

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y
AGROAMBIENTAL**



**“Efecto de una enmienda orgánica y diferentes
tipos de mulching sobre la evaporación de agua del
suelo”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre-2019

Autor: Manuel Aparicio Ruiz

Tutor/es: María Dolores Pérez

Murcia, Francisco Javier Andreu

Rodríguez.



TÍTULO: “Efecto de una enmienda orgánica y diferentes tipos de mulching sobre la evaporación de agua del suelo”.

RESUMEN:

Los residuos vegetales, a menudo se eliminan mediante quemas o llevándolos a vertederos, ocasionando grandes costes económicos y medioambientales; en consonancia con la gestión del suelo se pretenden utilizar estos residuos siguiendo los principios de Estrategia de economía circular de la Unión Europea.

En este trabajo, se analizará el efecto de utilizar diferentes materiales de origen vegetal (procedentes de podas) como mulching en diferentes tipos de suelos enmendados o no, sobre la retención de agua, sobre el contenido de materia orgánica y sobre el contenido de agregados estables.

Los ensayos se realizan en atmosfera controlada (invernadero EPSO) y en macetas.

El aporte de materia orgánica y el uso del mulching mejoran de forma general la retención del agua en el suelo, existiendo pocas diferencias asociadas al material usado como mulching en este experimento, aunque parecen ser más eficientes los obtenidos a partir del tallo de la caña común (*Arundo donax L.*) y poda de cítricos y el menos eficiente la hoja de palmera (*Phoenix dactylifera L.*).

TÍTULO: “Effect of an organic amendment and different types of mulching on the evaporation of soil water”.

ABSTRACT

Plant waste is often disposed of by burning or taking it to landfills, causing great economic and environmental costs; In line with land management, this waste is intended to be used in accordance with the principles of the Circular Economy Strategy of the European Union.

In this work, the effect of using different materials of plant origin (coming from pruning) as mulching in different types of soil amended or not, on water retention, on the content of organic matter and on the content of stable aggregates will be analyzed.

The tests are carried out in a controlled atmosphere (EPSO greenhouse) and in pots.

The contribution of organic matter and the use of mulching generally improve the retention of water in the soil, there are few differences associated with the material used as mulching in this experiment, although those obtained from the stem of the common cane seem to be more efficient (*Arundo donax L.*) and citrus pruning and the least efficient palm leaf (*Phoenix dactylifera L.*).

REFERENCIAS DEL TFG

IDENTIFICACIONES:

- AUTOR: Manuel Aparicio Ruiz
- TÍTULO: “Efecto de una enmienda orgánica y diferentes tipos de mulching sobre la evaporación de agua del suelo”
- DIRECTORA: María Dolores Pérez Murcia
- CODIRECTOR: Francisco Javier Andreu Rodríguez
- AÑO: 2019
- TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Agroalimentaria y Agroambiental



PALABRAS CLAVE:

- Mulching, humedad, residuos vegetales, materia orgánica.

OTROS DATOS:

- Nº tablas: 10
- Nº figuras: 37

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. RESIDUOS VEGETALES.....	13
1.2. RIESGOS MEDIOAMBIENTALES ASOCIADOS A LOS RESIDUOS VEGETALES DE RESTOS DE PODA.....	16
1.3. SUELO: ENTORNO MEDIOAMBIENTAL, CAPACIDAD DE CAMPO, EVAPORACIÓN, SISTEMAS DE MANEJO PARA MANTENER EL AGUA EN EL SUELO, ESTRATEGIAS ENMIENDA O MULCHING.....	19
1.3.1. ENTORNO MEDIOAMBIENTAL, CAPACIDAD DE CAMPO, EVAPORACIÓN.....	19
1.3.2. SISTEMAS DE MANEJO PARA MANTENER EL AGUA EN EL SUELO, ESTRATEGIAS ENMIENDA O MULCHING.....	20
1.4. USO DE MATERIA ORGÁNICA COMO ENMIENDA.....	22
1.5. MULCHING: TIPOS, NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD.....	24
1.5.1. TIPOS DE ACOLCHADOS USADOS EN AGRICULTURA.....	24
1.5.2. EFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE LA HUMEDAD DEL SUELO.....	28
1.5.3. EFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE LA ESTRUCTURA Y LA FERTILIDAD DEL SUELO.....	30
1.5.4. EFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE LA SALINIDAD DEL SUELO.....	31
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	32
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	34
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	34
3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL.....	35
3.2.1. INFRAESTRUCTURA UTILIZADA.....	35
3.2.2. MEDIOS UTILIZADOS.....	36
3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	42
3.4. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	44
3.4.1. MÉTODOS ANALÍTICOS EN SUELOS.....	44
3.4.2. MÉTODOS ANALÍTICOS EN COMPOST Y MULCHING.....	51
3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	53

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1. PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPORACIÓN: ESTUDIO CINÉTICO.....	54
4.1.1. ANÁLISIS GLOBAL DE LA PÉRDIDA DE AGUA EN CADA TRATAMIENTO.....	54
4.1.2. ESTUDIO CINÉTICO PARA SUELO ARENOSO.....	56
4.1.3. ESTUDIO CINÉTICO PARA SUELO FRANCO.....	60
4.1.4. ESTUDIO CINÉTICO PARA SUELO ARCILLOSO.....	63
4.1.5. MODELIZACIÓN DE LA PÉRDIDA DE AGUA.....	66
4.2. EFECTO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS SOBRE LA EVAPORACIÓN Y OTRAS PROPIEDADES DE INTERÉS.....	71
4.2.1. EFECTO DEL TIPO DE SUELO.....	71
4.2.2. EFECTO DE LA ENMIENDA DEL SUELO.....	73
4.2.3. EFECTO DEL MULCHING.....	75
5. CONCLUSIONES	77
6. BIBLIOGRAFÍA	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Característica de los suelos utilizados en el experimento.....	36
Tabla 3.2. Características del compost utilizado.....	38
Tabla 3.3. Características de los diferentes materiales para acolchado (mulching) usados.....	39
Tabla 3.4. Descripción y denominación de los tratamientos realizados.....	42
Tabla 4.1. Pérdida de peso media en los suelos arenosos a los 30 días de tratamiento.....	58
Tabla 4.2. Pérdida de peso media en los suelos francos a los 30 días de tratamiento.....	61
Tabla 4.3. Pérdida de peso media en los suelos arcillosos a los 30 días de tratamiento.....	64
Tabla 4.4. Coeficientes del modelo polinomial y evaluación del ajuste del modelo a los datos obtenidos en función del tipo de suelo.....	67
Tabla 4.5. Coeficientes del modelo polinomial y evaluación del ajuste del modelo a los datos obtenidos en función la presencia de enmienda.....	68
Tabla 4.6. Coeficientes del modelo polinomial y evaluación del ajuste del modelo a los datos obtenidos en función del tipo de mulching.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Riego por gravedad en cultivo de limoneros.....	20
Figura 1.2. Suelo degradado, compactado y sellado por el encostramiento.....	21
Figura 1.3. Acolchado plástico en cultivo de tomate.....	25
Figura 1.4. Acolchado plástico en cultivo de cebolla.....	25
Figura 1.5. Acolchado geotextil en cultivo de granados.....	26
Figura 1.6. Acolchado con malla en cítricos.....	26
Figura 1.7. Acolchado de paja en cultivo de tomate.....	27
Figura 1.8. Acolchado de Sorgo Granífero en cultivo de soja.....	28
Figura 3.1. Variables del diseño experimental.....	34
Figura 3.2. Vista del interior del invernadero.....	35
Figura 3.3. Tipos de suelo utilizados en el experimento.....	36
Figura 3.4. Compost comercial.....	37
Figura 3.5. Tipos de mulching.....	38
Figura 3.6. Maquinaria utilizada para la preparación del material vegetal para su uso como mulching.....	39
Figura 3.7. Procedimiento de llenado de macetas y saturación de agua.....	43
Figura 3.8. Detalle del procedimiento.....	44
Figura 3.9. Disolución de dicromato de potasio utilizada para valorar el carbono oxidable.....	45
Figura 3.10. Disolución de sal de Mohr.....	46
Figura 3.11. Procedimiento de valoración del carbono oxidable.....	47
Figura 3.12. Aparato para analizar la estabilidad de agregados.....	49
Figura 4.1. Evolución de las pérdidas de peso según el tipo de suelo.....	55
Figura 4.2. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos.....	56
Figura 4.3. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos en los suelos arenosos.....	57
Figura 4.4. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida media de peso del suelo arenoso (0-60 días).....	59
Figura 4.5. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida media de peso del suelo arenoso (61-110 días).....	59
Figura 4.6. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos en los suelos francos.....	60
Figura 4.7. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida medias de peso en suelo franco (0-60 días).....	62
Figura 4.8. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida medias de peso en suelo franco (61-110 días).....	62
Figura 4.9. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos en los suelos arcillosos.....	63
Figura 4.10. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida medias de peso (0-60 días) en el suelo arcilloso.....	65

Figura 4.11. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida de peso en suelo arcilloso (61-110 días).....	65
Figura 4.12. Efecto del tipo de suelo en la evolución de la pérdida de peso primera fase del estudio, según el modelo polinomial.....	67
Figura 4.13. Efecto de la enmienda en la evolución de la pérdida de peso en la primera fase del estudio, según el modelo polinomial.....	69
Figura 4.14. Efecto de tipo de mulching en la evolución de la pérdida de peso en la primera fase del estudio, según el modelo polinomial.....	70
Figura 4.15. Análisis estadístico de la evolución de diferentes propiedades en función del tipo de suelo.....	72-73
Figura 4.16. Análisis estadístico de la evolución de diferentes propiedades en función del uso o no de enmienda.....	74
Figura 4.17. Análisis estadístico de la evolución de diferentes propiedades en función del tipo de mulching aplicado.....	75-76

1. INTRODUCCIÓN

Debemos remontarnos a los orígenes de la agricultura para conocer cómo ha ido evolucionando a lo largo de los años y como influyó en el origen de la civilización.

El origen de la civilización tal y como la conocemos actualmente, tuvo lugar debido a la capacidad de almacenar alimentos debido a las prácticas agrícolas que se realizaron. Esta causa permitió que las comunidades de poblaciones nómadas crearan asentamientos poblacionales. En la actualidad se desconoce el periodo exacto en el que ocurrió dicha evolución, teniendo en cuenta la gran cantidad de fuentes que pueden investigarse. Una de las principales líneas de investigación sería responder o descubrir dos cuestiones: cuándo y dónde surgió la agricultura.

El nacimiento de la agricultura se sitúa por la mayoría de las fuentes consultadas alrededor de 12.000-11.000 años atrás, durante el periodo pre-cerámico del Neolítico. Se calcula, que fue tras la última glaciación ocurrida 15.000 años antes de nuestra era, cuando la humanidad pasó del nomadismo y de la etapa de caza y recolección al sedentarismo y a la agricultura para garantizar su subsistencia. Es este cambio la base fundamental en la formación de los pueblos y de una racionalización del sistema alimentario. Se explicaría por una suavización del clima y un reforzamiento de la vegetación. Además, el asentamiento en zonas concretas propició un grado de estabilidad que, a su vez, favoreció la observación y el estudio de aquellas especies con mejores características.

Respecto a donde surgió la agricultura, los numerosos estudios realizados apuntan mayoritariamente a la existencia de seis puntos geográficos en los que se puede localizar el nacimiento de la agricultura de forma independiente. Dichas regiones son Oriente Próximo, África Subsahariana, China y Sudeste de Asia, Este de América del Norte, Mesoamérica y Sudamérica (Vargas et al, 2014).

El rastro más antiguo de un cultivo descubierto hasta nuestros días salió a la luz en Jarmo, en el noroeste del actual Irak, en la antigua Mesopotamia, descubierto por el Robert Braidwood, tratándose de granos de trigo y de cebada carbonizados. El análisis de estos granos ha permitido determinar que se trataba efectivamente de granos de variedades que se cultivaban, ya que aún poseían pedúnculos que los habrían mantenido sobre sus tallos, a diferencia de los granos de sus parientes salvajes, que no presentan tales pedúnculos. Hace aproximadamente 11.000 años, los hombres identificaron gramíneas salvajes, recogieron sus granos, los reconocieron comestibles y concibieron la idea, extraordinaria entonces, ya que se ignoraba todo sobre botánica y crecimiento de plantas, de sembrar estos granos para obtener nuevas cosechas. A partir de estos centros principales de cultivo, la agricultura se fue expandiendo, llegando hasta el valle del Nilo, la parte occidental de África y Europa (CurioSfera, 2018).

Actualmente, pese a la disminución de la calidad y la productividad de los suelos agrícolas, la demanda de alimentos y otros productos de origen agrícola continúa aumentando. Los recursos naturales se han visto afectados por la aplicación de los sistemas agrícolas y la sobreexplotación durante extensos periodos de tiempo para intentar cubrir la demanda, limitando así la capacidad de respuesta de dichos recursos. Especialmente, el agua dulce es un bien cada vez más escaso, siendo destacable en zonas semiáridas o áridas como es la zona sur de España, donde la agricultura es dependiente de aguas procedentes de otros lugares debido a la escasez de precipitaciones, a pesar de aprovechar las aguas residuales ya depuradas y el agua de las desaladoras, además de la extracción de aguas subterráneas mediante pozos. Por lo tanto, son necesarias nuevas estrategias que, sin limitar la capacidad productiva y económica, favorezcan un uso sostenible de los recursos garantizando su persistencia.

A lo largo de la historia, no se le había dado tanta importancia a los residuos orgánicos de origen agrícola frente a los generados por otras actividades humanas, a pesar de compartir escasas estrategias aplicadas para la eliminación de materiales de carácter orgánico. Así, tal y como se realizaba durante la Edad Media, los restos procedentes de la cosecha se reutilizaban en la mejora de la calidad de los suelos agrícolas (Denevan, 1995) o se destinaban a la alimentación del ganado (Baars et al, 2004). En cambio, el desarrollo social y tecnológico surgido en las últimas décadas, del que no está exenta la agricultura, ha incrementado considerablemente la cantidad de residuos generados. Según Kim y Dale (2004), se calcula una producción mundial de 73,9 Tg/año de residuos orgánicos con carácter lignocelulósico generada como consecuencia de la actividad agrícola. En este caso, el uso de sistemas productivos de carácter intensivo, con un elevado grado de especialización y concentrados en zonas geográficas relativamente pequeñas, como podría ser la zona de invernaderos del El Ejido en Almería, favorecen la acumulación de los materiales de desecho y los problemas asociados.

Uno de los principales problemas derivados de la producción de residuos agrícolas es su localización y producción estacional. Como hemos comentado anteriormente, un ejemplo de esta situación es el de Almería, donde la agricultura intensiva bajo plástico genera más de un millón de toneladas de restos vegetales al año, con picos de producción que favorecen la concentración del 20 al 25% del total del volumen anual en un solo mes. Según Vargas (2014), en Jaén se concentra el 25% de la superficie cultivada dedicada al olivar en España (en torno a 600.000 ha), que dan lugar anualmente a millón y medio de toneladas de restos de poda concentrados en tres o cuatro meses. Aunque a menor escala, se da una situación similar en Valencia en relación con el cultivo del arroz, a partir del cual se derivan en torno a 100.000 t/año de paja, mayoritariamente acumuladas en periodos no superiores a dos meses.

Desde un punto de vista amplio, residuo agrícola puede considerarse todo aquel material derivado de una actividad agrícola siendo definido por la Agencia Europea del Medio Ambiente (1995) como aquellos que son inutilizables, de naturaleza sólida a líquida, procedentes de cualquier tipo de práctica agrícola. Este tipo de prácticas incluyen actividades agrícolas como el cultivo de cereales, frutales, hortalizas, vid o pastos, y también engloban otras actividades como las ganaderas (pastoreo, etc.) así como actividades de transformación de productos agrícolas (industrias conservera, olivarera o vitivinícola, etc.).

Los residuos de la actividad agraria se distinguen en los siguientes tipos:

- Productos químicos utilizados durante el desarrollo del cultivo, fertilizantes, plaguicidas, etc.
- Residuos generados en procesos industriales de transformación de los cultivos, principalmente constituidos por materia orgánica.
- Residuos específicos de la agricultura intensiva, como los plásticos utilizados en la misma.
- Derivados del proceso productivo, formado por restos vegetales principalmente.

