilando entre 6.5 y 6.7 considerando un pH neutro; el rango óptimo de pH sobre el que crecen vigorosamente la mayor parte de las plantas cultivadas, donde la mayoría de sustancias nutritivas presentes en la solución del suelo, son fácilmente asimilables o absorbidas por las raíces (Figura 13).

5.2.3. Análisis de Conductividad Eléctrica (CE)

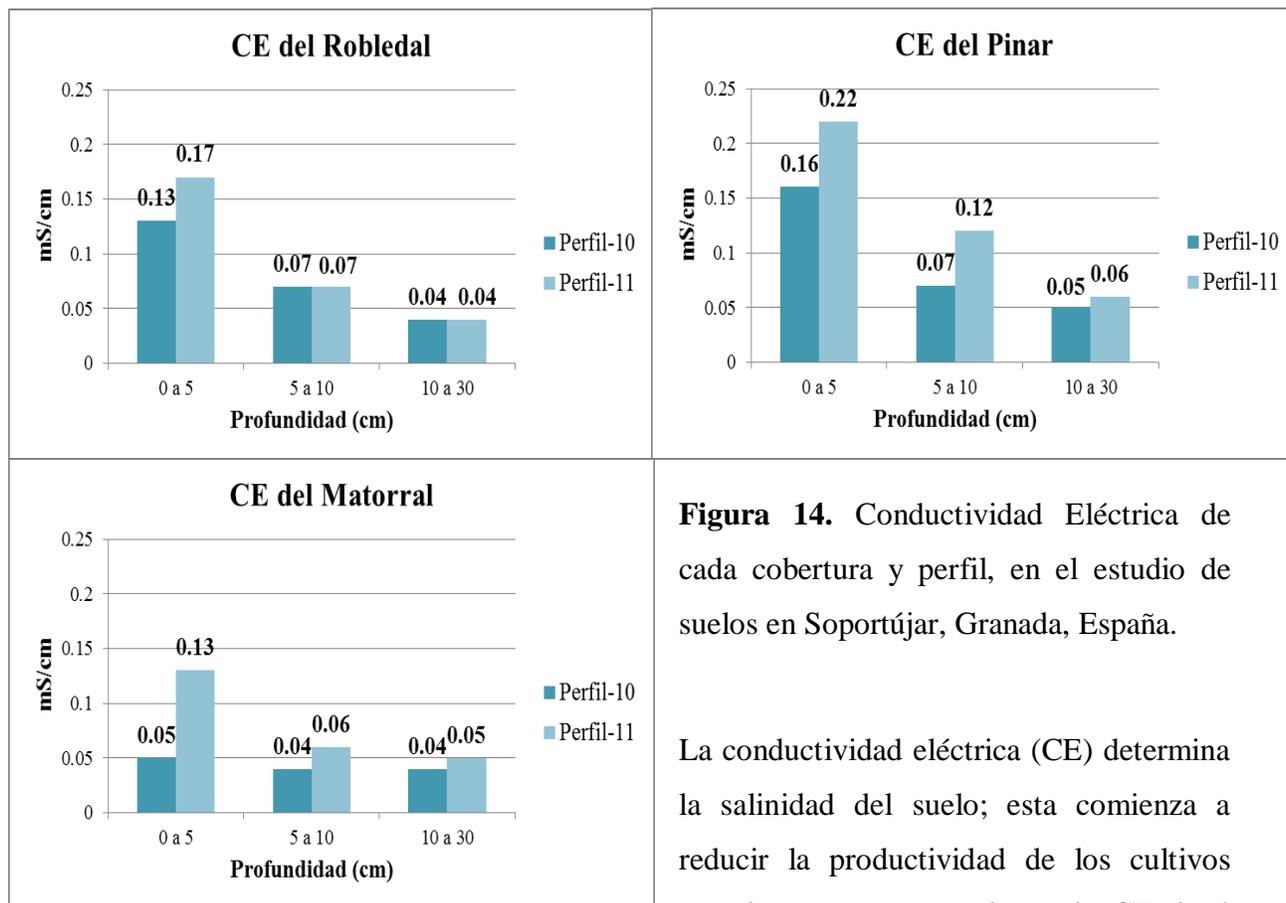


Figura 14. Conductividad Eléctrica de cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

La conductividad eléctrica (CE) determina la salinidad del suelo; esta comienza a reducir la productividad de los cultivos cuando se acerca a valores de CE de 4

dS/m (límite establecido por el laboratorio de salinidad de los EEUU, para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas); 2 dS/m es adoptado por la clasificación americana de suelos, como límite para el carácter salino a nivel de gran grupo y subgrupo, pues considera que a partir de ese valor las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil quedan fuertemente influenciadas por el carácter salino.

Los valores de conductividad del suelo de ambos perfiles para las tres coberturas varían entre 0.04 y 0.22 mS/cm, considerándose suelos normales, con salinidad nula (< 2 dS/m) o muy favorable. Estos valores permiten un desarrollo óptimo de la planta (Figura 14).

5.2.4. Análisis de carbonatos de calcio (CaCO_3)

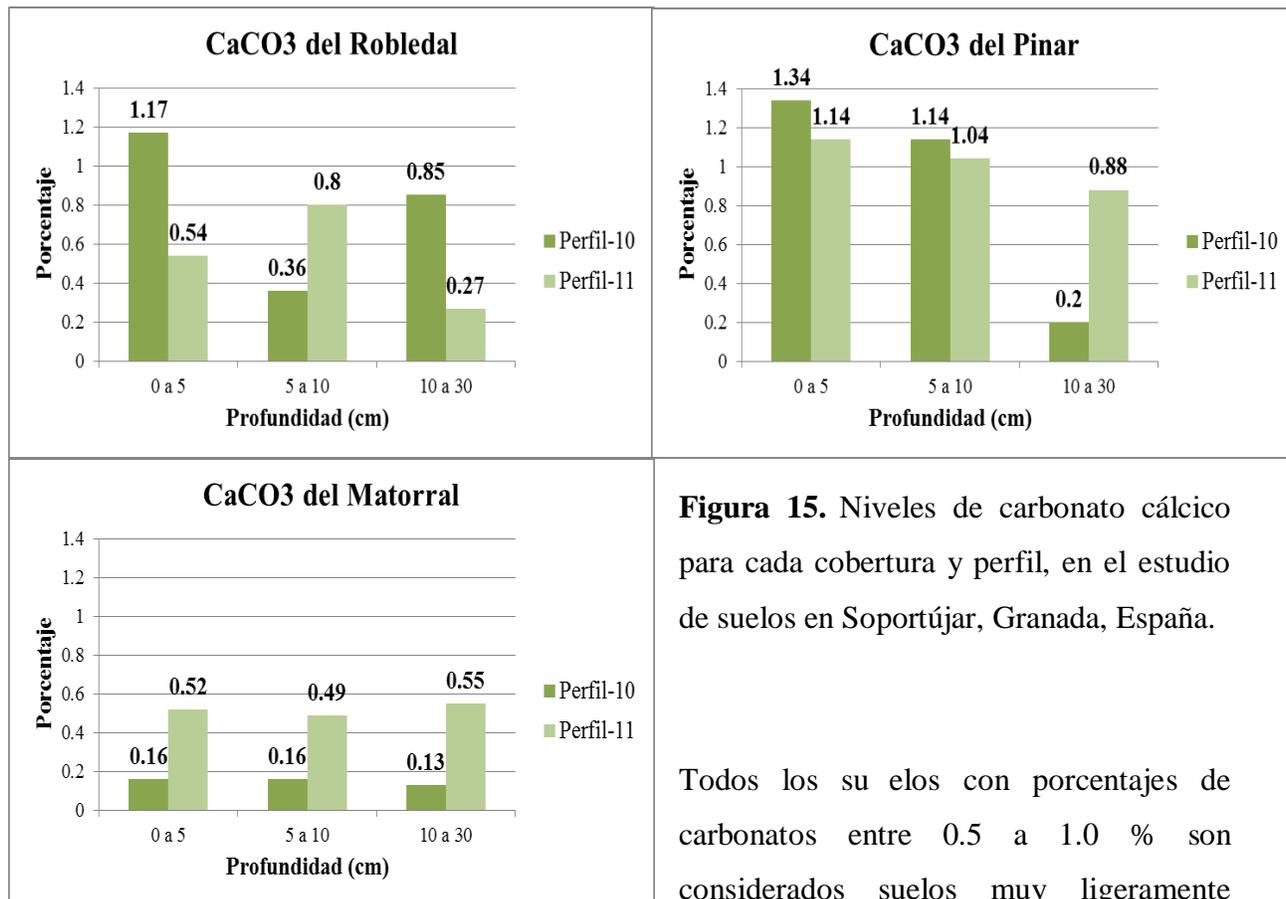


Figura 15. Niveles de carbonato cálcico para cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

Todos los suelos con porcentajes de carbonatos entre 0.5 a 1.0 % son considerados suelos muy ligeramente calcáreos.

El porcentaje promedio de carbonatos (Figura 15) en la cobertura del robledal es de 0.79 y 0.54 % y en la cobertura de repoblación (pinar) es de 0.89 y 1.0 %, por lo tanto, ambas coberturas pertenecen a este grupo. Los suelos que posean porcentajes de carbonatos menor a 0.5% son considerados suelos no calcáreos; siendo este el caso del suelo desnudo (matorral) con un porcentaje promedio de carbonatos de 0.15 y 0.5 %.

5.2.5. Análisis del porcentaje de humedad

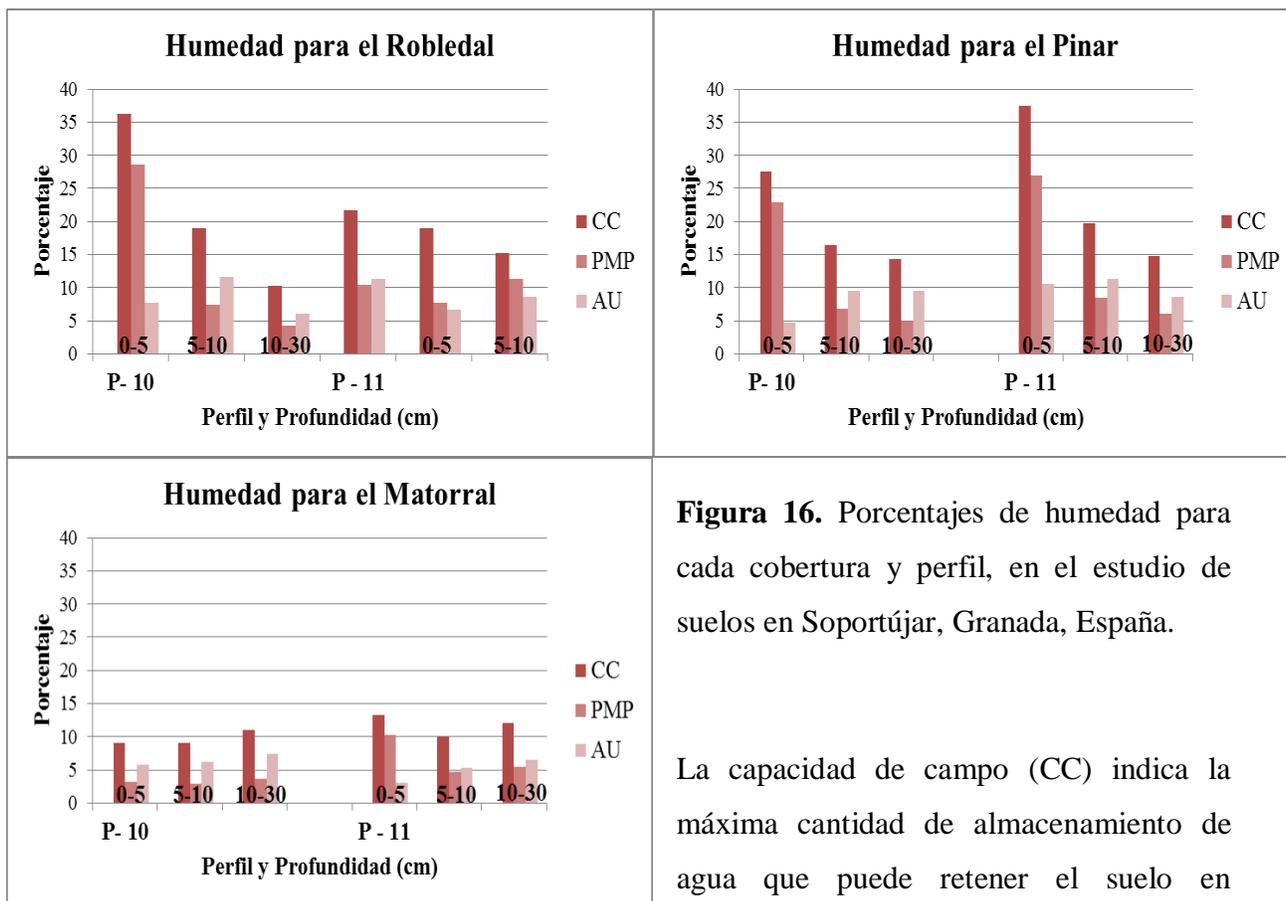


Figura 16. Porcentajes de humedad para cada cobertura y perfil, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

La capacidad de campo (CC) indica la máxima cantidad de almacenamiento de agua que puede retener el suelo en

condiciones naturales de humedad después de tres días de aporte de agua, por ejemplo: si saturamos un suelo, la cantidad de agua que queda retenida en los poros sin ser arrastrada por el peso de la gravedad, es la CC. Esta puede variar su potencial mátrico entre 0.1 bar (10kPa o 0.1 Atm) para suelos arenosos hasta 0.5 bares (50kPa o 0.5Atm) para suelos arcillosos. Se puede tomar como valor medio 0.3 bar (30kPa o 0.3 Atm).

La figura 16 muestra los valores de CC; donde se diferencia claramente que sus valores más altos se encuentran en las profundidades de 0-5 cm, aún en el matorral donde todos los valores son bajos, probablemente por la vegetación. Los valores porcentuales promedios del robledal para CC están en 21.9 para P-10 y 18.6 para P-11; para pinar 19.4 en P-10 y 23.9 en P-11 son sus promedios y para matorral P-10 y matorral P-11 son 9.8 y 11.8 respectivamente. De acuerdo a las clases texturales los parámetros ideales según Israelsen y Hansen, 1979 para texturas franco arenosas es de 10-18%; la mayoría de nuestros

promedios se encuentran por arriba de este rango, debido a que en el momento de identificar su clase textural en el triángulo de texturas (Anexo 4) algunas tendían más a francas y otras a más arenosas, pero perteneciendo siempre a la clase textural franco arenosa.

El punto de marchitez permanente (PMP) indica el punto de humedad mínima en el cual la planta no puede seguir extrayendo agua del suelo, debido a que esta se encuentra retenida tan firmemente que llega a causar una marchitez irreversible; tampoco puede recuperarse de la pérdida hídrica aunque la humedad ambiental sea saturada. Cuando un suelo llega a PMP ya no queda agua fácilmente aprovechable por las plantas por lo que estas mueren; se sabe que el contenido de humedad se vuelve difícil de aprovechar de 10-20 Atm por lo que se toma como referencia 15 Atm (1500 kPa o 15 bar).

Según la figura 16 los valores porcentuales promedios para PMP del robledal están en 13.4 para P-10 y 8.2 para P-11; para pinar 11.5 en P-10 y 13.8 en P-11 son sus promedios y, para matorral P-10 y matorral P-11 son 3.2 y 6.8 respectivamente. En general se puede asumir que el valor PMP de un suelo es aproximadamente el 50% de la CC del mismo. De acuerdo a las clases texturales los parámetros ideales según Israelsen y Hansen, 1979 para texturas franco arenosas es de 4-8 %; al igual que en la CC la mayoría de promedios se encuentran por arriba de este rango, debido a lo anteriormente explicado en la capacidad de campo.

La CC y PMP son los límites que definen la necesidad de agua de un cultivo para su óptimo desarrollo. El agua útil (AU) es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas, retenida en el suelo entre los valores de CC y de PMP. El suelo es el único lugar de almacenaje de agua, pero no toda el agua disponible es fácilmente disponible para las plantas, sino solo la fracción de agua útil (aproximadamente 150 mm por metro de suelo). Los valores porcentuales promedios para AU del robledal están en 8.5 para P-10 y 10.4 para P-11; para pinar 7.9 en P-10 y 10.1 en P-11 son sus promedios y para matorral P-10 y matorral P-11 son 6.51 y 4.9 respectivamente. Los parámetros ideales para un buen

desarrollo del potencial de crecimiento para una textura franco arenosa como la presente en estos suelos es de 9-15%.

Por ende, si en la CC y el PMP la mayoría de promedios se encontraron por arriba de los rangos ideales, también el agua útil presentará cambios, y estos se encuentran por debajo del rango ideal, debido a que nuestras texturas (franco arenosa y arenosa franco) se clasifican dentro de las texturas gruesas, por lo que la retención de AU es baja.

5.2.6. Análisis de la Densidad Aparente (Da)

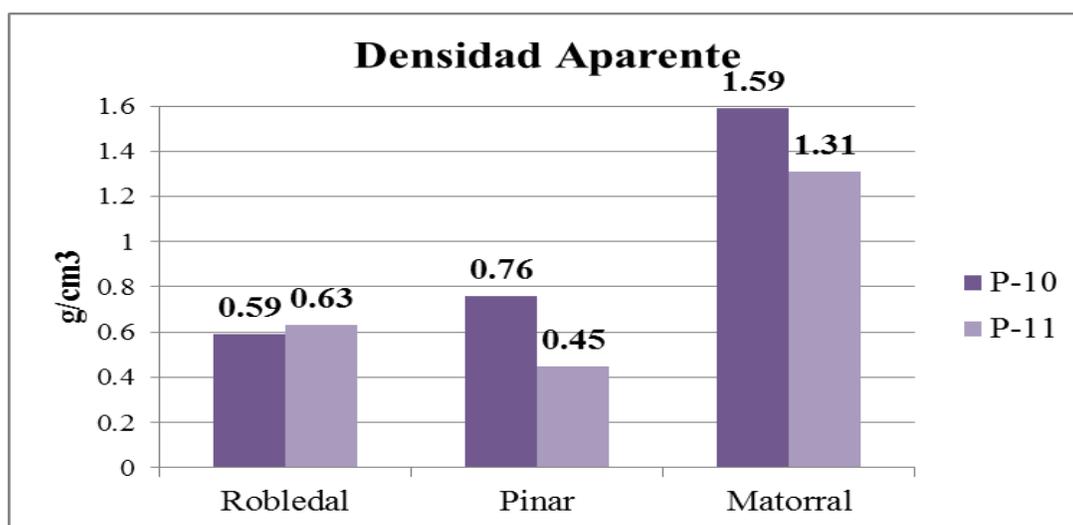


Figura 17. Comportamiento de la densidad aparente en la primera profundidad (0-5 cm) de cada perfil con su respectiva cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

La Da del suelo es un buen indicador de importantes características del suelo, tales como porosidad, grado de aireación y capacidad de drenaje. Suelos arenosos tienden a tener densidades mayores que suelos más finos, al mismo tiempo en suelos bien estructurados los valores son menores. Los factores que afectan la Da son principalmente tres: la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica. Los valores normales de densidad aparente oscilan entre 0.8-1.5 g/cm³ y podemos observar según la Figura 17, que solo el pinar P-10 y

matorral P-11 andan en parámetros óptimos de D_a , las demás coberturas y perfiles se disparan a valores inferiores de 0.8 g/cm^3 y superiores de 1.5 g/cm^3 .

Se dice que todos los extremos son malos, este es nuestro caso porque tanto una densidad aparente muy baja como alta, pueden traer problemas y casi todas nuestras coberturas no se encuentra en ese rango. La D_a muy baja indica mucha porosidad, y como nuestro grupo textural es gruesa los espacios son tantos que la retención de agua puede ser poca; la D_a alta es un indicador de compactación o suelo que tiene poca porosidad en su composición; que la infiltración del agua es lenta lo cual puede provocar anegamientos, que las raíces tienen dificultades para alongarse y penetrar hasta donde se encuentre agua y nutrientes. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de los árboles es impedido o retardado consistentemente.

En un estudio realizado por Pavón, 2008 en Danta, Somotillo, Nicaragua de un sistema agroforestal Quesungual los valores de D_a a profundidad de 0-5 cm se presentaron más altos en el sistema tradicional y más bajos en el bosque secundario. Mientras que los datos en Soportújar fueron similares en bosque natural (robleal) como en el bosque de repoblación (pinar). Erazo, 2010 evaluó suelos agrícolas mediterráneos en España para el olivar y sus valores de D_a fueron superiores a los mostrados en este estudio.

Los valores de densidad aparente (D_a) y densidad real D_r (que se considera = a 2.7 g/cm^3), permiten calcular el valor de la porosidad total de las coberturas; dato importante para conocer el comportamiento de las fases líquidas y gaseosas del suelo.

5.2.7. Análisis de la Porosidad (Po)

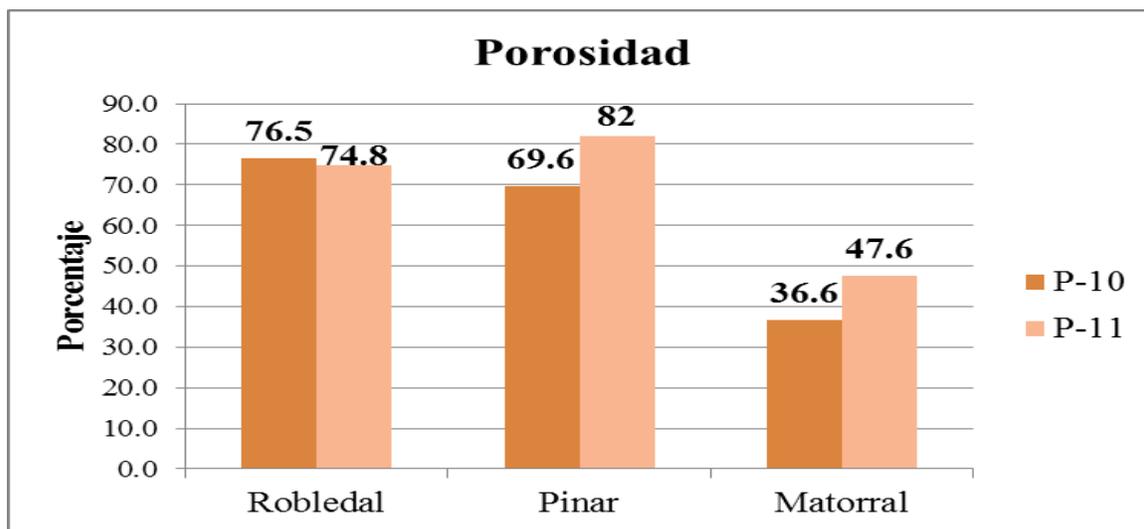


Figura 18. Porcentaje de la porosidad en la primera profundidad (0-5 cm) de cada perfil con su respectiva cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

La porosidad se entiende como la capacidad de un material de absorber líquidos o gases. Viene dada en porcentaje de huecos existentes (espacios vacíos). Los poros en el suelo se distinguen en macroscópicos y microscópicos. Los primeros son de notables dimensiones, generalmente llenos de aire; los segundos en cambio están compuestos en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares. Los terrenos arenosos son ricos en macroporos; mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, pudiendo manifestar una escasa aireación, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua.

La porosidad total de un suelo promedio oscila en un 50%. Los suelos arenosos tienen una porosidad total entre 35-45% mientras que los suelos arcillosos varían entre 40-60% (Pavón, 2008). Al igual que la Da podemos observar según la Figura 18, que las coberturas y perfiles se disparan a valores inferiores y superiores del 50% y que ninguna cobertura oscila entre este rango, probablemente porque como ya se mencionó, nuestras texturas (franco arenosa y arenosa franco) se clasifican dentro de las texturas gruesas.

5.2.8. Análisis del Carbono Orgánico (CO)

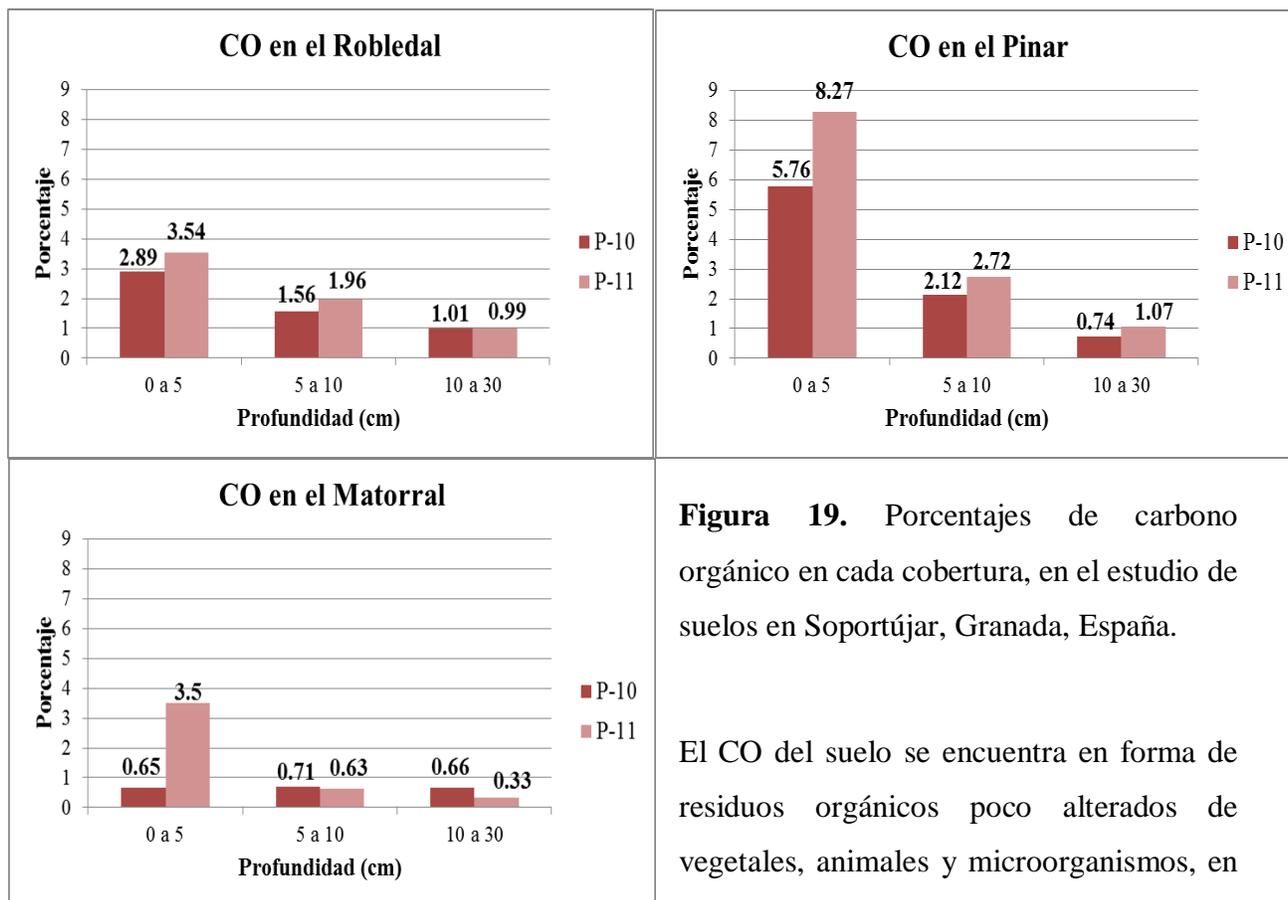


Figura 19. Porcentajes de carbono orgánico en cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

El CO del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de umus y en formas muy

condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964). El CO es esencial para la actividad biológica del suelo; proporciona recursos energéticos en los organismos del mismo y se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la MO.