Es en Andalucía donde se concentra el 70% de la superficie de los invernaderos, siendo esta región considerada una de las principales consumidoras de plásticos agrícolas. El cultivo hortofrutícola bajo este material ocupa grandes superficies en España, siendo una de las principales actividades de impulso en su desarrollo económico. A lo anterior se suman los cultivos de algodón y fresa, en los que se recurre frecuentemente a acolchados y pequeños túneles, y el cultivo de flor cortada bajo plástico. En agricultura, el uso de plásticos tiene una finalidad protectora, bien por su utilización en acolchados, túneles e invernaderos, o en otras aplicaciones como son: redes de distribución de riego, riego y drenaje, grandes embalses, hilos de rafia, mallas de sombreado o antigranizo, cortavientos, ensilado de forrajes, envases y embalajes, etc.

Desde un punto de vista productivo, se puede considerar como residuo agrícola la parte no incluida en la cosecha (tallos, raíces, hojas y frutos no aprovechables en el sentido comercial), aquellas que no alcanzan los cánones de calidad requeridos, ya sea por motivos intrínsecos o extrínsecos (enfermedades, carencias nutricionales, etc.), además de determinadas partes aéreas (pajas de leguminosas y cereales, restos de poda, etc.), las cuales pueden ser incorporadas al suelo, destinadas al sector ganadero o aprovechadas energéticamente, tras someterse a diversos tratamientos de valorización.

Desde un punto de vista legislativo, y de acuerdo con la normativa española (Ley 22/2011 de 28 de julio de 2011, BOE 29 de julio de 2011), se entiende por residuo

"cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar". Según Vargas (2014) esta definición es prácticamente copia la recogida en el artículo 1(a) de la Directiva de la Comunidad Europea 2006/12/CE, que corregía las anteriores Directivas 75/442/EEC y 91/156/ECC, según la cual residuo es "cualquier sustancia u objeto perteneciente a una de las categorías que se recogen en el Anexo I y del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención o la obligación de desprenderse".

En años posteriores se desarrolló el Catálogo Europeo de Residuos (Decisión 2000/532/CE modificada en sucesivas ocasiones hasta Decisión de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014), en la que los residuos agrícolas quedan encuadrados en la categoría 02 y, de forma concreta, en el nivel 02 01 03, que recoge los residuos procedentes de tejidos vegetales.

1.1. RESIDUOS VEGETALES

En diciembre de 2015, la Comisión Europea adoptó un ambicioso paquete de nuevas acciones para impulsar la transición de Europa hacia una economía circular que impulsará la competitividad mundial, fomentará el crecimiento económico sostenible y creará nuevos puestos de trabajo.

El fin último del nuevo paquete es impulsar la transición desde una economía lineal, marcada por la máxima de “producir, usar y tirar”, a una economía circular en la que los desechos sean reducidos al mínimo y concebidos como recursos de utilidad a conservar dentro de la economía. El “paquete sobre la economía circular” incluye propuestas legislativas revisadas sobre residuos así como medidas para “cerrar el círculo” en todas las fases del ciclo de vida de un producto.

La gestión de residuos desempeña un papel crucial en la economía circular. La manera de recoger y gestionar nuestros residuos puede dar lugar a altas tasas de reciclado y a que los materiales valiosos retornen a la economía, o por el contrario a un sistema ineficaz en el que la mayor parte de los residuos reciclables termina en vertederos o se incinera, lo que lleva aparejados unos efectos potencialmente perjudiciales para el medio ambiente e importantes pérdidas económicas.

En una economía circular, los materiales que pueden reciclarse se reinvierten en la economía como nuevas materias primas, aumentando así la seguridad del suministro. Es posible comerciar con dichas «materias primas secundarias» y transportarlas exactamente igual que si se tratara de materias primas primarias procedentes de recursos extractivos tradicionales.

Según la Organización Panamericana de la salud (2007), por residuos vegetales verdes se entienden residuos vegetales tales como pastos cortados, hojas secas y ramas, los que se generan como resultado del cultivo y mantenimiento de jardines, parques, espacios públicos (veredas), así como de la conservación de paisajes (especialmente de cultivos de biótomo). Por ello los residuos muestran un alto contenido en humedad y de forma habitual son fácilmente degradables, incluyendo entre otros: residuos de cultivos forrajeros, raíces o tubérculos extensivos, aquellos que provienen de los cultivos hortícolas comestibles, y los de procedencia de producciones de flor cortada.

Mayoritariamente, los residuos forrajeros recolectables son reutilizados en alimentación para el ganado, no considerándose un residuo propiamente dicho, ya que los desechos de pastos recién cortados tienen un alto contenido en sustancias nutritivas y una relación pequeña C/N (aprox. 20/1). En cambio el ramaje, aunque tiene una estructura estable, contiene pocas sustancias nutritivas y muestra una relación grande C/N (aprox. 100/1), desfavorable para la descomposición (Organización Panamericana de la salud, 2007).

Los residuos de la horticultura pueden ser agregados al suelo para facilitar su descomposición con tiempo suficiente antes del cultivo posterior. Son su elevado contenido hídrico de estos residuos y su baja relación C/N (de 15 a 30) los que conllevan una descomposición acelerada, y por tanto, su incorporación al suelo no produciría carencia de nitrógeno en el siguiente cultivo (Vargas et al, 2014).

Para evitar los riesgos fitosanitarios en las explotaciones muy intensivas, y especialmente en cultivo protegido, los residuos de la cosecha de la horticultura comestible y también de la floricultura deben ser retirados del suelo o de los sustratos de cultivo antes de iniciar el cultivo siguiente, al no existir tiempo suficiente y/o para evitar los riesgos fitosanitarios. En estos casos los residuos vegetales se amontonan al aire libre para facilitar su desecación, disminuyendo así su volumen (Moreno y Moral, 2008).

Posteriormente estos residuos pueden tener cuatro destinos principales:

- Transporte e incorporación al suelo de otras fincas menos intensivas.
- Quema en la zona de acumulación de los residuos.
- Deposición en vertederos.
- Traslado a plantas de compostaje para la fabricación de compost.

Siendo este último destino de especial interés, debido a su gran capacidad de reducción del volumen minimizando el residuo, y por su puesta en valor en consecuencia a la estabilización de la materia orgánica y la higienización del producto, eliminando drásticamente el contenido de patógenos y parásitos en el residuo inicial. El compost que se obtiene puede aplicarse como enmienda, abono orgánico, como sustrato, o componente de un sustrato en cultivo sin suelo. Es esta una de las estrategias más ecológicas y respetuosas con el medio ambiente. Actualmente, dichos residuos son usados también para fines energéticos y para la obtención de gas metano en el proceso de fermentación de la biomasa (Moreno y Moral, 2008).

Según EcuRed (2013), encontramos a su vez residuos vegetales de poda, de los cuales destacan los sarmientos y la madera procedente de la poda de la vid y de los árboles frutales que presentan un contenido medio-bajo de humedad y un alto contenido en celulosa y lignina, con una relación C/N de estos materiales comprendida entre 150 y 250. La mayoría de residuos de poda se queman en una zona de acumulación tras ser retirados del suelo del campo, y minoritariamente, se utilizan como combustible (troncos o ramas gruesas de frutales) o para barbacoas (sarmientos de vid). De forma alternativa, los restos de poda pueden aplicarse al suelo para su posterior descomposición y humificación. Hace unos años era muy poco frecuente, pero son cada vez más los agricultores que implantan esta técnica en la arboricultura española

creando una economía circular en los cultivos. Esto exige un tratamiento mecánico previo de troceado o picado y si se considera necesario, de desfibrado.

Es preciso aportar una fuente nitrogenada debido a la elevada relación C/N de estos residuos, bien sea de naturaleza orgánica (estiércol, abonos orgánicos, purines, abonado en verde) o inorgánica (abonos amoniacales o ureicos), que aceleren la descomposición de los restos de poda triturados. El residuo triturado puede dejarse sobre el suelo como acolchado orgánico de descomposición lenta, o incorporarse superficialmente en el suelo, con una labor adecuada.

Por otro lado, el incremento de zonas ajardinadas en muchas poblaciones está generando cantidades importantes de restos vegetales de poda urbana que por su origen y composición no deberían considerarse residuos, pero que al no ser habitual su aprovechamiento y en vista de la problemática que origina, han pasado a ser considerados como un residuo municipal que genera dificultades importantes para su recogida y almacenamiento (Vargas et al, 2014).

1.2. RIESGOS MEDIOAMBIENTALES ASOCIADOS A LOS RESIDUOS VEGETALES DE RESTOS DE PODA

Los problemas de la gestión de residuos en Europa se hacen evidentes cuando se examinan los impactos ambientales originados por las distintas prácticas utilizadas (Agencia Europea del Medio Ambiente, 1995):

- Según el Real Decreto 1481/2001 del 27 de diciembre (2013), la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, que es la principal vía de eliminación de residuos, si no se gestiona adecuadamente, puede causar la lixiviación de contaminantes al suelo y a las aguas subterráneas. Igualmente, los vertederos ocupan un espacio considerable, con un impacto significativo en el uso del suelo y el paisaje.
- La incineración de los residuos, a menos que se regule adecuadamente, conduce a la emisión de sustancias nocivas a la atmósfera (dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre y también están presentes en pequeñas cantidades otros elementos como metales, halógenos, etc.) y a la producción de grandes cantidades de cenizas contaminadas.

Según el informe de Amigos de la Tierra (2006), que evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero de los incineradores de residuos, ataca a las principales empresas de residuos por sostener que la incineración produce energía "verde" y "renovable". Su investigación muestra que un incinerador con recuperación de energía estándar en Inglaterra produce más dióxido de carbono derivado de combustibles fósiles (como los plásticos presentes en la basura) que una central térmica alimentada con gas. El estudio además muestra que el Reino Unido podría invertir en una tecnología de generación de energía a partir de residuos realmente renovables mediante la digestión anaeróbica que los convierte en metano y luego se puede quemar. Además, el residuo resultante puede ser usado luego como compost.

El reciclaje implica una menor carga de las emisiones y un ahorro de materiales, pero por otro lado conlleva una considerable clasificación y tratamiento de los residuos durante el cual los contaminantes presentes en ellos, pueden ser transferidos al medio ambiente o incorporados a nuevos productos.

De manera que la práctica habitual del vertido de residuos verdes a vertedero debe ser sustituida por nuevas estrategias tendentes a la economía circular y reciclaje, pasando de residuo a recurso o bien como un subproducto de la producción en agricultura. Si bien, el mayor condicionante que limita el alcance de los objetivos es el contar con un mercado final que asegure el destino del producto obtenido tras su reciclado.

Otro factor a tener en cuenta es la gran cantidad de restos de poda generados a causa de las tareas de mantenimiento de los árboles presentes en las calles, parques y jardines, tanto públicos como privados, compuestos por ramas de diverso calibre,

leñosas y verdes, con un gran número de hojas, todo ello variable según el tipo de especies vegetales existentes.

En este sentido, la biomasa procedente de estos recortes se caracteriza por ocupar un gran volumen, lo que acarrea dificultades importantes para su recogida y almacenamiento, al ser necesario disponer de depósitos de gran capacidad de carga en el área de trabajo.

Un problema añadido según Blázquez (2003), es que debido a la humedad y a las altas temperaturas que generalmente se alcanzan durante su acopio, los restos se convierten en un foco de malos olores, plagas e insectos (moscas, cucarachas, roedores y mosquitos) que pueden llegar a afectar a poblaciones cercanas. Todo ello sin olvidar el fuerte impacto visual y paisajístico producido en dicha zona de almacenamiento.

De igual forma existe el riesgo de incendio de estos residuos, debido a las altas temperaturas ocasionadas por la libre exposición al sol y a la presencia de materiales combustibles. En caso de generarse incendios, podrían verse afectadas las instalaciones vecinas al sitio de apilamiento actual. Además, las emanaciones de CO₂ a la atmósfera son una fuente importante de contaminación atmosférica.

Por lo comentado, los restos forestales, de jardines y espacios verdes aparecen en la situación actual como un problema importante, sobre todo en las grandes áreas urbanas.

Tradicionalmente su gestión implicaba su vertido controlado, y por tanto la pérdida de materia orgánica potencialmente valorizable en otros usos. Pero en la actualidad, la progresiva eliminación de vertederos tras la imposición normativa de reducción del vertido de residuos biodegradables a vertederos municipales, hacen necesaria la aplicación de nuevas soluciones para eliminar esos materiales, como el almacenamiento, transporte y tratamiento por un gestor autorizado de los residuos de jardinería. No obstante, esta alternativa implica un alto coste, por lo que deben buscarse estrategias de gestión que reduzcan los costes económicos y ambientales.

Para evitar el abandono, deposición en vertederos o quema incontrolada, Gimeno et al (2004) exponen que existen diversas alternativas para el tratamiento de los residuos vegetales que no supongan un peligro para el medio ambiente y/o la salud y son las siguientes: incorporación sobre la superficie del suelo, alimentación animal, uso como fuente de energía, compostaje y posterior uso, o ser utilizados directamente como sustitutos de turba o perlita. Estas alternativas están basadas en el reciclaje y recuperación de los recursos que contienen, ya sea por aplicación directa o después de un tratamiento biológico o químico, destacando entre estas la primera alternativa.

Incorporación sobre la superficie del suelo: a través de la fragmentación o rotura de los restos de poda con trituradoras es posible aprovechar este residuo para realizar acolchados orgánicos o “mulching” (Sánchez, 2016). Esta técnica consiste en formar una cubierta protectora que se extiende sobre la superficie del suelo obteniéndose los siguientes efectos principales entre otros:

- Disminuir la evapotranspiración, con lo que se consigue que las raíces de las plantas encuentren la humedad a poca profundidad, reduciendo el consumo de agua.
- Regular la temperatura del suelo limitando los choques térmicos (día/noche), y favorecer el mantenimiento del calor en el suelo en primavera y en otoño, y al contrario manteniendo cierta frescura, limitando las desviaciones de temperatura durante la temporada estival.
- Controlar el desarrollo de malezas interceptando la radiación solar necesaria para la germinación.

1.3. SUELO: ENTORNO MEDIOAMBIENTAL, CAPACIDAD DE CAMPO, EVAPORACION, SISTEMAS DE MANEJO PARA MANTENER EL AGUA EN EL SUELO, ESTRATEGIAS ENMIENDA O MULCHING

Los suelos, una cubierta delgada en la superficie terrestre, son entes naturales y dinámicos que permiten la prestación de servicios y numerosas funciones, siendo una de estas funciones el enraizamiento de las plantas, permitiéndoles la obtención de agua, oxígeno y nutrientes. La suma al suelo de la radiación solar, dota a las plantas por medio de la fotosíntesis, de la producción de alimentos, forrajes, fibras y masas forestales. Estos, a su vez, forman una interfase de unos pocos centímetros a varios metros que hace posible intercambios entre litosfera, biosfera y atmósfera (Porta et al, 2014).

Destacan además entre las funciones principales de los suelos, las siguientes:

- La productividad biológica sostenible consiste en la producción de biomasa, sin que el suelo vea afectadas sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- El filtro ambiental, que controla los intercambios iónicos, el filtrado, el almacenamiento y posible transferencia a otros compartimentos ambientales manteniendo y mejorando la calidad de las aguas que lo atraviesan.
- La calidad ambiental que actúa disminuyendo los contaminantes y patógenos.
- La regulación del ciclo hidrológico controlando la entrada de agua al suelo por infiltración.
- La evolución de la materia orgánica mediante la transformación de las sustancias que recibe.
- La fijación de gases de efecto invernadero como el secuestro de carbono, por la retención de materia orgánica durante largos periodos de tiempo.
- La regulación del microclima al absorber la radiación solar e intervenir en la evaporación.
- La reserva de biodiversidad genética, debido a la creación de un hábitat biológico al ser un medio poroso ocupado por gran cantidad de organismos, el cual sirve como reserva de semillas.

1.3.1. Entorno medioambiental, capacidad de campo, evaporación.

En relación con las funciones de los suelos nombradas anteriormente, se encuentra:

- Punto de marchitez permanente (PMP): según Bonciarelli (1979) se define como la mínima cantidad de agua del suelo en la que las plantas se marchitan debido a que no

puede seguir extrayendo agua del suelo y por tanto no pueden recuperar la turgencia hasta 12 horas después en una atmósfera saturada. Resulta útil en riego por gravedad, ya que se pueden usar probetas cerámicas porosas de suelo en las que se puede observar a que profundidad se localiza el agua disponible para las raíces, variando en función de la planta cultivada y con las condiciones del medio (evaporación de la atmósfera, temperatura, humedad relativa, etc.).



Figura 1.1. Riego por gravedad en cultivo de limoneros.