Los mayores valores de carbono orgánico (Figura 19) se encuentran en la cobertura de repoblación (pinar) en su profundidad inicial, debido a que la vegetación o la hojarasca observada en la práctica para esta cobertura son superiores que la observada en el robledal y es mucho mayor en comparación con el matorral por la desnudes de este suelo. La cantidad de CO no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo. Afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas a su calidad, sustentabilidad, capacidad productiva; por lo que en un manejo sustentable el CO debe mantenerse o aumentarse.

5.2.9. Análisis del Nitrógeno (N)

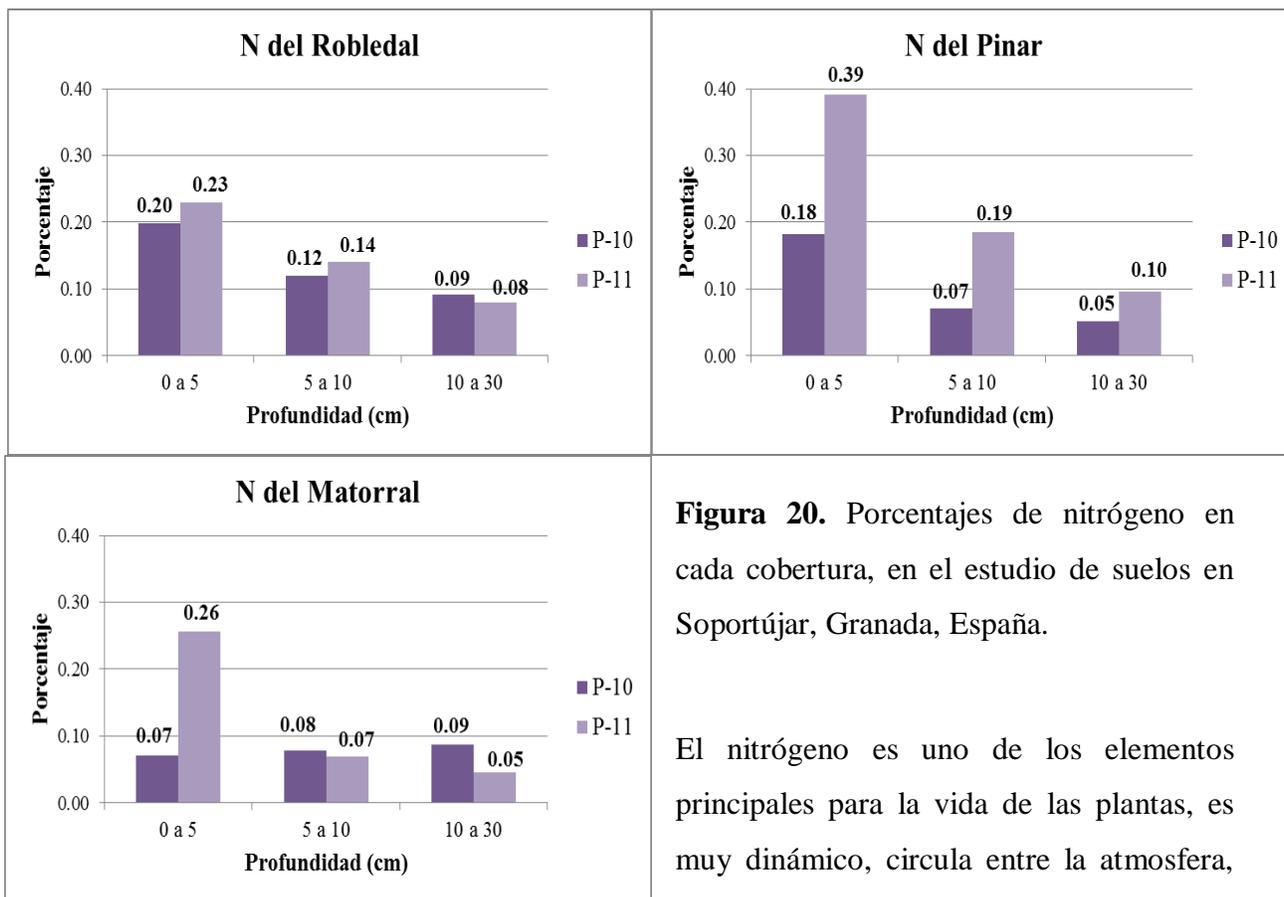


Figura 20. Porcentajes de nitrógeno en cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

El nitrógeno es uno de los elementos principales para la vida de las plantas, es muy dinámico, circula entre la atmósfera, el suelo y los organismos vivos. Las

reservas de N en el suelo están constituidas por materia orgánica en descomposición rápida y por compuestos húmicos de mineralización más lenta. Este es absorbido por las plantas como nitratos o amonios.

El porcentaje general para la biomasa en N es 1.96% por lo que todas nuestras coberturas se encuentra muy debajo de este parámetro. Su falta provoca color verde pálido en las hojas tirando a amarillo; la planta no crece aunque puede florecer. Si hay exceso de N, el crecimiento es exagerado, la planta es débil y tierna, por lo tanto, más propensa a plagas y enfermedades, al viento, a la lluvia y al granizo, al frío (Figura 20).

5.2.10. Análisis de la relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

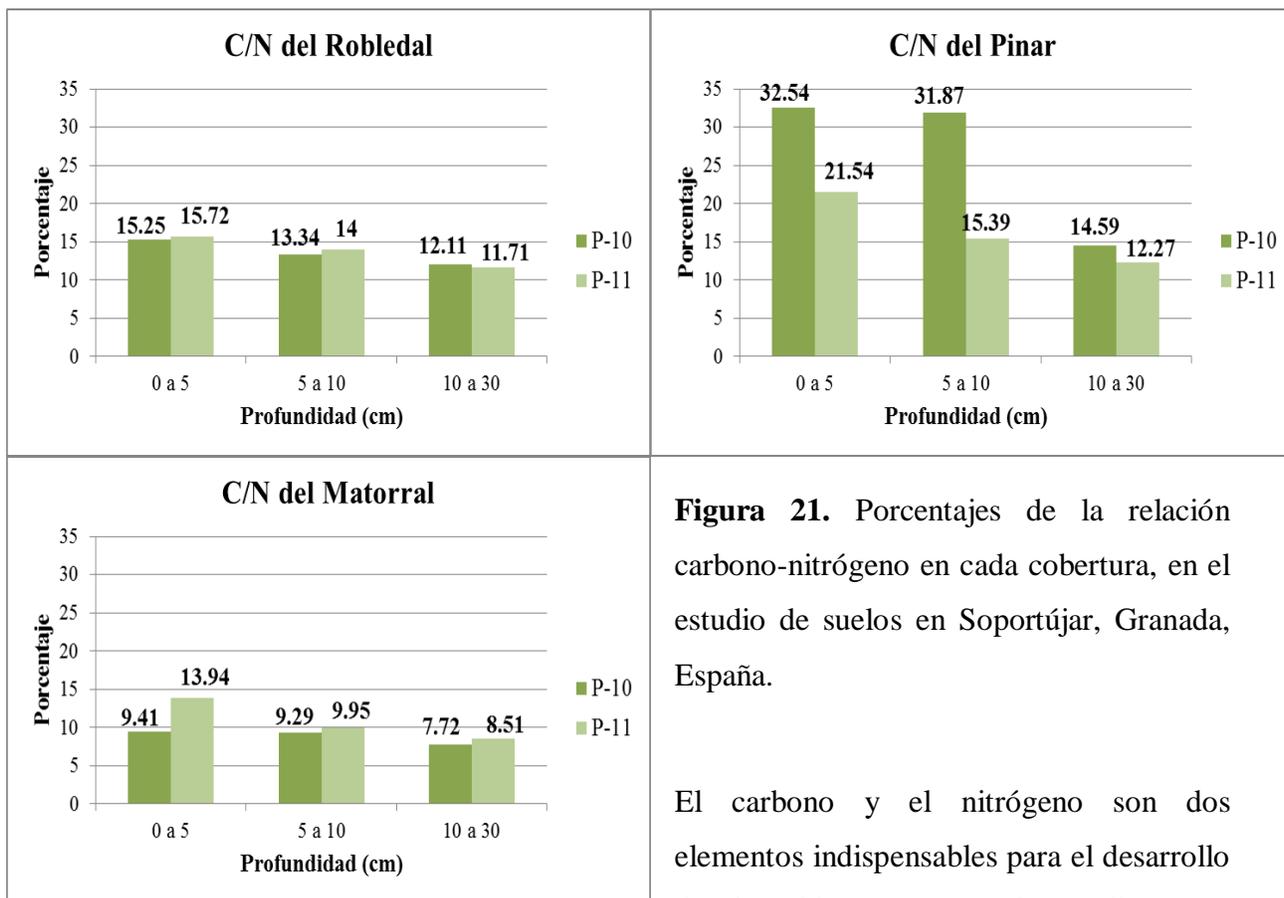


Figura 21. Porcentajes de la relación carbono-nitrógeno en cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

El carbono y el nitrógeno son dos elementos indispensables para el desarrollo de la vida ya que afecta directa o

indirectamente a todos los procesos biológicos. El carbono oscila en torno a un 50-60% de la MO; sin embargo el porcentaje de N es muchísimo menor que el porcentaje de C.

La relación C/N es un parámetro que evalúa la calidad de los restos orgánicos de los suelos. Cuando estos tienen una relación C/N de alrededor de 100 se dice que la razón es alta. Es el caso de las espículas de los pinos, como contienen poco nitrógeno la actividad biológica es limitada y se trata de una vegetación acidificante. Por ello los porcentajes encontrados en nuestro pinar (Figura 21) son mayores, excepto que nuestro pino está en parámetros óptimos porque cuando C/N vale 30 los restos contienen suficiente nitrógeno para soportar una intensa actividad microbiana. En este caso la vegetación es mejorante para todas nuestras coberturas.

5.2.11. Análisis de la Materia Orgánica (MO)

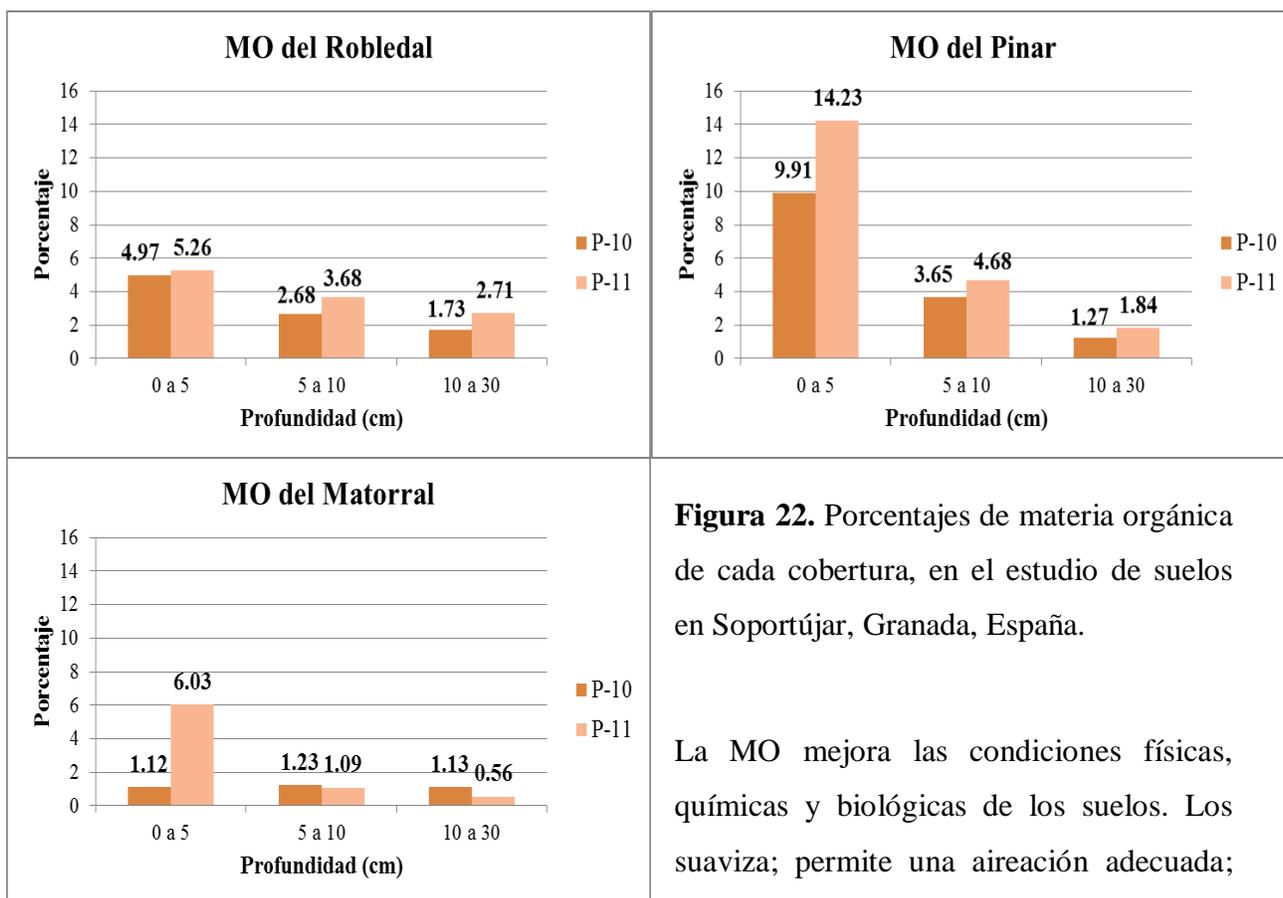


Figura 22. Porcentajes de materia orgánica de cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

La MO mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. Los suaviza; permite una aireación adecuada; aumenta la porosidad y la infiltración de

agua, entre otros. Es una fuente importante de nutrientes, a través de los procesos de descomposición con la participación de bacterias y hongos, especialmente. Absorbe nutrientes disponibles, los fija y los pone a disposición de las plantas. Fija especialmente nitrógeno (NO_3 , NH_4), fósforo (P_04) calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y otros. Mantiene la vida de los organismos del suelo, esenciales para los procesos de renovación del recurso.

El tipo de cobertura influye de forma decisiva en el contenido de materia orgánica presente en el suelo, y de esta forma en muchas propiedades. Así pues, los cambios de uso del suelo van a provocar bien una disminución en su contenido se CO (degradación), o bien un incremento (mejora o captura de C).

Los mayores valores de CO (Figura 19) se encuentran en la cobertura de repoblación (pinar) en su profundidad inicial, por ende también los mayores valores de MO se encuentran en esta misma cobertura (Figura 22), debido a que la vegetación o la hojarasca observada en la práctica para esta cobertura son superiores que la observada en el robledal y es mucho mayor en comparación con el matorral por la desnudes de este suelo.

5.2.12. Análisis de Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

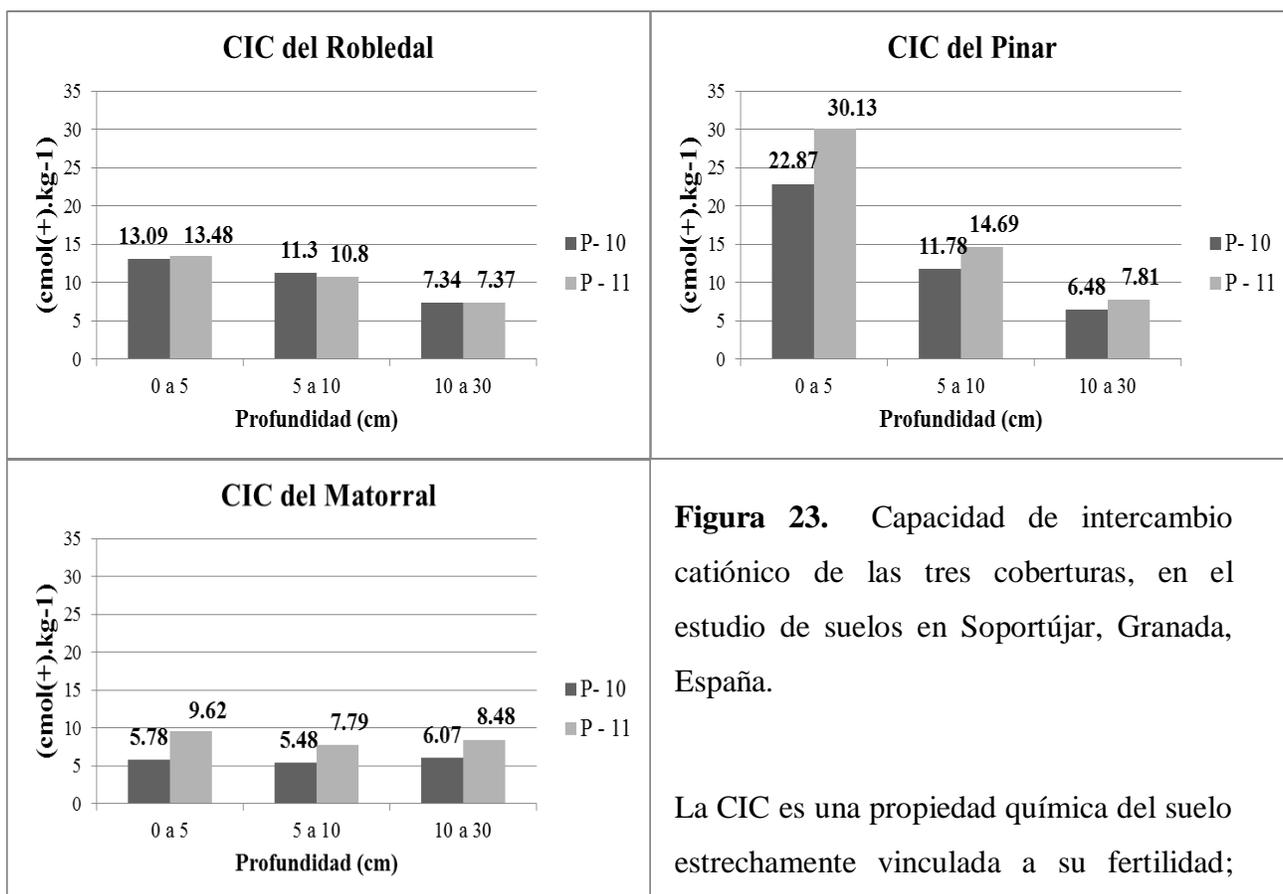


Figura 23. Capacidad de intercambio catiónico de las tres coberturas, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

La CIC es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad; esta se puede tomar como un índice, por lo

que estos valores varían en cada cobertura y profundidad. Para el robledal (Figura 23) la CIC presenta una fertilidad normal en las primeras dos profundidades, en la última profundidad la fertilidad es baja. En el pinar solamente en la profundidad de 5-10 cm la CIC es normal; en la primera y última es alta (>15) y baja (5-10) respectivamente. Y el matorral por su escasas de cobertura vegetal y por ende por su baja materia orgánica, la

capacidad de intercambio catiónico es totalmente bajo, indicando baja fertilidad en este suelo.

Suelos con CIC de 11 a 50 Cmolc/kg de suelo presentan: Alto contenidos de arcilla, requieren más cal para corregir acidez, mayor capacidad para retener nutrientes y alta capacidad de retener agua. Suelos Con CIC de 1 a 10 Cmolc/kg de suelos presentan: Alto contenido de arena mayor probabilidad de pérdida de nitrógeno y potasio por lixiviación, requiere menos cal para corregir acidez y baja capacidad para retener agua.

Tabla 7. Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para el robledal en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	BASES Y CAPACIDAD DE CAMBIO (cmol(+).kg ⁻¹)						
	Prof. (cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.	V (%)
P-10 Robledal	0-5	7.72	2.81	0.03	0.41	13.09	83.8
	5-10	7.21	2.28	0.03	0.28	11.3	86.7
	>10	2.11	2.95	0.04	0.15	7.34	71.5
P-11 Robledal	0-5	8.75	0.39	0.03	3.75	13.48	95.84
	5-10	7.20	0.27	0.03	3.25	10.80	99.43
	>10	2.20	0.16	0.04	3.00	7.37	73.24

Tabla 8. Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para el pinar en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	BASES Y CAPACIDAD DE CAMBIO (cmol(+).kg ⁻¹)						
	Prof. (cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.	V (%)
P-10 Pinar	0-5	12.96	3.88	0.05	0.4	22.87	75.6
	5-10	5.69	2.14	0.09	0.22	11.78	69.1
	>10	0.8	1.49	0.04	0.21	6.48	39.2
P-11 Pinar	0-5	13.82	5.98	0.05	0.41	30.13	67.2
	5-10	7.11	3.75	0.04	0.23	14.69	75.8
	>10	3.82	2.01	0.04	0.13	7.81	76.8

Tabla 9. Bases de cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) para el matorral en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	BASES Y CAPACIDAD DE CAMBIO (cmol(+).kg ⁻¹)						
	Prof. (cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.	V (%)
P-10 Matorral	0-5	3.25	0.98	0.01	0.23	5.78	77.3
	5-10	2.03	1.01	0.03	0.14	5.48	58.6
	>10	2.43	1.02	0.03	0.09	6.07	58.8
P-11 Matorral	0-5	5.82	3.01	0.08	0.25	9.62	95.2
	5-10	4.99	2.68	0.05	0.07	7.79	100.0
	>10	5.21	3.14	0.07	0.06	8.48	100.0

5.3. Simulador de lluvia

A continuación se presentan los datos obtenidos con el Simulador de lluvia utilizado en las coberturas del estudio en la cuenca del río Guadalfeo en Granda, España.

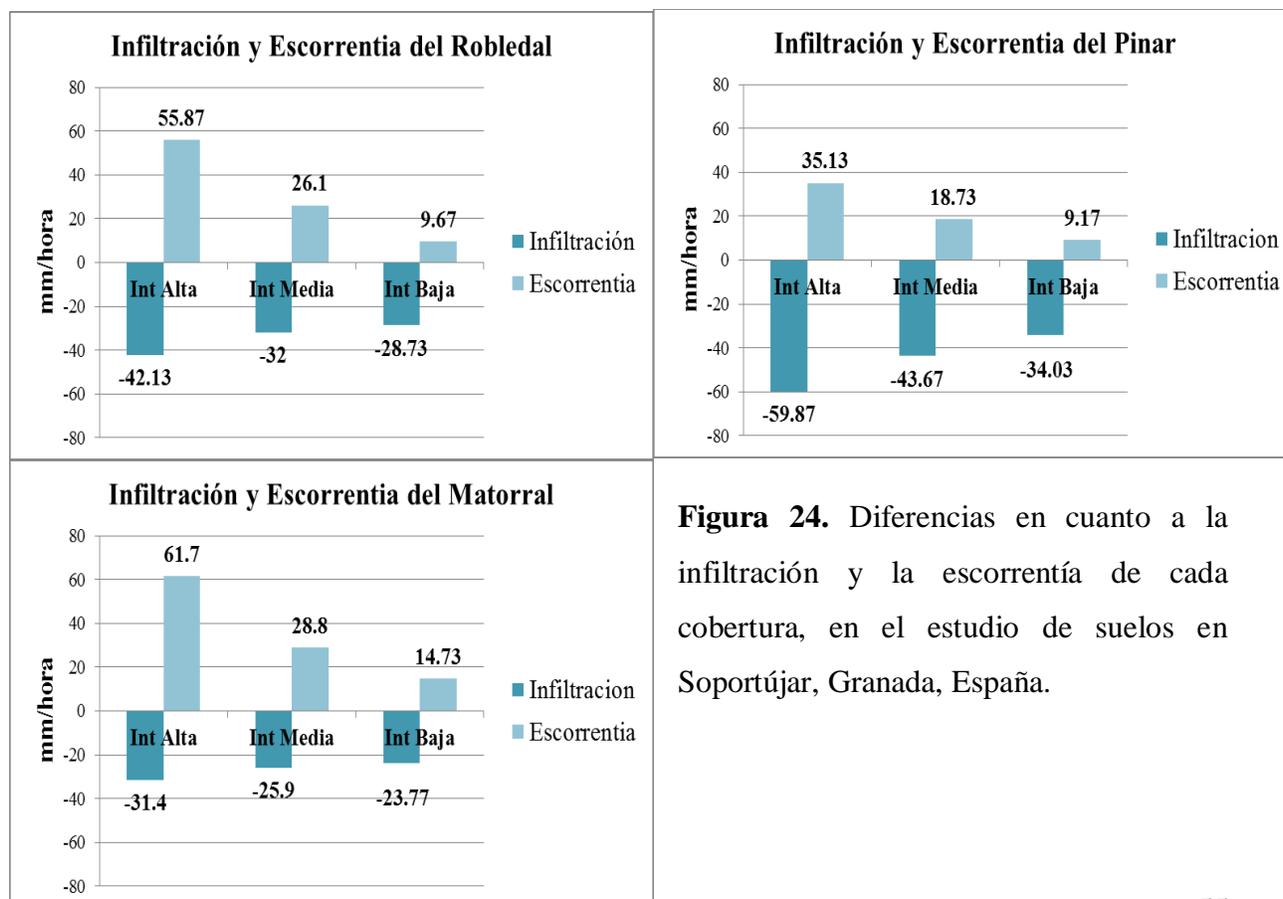


Figura 24. Diferencias en cuanto a la infiltración y la escorrentía de cada cobertura, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo (mm/hora). Cuando la velocidad de escorrentía es alta pasa a ser un factor de desprendimiento y transporte convirtiéndose en un problema grave. Los factores que intervienen en la velocidad de los flujos de escorrentía son: el volumen de agua, el grado de pendiente y la longitud de esta.