- Capacidad de campo (CC): se define como la cantidad de agua retenida por el suelo tras el drenaje libre por percolación situado de 2 a 3 días después de una lluvia o riego abundante. La capacidad de campo es una medida estática, dependiendo del contenido inicial de humedad y de la profundidad de la humectación antes de la redistribución de la humedad, condiciones que no son específicas para cada suelo (Bonciarelli, 1979).

1.3.2. Sistemas de manejo para mantener el agua en el suelo, estrategias enmienda o mulching.

Cuando un suelo se degrada o se va perdiendo por erosión, dejará de ejercer las funciones ambientales naturales del mismo, requiriendo de sistemas de manejo para mantener el agua en el suelo. Ya que existen diversos tipos de suelos, no todos pueden librar las mismas funciones. Por este motivo, conviene saber las características y la distribución de los suelos, consiguiéndose con los trabajos de cartografía. La ordenación y planificación del territorio, así como las políticas agrarias y medioambientales han de prever el uso de los suelos y su protección, lo que precisa

disponer de lo siguiente: características de los suelos, cómo se distribuyen, qué comportamientos y qué cambios son probables al someterlos a diversas estrategias de uso (Porta et al, 2014).



Figura 1.2. Suelo degradado, compactado y sellado por el encostramiento.

Las principales técnicas para controlar la erosión del suelo y así mantener el agua consisten en proteger la superficie del suelo con algún tipo de cobertura para mitigar o evitar el impacto de las gotas de lluvia y la acción del viento, controlar la escorrentía antes de que se convierta en un agente erosivo reduciendo tanto su cantidad como su velocidad, mejorar la estructura del suelo mediante estrategias de aplicación de enmiendas y controlar el viento antes de que se convierta en agente erosivo.

De los anteriores, según Solé y Cantón (2005), el principal factor para controlar la erosión es una cobertura adecuada del suelo, ya que reduce el efecto erosivo de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo y la acción del viento de arrancar las partículas del suelo. La cantidad de cobertura que requiere un suelo depende de la naturaleza de este suelo y de la intensidad de los procesos erosivos en un determinado momento. Un suelo muy suelto en fuerte pendiente requiere de una vegetación permanente muy densa para interceptar tanto las gotas de lluvia como para frenar la velocidad del agua de escorrentía. En cambio determinados suelos en zonas llanas y con una textura y estructura adecuadas pueden ser casi inmunes a la erosión hídrica, incluso sin vegetación. La mayoría de los suelos se encuentran entre estos dos extremos.

Los materiales utilizados como acolchados no deben ser mezclados nunca con el suelo subyacente. En caso de que esto ocurra, los agregados o terrones del suelo original que están en la superficie se verían afectados disgregándose tras el impacto de las gotas de lluvia y rellenando los huecos entre los componentes del acolchado, reduciendo así la infiltración, la aireación y alterando gran parte de los beneficios del acolchado (Solé y Cantón, 2005).

1.4. USO DE MATERIA ORGÁNICA COMO ENMIENDA

La materia orgánica está constituida por una mezcla de restos vegetales, animales y microbianos con subproductos de su descomposición, que incluye sustancias húmicas de síntesis y millones de organismos vivos (mesofauna, microfauna y microorganismos responsables junto con las enzimas, de innumerables procesos bioquímicos y biológicos que suceden en el suelo y establecen su funcionamiento) (Porta et al, 2014).

Es común pensar que en condiciones naturales, con un aporte anual de restos orgánicos al suelo, el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) desde la primera aplicación en la que aumenta rápidamente, seguiría haciéndolo de forma indefinida. Sin embargo no es así, ya que se llega a una meseta gráfica en el contenido de carbono orgánico.

Es en los suelos minerales donde la materia orgánica representa un elemento minoritario, cuya cantidad se estabiliza alrededor de un valor específico al cabo de unos años. Por ello, son necesarios procesos de mineralización de la materia orgánica, que equilibren la tasa de aporte, estable siempre que no cambien los factores de generación del suelo. Dependiendo del medio en el que se encuentre, variará el tiempo necesario para que se alcance una meseta en el contenido de carbono orgánico, y de este también dependerá la duración ecológica del proceso de acumulación de materia orgánica, siendo necesarios entorno a 100 años en suelos arcillosos y unos 1.500 años en suelos arenosos.

Generalmente, la cantidad media se encuentra en valores comprendidos entre el 1% en suelos de zonas secas, un 3% en suelos de regadío, un 8% en suelos de praderas (zonas húmedas), a más del 90% en turberas (suelos orgánicos, Histosoles). La fase alcanzada de equilibrio dinámico dependerá de las condiciones ecológicas del medio, las cuales son determinantes en la tasa de aporte y mineralización.

Aunque la materia orgánica del suelo (MOS) es elemento minoritario en la mayoría de los suelos (generalmente menos del 5 %), los elementos que lo integran presentan una elevada reactividad y superficie específica, lo que hace que sea de gran importancia en la productividad del suelo, en sus funciones medioambientales y los servicios prestados.

La naturaleza y cantidad de MOS son determinantes en la mayor parte de funciones del suelo condicionando las propiedades físicas, químicas y biológicas. La degradación del suelo está relacionada con la reducción del contenido de materia orgánica, siendo esta una propiedad dinámica que conforma un indicador de calidad de los suelos.

Los componentes orgánicos:

1- Intervienen en la formación y estabilización de agregados. En los microagregados (<250 μm) intervienen macromoléculas orgánicas “permanentes” (denominados así por ser difíciles de degradar), mientras que los macroagregados (>250 μm) son estabilizados por componentes orgánicos “temporales” (productos microbianos y de las plantas, tales como gomas formadas por polisacáridos (cadenas de moléculas de azúcares), y por raíces finas y micelios de hongos).

2- Las sustancias húmicas de la MOS aumentan la capacidad de retención de agua del suelo, que puede llegar a ser unas cinco veces mayor que la de los minerales de arcilla.

3- Los horizontes bien estructurados presentan una elevada porosidad y una conductividad hidráulica alta.

4- La estabilidad de agregados en la superficie del suelo hace que disminuya el riesgo de sellado y encostramiento superficial y, en consecuencia que el suelo presente una tasa de infiltración elevada, con lo que disminuiría el riesgo de erosión y por tanto, de desertificación.

5- El albedo de la superficie del suelo disminuye al aumentar el contenido de materia orgánica; la superficie del suelo es más oscura (albedo más bajo) de manera que los suelos ricos en materia orgánica absorben más radiación solar, con lo que la temperatura del suelo será más elevada (Porta et al, 2014).

Por ello, mantener un buen nivel de materia orgánica es primordial para optimizar la estructura del suelo. En las zonas áridas, donde las tasas de mineralización son altas, deben reducirse usando un acolchado adecuado. También puede incrementarse el contenido de MOS mediante abonos verdes (teniendo en cuenta la necesidad de una incorporación adicional de nitrógeno), aplicando compost o mediante la introducción de leguminosas en el cultivo.

En las zonas afectadas por la degradación, será necesaria una revegetación con especies adecuadas que se adapten correctamente a las zonas áridas (especies poco consumidoras de agua y resistentes a la salinidad), para incrementar la infiltración de agua. Para ello, se puede reducir la compactación del suelo disminuyendo el paso de maquinaria cuando el suelo está húmedo tratando de seguir siempre el mismo camino para todas las operaciones. Esto ayuda a mantener conectada la porosidad superficial favoreciendo la actividad biológica. Además, se debe controlar la formación de costras manteniendo una buena cobertura vegetal o acolchado reduciendo así el impacto de las gotas de lluvia. También existe la posibilidad de aumentar la cantidad de materia orgánica para incrementar la estabilidad de los agregados.

1.5. MULCHING: TIPOS, NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD

El mulching o acolchado consiste en la aplicación de material en la superficie del suelo, que permite a su vez el intercambio de fluidos con la atmósfera, protegiendo al suelo de agentes erosivos como el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, regulando la temperatura del mismo y manteniendo su humedad.

1.5.1. Tipos de acolchados usados en agricultura.

Existen numerosas posibilidades respecto a la elección de materiales útiles como acolchados. La elección variará en función del coste, disponibilidad, estación del año y del tipo de suelo y cultivo. Hay dos clasificaciones para los materiales a elegir: materiales de origen orgánico que pueden consistir en un manto de restos vegetales formados natural o artificialmente (Turney y Menge, 1994), o materiales de origen inorgánico que son de material sintético (Robinson, 1988).

Los materiales de origen inorgánico más usados en la actualidad son los siguientes: piedras o gravas de uno y varios centímetros de diámetro y de naturaleza diversa (granito, basalto, rocas volcánicas porosas, pizarras, caliza, mármol, etc.), arena, conchas, arcillas expandidas, lana de roca, materiales plásticos y materiales geotextiles entre otros. Estos aportan una excelente protección, son duraderos e incluso pueden añadir un valor ornamental. De los anteriores, los acolchados plásticos son los más usados, siendo destacable en el cultivo de hortalizas (McCraw y Motes, 2009).

Los materiales de origen orgánico son menos utilizados que los de origen inorgánico. Estos se diferencian en materiales de descomposición relativamente rápida (paja, restos de poda o de césped), los cuales incrementan el nivel de materia orgánica del suelo, aportando nutrientes y humus, lo que favorece una mejor agregación del suelo y resistencia a la erosión. O bien, materiales de descomposición más lenta (aserrín, virutas, fragmentos de madera, corteza y acículas de pino, mantas orgánicas, o carbón vegetal) que necesitan varios años para descomponerse. Los acolchados orgánicos hay que renovarlos periódicamente porque cuando se descomponen acaban perdiendo sus efectos beneficiosos (Haynes, 1980).

En la zona del sur de España, destacan restos de poda de cítricos y granados procedentes de la agricultura, restos de hojas de palmeras que proceden de la poda urbana, parques y jardines, y restos de *Arundo donax* que proceden de los canales y cauces de agua, los cuales suponen un problema por su rápido crecimiento y regeneración y deben ser arrancados o cortados cada cierto tiempo. Tradicionalmente han sido quemados, pero a estos residuos orgánicos se les puede dar utilidad, usándose como acolchado orgánico para los cultivos. Por lo tanto, estos serán los residuos orgánicos empleados durante el experimento.

Acolchado plástico:

Figura 1.3. Acolchado plástico en cultivo de tomate.

http://www.macoglass.com/plasticos_agricultura_plasticos_acolchados_cultivos/



Figura 1.4. Acolchado plástico en cultivo de cebolla.

https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=product_info&products_id=884

Fue en los años 60 cuando comenzó el uso de acolchados plásticos para mejorar la producción de hortalizas (Lamont, 1993). Según datos del CICLOPLAST correspondientes al año 2009, el consumo de plásticos en España fue de unos tres millones de toneladas, de los que el sector agrícola consumió únicamente unos 0.3 millones (CICLOPLAST, 2009).

El material, espesor y color, se verá determinado por su uso, el cultivo y la región. La anchura usada en la lámina de plástico de los acolchados varía habitualmente entre 0,9 m y 1,5 m. En cuanto al espesor, inicialmente se utilizaban láminas más gruesas (de entre 30 y 50 micras), pero en la actualidad es común el uso de láminas de unas 15 micras (Gutiérrez et al., 2003).

El material más frecuente en relación a los acolchados plásticos es el polietileno, debido a la facilidad de procesarlo, y su gran resistencia física y química, alta durabilidad, flexibilidad y es inodoro en comparación con otros polímeros. El

acolchado plástico crea una barrera prácticamente impermeable al flujo de vapor de agua en la superficie del suelo modificando el modelo de flujo de calor y de evaporación de agua. El acolchado plástico estándar es el de color negro (Tarara, 2000), siendo también fabricado en otros colores que confieren diferentes propiedades ópticas (Ngouajio y Ernest, 2005). Son estas diferencias las que modifican el microclima alrededor del cultivo en función de las propiedades ópticas.

Sin embargo, el uso de acolchados plásticos supone una desventaja paisajística por su lenta degradación, su permanencia en el campo y la contaminación potencial del suelo. Además, el coste para retirar estos restos plásticos es muy elevado (Moreno et al., 2004), por lo que el uso de materiales biodegradables es una gran oportunidad, degradándose de forma biológica por la acción de bacterias u otros agentes biológicos, o por la acción de la radiación solar.

Acolchado geotextil:



Figura 1.5. Acolchado geotextil en cultivo de granados.

http://estaciones.ivia.es/recomendaciones_sal.html



Figura 1.6. Acolchado con malla en cítricos.

<https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/157298-Acolchado-o-mulching-en-citricos-ventajas-para-el-cultivo-instalacion-y-manejo.html>

Los geotextiles se definen como "textiles más o menos permeables usados en conjunción con el suelo, roca o cualquier otro material relacionado con la ingeniería geotécnica" (John, 1987). En el acolchado geotextil se utilizan materiales poliméricos (sintéticos o naturales) permeables que pueden ser tejidos o no tejidos definiéndose a partir de las funciones que va a desempeñar, presentando multitud de aplicaciones. Sus funciones pueden ser de separación, filtración, drenaje, refuerzo, contención de fluido/gas, control de erosión o protección, cumpliendo a veces varias funciones simultáneamente.

Martin et al. (1991) indican que el uso del geotextil como acolchado del suelo es una tecnología en la que se buscan propiedades distintas a las del polietileno negro puesto que los geotextiles son permeables al agua y al CO₂. Los geotextiles sintéticos no son biodegradables y pueden causar la contaminación de los suelos. Sin embargo, a pesar de que estos materiales sintéticos dominan el mercado comercial, los geotextiles fabricados a partir de materiales orgánicos son muy eficaces en el control de la erosión y el establecimiento de la vegetación (Ogbobe et al., 1998), lo cual supone una gran ventaja medioambiental. El uso del geotextil no tejido de tipo polipropileno como acolchado en plantaciones frutales ha producido una mejora del rendimiento y de la calidad de la fruta en manzano (Czynczyk et al., 2004) y cerezo (Rozpara et al., 2008).

Acolchado de residuos orgánicos:



Figura 1.7. Acolchado de paja en cultivo de tomate.

<https://huertaelcocedero.wordpress.com/2012/07/03/acolchando-la-huerta/>



Figura 1.8. Acolchado de Sorgo Granífero en cultivo de soja.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soja en Siembra Directa sobre rastrojo de Sorgo Gran%C3%ADfero.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soja_en_Siembra_Directa_sobre_rastrojo_de_Sorgo_Gran%C3%ADfero.jpg)

El acolchado orgánico ayuda al desarrollo y la actividad de los microorganismos albergados en el suelo, favoreciendo a su vez que se mantenga una temperatura estable asegurando así su actividad (Infante, 2004).

Este aumento de la actividad de los microorganismos produce un cambio en las propiedades de transmisión de agua del suelo y un aumento de la retención de agua, lo que resulta en una mayor disponibilidad de agua para el cultivo y una menor evaporación (Hatfield et al., 2001). La dinámica de los procesos de descomposición de los materiales orgánicos, su acción residual y el aporte de elementos fertilizantes dependen de un conjunto de variables como la naturaleza de los productos, las características del suelo, las poblaciones y actividad de los organismos del suelo, y las características climáticas (Matheus et al., 2007).

El serrín, la corteza de pino, los restos de madera de poda, la paja, la cascarilla de cereales y otros residuos vegetales como los restos troceados de la madera de poda son los materiales más manejados como acolchado orgánico en plantaciones frutales. La elección del material irá en función de la disponibilidad y el costo. El acolchado de suelo con residuos orgánicos se utiliza ampliamente en la producción integrada de frutales (Mika et al., 1998; Autio y Greene, 1991; Neilsen et al., 2003).

1.5.2. Efectos del acolchado sobre la humedad del suelo.

Son diversos estudios los que exponen cómo influye el acolchado en la evaporación de agua en el suelo y su contenido de humedad. El intercambio turbulento entre la atmósfera y el agua del suelo se ve generalmente debilitado por el uso de acolchado, reduciendo así la evaporación. A su vez, el acolchado contribuye en la conservación de la humedad del suelo, reduce la escorrentía superficial y la erosión del suelo e incrementa la permeabilidad y la capacidad de retención de agua del suelo.

El acolchado aumenta de forma evidente la humedad del suelo en la capa superficial (0-5 cm) en comparación con el suelo desnudo. Una prueba de ello es que la tasa de infiltración de agua en el suelo cubierto con diferentes tipos de acolchados permeables aumenta hasta un 30% en comparación con el suelo desnudo (Zribi et al, 2011).