Según la Figura 24 la infiltración y la escorrentía disminuyen de acuerdo a la intensidad de lluvia, las cuales fueron tres: alta (>90 mm/h), media (90-45 mm/h) y baja (< 45 mm/h). En el pinar encontramos los valores más bajos de escorrentía y los más altos de infiltración, y es que el pinar según la Figura 19 y 22 es quien tiene presente mayor CO y MO, de las tres coberturas evaluadas. Contrario al matorral que presenta mayores valores de escorrentía y menores de infiltración, por su poca MO y por su alta densidad aparente (Figura 17). El Robledal presenta valores menores que el pinar pero mayores que el matorral.

5.3.1. Erosión de las tres coberturas según intensidades de lluvia alta, media y baja

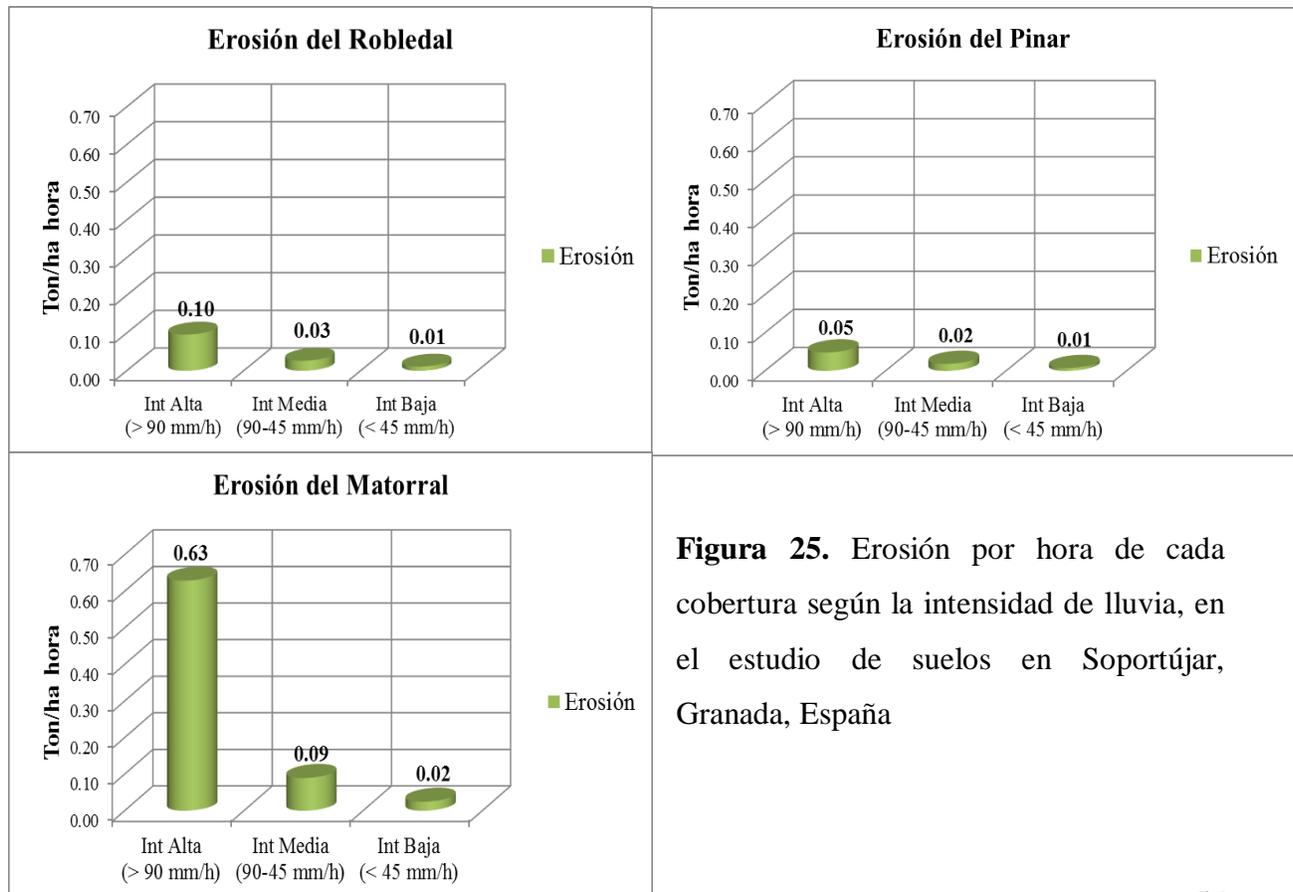


Figura 25. Erosión por hora de cada cobertura según la intensidad de lluvia, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España

El aumento de la pendiente tiene gran efecto en la pérdida de suelo, ya que ayuda a la generación de corrientes superficiales las cuales arrastran los agregados separados por el impacto de la gota de lluvia; también el clima y la vegetación son grandes influyentes.

La cobertura con menos erosión es el bosque de repoblación con pino, la cual aumenta o disminuye según la intensidad de lluvia. El robledal es el bosque natural sin embargo presenta mayor erosión que el bosque de repoblación con pino, (debido a que el pinar observado es muy rico en vegetación superficial) pero no más que el matorral, quien tienen los mayores valores de erosión por la desnudez de su superficie y por su alta pedregosidad (Figura 25).

5.3.2. USLE

Tabla 10. Cálculo de la erosión/año para cada cobertura según la USLE en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.

Factores	R	K	LS	C	P	Erosión (Ton/ha/año)	Clase de Erosión
Robledal	92.09	0.26	16	0.006	1	2.30	Nula o ligera
Pinar	92.09	0.12	9	0.006	1	0.60	Nula o ligera
Matorral	92.09	0.22	12.6	0.45	1	114.87	Extrema

5.3.3. Comparación entre la USLE y el Simulador de lluvia

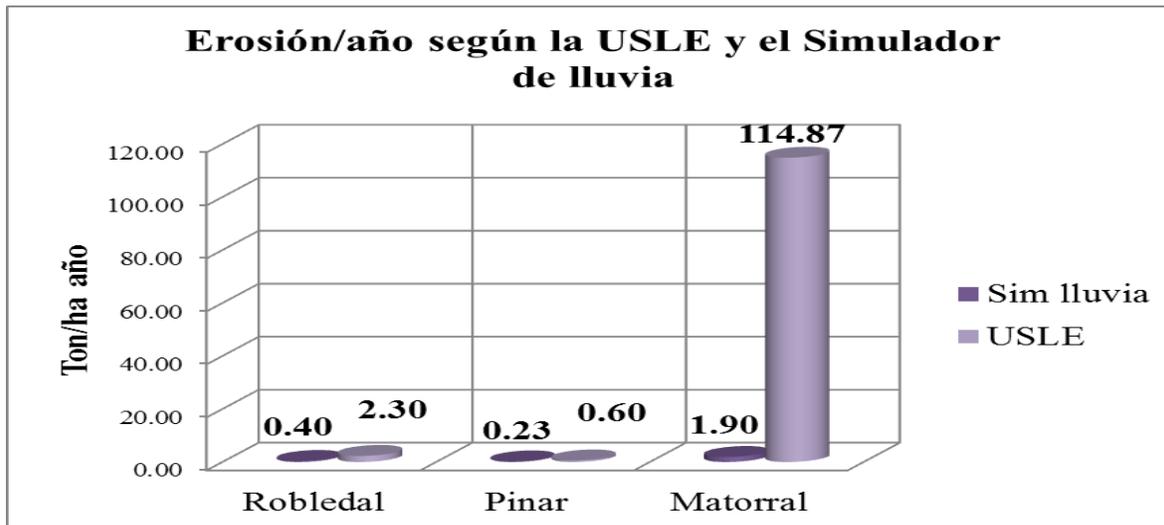


Figura 26. Diferencias del cálculo de la erosión/año de cada cobertura con la USLE y el Simulador de lluvia, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España.

Las diferencias del cálculo de la erosión con la USLE y el simulador de lluvia son muy notorias (Figura 26), sobretudo en el matorral; estas diferencias se dan probablemente porque la USLE en terrenos de fuerte pendiente presenta limitaciones considerables o por expresar el promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo (en ton/ha/año), y por tanto no es válida para un año concreto ni para un evento particular. La desventaja de este modelo empírico consiste en que es una generalización extrema del problema real para el cálculo de la erosión. Este método puede ser empleado a nivel estimativo. En fin, esto demuestra que la teoría difiere de la práctica.

5.4. Análisis Estadístico

5.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de comparación de medias se realiza mediante ANOVA (las diferencias son estadísticamente significativas cuando p (significancia $<0,05$). Para discriminar subconjuntos homogéneos se realizaron pruebas Post hoc de Tukey.

5.4.2. Comparación entre tipos de cobertura (todas las profundidades)

Significancia						
	CO	N	C/N	Arena	Arcilla	AU
p (<0,05)	0,14	0,51	0,007	0,003	0,29	0,01

Tabla 11. Diferencias estadísticamente significativas entre tipos de cobertura en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.

	Veg	N	Media	Desviación típica	Min	Max
CO	1	6	1,99	1,04	0,99	3,54
	2	6	3,45	2,96	0,74	8,27
	3	6	1,08	1,19	0,33	3,50
N	1	6	0,14	0,06	0,08	0,23
	2	6	0,16	0,12	0,05	0,39
	3	6	0,10	0,08	0,05	0,26
C/N	1	6	13,69 ab	1,62	11,71	15,72
	2	6	21,37 a	8,94	12,27	32,54
	3	6	9,80 b	2,17	7,72	13,94
Arena	1	6	61,39 a	6,65	50,79	69,90
	2	6	61,97 a	7,07	51,69	69,61
	3	6	74,14 b	2,87	69,97	77,18
Arcilla	1	6	9,35	2,15	6,77	13,23
	2	6	9,10	2,22	6,42	11,80
	3	6	7,60	1,57	5,96	10,32
AU	1	6	9,43 a	2,29	6,13	11,56
	2	6	9,02 a	2,30	4,74	11,28
	3	6	5,74 b	1,48	3,11	7,45

Veg: 1= Robledal; 2= Pinar; 3= Matorral

a, b, c: diferencias estadísticamente significativas (p<0.05) Test Tukey

C/N: Pinar tiene valores mayores que el matorral y el Robledal tiene valores intermedios. Las relaciones C/N del resto vegetal aportado deben ser muy diferentes, la hojarasca de pinar tiene una C/N de partida superior a la hojarasca de robledal y muy superior a la hojarasca de matorral, por tanto, estas variaciones reflejan más las diferencias entre los distintos restos vegetales aportados que el grado de mineralización del resto vegetal.

Arena: Suelo de matorral tiene textura más arenosa que el resto (posible relación con el fenómeno de erosión hídrica superficial que arrastra de forma significativa las fracciones más finas del suelo, que son el limo y la arcilla).

AU: El suelo con vegetación de robledal y pinar tienen una capacidad de almacenamiento de agua útil muy superior (>60%) que el suelo con matorral.

5.4.3. Comparación por profundidades para cada tipo de vegetación.

ROBLEDAL

Significancia						
	CO	N	CN	Arena	Arcilla	AU
p (<0,05)	0,013	0,009	0,005	0,15	0,34	0,23

Tabla 12. Diferencias estadísticamente significativas entre profundidades para el robledal en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.