Dahiya et al. (2007) concluyen que los residuos vegetales que proceden de restos de cosecha como paja, cortezas, residuos de poda, etc., disminuyen la evaporación al reducir la cantidad de energía radiante absorbida y reducen al mínimo el flujo de aire en la superficie del suelo. Según algunos estudios los residuos vegetales reducen la evaporación del suelo en un valor medio de 0,39 mm/día con respecto a suelos sin acolchado. Además, Stewart (2005) observó que añadiendo acolchado de paja en un cultivo de vid, se mantuvo un mayor contenido de humedad en el suelo con acolchado de paja que en el suelo desnudo. Sin embargo, Mellouli et al. (2000) concluyen que la eficacia de los acolchados orgánicos disminuye en el tiempo con su degradación, dependiendo la conservación de agua de las características del material usado.

En cambio, el acolchado plástico de polietileno es más impermeable al vapor de agua que el orgánico ya que conserva de forma más eficiente la humedad del suelo en la superficie, logrando mayores efectos en la economía del agua y quedando esta a disposición del cultivo, beneficiándose de un suministro más constante y regular. Sin embargo, Hogue y Neilsen (1987) concluyeron que en algunos cultivos frutales como las plantaciones de manzano o en el cultivo de cacahuete, el acolchado orgánico de paja resulta más eficiente que el acolchado de lámina de plástico o el suelo desnudo.

La evaporación de agua en el suelo también se ve reducida por el acolchado geotextil, aunque en menor medida que las cubiertas plásticas. Existen grandes diferencias respecto a la humedad en suelo con y sin acolchado geotextil en un suelo franco, arcillo o limoso. Sin embargo, solo el geotextil grueso resguarda el suelo de las pérdidas de agua por evaporación manteniendo buenos niveles de humedad. Por ello, la evaporación de agua del suelo se reduce al incrementar el grosor del acolchado. La evaporación se reduce entre un 92% en acolchados geotextiles de 10 cm de espesor a un 52% con acolchados geotextiles de 2 cm de espesor (Díaz et al, 2005).

Por tanto, todos los materiales de acolchado reducen significativamente la evaporación de agua y promueven la conservación de agua en el suelo en relación a suelos desnudos. La eficiencia de los distintos materiales en la reducción de la evaporación directa de agua del suelo depende fundamentalmente de las propias características del material utilizado pero parece ser ambiente-dependiente, ya que el acolchado plástico debido a su impermeabilidad es el más eficaz, pero bajo ciertas condiciones como la temperatura de suelo elevada, algunos acolchados orgánicos pueden ser más eficientes que el plástico (Zribi et al, 2011).

1.5.3. Efectos del acolchado sobre la estructura y la fertilidad del suelo.

El acolchado mantiene la estructura del suelo en mejor estado que la del suelo desnudo debido a la protección que supone contra los agentes atmosféricos. Por lo tanto, el acolchado presenta numerosos beneficios: respecto a la estructura del suelo, debido a una amortiguación de la energía cinética de las gotas de lluvia o riego por aspersión, lo que disminuye la dispersión física del suelo y el sellado superficial, fijando la tasa de infiltración de agua en el suelo (Erenstein, 2002); respecto a la mineralización del suelo, al acolchado aumenta la temperatura y la humedad del suelo favoreciendo la mineralización del mismo, generando una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y un aumento de la materia orgánica del suelo; respecto a la protección del suelo, el acolchado evita la erosión causada por la lluvia, las tormentas de granizo y la desecación del suelo por el viento (Smets y Poesen, 2009).

Respecto a los beneficios del acolchado orgánico destaca que se favorece la actividad de la microfauna del suelo y la proliferación de raíces, disminuyendo la compactación del suelo por la agregación de las partículas finas de arcilla. A su vez, tras la descomposición de la materia orgánica se crean compuestos cementantes que forman agregados más estables, permitiendo el movimiento de gases tales como CO₂ y O₂, aumentando por ello la fertilidad de los suelos (Turney y Menge, 1994).

Al aplicar acolchado de paja en la superficie del suelo aumenta el contenido de materia orgánica caracterizada por un alto índice de humificación (Ceccanti et al, 2007). Además, este genera hábitats favorables para las lombrices, insectos y microorganismos patógenos, contribuyendo a que la densidad aparente del suelo sea más baja que en el caso del acolchado del suelo con polietileno. Uno de los efectos más destacables del acolchado es el relacionado con la porosidad, aumentando hasta una profundidad de 50 cm, permitiendo una buena aireación del suelo y un mayor desarrollo del sistema radicular (Tesi, 2000), dando lugar a una mejor absorción del agua y nutrientes del subsuelo.

Jordán et al. (2010) investigaron en una región semi-árida del sur de España, que el acolchado del suelo con diferentes cantidades de paja de trigo (0, 1, 5, 10 y 15 t/ha) produjo en la parte superficial del suelo (0 a 10 cm de profundidad) un incremento significativo respecto al control del contenido de materia orgánica, de la porosidad y de la estabilidad estructural del suelo después de 3 años de tratamiento. La mejora de estas propiedades químicas y físicas del suelo condujo a una disminución de la escorrentía y de las pérdidas del suelo por erosión para aplicaciones de paja por encima de 5 t/ha.año. Además, la erosión laminar se redujo en un 40 % con la aplicación de 0,5 t/ha de paja de trigo y en un 80 % con la aplicación de 2 t/ha en comparación con el suelo desnudo. Sin duda, la disminución de la erosión producida por el acolchado reduce también las pérdidas de los nutrientes del suelo y de los fertilizantes.

Por tanto, el acolchado previene la compactación y la formación de costras superficiales impermeables manteniendo una buena estructura del suelo. Este permanece con mayor porosidad que la del suelo desnudo y a su vez está más aireado, lo que permite el desarrollo correcto del sistema radicular y una eficacia mayor en la obtención y el uso de nutrientes (Zribi et al, 2011).

1.5.4. Efectos del acolchado sobre la salinidad del suelo.

Lo fundamental si se desea obtener la producción óptima de un cultivo es su correcto control de la salinidad. Si se reduce la evaporación del agua en el suelo (efecto evapoconcentración) esto permite el flujo descendente de agua (efecto lavado) siendo por ello imprescindible para controlar la salinidad de la zona radicular de los cultivos.

El acolchado reduce eficientemente la salinidad al conservar la humedad en la zona radicular (Rahman et al, 2006), especialmente en los primeros cm de suelo (Stewart 2005; Zhang et al., 2008), accediendo al uso de aguas más salinas sin que provoquen un efecto negativo en el desarrollo de las plantaciones. Zhang et al. (2008) indican que en suelos sin acolchado se acumulan sales principalmente en la superficie debido al efecto de evapoconcentración.

El daño causado por las sales solubles es más severo durante la emergencia y crecimiento inicial de ciertos cultivos. Así, Dong et al. (2008) concluyen que el acolchado de algodón mantiene un mayor contenido de humedad, reduce la evaporación y salinización del suelo y favorece una buena emergencia y establecimiento del cultivo.

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El agua es un recurso natural esencial para todos los medios de vida y escaso en muchas regiones. En una buena parte del territorio español la disponibilidad del agua de forma natural se encuentra reducida de forma significativa, asociado a la climatología y “pertinaz” sequía.

El agua es un factor de producción clave para la agricultura; siendo el factor limitante agronómico fundamental en los sistemas agrícolas mediterráneos, donde la escasez de precipitaciones a lo largo del año y las altas tasas de evapotranspiración en la época estival, cuando prácticamente no se producen precipitaciones, hace necesario el riego para el desarrollo de los cultivos.

También se ha comprobado que la gestión de los suelos, es un factor clave en la disponibilidad de agua para el cultivo.

La agricultura emplea por término medio el 70 % de toda el agua utilizada en el mundo, además su demanda se concentra en los meses más secos del año, lo que obliga a regular y movilizar grandes cantidades de agua anualmente.

La agricultura es particularmente sensible al cambio climático y necesitará adaptarse a los nuevos patrones de precipitaciones, temperaturas y fenómenos climatológicos extremos. El informe “Cambio climático, impactos y vulnerabilidad en Europa 2016”, publicado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), señala a la región mediterránea como la región más crítica en cuanto a impactos negativos previstos por el cambio climático. El aumento de temperaturas máximas, el descenso de las precipitaciones y de los caudales de los ríos ocasionarán un incremento del riesgo de sufrir graves sequías, menor rendimiento de los cultivos, pérdida de biodiversidad y un aumento de los incendios forestales. En la práctica esto supondrá que el agua de riego se convierta en un recurso cada vez más escaso y limitante, lo que demanda cada vez más un uso eficiente del mismo.

Por otro lado, desde hace unos años la preocupación por el medioambiente, y el cambio climático está acentuando el empleo de unas buenas prácticas agrícolas evitando la práctica de la quema de rastrojos, poda, etc. Estos materiales no quemados pueden constituir una capa de acolchado (o mulching en inglés). El empleo de acolchados o “mulching” permite disminuir las pérdidas de agua por evaporación del suelo y de esta manera aprovechar mejor el agua disponible por la planta, evitando también la erosión por impacto.

En este sentido, Rico y col. (2016) demostraron que la utilización de subproductos orgánicos (hoja de palmera, paja de cereal y corteza de pino) fue efectiva para reducir la pérdida de agua en suelos franco y franco-limoso. Además, el mulching de cualquier tipo (restos de poda triturados, residuos vegetales procedentes de la industria

agroalimentaria, paja, serrín, estiércol, purines, compost, etc.), permite que el suelo esté protegido, tanto de la erosión (impacto de las gotas de lluvia), como de la pérdida rápida de humedad y del aumento de la temperatura; facilitando que pueda ser refugio de microfauna y que aumente la cantidad de microorganismos y, por consiguiente la actividad biológica del suelo (Robledano, y col., 2016).

El objetivo general este trabajo es “analizar el efecto diferencial de una enmienda orgánica (5% adición de compost) realizada sobre diferentes tipos de suelo y de diversos tipos de acolchados, sobre la retención de agua en el suelo y/o la disminución de la evaporación del agua edáfica frente a sistemas no enmendados o acolchados”.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a) Cuantificar la efectividad de distintos tipos de acolchado del suelo: tallo de *Arundo donax* L.; rizoma de *Arundo donax* L.; hoja de palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.); poda de naranjo (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) var. navel Lane late; poda de granado (*Punica granatum* L.) var. Mollar; sobre la capacidad de retención de agua del suelo y sobre la reducción de la evaporación acumulada, durante dos periodos: 1) de 0 - 60 días partiendo de suelos saturado y 2) de 60 – 110 días tras un periodo de lluvia simulado.
- b) Valorar la influencia del tipo de suelo empleado (diferenciados principalmente por su contenido en arcilla) sobre la retención de agua en el suelo en las condiciones de ensayo establecidas.
- c) Determinar el efecto de la aplicación de enmienda orgánica (compost) sobre la retención de agua en el suelo en las condiciones de ensayo establecidas.
- d) Estudiar la influencia del tipo de mulching utilizado y de la estrategia materia orgánica y mulching sobre la cinética de la pérdida de agua.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

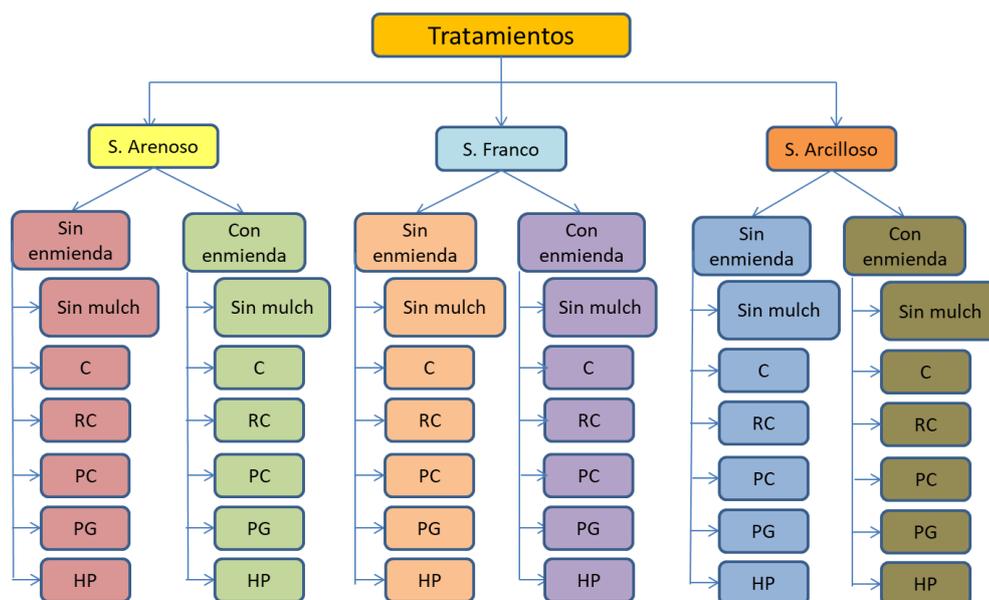
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo se establecieron tres estrategias básicas centradas en el uso de materia orgánica (1. aporte de enmienda orgánica al suelo; 2. aplicación superficial de acolchado (mulching) a base de residuos orgánicos agrícolas-mulching; 3. combinación de las dos anteriores) con la finalidad de explorar la capacidad que este tipo de manejos del suelo agrícola puede tener sobre la retención de agua en el suelo y/o la disminución de la evaporación del agua edáfica.

Para ello se diseñó un experimento en condiciones controladas usando contenedores-macetas, incluyendo las siguientes variables (Figura 3.1):

- Tipo de suelo (3 tipos texturales distintos: arenoso, franco y arcilloso).
- Aporte o no de una enmienda orgánica (adición de 5% de materia orgánica en forma de compost).
- Uso o no de mulching procedentes de biomasa residual agrícola: tallo de *Arundo donax* L.; rizoma de *Arundo donax* L.; hoja de palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.); poda de naranjo (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) var. navel Lane late; poda de granado (*Punica granatum* L.) var. Mollar

Se establecieron un total de 36 tratamientos distintos en función del tipo de suelo (3), aporte o no de enmienda orgánica (2) y tipo de mulching utilizado (5 mulching +1 testigo/blanco) con tres repeticiones requiriendo el uso de 108 macetas.



C: tallo de *Arundo donax* L.; CR: rizoma de *Arundo donax* L.; PC: poda de cítrico (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) var. navel Lane late; PG: poda de granado (*Punica granatum* L.) var. Mollar; HP: hoja de palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.);

Figura 3.1. Variables del diseño experimental.

3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL**3.2.1. Infraestructura utilizada.**

El experimento se realizó en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO), Universidad Miguel Hernández, en el sureste español (latitud 38º 4' 12.67" N y longitud 0º 58' 58.71"W; y altitud 25m s.n.m.). El clima de la zona se clasifica Mediterráneo semiárido subtropical.

La experiencia se desarrolló en un invernadero tipo capilla (Figura 3.2), con cubierta a dos aguas, simétrica, de policarbonato, durante los meses de mayo-agosto 2017. Sus dimensiones son las siguientes: 10 m de anchura, 19 m de profundidad, 3 m de altura hasta la canal y 4,5 m hasta la cumbrera. Cuenta con ventilación lateral y cenital, y dispone de un sistema de refrigeración (cooling).



Figura 3.2. Vista del interior del invernadero.

3.2.2. Medios utilizados.

Suelos

En el ensayo se emplearon tres tipos de suelo tamizados a 4 mm (Figura 3.3), las características iniciales de dichos suelos se muestran en la tabla 3.1.

- **S1.** Suelo arenoso, procedente de las dunas de Guardamar del Segura (100% arena);
- **S2.** Suelo franco, de la EPSO (51,4% arena, 28,1% limo y 20,5% arcilla);
- **S3.** Suelo arcilloso, procedente de una finca situada en Albacete (31,6% arena, 26,0% limo y 42,4% arcilla).



S1. Suelos arenos

S2. Suelos franco

S3. Suelos arcilloso

Figura 3.3. Tipos de suelo utilizados en el experimento.

Tabla 3.1. Característica de los suelos utilizados en el experimento.

Parámetro	Suelo Arenoso (S1)	Suelo Franco (S2)	Suelo Arcilloso (S3)
Arena %	100	51,4	31,6
Limo %	0	28,1	26,0
Arcilla %	0	20,5	42,4
Carbono orgánico %	0,19	1,83	1,01
Agregados estables %	0	44,8	78,6
CRH %	25,4	36,9	30,1
pH (1:2,5)	9,34	8,39	8,24
CE (1:5) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	222	396	367

CRH: capacidad de retención de agua; C.E: conductividad eléctrica.

La textura del suelo, la estructura del suelo, y el tipo de mineral de arcilla, contenido de materia orgánica y el tipo, influyen en la estabilidad de los agregados. El suelo arenoso compuesto de arena fina no presento agregados estables, el suelo franco y

arcilloso presentaron buenas proporciones de ellos, siendo superior en el caso del suelo arcilloso.

En suelos ricos en limo y arena fina, el sellado del suelo puede ser un proceso rápido que puede ocurrir incluso bajo eventos de lluvia de baja intensidad (Chen, Sela, Svoray y Assouline, 2013; Sajjadi y Mahmoodabadi, 2015; Sela, Svoray y Assouline, 2012) o después de las primeras fases de un programa de riego. La reducción en la infiltración de agua produce una reducción en el agua total acumulada en el suelo.

El contenido de contenido de carbono orgánico inicial fue muy bajo en el caso del suelo arenoso, bajo para el arcilloso y alto para el suelo franco. La capacidad de retención de agua fue mayor en el caso del suelo franco, seguido del arcilloso y del arenoso. El pH de los suelos utilizados fue elevado pudiendo presentar problemas de biodisponibilidad de elementos químicos esenciales para el cultivo. El suelo arenoso es alcalino pudiendo contener carbonato sódico, los suelos franco y arcilloso son básicos, pudiendo presentar limitaciones en la disponibilidad de fósforo y boro y deficiencias de Cu, Fe, Mn y Zn. El suelo arenoso presentó una salinidad baja y el franco y arcilloso presentan valores normales de salinidad.

Enmienda orgánica

Para la enmienda orgánica se empleó un compost comercial (COMP) elaborado a base de lodo de depuradora y hoja de palmera como estructurante (MOT 58,6%), aplicando al suelo 5 g de compost por cada 100 g de suelo (Figura 3.4.). El compost fue tamizado a 4 mm para su incorporación a los suelos. Las características del compost se muestran en la tabla 3.2. Es un compost ligeramente ácido, con una elevada salinidad y un alto contenido en materia orgánica estable. A nivel fertilizante, tiene un contenido alto en unidades fertilizantes de N, medio de P_2O_5 y bajo de K_2O .



Figura 3.4. Compost comercial.

Tabla 3.2. Características del compost utilizado.

Propiedad	Valor
Humedad %	49,5
pH	5,8
Conductividad eléctrica (dS/m)	8,9
Carbono orgánico total, COT (%)	31,4
Nitrógeno total, NT (%)	3,19
COT/NT	9,8
Materia Orgánica Total (%)	58,6
Fósforo (g/kg)	11,1
Fósforo, P ₂ O ₅ %	2,54
Potasio (g/kg)	11,4
Potasio, K ₂ O %	1,37
Sodio (g/kg)	7,4

Mulching

Se ensayaron 5 tipos de mulching procedentes de residuos vegetales (figura 3.5):

- Tallo de *Arundo donax* L. (C).
- Rizoma de *Arundo donax* L. (RC).
- Hoja de palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.) (HP).
- Poda de cítrico (*Citrus sinensis* (L) Osback) var. navel Lane late (PC).
- Poda de granado (*Punica granatum* L.) var. Mollar (PG).



Figura 3.5. Tipos de mulching.

Estos materiales vegetales fueron triturados mediante un biotriturador marca Garland CHIPPER mod.790 QG y tamizados a 4 mm de luz (Figura 3.6) y se estableció un tratamiento testigo sin mulching.

Las características de los diferentes materiales para acolchado (mulching) usados se muestran en la tabla 3.3. La densidad aparente de todos los mulching fue baja, especialmente HP; su contenido en materia orgánica fue alto (MOT >90%) y su tasa potencial de mineralización resultó baja debido a las altas relaciones COT/NT, salvo para el rizoma de *Arundo donax*, que no superó el valor de COT/NT >40.

Tabla 3.3. Características de los diferentes materiales para acolchado (mulching) usados.

Propiedad	Tallo <i>Arundo donax</i> (C)	Rizoma <i>Arundo donax</i> (RC)	Hoja palmera datilera (HP)	Poda naranjo (PC)	Poda granado (PG)
Densidad aparente (g/L)	131	111	61	173	220
pH	6,89	6,50	6,77	5,84	5,00
Conductividad eléctrica (dS/m)	3,44	3,22	4,88	1,92	1,62
Carbono orgánico total, COT (%)	41,6	47,2	44,3	45,9	46,6
Nitrógeno total, NT (%)	1,00	1,22	0,82	1,05	0,91
COT/NT	41,5	38,6	54,0	43,9	51,4
Materia Orgánica Total (%)	92,9	92,7	93,4	92,8	94,8



Biotriturador



Tamizadora

Figura 3.6. Maquinaria utilizada para la preparación del material vegetal para su uso como mulching.

A continuación, se incluye una breve descripción de las características botánicas más significativas de las especies vegetales utilizadas como mulching, así como de los residuos vegetales generados por cada una de ellas, dependiendo de las tareas propias de su mantenimiento y conservación.

<p><i>Arundo donax</i></p>	<p>Familia: Poaceae. Nombre común: Caña común. Lugar de origen: Asia.</p>
	<p>Descripción de la especie:</p> <p>Alcanza los 2-5 m de altura, tiene tallo grueso y hueco. Las hojas lanceoladas son largas de 5-7 cm que envuelven el tallo en forma de láminas verdes brillante. Las flores están en una gran panícula de espiguillas violáceas o amarillas de 9-14 mm de longitud. Cada espiguilla tiene una o dos flores. Presenta lema con pelos de 8-15 mm. Floración, final del verano y otoño. Es la mayor de las gramíneas de la región mediterránea (Mateo y Crespo, 2009).</p>
	<p>Descripción del residuo:</p> <p>Se trata de un residuo formado principalmente por tallos y rizomas procedentes del corte o arranque de la planta que crece en las inmediaciones de nuestros ríos y canales de agua.</p>
<p><i>Phoenix dactylifera</i></p>	<p>Familia: Arecaceae Nombre común: Palmera datilera. Lugar de origen: Suroeste de Asia.</p>
	<p>Descripción de la especie:</p> <p>Es una palmera dioica de tronco único a menudo con brotes en su base, de hasta 30 m de altura y 20 a 50 cm de diámetro, cubierto con los restos de las hojas viejas. Hojas glaucas, muy largas y muy laxamente divididas en pinnas espinosas en su cuarto basal que aparecen en planos divergentes. Plantas elevadas de tallos gráciles y finos, dátiles grandes y comestibles de 3-6 cm (Mateo y Crespo, 2009).</p>
	<p>Descripción del residuo:</p> <p>A las palmeras se les practica la poda de las palmas secas y la primera corona de hojas verdes, por tanto se trata de un residuo formado principalmente por hojas. Estas palmas poseen una vaina, un peciolo y un limbo en forma palmada o palmeada.</p>

<p><i>Citrus sinensis</i> L Osbeck</p>	<p>Familia: Rutaceae Nombre común: Naranja dulce. Lugar de origen: Asia.</p>
	<p>Descripción de la especie:</p> <p>Se trata de un arbusto muy poco o nada espinoso, alcanza entre 2-5 m de altura, perenne, de copa grande, redonda o piramidal, con peciolo estrechamente alados y hojas ovales. Sus flores blancas, llamadas azahar, nacen aisladas o en racimos y son sumamente fragantes. Su fruto es la naranja con sabor dulce (Mateo y Crespo, 2009).</p>
 <p>http://www.riberaexpress.es/2014/05/16/un-proyecto-life-transformara-los-restos-de-poda-de-citricos-en-aceite-piensos-y-biomasa/</p>	<p>Descripción del residuo:</p> <p>Se le realiza la poda de los brotes nuevos y alguna rama terciaria que este seca o que presente problemas, así que se trata de un residuo formado principalmente por hojas y tallos tiernos procedentes del recorte.</p>
<p><i>Punica granatum</i></p>	<p>Familia: Lythraceae Nombre común: Granada. Lugar de origen: Región mediterránea oriental y Asia sudoccidental.</p>
	<p>Descripción de la especie:</p> <p>Arbusto o pequeño árbol de 1-4 m de altura (Mateo y Crespo, 2009), caducifolio, más o menos espinoso, muy ramificado. Tronco derecho, con la corteza resquebrajada y ramas opuestas, patentes; las jóvenes tetrágonas y a veces péndulas. Las hojas, simples, de 1,5-7 por 0,8-2 cm, son entre lanceoladas y oblongas. Las flores miden 3-4 cm de diámetro, solitarias, más raramente geminadas o ternadas con un pedicelo de hasta de 3 mm, acrescente al fructificar.</p>
	<p>Descripción del residuo:</p> <p>Se le realiza la poda de los brotes nuevos y alguna rama terciaria que este seca o que presente problemas, así que se trata de un residuo formado principalmente por hojas y tallos tiernos procedentes del recorte.</p>

3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En función del diseño experimental se plantearon 36 tratamientos diferentes (con tres repeticiones), cuya descripción y denominación se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Descripción y denominación de los tratamientos realizados.

Tratamiento	Tipo de suelo	Subtipo de suelo	Tipo mulching	Clave tratamiento
1	Arenoso	Control (C)		1C
2	Arenoso	Suelo	Caña (C)	1SC
3	Arenoso	Suelo	Rizoma Caña (RC)	1SRC
4	Arenoso	Suelo	Poda de Cítricos (PC)	1SPC
5	Arenoso	Suelo	Poda de granados (PG)	1SPG
6	Arenoso	Suelo	Hoja de palmera (HP)	1SHP
7	Arenoso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)		1 Sc
8	Arenoso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Caña (C)	1ScC
9	Arenoso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Rizoma Caña (RC)	1ScRC
10	Arenoso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Poda de Cítricos (PC)	1ScPC
11	Arenoso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Poda de granados (PG)	1ScPG
12	Arenoso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Hoja de palmera (HP)	1ScHP
13	Franco	Control (C)		2C
14	Franco	Suelo	Caña (C)	2SC
15	Franco	Suelo	Rizoma Caña (RC)	2SRC
16	Franco	Suelo	Poda de Cítricos (PC)	2SPC
17	Franco	Suelo	Poda de granados (PG)	2SPG
18	Franco	Suelo	Hoja de palmera (HP)	2SHP
19	Franco	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)		2 Sc
20	Franco	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Caña (C)	2ScC
21	Franco	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Rizoma Caña (RC)	2ScRC
22	Franco	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Poda de Cítricos (PC)	2ScPC
23	Franco	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Poda de granados (PG)	2ScPG
24	Franco	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Hoja de palmera (HP)	2ScHP
25	Arcilloso	Control (C)		3C
26	Arcilloso	Suelo	Caña (C)	3SC
27	Arcilloso	Suelo	Rizoma Caña (RC)	3SRC
28	Arcilloso	Suelo	Poda de Cítricos (PC)	3SPC
29	Arcilloso	Suelo	Poda de granados (PG)	3SPG
30	Arcilloso	Suelo	Hoja de palmera (HP)	3SHP
31	Arcilloso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)		3 Sc
32	Arcilloso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Caña (C)	3ScC
33	Arcilloso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Rizoma Caña (RC)	3ScRC
34	Arcilloso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Poda de Cítricos (PC)	3ScPC
35	Arcilloso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Poda de granado (PG)	3ScPG
36	Arcilloso	Suelo + Compost HP (5%) (Sc)	Hoja de palmera (HP)	3ScHP

Conforme al diseño experimental, se procedió a las siguientes acciones:

1. En primer lugar, se prepararon todos los materiales empleados; los suelos y el compost tamizándolos a 4 mm, así como los materiales vegetales utilizados como mulching que se trituraron y tamizaron a 4 mm.
2. Seguidamente se procedió colocar en macetas cuadrangulares de 7,25L (22,3 x 22,3 x 21,5 cm de altura) una cantidad de suelo de 6500 g. Se prepararon 36 macetas de cada tipo de suelo (arenoso, franco y arcilloso).
3. Para los tratamientos con enmienda orgánica se sustituyó el 5% del peso del suelo (325 g) por compost.
4. Una vez preparadas las macetas se pesaron y se saturaron con agua de la red potable dejando percolar el sistema durante 48 horas antes de aplicar el mulching, para alcanzar las condiciones de capacidad de campo y se volvieron a pesar.
5. Posteriormente, se colocó el mulching superficialmente formando una capa de 2 cm de altura (densidad mulching C 2616 gm⁻²; RC 2221 gm⁻²; HP 1211 gm⁻²; PC 3454 gm⁻² y PG 4402 gm⁻²) y se pesaron de nuevo las macetas.
6. Durante los primeros 60 días (6 mayo-3 julio 2017), las macetas se pesaron diariamente hasta que su peso permaneció constante en todas las macetas. De esta forma se pudieron analizar las pérdidas de agua de los tratamientos y la evolución de la evaporación media acumulada en el suelo.
7. Al cabo de 60 días se simuló un evento de lluvia característica de la zona de estudio (20 l m⁻²) y se continuó con la medida del peso de las macetas para cuantificar la pérdida de agua hasta los 110 días cuando se detectó la nula pérdida de humedad en las macetas, ya que su peso permaneció constante durante un mínimo de 7 días, coincidiendo este periodo con el punto de marchitez donde el agua ya no está disponible para la planta.

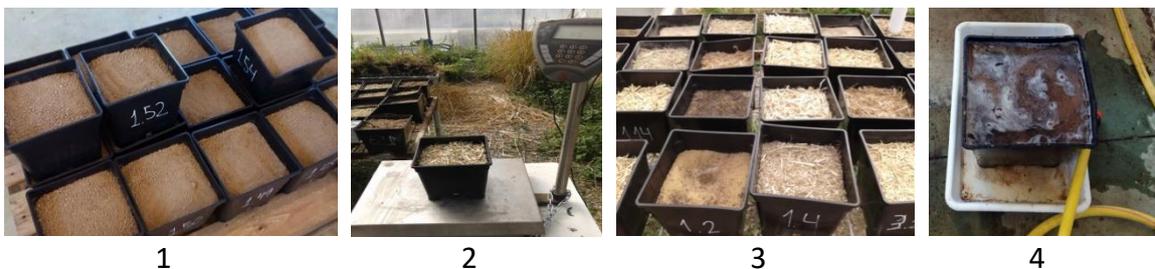


Figura 3.7. Procedimiento de llenado de macetas y saturación de agua.

3.4. MÉTODOS ANALITICOS

3.4.1. Métodos analíticos en suelos.

▶ CAPACIDAD DE RETENCIÓN HÍDRICA

Fundamento

Determinación de la máxima cantidad de agua que queda retenida en el suelo bajo presión atmosférica (humedad máxima del suelo).

Material necesario

Botes Erlenmeyer 250 ml; Embudos de vidrio; Papel de filtro; Balanza (hasta 500-600 g)

Procedimiento

Se pesa un embudo de vidrio + filtro de papel, posteriormente se añade la muestra seca y se vuelve a pesar (con precaución para evitar pérdida de suelo). Se ponen unos 50 g de suelo aprox. Se añade agua destilada en el Erlenmeyer y se coloca el embudo con el suelo objeto de estudio para que sature desde su base por capilaridad. Una vez saturado el suelo (transcurridas unas horas), se deja drenar durante aproximadamente 12 horas. Se pesa y se determina la humedad retenida por la diferencia de pesadas.

$$CHR = (P3 - P2) / (P2 - P1) \times 100$$

Dónde:

- P1: peso del embudo + filtro sin el suelo
- P2: peso del embudo + filtro + suelo antes de saturación
- P3: peso del conjunto tras su drenaje

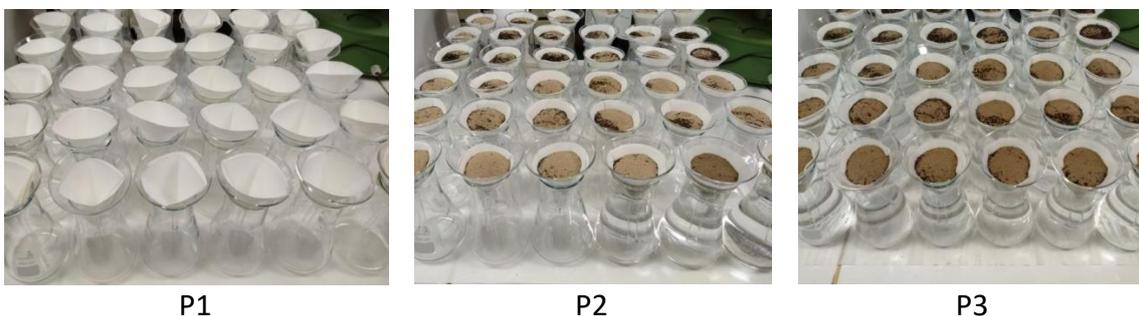


Figura 3.8. Detalle del procedimiento.