	Prof.	N	Media	Desviación típica	Min	Max
CO	1	2	3,21 a	0,46	2,89	3,54
	2	2	1,76 b	0,28	1,56	1,96
	3	2	1,00 b	0,014	0,99	1,01
N	1	2	0,21 a	0,022	0,20	0,23
	2	2	0,13 b	0,014	0,12	0,14
	3	2	0,09 b	0,009	0,08	0,09
C/N	1	2	15,48 a	0,33	15,25	15,72
	2	2	13,67 b	0,47	13,34	14,00
	3	2	11,91 c	0,28	11,71	12,11
Arena	1	2	54,89	5,79	50,79	58,98
	2	2	61,77	4,05	58,91	64,63
	3	2	67,52	3,37	65,13	69,90
Arcilla	1	2	11,21	2,86	9,18	13,23
	2	2	9,07	0,97	8,38	9,75
	3	2	7,79	1,44	6,77	8,80
AU	1	2	9,47	2,57	7,65	11,29
	2	2	11,44	0,17	11,32	11,56
	3	2	7,39	1,78	6,13	8,65

Prof.: 1= 0-5 cm; 2= 5-10; 3= 10-30.

a, b, c: diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) Test Tukey

CO: Profundidad 2 y 3 tienen valores inferiores que profundidad 1. El CO en el resto de profundidades debe ser muy diferente, ya que el aporte de vegetación en la superficie es superior que a mayor profundidad, por tanto, estas variaciones reflejan más las diferencias entre las distintas profundidades.

N: El valor de N es mayor en la profundidad 1 que en el resto de profundidades, por la vegetación presente en la superficie y la relación de esta con la materia orgánica.

C/N: Profundidad 1 tiene valores mayores que profundidad 3 y profundidad 2 tiene valores intermedios. Las relaciones C/N del resto de profundidades es muy diferente, la hojarasca de la superficie en el robledal tiene una C/N de partida alta, por el aporte de vegetación; que en el resto de profundidades, por lo tanto, estas variaciones reflejan más las diferencias entre las distintas profundidades, debido al grado de mineralización.

PINAR

Significancia						
	CO	N	CN	Arena	Arcilla	AU
p (<0,05)	0,021	0,23	0,35	0,50	0,79	0,60

Tabla 13. Diferencias estadísticamente significativas entre profundidades para el pinar en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.

		N	Media	Desviación típica	Min	Max
CO	1	2	7,02 a	1,77	5,76	8,27
	2	2	2,42 b	0,42	2,12	2,72
	3	2	0,91 b	0,23	0,74	1,07
N	1	2	0,29	0,15	0,18	0,39
	2	2	0,13	0,080	0,07	0,19
	3	2	0,07	0,031	0,05	0,10
CN	1	2	27,04	7,78	21,54	32,54
	2	2	23,63	11,65	15,39	31,87
	3	2	13,43	1,64	12,27	14,59
Arena	1	2	57,60	8,35	51,69	63,50
	2	2	61,19	8,65	55,07	67,31
	3	2	67,12	3,53	64,62	69,61

Arcilla	1	2	10,04	1,90	8,70	11,38
	2	2	9,11	3,80	6,42	11,80
	3	2	8,15	1,75	6,91	9,39
AU	1	2	7,64	4,09	4,74	10,53
	2	2	10,41	1,23	9,54	11,28
	3	2	9,04	0,59	8,62	9,46

Prof.: 1= 0-5 cm; 2= 5-10; 3= 10-30.

a, b, c: diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) Test Tukey

CO: es superior en profundidad 1, y para N y C/N no hay diferencias con la profundidad (los valores medios son muy diferentes con la profundidad, pero no hay diferencias estadísticas, esto se puede deber a que estamos comparando sólo 2 perfiles de suelo).

MATORRAL

Significancia

	CO	N	C/N	Arena	Arcilla	AU
p (<0,05)	0,44	0,47	0,31	0,14	0,35	0,28

Tabla 14. Diferencias estadísticamente significativas entre profundidades para el matorral en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granada, España.

		N	Media	Desviación típica	Min	Max
CO	1	2	2,08	2,015	0,65	3,50
	2	2	0,67	0,057	0,63	0,71
	3	2	0,50	0,23	0,33	0,66
N	1	2	0,16	0,13	0,07	0,26
	2	2	0,07	0,007	0,07	0,08
	3	2	0,067	0,029	0,05	0,09
CN	1	2	11,68	3,20	9,41	13,94
	2	2	9,62	0,47	9,29	9,95
	3	2	8,12	0,56	7,72	8,51

Arena	1	2	75,21	2,64	73,34	77,07
	2	2	76,20	1,39	75,22	77,18
	3	2	71,025	1,49	69,97	72,08
Arcilla	1	2	7,02	1,50	5,96	8,08
	2	2	6,76	0,77	6,21	7,30
	3	2	9,03	1,82	7,74	10,32
AU	1	2	4,48	1,93	3,11	5,84
	2	2	5,76	0,69	5,27	6,25
	3	2	6,98	0,66	6,51	7,45

No hay diferencias con la profundidad; Causas: 1) el suelo se haya degradado y perdido parte de sus propiedades, especialmente en la capa superficial. 2) estamos comparando sólo 2 perfiles de suelo (habría que incrementar el muestreo).

VI. CONCLUSIONES

Los perfiles de suelo de las zonas de repoblación con pino y de la zona natural con robledal presentan características similares, en cuanto a cobertura boscosa. El matorral difiere de ellas en tipo de vegetación, dado que la población máxima de este son gramíneas.

Suelos mejor estructurados; generalmente asociados a un mayor contenido en materia orgánica tienen una mayor infiltración y, por tanto, una mejor respuesta frente a la erosión.

El Simulador de lluvia indica que de las tres zonas evaluadas la de repoblación con pino y el robledal presentan los mejores resultados en cuanto a erosión. Esto significa que las repoblaciones o reforestaciones con pino hechas 80 años atrás en la cuenca del río Guadalfeo están dando los resultados esperados, que es disminuir la pérdida de suelo.

La porosidad alta en el pinar y en el robledal está relacionada con la baja densidad aparente, la textura gruesa y la humedad de las zonas evaluadas en este estudio. A mayores valores de densidad aparente, mayor erosión y a mayor porosidad, menos erosión.

La USLE es una generalización extrema del problema real para el cálculo de la erosión, y debido al poco muestreo y comparación de este estudio, los datos de la USLE no son representativos de las zonas.

.

VII. RECOMENDACIONES

Las condiciones de suelo en las coberturas de robledal y pinar de la cuenca del río Guadalfeo son óptimas y se debe de adoptar el sistema de repoblación con pino en la cobertura de matorral que es la más afectada por la erosión.

Para futuros estudios se recomienda aumentar el número de muestras por cobertura para una mayor representación de la zona de estudio y que los datos sean más representativos.

En las zonas con mayor pendiente implementar prácticas de conservación de suelo como terrazas individuales y terrazas continuas; curvas de nivel (zanjas de ladera, cultivos de contorno); esto para disminuir la erosión y un mejor control de la distribución del agua de lluvia.

Es recomendable la implementación del Simulador de lluvia dentro de la Universidad Nacional de Agricultura debido a que esta herramienta es muy útil para estudios que tengan que ver con el cálculo de la infiltración, la escorrentía y por ende la erosión del suelo. Siendo esta herramienta de un uso muy práctico, fácilmente transportable y armable.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

BLANCO, E.; CASADO, M.A.; COSTA, M.; ESCRIBANO, R.; GARCÍA, M.; GÉNOVA, M.; GÓMEZ, A.; GÓMEZ, F.; MORENO, J.C.; MORLA, C.; REGATO, P.; SAINZ, H. 1997. Los bosques ibéricos, una interpretación geobotánica. Ed. Planeta, Barcelona.

CALDERON S, F. & PAVLOVA, M. 1999. Metodologías para análisis químico de suelos. Consultado 18 de Mayo 2011. En línea. Disponible en http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Suelos/MetodosQuimicosSuelos.htm#3

CEBALLOS I., 1960. Repoblación forestal española en los últimos veinte años (1940-1960). Estudios Geográficos 21, 497-507.

Comission of the European Communities. 2006. Temathic Strategy for Soil. En línea. Consultado el 21 de Mayo del 2011. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science>

COMUNIDADES EUROPEAS. 2009. Agricultura sostenible y conservación de los suelos: Erosión hídrica y compactación. Consultado 15 de Junio 2011. En línea. Disponible en <http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/ESFactSheet-02.pdf>

ELÍAS CASTILLO, F., & RUÍZ BELTRÁN, L. (1979). Precipitaciones máximas en España. Ministerio de Agricultura, ICONA: Madrid, Spain.

ESTEVEZ, R; VENIALGO, F; GUTIERREZ, C.A; INGARAMO, N.C; BRIEND, O & C. MARÍA. 2004. Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el Departamento 9 de Julio (Chaco). Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J; BARAHONA, E. & MINGORANCE, M.D. Measurement of Infiltration in Small Field Plots by a Portable Rainfall Simulator: Application to Trace-Element Mobility. Springer Science + Business Media B.V.2008. Granada, Spain.

GRANADA NATURAL. Robledal o Melojar. Naturaleza Nazarí SL 2007. Consultado 22 de Mayo 2011. En línea. Disponible en http://www.gradanatural.com/ficha_paisajes.php?cod=63

GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, Costa Rica. Capítulo 6. p. 143-168.

INFOAGRO. 2011. Repoblaciones forestales: Elección de especies. Consultado el 16 de Mayo de 2011. En línea. Disponible en http://www.infoagro.com/forestales/selecc_especie.htm

JUNTA DE ANDALUCIA- UNIVERSIDAD DE GRANADA. 2011. Rio Guadalfeo: Un modelo de gestión integral de cuencas. Consultado 19 de Mayo 2011. En línea. Disponible en http://www.cuencaguadalfeo.com/1/cuenca_1_1.html

MILLER, J. J.; OLSON, E. C. S.; CHANASYK, D. S.; BEASLEY, B. W.; YANKE, L. J.; LARNEY, F. J.; et al. (2006). Bedding and within-pen location effects on feedlot pen runoff quality using a rainfall simulator. *Journal of Environmental Quality*, 35(2), 505–515.

ORELLANA, J. A. 2005. Muestreo y análisis de suelo. CENTA & MAC. San Andrés, Ciudad Arce.

PEMÁN, J.; NAVARRO, R.M. 1998. Repoblaciones forestales. Edicions de la Universitat de Lleida, Lleida.

RADULOVICH, R. 2009. Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

ROO, A.P.J. de. (1993). Modelling Surface Runoff and Soil Erosion in Catchments Using Geographical Information Systems. Utrecht University, The Netherlands, Ph.D. Thesis. 128p.

RUCKS, L; GARCÍA, F; KAPLÁN, A; PONCE DE LEÓN, J; HILL, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Montevideo, Uruguay. Facultad de agronomía, Universidad de la República. 68 pag.

RUIZ, J. 1993. Objetivos de diversidad biológica en la reforestación de tierras agrícolas. Elección de especie y densidad de implantación. Montes, 34: 20-30.

SERRADA R., 2000. Apuntes de repoblaciones forestales. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

SIAR LIMARÍ. 2011. Sistema interactivo de apoyo al suelo: Toma de muestras e interpretación de análisis de fertilidad de suelo. Consultado 18 de Mayo 2011. En línea. Disponible en http://www.siar.cl/docs/protocolos/analisis_suelo.pdf

SIMÓN, M.; IRIARTE, A.; GUARDIOLA, J. L.; BARAHONA, E. & GARCÍA, I. (1998). Soil-infiltration rate under different vegetation cover using a rain simulator of variable intensity. In The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures. Geoforma Ediciones, Logroño, Spain, pp. 177–188.

VÉLEZ, M., VÉLEZ., J. 2002. Capítulo 8:Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses – a Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. Washington, D.C., United States of America.

XIMÉNEZ DE EMBÚN J., 1933. La repoblación forestal en sus relaciones con el régimen de los ríos. En: Plan Nacional de Obras Hidráulicas de Manuel Lorenzo Pardo. Edición Comentada. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, Edición Facsimil.