Observaciones

No debe dejarse mucho tiempo la muestra drenando o comenzará a secarse y el dato no será representativo. Intentar poner peso similar entre repeticiones.

► CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE

Fundamento

La determinación del carbono orgánico se basa en la oxidación parcial del carbono con dicromato de potasio en medio ácido sulfúrico. El dicromato de potasio que no ha reaccionado se determina por valoración con sulfato de amonio y hierro (II) hexahidrato (sal de Mohr), utilizando ferroína como indicador.

La determinación es precisa solamente cuando se reproducen fielmente las condiciones de la reacción. Si estas cambian en cuanto a calentamiento, concentración de reactivos o tipo de reacción, los resultados pueden variar de forma importante.

Instrumental y reactivos

Agitador magnético; Balanza analítica; Ácido sulfúrico; Ácido fosfórico; Dicromato de potasio; Sulfato de amonio y hierro (II) hexahidrato (sal de Mohr); Ortofenantrolina monohidrato; Sulfato de hierro (II) heptahidrato;

Preparación de disoluciones

-DISOLUCIÓN DE DICROMATO DE POTASIO 1 N

Pesar, con precisión de 0,1 mg, 49,0317 g de dicromato de potasio; $K_2Cr_2O_7$ (secado en estufa a 110 °C durante dos horas), disolver en unos 800 mL de agua desionizada y enrasar a un litro en matraz aforado.



Figura 3.9. Disolución de dicromato de potasio utilizada para valorar el carbono oxidable.

-DISOLUCIÓN DE SAL DE MOHR 0,5 N

Pesar 98,05 g de sulfato de amonio y hierro (II) hexahidrato, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ y disolver en unos 400 mL de agua desionizada que contenga 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, H_2SO_4 . Enrasar a medio litro con agua desionizada en matraz aforado.



Figura 3.10. Disolución de sal de Mohr.

-INDICADOR FERROÍNA

Pesar 1,48 g de ortofenantrolina monohidrato, $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$ y 2,07 g de sulfato de hierro (II) heptahidrato, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; disolver ambos, en unos 80 mL de agua desionizada y enrasar a 100 mL en matraz aforado.

Procedimiento

- 1- Pesar aproximadamente 1 g de muestra e introducirla en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- 2- Añadir 10 mL de disolución de dicromato de potasio 1N y mezclar, imprimiendo al matraz un movimiento de giro.
- 3- A continuación, añadir lentamente, unos 20 mL de ácido sulfúrico concentrado; agitar suavemente para asegurar el contacto íntimo entre los reactivos y la muestra, evitando que se adhieran partículas en las paredes del Erlenmeyer fuera del contacto de la disolución.
- 4- Dejar reposar durante 30 minutos.
- 5- Añadir unos 200 mL de agua desionizada y dejar enfriar.
- 6- Añadir 10 mL de ácido fosfórico concentrado.
- 7- Añadir 4 ó 5 gotas del indicador ferroína.
- 8- Valorar, mediante agitación, con la disolución de sal de Mohr 0,5 N, hasta que el color de la disolución vire de verde a pardo rojizo.

Paralelamente, preparar una determinación en blanco. Introducir en un matraz erlenmeyer de 250 mL, 10 mL de dicromato de potasio 1 N y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado y proceder como se indicó anteriormente.

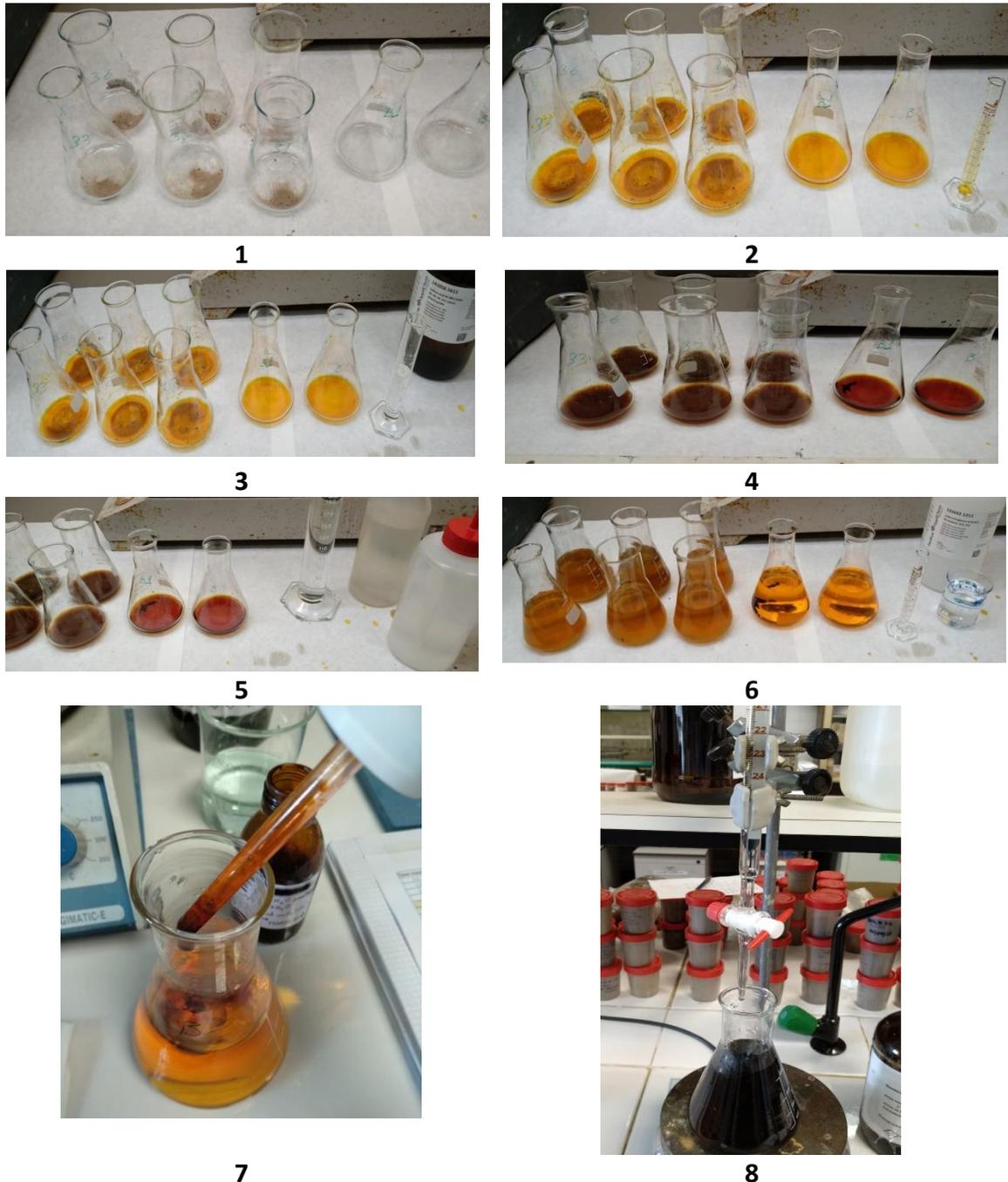


Figura 3.11. Procedimiento de valoración del carbono oxidable.

Cálculo

El contenido de carbono orgánico oxidable (Cox) en una muestra de residuo, expresado en %, se determina mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Cox} = ((V' - V) \times N / P) \times ((P_{\text{eq}} \times C) / 1000) \times 100$$

$$\% \text{ Cox} = ((V' - V) \times N / P) \times 0,3$$

Dónde:

V' = mL de la disolución de sal de Mohr gastado para valorar el blanco.

V = mL de la disolución de sal de Mohr gastado para valorar la muestra.

N = normalidad de la sal de Mohr.

P_{eq} = peso equivalente del carbono.

P = peso, en gramos, de muestra seca.

► ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS

Tamizado en húmedo

Fundamento

La estabilidad en húmedo de agregados se basa en el principio de que los agregados inestables se rompen con mayor facilidad que los agregados estables cuando se sumergen en agua. La fracción estable de agregados del suelo de entre 1 y 2 mm se determina mediante el lavado de dicha fracción con agua y con una disolución dispersante de hexametáfosfato de sodio y comparando la cantidad de suelo que atraviesa el tamiz de 0,250 mm en ambas situaciones.

Instrumental y reactivos

Equipo tamizador en húmedo; Tamices de 1 y 2 mm de luz; Estufa de secado regulable a 105 °C; Balanza analítica; Varilla con la punta de goma; Disolver 2 gramos de hexametáfosfato de sodio en unos 500 ml de agua destilada y enrasar a un litro en matraz aforado.

Procedimiento

Pesar 4 gramos de suelo, seco al aire, sin desagregar y tamizado entre 1 y 2 mm de luz. Para ello, pasar el suelo por el tamiz de 2mm de luz y, a continuación, pasar el suelo que ha pasado este tamiz por el tamiz de 1 mm de luz. La muestra para seguir el procedimiento será la que no ha pasado por el tamiz de 1 mm de luz.

Colocar las muestras en el tamiz del aparato y humedecerlas. Colocar los tamices con el suelo en la placa que los sujeta. Seguidamente colocar en el equipo los vasos, previamente tarados. Bajar la placa que sujeta los tamices a la posición más baja del eje y colocar agua destilada en cantidad suficiente para cubrir el suelo del tamiz, utilizamos para incorporar el agua los orificios que hay en la placa que sujeta los tamices.

Comprobar que el interruptor está en “Off”, conectar el aparato a la red eléctrica y arrancar el motor poniendo el interruptor en la posición 3 minutos, la placa que sujeta los tamices subirá y bajará durante 3 minutos y pasado este tiempo el motor se apaga automáticamente.

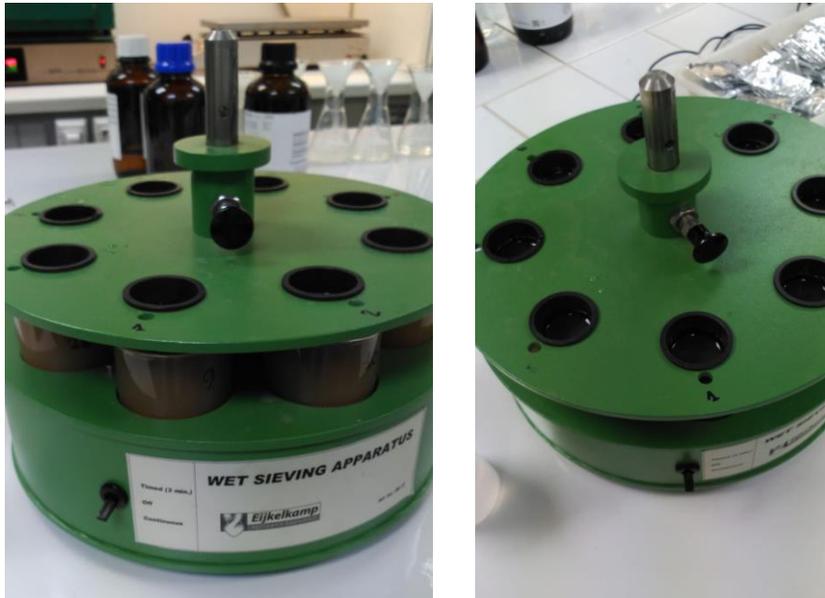


Figura 3.12. Aparato para analizar la estabilidad de agregados.

A continuación, elevar la placa al primer orificio del eje y cuando no gotee más agua de los tamices se sacan los vasos y se sustituyen por otros a los que se adiciona la disolución de hexametáfosfato de sodio (unos 100ml que contendrían 0,02g de la sal). El proceso de adición del hexametáfosfato de sodio es el mismo que con el agua. Bajar la placa que sujeta los tamices a la posición más baja del eje y colocar disolución de hexametáfosfato de sodio en cantidad suficiente para cubrir el suelo del tamiz, utilizamos para incorporar el reactivo los orificios que hay en la placa que sujeta los tamices.

Comprobar que el interruptor está en “Off”, conectar el aparato a la red eléctrica y arrancar el motor poniendo el interruptor en la continuo durante unos 5-8 minutos, si después de este tiempo aún quedan agregados sin dispersar para el aparato y frotarlos con una varilla con la punta de goma hasta que se desintegren y continuar tamizando hasta que los materiales más pequeños se hayan ido de la criba.

A continuación, elevar la placa al primer orificio del eje y cuando no gotee más líquido de los tamices se sacan los vasos.

Finalmente, los vasos del lavado con agua y del lavado con hexametáfosfato de sodio se colocan en estufa a 105 °C hasta la evaporación del agua, pasan a desecador y se pesan.

Cálculo

La estabilidad de agregados de un suelo expresada en %, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Agregados estables (\%)} = (P2/(P1 + P2)) \times 100$$

Dónde:

P1= peso de suelo tamizado y lavado con agua:

Peso de vaso con suelo - Peso de vaso = Peso de la fracción inestable.

P2= Peso de suelo tamizado y lavado con disolución dispersante:

Peso de vaso con suelo - Peso de vaso - 0,2 gramos de sal = Peso de la fracción estable.

El resultado expresa la fracción estable de agregados mayores a 0,250 mm (macroagregados), presentes en la fracción de entre 1 y 2 mm de suelo. Puede aplicarse el ensayo para otras fracciones del suelo.

► pH

La determinación del pH de un suelo se basa en la medida de la diferencia de potencial existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de referencia calomelanos (Hg_2Cl_2 (sat), $\text{KCl}(xF)/\text{Hg}$) sumergidos en una misma disolución. Esta diferencia de potencial es función lineal de la actividad de los iones hidrógeno presentes en la muestra problema a una temperatura dada.

En un suelo tamizado a 2 mm, la medida del pH actual se realiza en la suspensión suelo-agua desionizada con una relación de 1:2,5 (p/v) (M.A.P.A., 1994).

► CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica de un extracto acuoso es la aptitud que presenta éste para transmitir la corriente eléctrica. La conductividad depende de la actividad e iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. Para medir la conductividad se hace uso de un puente de Wheatstone y una célula de conductividad apropiada, comparando a la misma temperatura, la resistencia eléctrica de la muestra y la de una disolución estándar de cloruro potásico.

En un suelo tamizado a 2 mm, la medida de la C.E. se realiza en el extracto acuoso, obtenido por filtración de la suspensión suelo-agua desionizada con una relación 1:5 (p/v), previa agitación de la muestra durante 1 hora (M.A.P.A., 1994).

▶ GRANULOMETRÍA

Se realizó por el método del densímetro Bouyoucos, basándonos en que la densidad de una suspensión depende de la cantidad suspendida, pudiendo evaluar la variación de dicha densidad con el tiempo y relacionarla con la velocidad de deposición y tamaño de las partículas suspendidas (Primo y Carrasco, 1980). Para ello tomamos 50g de suelo seco y destruido la materia orgánica con peróxido de hidrógeno, se procedió a la dispersión de la muestra agitando durante 2 horas con una disolución de hexametáfosfato sódico y posteriormente enrasando a un litro con agua destilada en probeta. Con el densímetro efectuamos lecturas en su escala de flotación a los tiempos de 40 segundos y los 120 minutos, determinado a partir de éstas, el porcentaje de las fracciones de arena, limo y arcilla.

3.4.2. Métodos analíticos en compost y mulching.

▶ Medida del pH

Se mide sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido. La medida se realiza con un pH-metro.

▶ Conductividad eléctrica

Se determina sobre la suspensión acuosa anterior, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro con una célula conductimétrica.

▶ Materia orgánica total

En lodos, se toma como “materia orgánica” la pérdida de peso por calcinación a 540°C, una vez extraídas mediante lavados sucesivos con ácido clorhídrico, sustancias de naturaleza inorgánica presentes en el lodo, tales como sales amónicas, carbonatos, fosfatos, etc. La pérdida de peso se expresa como porcentaje respecto a peso de muestra seca (MAPA, 1994).

En los residuos vegetales y compost, se toma como “materia orgánica” la pérdida de peso por calcinación a 430 °C, durante 24 horas. Se determina según el método de Navarro y col. (1993). La pérdida de peso se expresa como porcentaje respecto a peso de muestra seca.

▶ **Carbono orgánico total**

Medida del dióxido de carbono producido al quemar la muestra a 950°C en un analizador elemental EuroVector EuroEA 3000 (Navarro y col., 1991).

▶ **Nitrógeno total**

Se realiza quemando la muestra a 950°C en un analizador elemental EuroVector EuroEA 3000 (Paredes y col., 1996).