ZABALLOS, J.P. 2006._El Agua en el Suelo 1: Agua de Escorrentía. Consultado 23 de Mayo 2011. En línea. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/05/05/21147>

IX. ANEXOS

1. TEXTURA

Anexo 1. Descripción de la textura en los perfiles bajo robledal (cobertura natural) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	TEXTURA (%)			Clase Textural	Tipo de Estructura	
	PROF. (cm)	ARENA	LIMO			ARCILLA
P-10 Robledal	0-5	50.79	35.99	13.23	Franco Arenosa	Migajosa
	5-10	64.63	26.99	8.38		
	>10	69.90	23.33	6.77		
P-11 Robledal	0-5	58.98	31.84	9.18	Franco Arenosa	Migajosa
	5-10	58.91	31.34	9.75		
	>10	65.13	26.07	8.80		

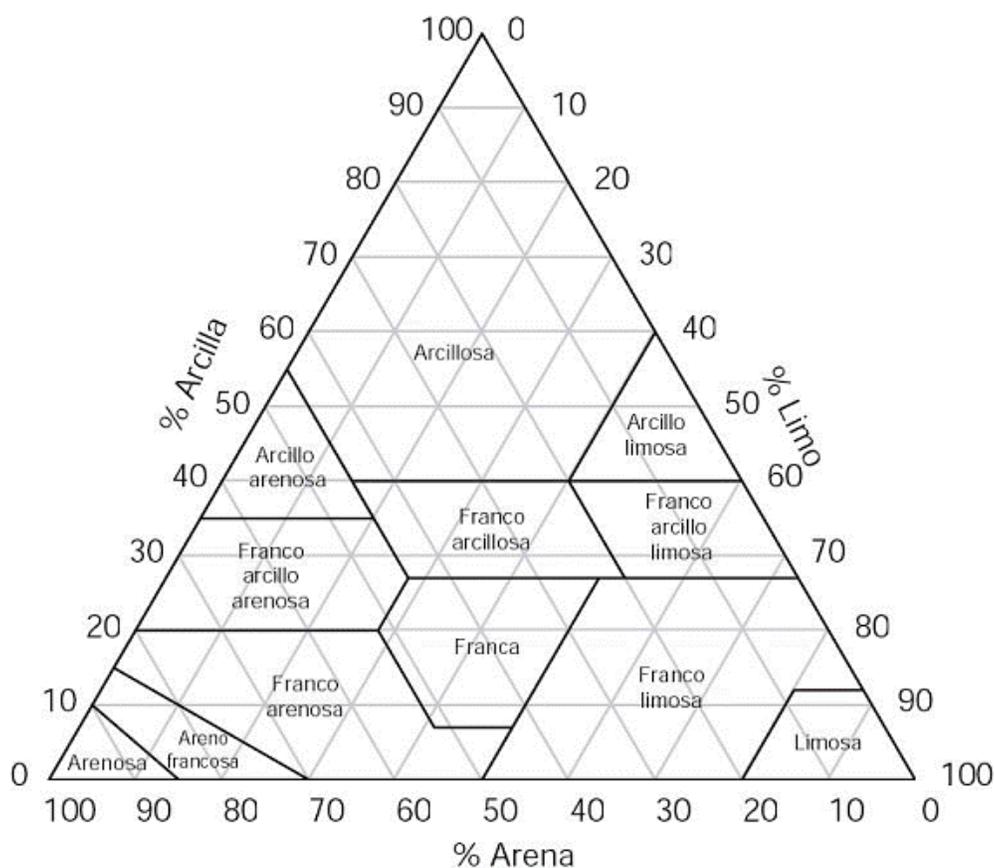
Anexo 2. Descripción de la textura en los perfiles bajo pinar (cobertura de repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	TEXTURA (%)			Clase Textural	Tipo de Estructura	
	PROF. (cm)	ARENA	LIMO			ARCILLA
P-10 Pinar	0-5	63.50	27.8	8.70	Franco Arenosa	Migajosa
	5-10	67.31	26.27	6.42		
	>10	69.61	23.49	6.91		
P-11 Pinar	0-5	51.69	36.93	11.38	Franco Arenosa	Migajosa
	5-10	55.07	33.13	11.80		
	>10	64.62	25.98	9.39		

Anexo 3. Descripción de la textura en los perfiles bajo matorral (suelo sin repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	TEXTURA (%)			Clase Textural	Tipo de Estructura	
	PROF. (cm)	ARENA	LIMO			ARCILLA
P-10 Matorral	0-5	77.07	16.97	5.96	Franco Arenosa	Migajosa
	5-10	77.18	16.61	6.21		
	>10	72.08	20.18	7.74		
P-11 Matorral	0-5	73.34	73.34	8.08	Franco Arenosa	Migajosa
	5-10	75.22	75.22	7.30		
	>10	69.97	69.97	10.32		

Anexo 4. Triángulo de texturas



2. HUMEDAD

Anexo 5. Descripción de la humedad en los perfiles bajo robledal (cobertura natural) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	HUMEDAD (%)			
	PROF. (cm)	CC (33kPa)	PMP (1500 kPa)	A.U.
P-10 Robledal	0-5	36.26	28.61	7.65
	5-10	19.01	7.44	11.56
	>10	10.33	4.20	6.13
P-11 Robledal	0-5	21.65	10.36	11.29
	5-10	18.99	7.67	11.32
	>10	15.30	6.65	8.65

Anexo 6. Descripción de la humedad en los perfiles bajo pinar (cobertura de repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

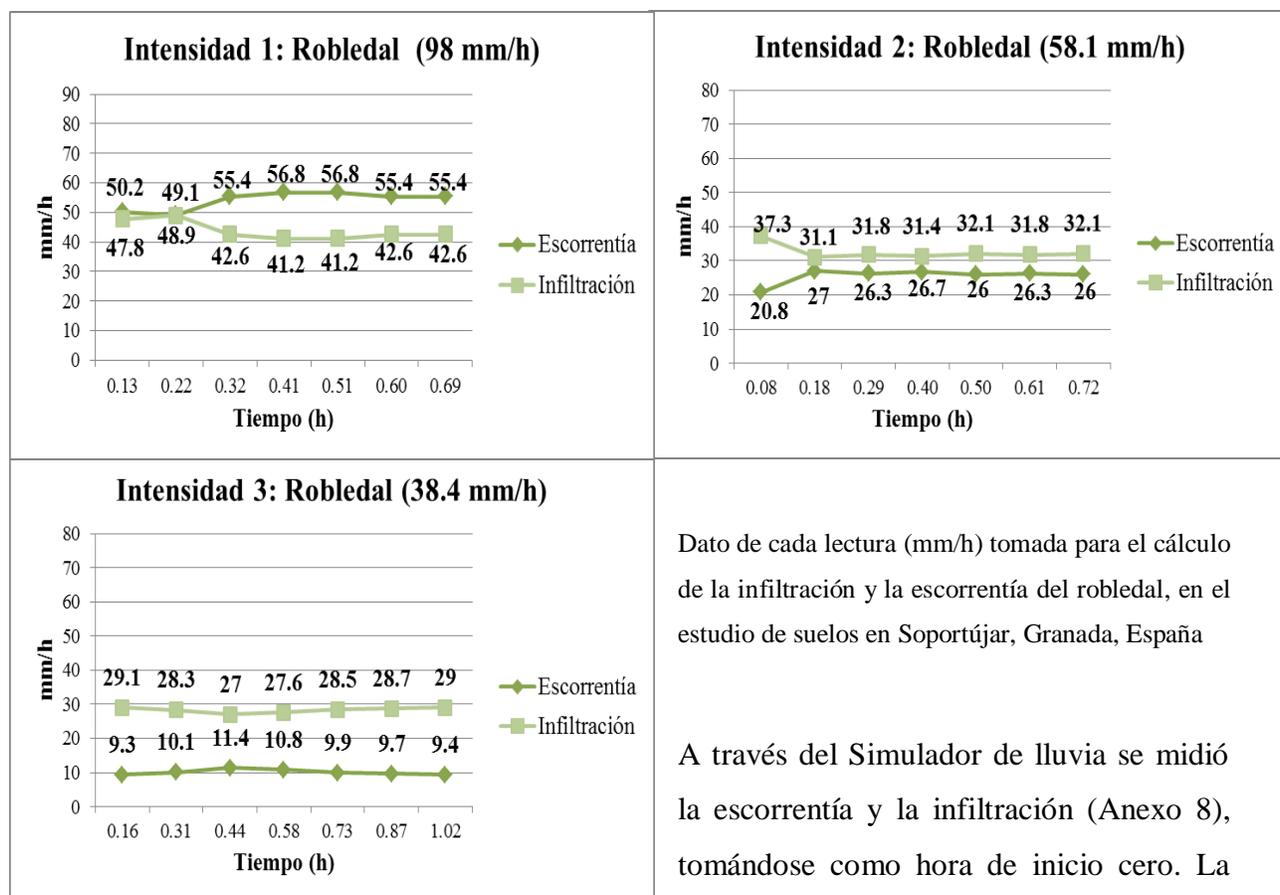
SUELO	HUMEDAD (%)			
	PROF. (cm)	CC (33kPa)	PMP (1500 kPa)	A.U.
P-10 Pinar	0-5	27.61	22.87	4.74
	5-10	16.37	6.84	9.54
	>10	14.30	4.83	9.46
P-11 Pinar	0-5	37.49	26.95	10.53
	5-10	19.76	8.48	11.28
	>10	14.73	6.11	8.62

Anexo 7. Descripción de la humedad en los perfiles bajo matorral (suelo sin repoblación) en el estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en la cuenca del río Guadalfeo en Soportújar, Granda España.

SUELO	HUMEDAD (%)			
	PROF. (cm)	CC (33kPa)	PMP (1500 kPa)	A.U.
P-10 Matorral	0-5	9.04	3.20	5.84
	5-10	9.11	2.86	6.25
	>10	11.09	3.64	7.45
P-11 Matorral	0-5	13.33	10.22	3.11
	5-10	9.98	4.71	5.27
	>10	12.00	5.49	6.51

3. Infiltración y Escorrentía

Anexo 8. Robledal con intensidad de lluvia alta, media y baja



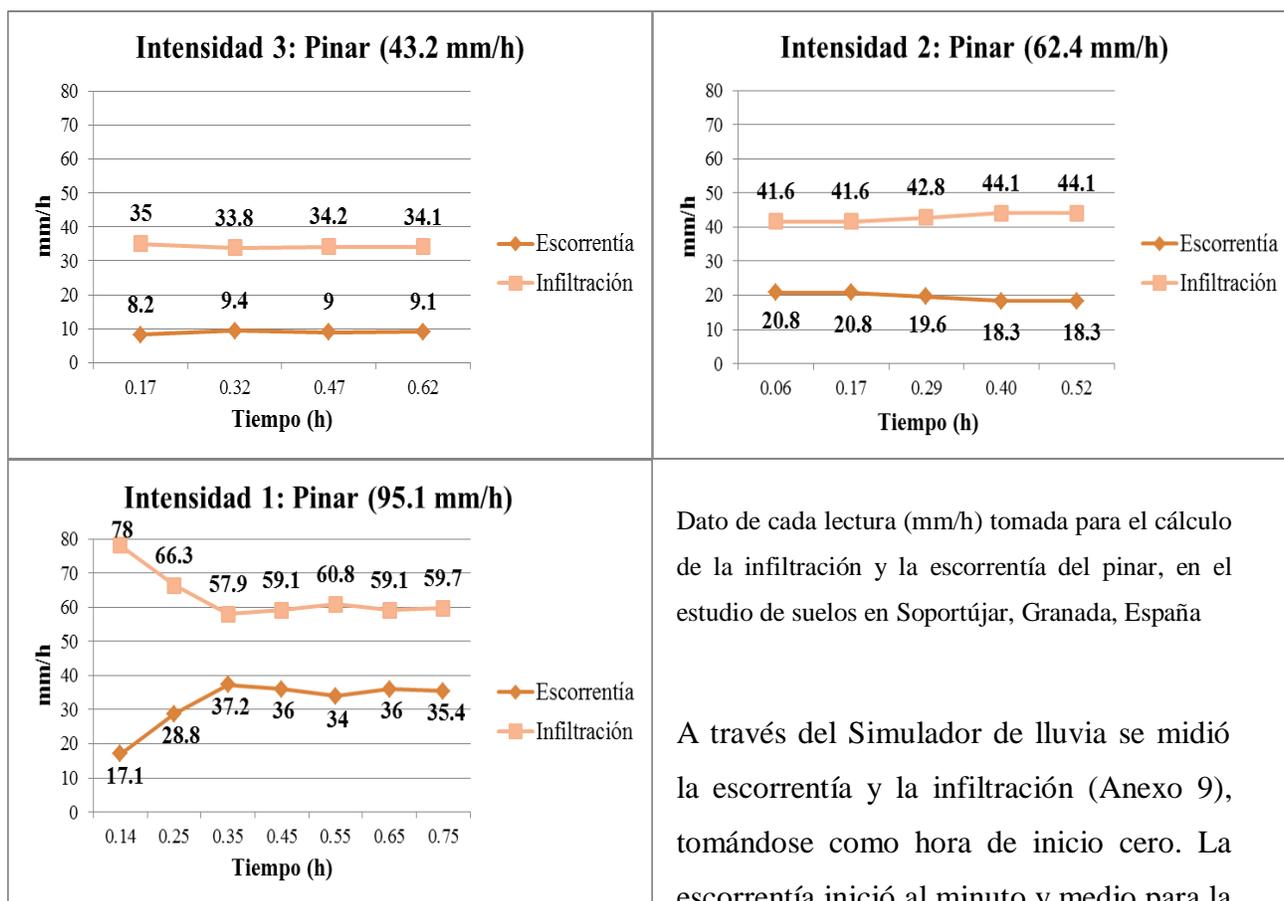
Dato de cada lectura (mm/h) tomada para el cálculo de la infiltración y la escorrentía del robledal, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España

A través del Simulador de lluvia se midió la escorrentía y la infiltración (Anexo 8), tomándose como hora de inicio cero. La escorrentía inició a los dos minutos para la

intensidad alta (1); 5 minutos después se inició el llenado del primer frasco; anotando el

tiempo de llenado se calculó la escorrentía y la infiltración. Transcurrido este tiempo y de igual forma se llenaron entre 4 a 7 frascos, esperando 5 minutos para el llenado entre frasco. Para la intensidad media (2) la escorrentía inició a los tres minutos y al momento se inició el llenado del primer frasco; para la intensidad baja (3) la escorrentía inició a los 4 minutos y 2 minutos después se inició el llenado del primer frasco; y de igual forma se llenaron entre 4 a 7 frascos, esperando 5 minutos para el llenado entre frasco.