▶ **Mineralización de la muestra**

La finalidad de la mineralización de la uva fue la de obtener un líquido digerido donde poder determinar todos los elementos necesarios para poder realizar una evaluación nutricional del estado de la planta. Para ello se realizó una digestión nítrico-perclórica de las muestras según el método recomendado por Abrisqueta y Romero (1969).

- Reactivos:

Acido nítrico concentrado (d = 1,33)

Acido perclórico 60 %

Acido clorhídrico 0,5 N

- Procedimiento:

En un tubo de digestión de doble enrase de 50 ml se pesa 1 g de muestra con una precisión de 0,0001 g. Se añaden 6 ml de mezcla nítrico-perclórica 2:1 y se deja macerar durante toda la noche. Se calienta a 150°C durante 1 hora y a 210 °C durante 2 horas en bloque digestor. Las paredes y fondo se lavan con HCl 0,5 N hasta llevar el volumen a 50 ml y a continuación se filtra con papel lavado a los ácidos.

► Fósforo total

El fósforo se mide en el extracto de mineralización de la muestra por espectrofotometría UV-V, basada en la formación del complejo fosfomolibdovanadato de color amarillo en medio nítrico y medible a 400 nm (Kitson y Mellon, 1944).

► Elementos totales

El sodio y el potasio se miden por fotometría de llama, en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización. El resto de los elementos se determinan por espectrofotometría de absorción atómica, en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización de las muestras.

3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

A nivel estadístico, se ha aplicado un modelo lineal general (GLM) variante para establecer el efecto de las variables principales sobre la pérdida de agua y otros parámetros de interés.

Se definieron 3 periodos de análisis para poder interpretar los resultados usando como variables principales:

a) Tipo de suelo.

b) Aplicación de enmienda orgánica.

c) Tipo de mulching, aplicando un modelo general lineal multivariante (GLM) para la comparación de resultados, realizando análisis ANOVA en cada escenario específico en función de que los resultados obtenidos en la interacción ternaria y binaria entre variables principales es superior al 95%.

Para estudiar a nivel cinético la pérdida de agua del sistema, durante la primera fase del estudio, se ha realizado una regresión polinomial del tiempo sobre la pérdida de peso y como factor de interacción el tipo de suelo, tipo de enmienda y tipo de mulching. El ajuste de *potencias mayores de x*, como x^2 y su adición al modelo, junto a x , nos permite describir diversos tipos de curvatura en la relación y vs x .

$$\text{Velocidad de pérdida de agua del sistema} = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$$

Donde:

t : es el tiempo, expresado en días

β_0 : término independiente de la función cuadrática

β_1 : pendiente para la t

β_2 : pendiente para la t^2

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPORACION: ESTUDIO CINETICO

Cuando estudiamos la evaporación o pérdida de agua de los sistemas, la cuestión capital a nivel agronómico, además del contenido absoluto de agua disponible a la planta, ej. CRH, es durante cuánto tiempo es retenida en el suelo dicha agua frente a los procesos de evaporación; es decir cuánto tiempo tiene disponible la planta el agua en el suelo.

En este sentido es muy importante conocer el gradiente térmico del suelo y la dependencia de la temperatura del suelo de otros parámetros como la granulometría, la materia orgánica, la cobertura de la superficie del suelo, las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo. Por tanto, independientemente de la naturaleza de los sistemas, necesitamos que las pérdidas por evaporación se dilaten en el tiempo, consiguiendo curvas de evaporación que tengan pendientes suaves que permitan disponer a las plantas de dicha agua útil entre los periodos de riego.

Por todo ello, debemos estudiar la pérdida de agua a nivel cinético (correlacionado con el tiempo) y como las diferentes variables (tipo de suelo, adición de enmienda y tipo de mulching) afectan al proceso de evaporación de agua del suelo.

En este apartado vamos a realizar:

- a) Un análisis global de la pérdida de agua en cada tratamiento
- b) Un análisis de la pérdida de agua en función de cada tipo de variable (suelo/enmienda/mulching)
- c) Una modelización de la cinética de pérdida de agua que permita discutir los resultados obtenidos.

4.1.1. Análisis global de la pérdida de agua en cada tratamiento

En la Figura 4.1, se puede observar de una manera global, la evolución de las pérdidas de peso agua calculadas en g/m^2 asociada a las pérdidas de agua, por evaporación, para los diferentes tipos de suelo. Se representa la variabilidad espacio-temporal del peso a lo largo de la experiencia (0-60 días y posteriormente al simular una lluvia de 20 l/m^2 , desde el día 60 hasta el día 110 del inicio).

Los suelos utilizados se diferencian por su contenido en arcilla y por sus valores basales de materia orgánica. Ambos componentes son responsables de la formación del complejo arcillo-húmico que son la base para la formación de agregados del suelo. Los agregados hacen que el suelo actúe como una esponja, donde el agua se infiltra con mayor facilidad quedando retenida de forma más eficiente. La materia orgánica del suelo aumenta la permeabilidad y la capacidad del suelo para retener el agua, facilita el drenaje al optimizar la porosidad y reduce las pérdidas por evaporación (SEAE, 2008).

Analizando la gráfica de la Figura 4.1, se ven diferentes comportamientos respecto a la pérdida de peso del suelo asociada a la pérdida de agua por evaporación en función de los periodos analizados (0-60 o 61-110 días), del tipo del suelo y del aporte de materia orgánica o no y también, del tipo de mulching incorporado o su ausencia.

Al estudiar el comportamiento de cada tratamiento, existen diferencias entre los diferentes tipos de suelo (ver leyenda de colores). Partiendo de la situación de suelo a la capacidad de campo podemos observar que las pérdidas de peso de suelo, asociadas a la pérdida de agua en forma de vapor, durante el primer periodo de estudio (0-60 días), fueron, en general, mayores para los suelos francos, seguidos de los arcillosos y de los arenosos. Este comportamiento posiblemente fue debido a las diferencias en la cantidad de agua retenida, al inicio del ensayo (en situación de capacidad de campo), por cada tipo de suelo que fue mayor en el suelo franco y arcilloso que en el arenoso, y a la fuerza con que el agua queda retenida en la matriz.

Durante el segundo periodo de estudio (61-110 días) tras aportar la misma cantidad de agua a los suelos de las macetas, simulando un evento de lluvia de 20 l/m², las pérdidas de peso del suelo por evaporación de agua se invirtieron siendo mayores para los suelos arenosos, seguidos de los arcillosos y francos.

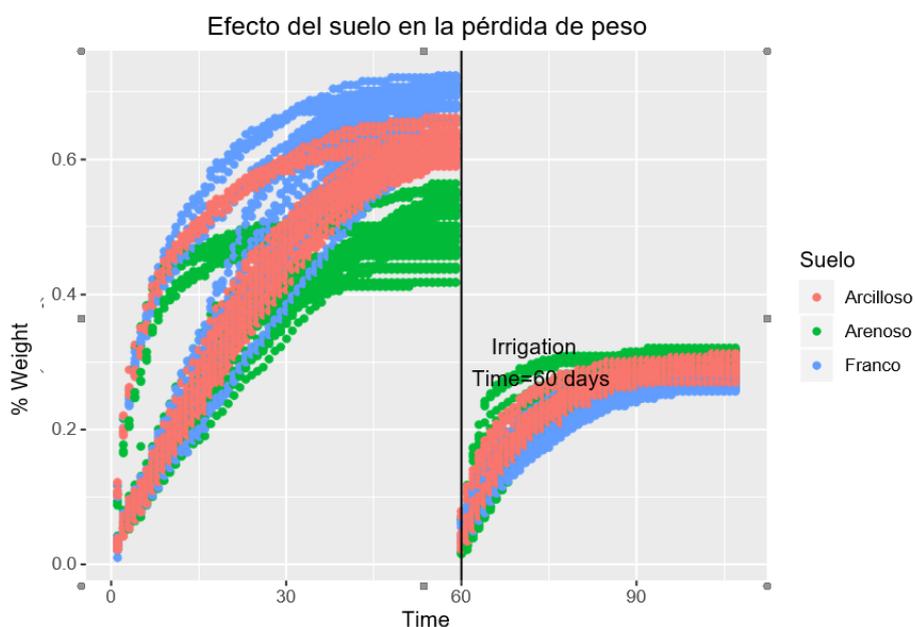


Figura 4.1. Evolución de las pérdidas de peso según el tipo de suelo.

En la Figura 4.2, se pueden observar los diferentes efectos que ocasionan las variables de aporte o no de compost, aporte o no de mulching y tipo de mulching a los diferentes tipos de suelo (ver apartado 3.3).

Para poder analizar las diferencias ocasionadas por las variables en cada tratamiento, se ha estudiado independientemente cada tipo de suelo; analizando cómo afecta el aporte o no de materia orgánica y del tipo mulching o suelo sin mulching.

Es importante destacar que lo más trascendente es analizar la evolución de la disponibilidad del agua en el suelo en el tiempo, no al final de la experiencia ya que en ese instante todas las macetas habrán perdido toda el agua disponible. Estudiaremos de una manera más concreta la cinética del agua en el suelo, para ello analizaremos las diferentes curvas (pérdida de peso-tiempo) y su pendiente.

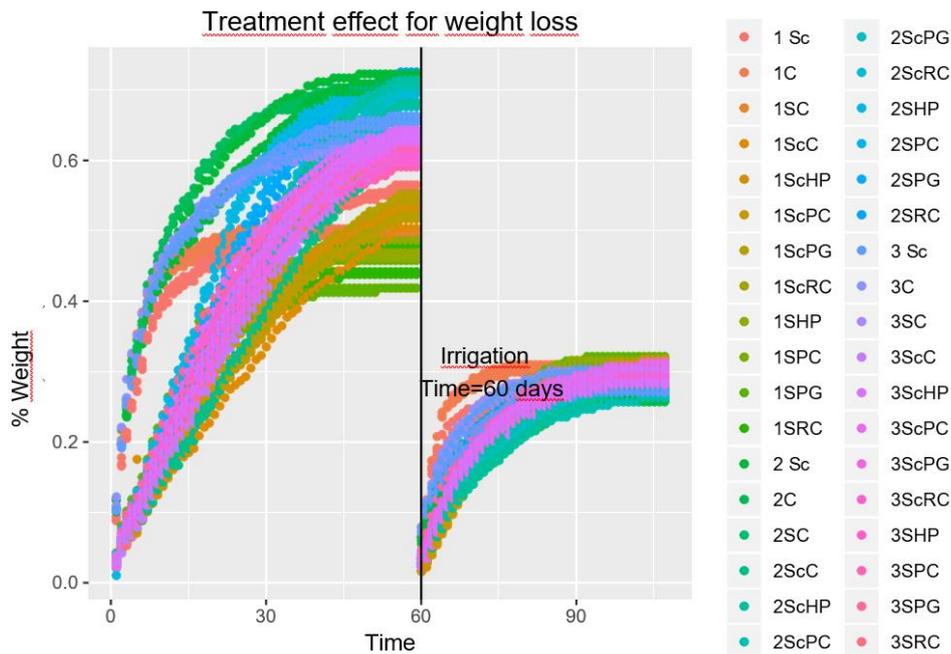


Figura 4.2. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos.

4.1.2. Estudio cinético para suelo arenoso

Centrándonos más en los diferentes tipos de suelo, vamos a ver el efecto de los diferentes tratamientos en el suelo arenoso. En la Figura 4.3, podemos observar que ya se encuentran diferencias entre las diferentes curvas. Si comparamos el suelo desnudo con y sin adición de compost (1Sc y 1C), aunque tienen pendientes similares, el suelo con compost durante los primeros días retiene mejor el agua, disminuyendo su pérdida por evaporación. Además, en la primera fase (0-60 días) se puede apreciar que el suelo arenoso enmendado retuvo (1Sc) más agua que el suelo sin enmendar (1C), experimentando, por ello, una mayor acumulación de pérdida de agua por evaporación, cuando se llevaron hasta desecación. En el periodo de 60-90 días, se aprecia mejor las diferencias en el comportamiento entre ellos, ya que la pendiente

del 1C es mayor que la del suelo 1Sc, confirmando la propiedad de mayor capacidad retención de agua del suelo con compost, como se aprecia durante los primeros 15 días, tras la simulación de un riego de 20 l m⁻².

También podemos apreciar el efecto de los diferentes tipos de mulching sobre los diferentes escenarios. Analizando las pendientes de las curvas se aprecia que son menores con respecto al suelo control (1C), es decir, la pérdida de peso asociada a la pérdida de vapor de agua es más lenta y, por consiguiente, se consigue retener el agua en el suelo durante más tiempo. Por ejemplo, en el día 15, se puede observar que la pérdida de peso asociada al agua evaporada que se produjo en los suelos arenosos con mulching fue aproximadamente el 50% de la que se produjo en los suelos desnudos.

Entre los resultados obtenidos también se observa que no hay grandes diferencias entre los sistemas suelo arenoso+mulching y suelo arenoso+compost+mulching. Estos sistemas con respecto al suelo control ejercen una acción positiva al aumentar la retención del agua.

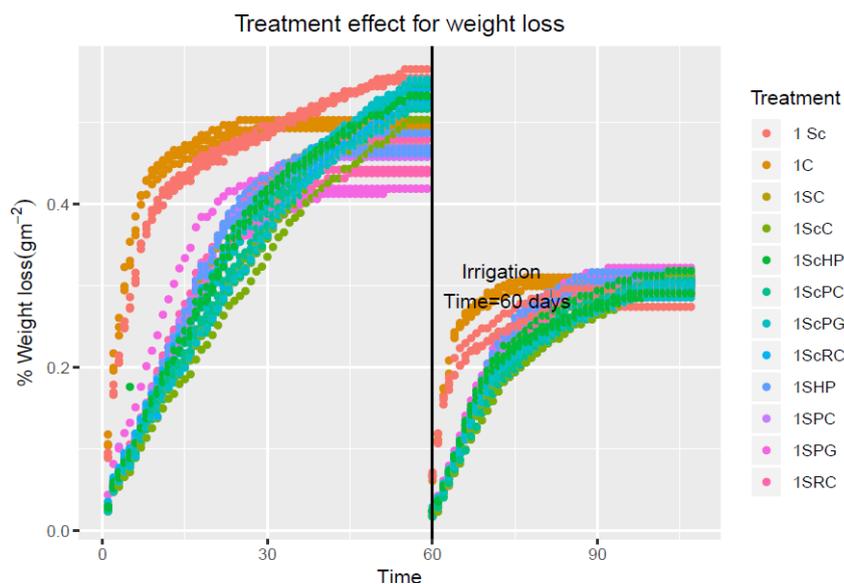


Figura 4.3. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos en los suelos arenosos.

En la Tabla 4.1, se muestran las diferencias de peso medias de los suelos arenosos tras los 30 primeros días de inicio del experimento (periodo similar al transcurrido entre dos riegos consecutivos en regadío tradicional), apreciándose diferencias importantes en el suelo control (1 C) y en el suelo enmendado (1 Sc) con el resto de tratamiento en los que se incorporó el mulching. Luego la incorporación de mulching contribuyó a una disminución de las pérdidas de agua trascurrido los 30 primeros días, observándose también un efecto positivo de la aportación del enmendante en el suelo arenoso con mulching.

Tabla 4.1. Pérdida de peso media en los suelos arenosos a los 30 días de tratamiento.

Tratamiento	Mean	SD	min	Median	Max
1Sc	0,4893	0,0070	0,4823	0,4894	0,4963
1C	0,4959	0,0067	0,4909	0,4933	0,5035
1SC	0,4142	0,0126	0,4016	0,4144	0,4267
1ScC	0,3543	0,0170	0,3358	0,3581	0,3692
1ScHP	0,4119	0,0074	0,4041	0,4128	0,4187
1ScPC	0,3741	0,0136	0,3613	0,3725	0,3885
1ScPG	0,3918	0,0261	0,3632	0,3977	0,4144
1ScRC	0,3942	0,0175	0,3760	0,3957	0,4108
1SHP	0,4208	0,0101	0,4122	0,4142	0,4194
1SPC	0,4125	0,0079	0,4039	0,4142	0,4194
1SPG	0,3971	0,0331	0,3748	0,3812	0,4351
1SRC	0,4094	0,0212	0,3875	0,4109	0,4298

Los sistemas suelo arenoso+enmendante+mulching de caña (1 ScC) y el suelo arenoso+enmendante+mulching de poda de cítrico (1 ScPC) fueron los que menos pérdidas de agua asociadas a la evaporación sufrieron, disminuyendo estas pérdidas respecto al control un 29% y un 25% respectivamente, luego resultaron ser los más conservadores del agua del suelo.