Anexo 9. Pinar con intensidad de lluvia alta, media y baja



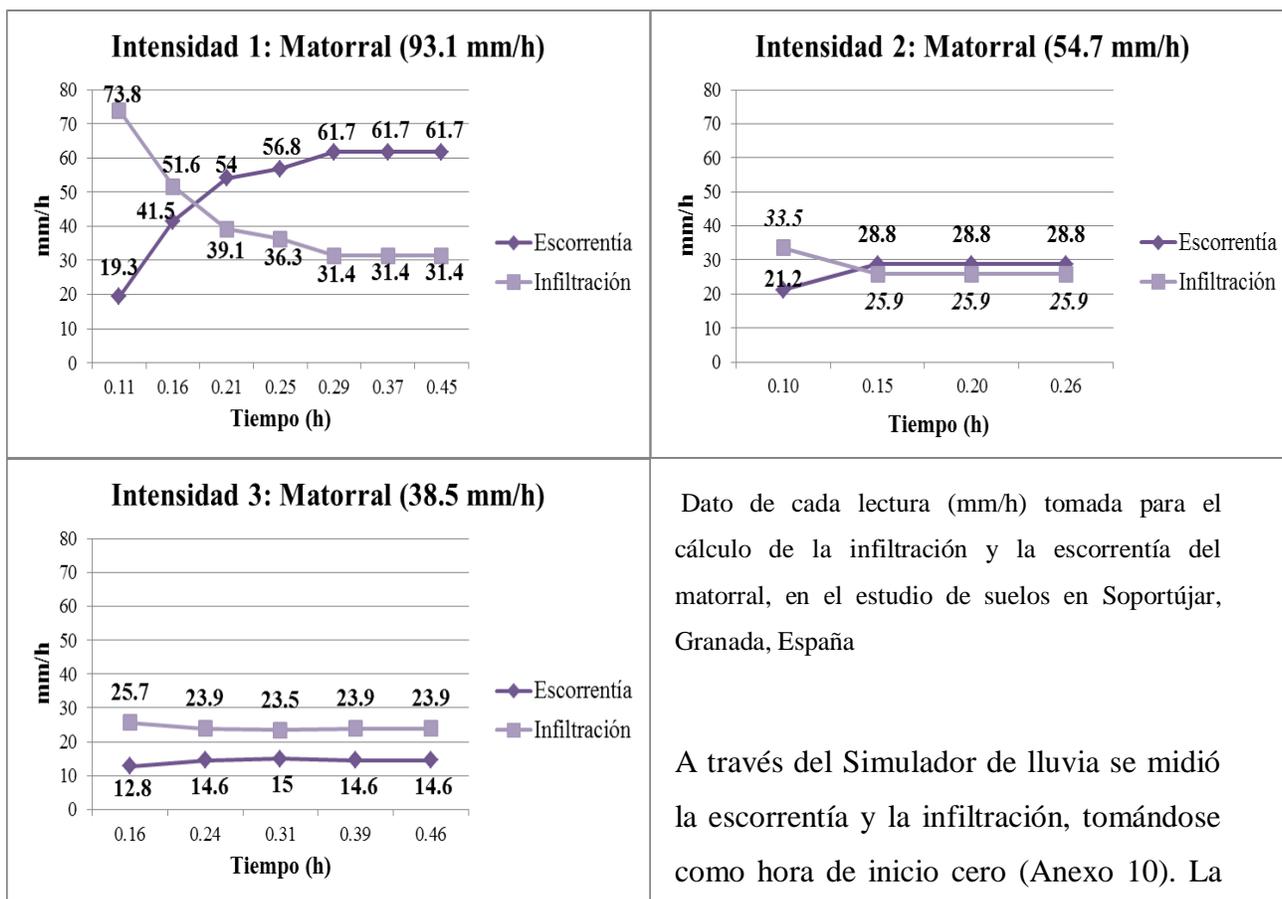
Dato de cada lectura (mm/h) tomada para el cálculo de la infiltración y la escorrentía del pinar, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España

A través del Simulador de lluvia se midió la escorrentía y la infiltración (Anexo 9), tomándose como hora de inicio cero. La escorrentía inició al minuto y medio para la

intensidad alta (1); 5 minutos después se inició el llenado del primer frasco; anotando el tiempo de llenado se calculó la escorrentía y la infiltración. Transcurrido este tiempo y de igual forma se llenaron entre 4 a 7 frascos, esperando 5 minutos para el llenado entre frasco. Para la intensidad media (2) la escorrentía inició a los dos minutos y al momento se inició el llenado del primer frasco; para la intensidad baja (3) la escorrentía inició a los 4

minutos y 2 minutos después se inició el llenado del primer frasco; y de igual forma se llenaron entre 4 a 7 frascos, esperando 5 minutos para el llenado entre frasco.

Anexo 10. Matorral con intensidad de lluvia alta, media y baja



Dato de cada lectura (mm/h) tomada para el cálculo de la infiltración y la escorrentía del matorral, en el estudio de suelos en Soportújar, Granada, España

A través del Simulador de lluvia se midió la escorrentía y la infiltración, tomándose como hora de inicio cero (Anexo 10). La

escorrentía inició a los 3 minutos para la intensidad alta (1); 2 minutos después se inició el llenado del primer frasco; anotando el tiempo de llenado se calculó la escorrentía y la infiltración. Transcurrido este tiempo y de igual forma se llenaron entre 4 a 7 frascos, esperando de 2-4 minutos para el llenado entre frasco. Para la intensidad media (2) la escorrentía inició a los 4 minutos y 2 minutos después se inició el llenado del primer frasco; para la intensidad baja (3) la escorrentía inició a los 5 minutos y 2 minutos después se inició el llenado del primer frasco; y de igual forma se llenaron entre 4 a 7 frascos, esperando en esta cobertura solamente 2 minutos para el llenado entre frasco.

4. Tratamiento Estadístico

Anexo 11. Prueba de Normalidad:

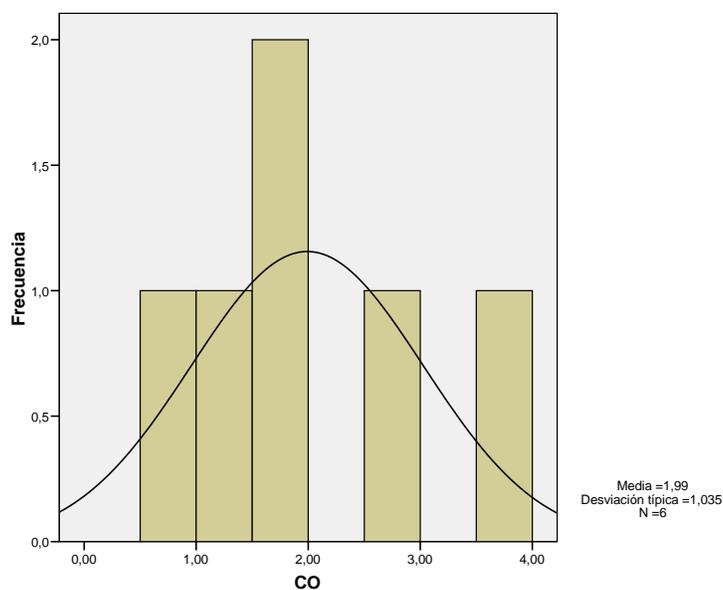
Test de Kolmogorov-Smirnov (la distribución es normal si la significación (p) > 0.05). Se seleccionan las propiedades físico-químicas con más influencia en la fertilidad y estabilidad estructural de los suelos (CO, Arena, Arcilla, Agua útil, Nitrógeno y Relación C/N).

5.2. Robledal

Anexo 12. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en robledal

	CO	Arena	Arcilla	AU	N	CN
p > 0.05 (bilateral)	0,99	0,98	0,81	0,69	0,98	0,99

- La distribución de contraste es la Normal.
- Se han calculado a partir de los datos.



Histograma del contenido en CO para las muestras de Robledal

5.3. Pinar

Anexo 13. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en pinar

	CO	Arena	Arcilla	AU	N	CN
p > 0.05 (bilateral)	0,80	0,84	0,99	0,80	0,80	0,85

- a. La distribución de contraste es la Normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.

5.4. Matorral

Anexo 14. Prueba de Kolmogorov-Smirnov en matorral

	CO	Arena	Arcilla	AU	N	CN
p > 0.05 (bilateral)	0,17	0,99	0,95	0,96	0,27	0,63

- a. La distribución de contraste es la Normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.

Anexo 15. Correlación entre la erosión y las propiedades de los suelos

Correlaciones entre la erosión y las propiedades físicas y químicas del suelo en el estudio de suelos en la cuenca del río Guadalfeo, en Soportújar, Granada, España.

	Eros Sim	Eros USLE	Escor	Infil	CO	N	C/N	Arena	Arcilla	AU	Da	Poros
Eros Sim	1	0,99	1,00(**)	-0,99	-0,88	-0,98	-0,76	0,83	-0,73	-0,05	0,97	-0,97
Eros USLE	--	0,051	0,007	0,067	0,32	,014	0,45	0,38	0,48	0,97	0,16	0,164
Escor	0,99	1	0,99(*)	-0,98	-0,84	-0,99	-0,71	0,87	-0,78	-0,13	0,98	-0,98
Infil	0,051	--	0,044	0,12	0,37	0,086	0,50	0,33	0,43	0,92	0,11	0,11
CO	1,00(**)	0,99(*)	1	-0,99	-0,87	-0,98	-0,75	0,83	-0,73	-0,06	0,97	-0,97
N	0,007	0,044	--	0,07	0,33	0,13	0,46	0,37	0,46	0,96	0,16	0,16
C/N	-0,99	-0,98	-0,99	1	0,92	0,95	0,82	-0,76	0,65	-0,06	-0,94	0,94
Arena	0,067	0,12	0,074	--	0,25	0,20	0,38	0,45	0,55	0,96	0,23	0,23
Arcilla	-0,88	-0,84	-0,87	0,92	1	0,75	0,98	-0,45	0,31	-0,44	-0,73	0,73
AU	0,32	0,37	0,33	0,25	--	0,46	0,13	0,70	0,80	0,71	0,48	0,48
Da	-0,98	-0,99	-0,98	0,95	0,75	1	0,60	-0,93	0,86	0,26	0,99 (*)	0,99(*)
Poros	0,14	0,086	0,13	0,20	0,46	--	0,59	0,24	0,35	0,83	0,026	0,026
	-0,76	-0,71	-0,75	0,82	0,98	0,60	1	-0,26	0,10	-0,62	-0,57	0,57
	0,45	0,50	0,46	0,38	0,13	0,59	--	0,83	0,93	0,58	0,62	0,62
	0,83	0,87	0,83	-0,76	-0,45	-0,93	-0,26	1	-0,99	-0,60	0,94	-0,94
	0,38	0,33	0,37	0,45	0,70	0,24	0,83	--	0,10	0,59	0,22	0,22
	-0,73	-0,78	-0,73	0,65	0,31	0,86	0,10	-0,99	1	0,72	-0,88	0,88
	0,48	0,43	0,48	0,559	0,80	0,35	0,93	0,10	--	0,49	0,32	0,32
	-0,047	-0,13	-0,06	-0,06	-0,44	0,26	-0,62	-0,60	0,72	1	-0,30	0,30
	0,97	0,92	0,96	0,96	0,71	0,83	0,58	0,59	0,49	--	0,81	0,81
	0,97	0,98	0,97	-0,94	-0,73	-	-0,57	0,94	-0,88	-0,30	1	-1,00 (**)
	0,16	0,11	0,16	0,23	0,48	0,026	0,62	0,22	0,32	0,81	--	0,00
	-0,97	-0,98	-0,97	0,94	0,73	0,99(*)	0,57	-0,94	0,88	0,30	-1,000 (**)	1
	0,16	0,11	0,16	0,23	0,48	0,026	0,62	0,22	0,32	0,81	0,00	

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

La erosión del Simulador y de la USLE está altamente correlacionada (aunque los valores absolutos obtenidos por cada método sean muy diferentes).

Erosión Simulador: Correlación muy alta y directa con la escorrentía (a más escorrentía, más erosión) e inversa con la infiltración (a más infiltración, menos erosión).

Correlación muy alta e inversa con los constituyentes asociados a la materia orgánica (CO y N) (papel esencial de la vegetación como protectora de los suelos frente a la erosión).

Correlación muy alta y directa con la densidad aparente (a más densidad aparente, mas erosión) e inversa con la porosidad (a más porosidad, menos erosión; la porosidad está relacionada con el desarrollo de estructura del suelo, suelos mejor estructurados (generalmente asociados a un mayor contenido en materia orgánica) tienen una mayor infiltración y, por tanto, una mejor respuesta frente a la erosión).

Anexo 16. Fotografías de la metodología en el Laboratorio de Edafología en Universidad de Granda, España.



Aplicación de HCl para la determinación de CaCO_3



Elaboración de Acetato Sódico para la determinación de CIC

Determinación de la textura





Desecadores de vidrio