En las Figuras 4.4 y 4.5 se muestran el porcentaje de las pérdidas medias de peso asociadas a la pérdida de agua calculadas en g/m^2 en los distintos tratamientos del suelo arenoso en los dos periodos de estudio. En el primer periodo, Figura 4.4, las mayores pérdidas medias se produjeron en el suelo control (C) y en el suelo enmendado (Sc), frente a los suelos con mulching, luego la incorporación del mulching al suelo contribuyó a disminuir pérdidas medias de agua. En la gráfica también se puede observar que para el suelo arenoso el mulching de caña junto con la enmienda orgánica fue el tratamiento más efectivo, no observándose grandes diferencias entre los otros mulching ensayados.

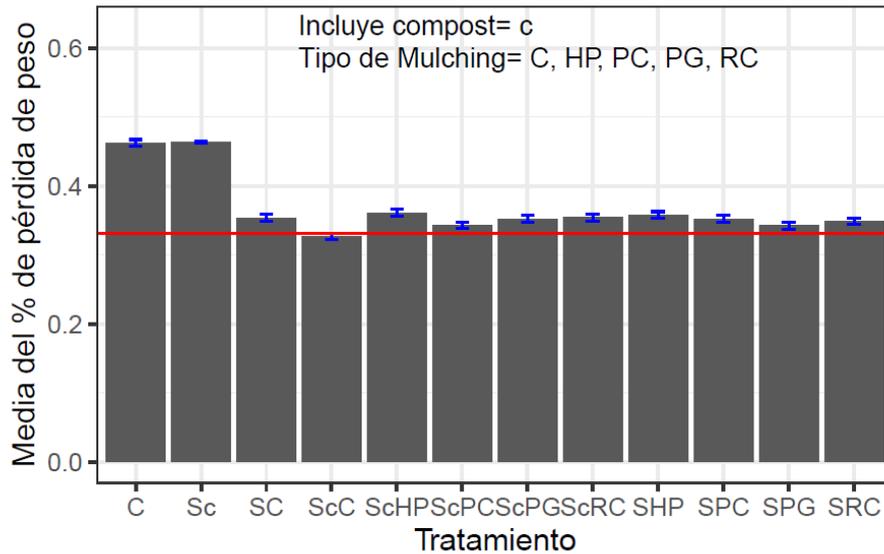


Figura 4.4. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida media de peso del suelo arenoso (0-60 días).

En el segundo periodo (Figura 4.5), las pérdidas medias de peso fueron menores respecto al primero por la menor cantidad de agua aportada al suelo en esta fase y a que el agua añadida permanece en contacto con el mulching en su mayoría y no interaccionaba con la matriz suelo o suelo-enmienda. En este caso el tratamiento control seguido del suelo enmendado, fueron los que mayores pérdidas medias de agua reportaron. También observamos que para el suelo arenoso la incorporación del binomio enmienda y mulching disminuyó el porcentaje de pérdidas medias de peso con respecto a los suelos donde solo se incorporó el mulching.

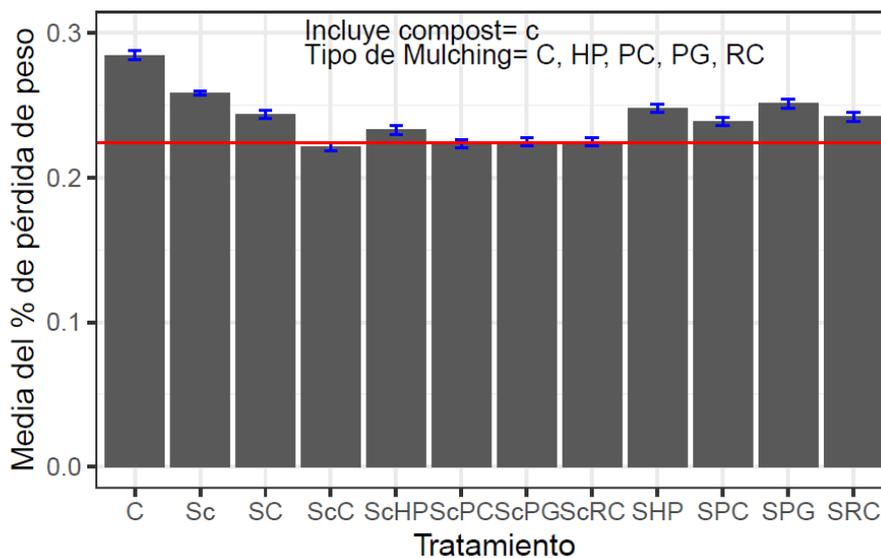


Figura 4.5. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida media de peso del suelo arenoso (61-110 días).

4.1.3. Estudio cinético para suelo franco

En la Figura 4.6, se puede observar como la pérdida de agua en los sistemas ensayados se ralentizó en función de la presencia de mulching y adicionalmente en función de la estrategia combinada de enmienda orgánica y mulching, siendo este efecto más intenso en el primer periodo (etapa entre 0 y 60 días) y para algunos tratamientos significativo incluso a tiempo final de esta etapa. El evento de lluvia indujo efectos similares, pero más atenuados debido potencialmente a que el agua añadida permanece en contacto con el mulching en su mayoría y no interaccionaba con la matriz suelo o suelo-enmienda.

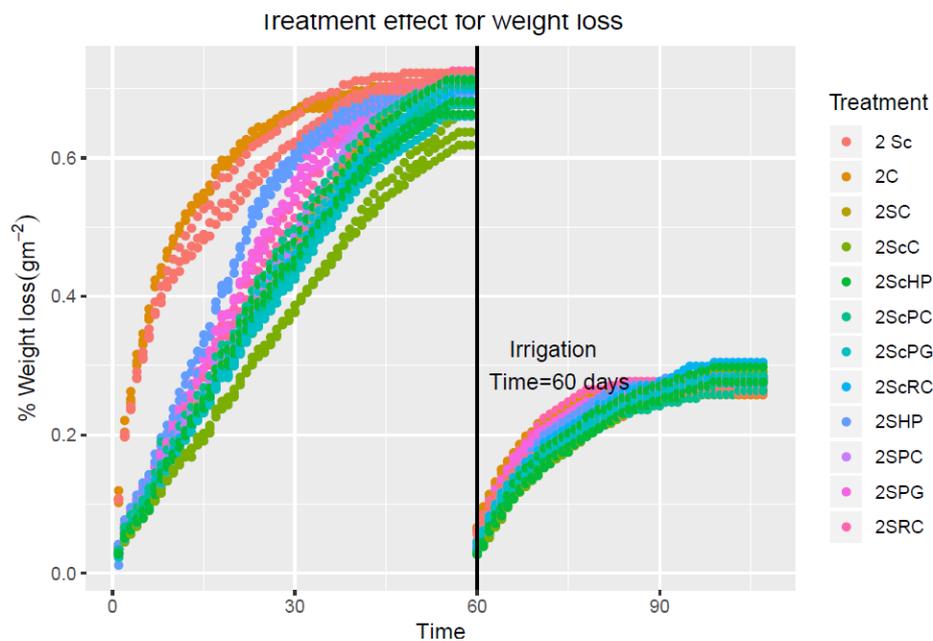


Figura 4.6. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos en los suelos francos.

En la Tabla 4.2, se muestran las diferencias de peso medias de los suelos francos tras los 30 primeros días de inicio del experimento (periodo similar al transcurrido entre dos riegos consecutivos en regadío tradicional), apreciándose diferencias importantes en el suelo control (2 C) y en el suelo enmendado (2 Sc) con el resto de tratamiento en los que se incorporó el mulching. Luego la incorporación de mulching contribuyó a una disminución de las pérdidas medias de agua trascurrido los 30 primeros días, observándose también un efecto positivo de la aportación del enmendante orgánico en el suelo franco con mulching.

Los sistemas suelo franco+compost+mulching de caña (2 ScC) y el suelo franco+compost+ mulching de poda de granado (2 ScPG) y mulching de poda de cítrico (2 ScPC) fueron los que menos pérdidas medias de agua asociadas a la evaporación sufrieron, disminuyendo estas pérdidas respecto al control un 43%, 33% y un 32% respectivamente, luego resultaron ser los más conservadores del agua del suelo.

Tabla 4.2. Pérdida de peso media en los suelos francos a los 30 días de tratamiento.

Tratamiento	Mean	SD	min	Median	Max
2Sc	0,6344	0,0232	0,6190	0,6231	0,6611
2C	0,6630	0,0047	0,6596	0,6611	0,6684
2SC	0,4594	0,0080	0,4525	0,4574	0,4682
2ScC	0,3808	0,0057	0,3765	0,3787	0,3872
2ScHP	0,4582	0,0185	0,4428	0,4532	0,4787
2ScPC	0,4565	0,0359	0,4305	0,4416	0,4975
2ScPG	0,4447	0,0260	0,4248	0,4352	0,4741
2ScRC	0,4498	0,0096	0,4416	0,4472	0,4604
2SHP	0,5986	0,0098	0,5881	0,6000	0,6076
2SPC	0,4808	0,0054	0,4752	0,4812	0,4860
2SPG	0,5555	0,0130	0,5418	0,5571	0,5677
2SRC	0,5026	0,0409	0,4574	0,5133	0,5371

En la Figura 4.7, se muestran los resultados obtenidos respecto a los porcentajes de pérdida media de peso en los distintos tratamientos planteados para el suelo franco en los dos periodos de estudio considerados. En la primera fase, se observa claramente que el tratamiento más eficiente fue el suelo enmendado con compost y con el mulching de tallo de *Arundo donax* (ScC). El sistema control (C) sin incorporar ninguna estrategia de adición de materia orgánica para la conservación del agua sin embargo se situó en valores muy similares al logrado en el sistema enmendado, poniendo de manifiesto que al cabo de los 60 días no existe diferencias significativas asociadas a la enmienda, respecto a la pérdida media de peso. Sin embargo, la mayoría de los mulching ejercieron un efecto positivo en la primera fase que se magnificó por la presencia de un suelo más rico en materia orgánica. Por ello, comparando de forma pareada los tratamientos suelo sin compost (S) y suelo con compost (Sc) para cada mulching, se puede observar una ralentización en la liberación-evaporación media del agua en los medios enmendados. Rico y col (2016) en un estudio sistemático del efecto de pinaza, paja de cereal y hoja de palmera sobre el secado de suelos obtuvo mayor eficiencia para la hoja de palmera, aunque la evaporación en los dos suelos ensayados (franco y franco limoso) fue más intensa que en nuestro ensayo.

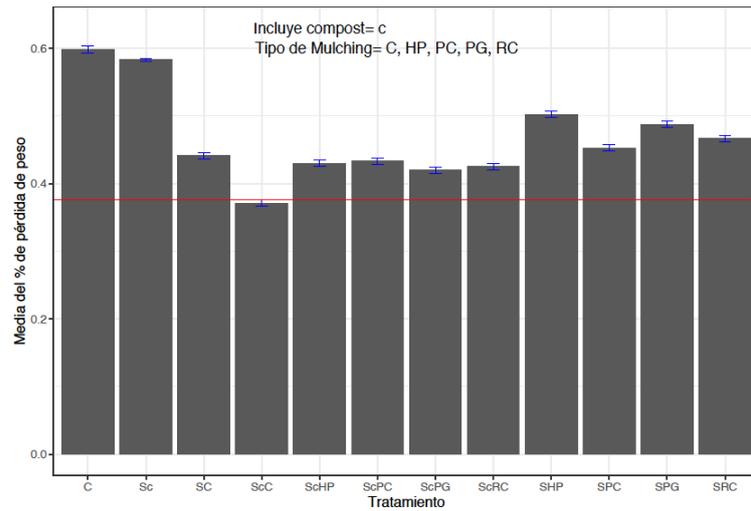


Figura 4.7. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida medias de peso en suelo franco (0-60 días).

Para el segundo periodo de estudio, después del evento de lluvia, las pérdidas medias de peso fueron muchos menores, como consecuencia de que el contenido absoluto de agua fue mucho más bajo (figura 4.8). Adicionalmente, las diferencias obtenidas fueron menores y menos significativas que las obtenidas con el suelo de partida a capacidad de campo, aunque en este caso existieron diferencias asociadas principalmente a la presencia de enmienda orgánica frente a los no enmendados que las asociadas al tipo de mulching empleado.

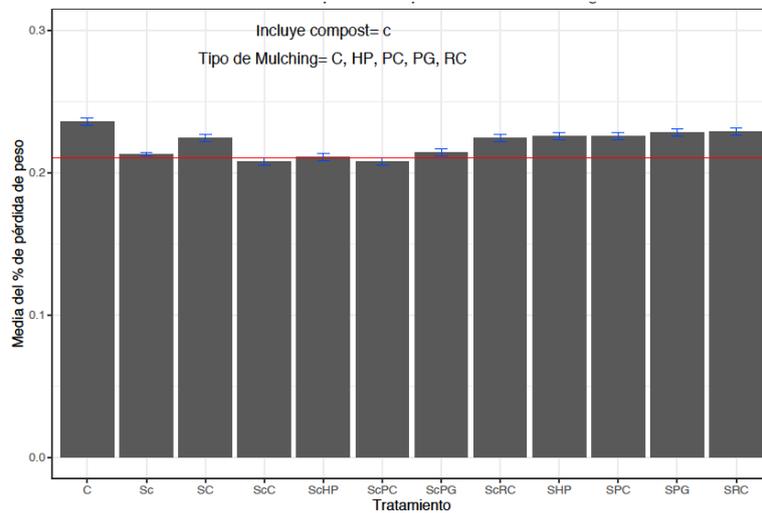


Figura 4.8. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida medias de peso en suelo franco (61-110 días).

4.1.4. Estudio cinético para suelo arcilloso

En la figura 4.9, se puede observar que la pérdida de peso asociada a la pérdida de agua en forma de vapor se frenó en función de la presencia de mulching en este tipo de suelo. Este efecto fue más intenso durante la primera etapa del ensayo de 0 a 60 días, posiblemente debido al menor aporte de agua en la segunda etapa y a que el agua añadida permanece en contacto con el mulching en gran parte sin llegar a interactuar con la matriz del suelo. La estrategia combinada suelo+compost+mulching en los suelos arcillosos tuvo menor influencia que en los suelos arenosos y francos, posiblemente debido a la alta capacidad de retención de agua que presentan las arcillas y su mayor presencia en este tipo de suelo.

A los 15 días se pueden observar diferencias entre las pérdidas de peso en los suelos con mulching independientemente de la presencia de materia orgánica o no respecto a los suelos sin mulching (3C y 3Sc).

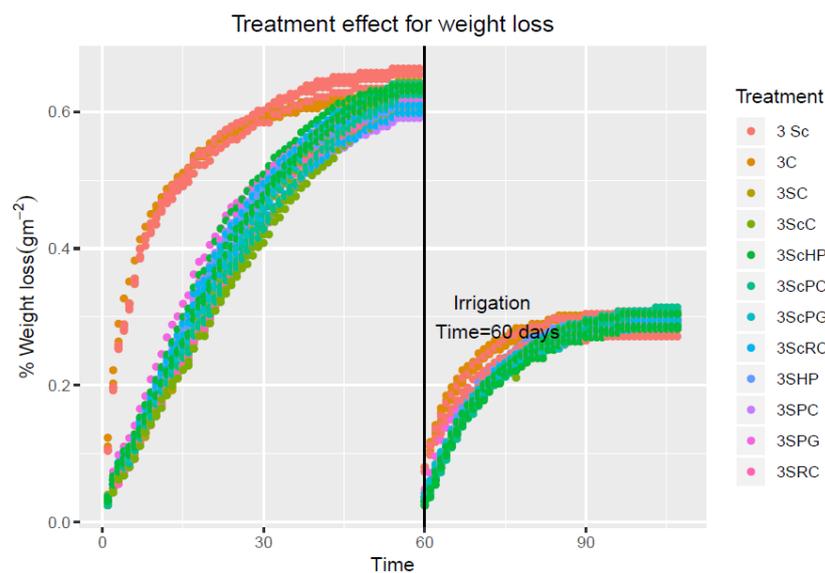


Figura 4.9. Evolución de las pérdidas de peso según los diferentes tratamientos en los suelos arcillosos.

En la Tabla 4.3, se muestran las diferencias de peso medias de los suelos arcillosos tras los 30 primeros días de inicio del experimento (periodo similar al transcurrido entre dos riegos consecutivos en regadío tradicional), apreciándose diferencias importantes en el suelo control (3 C) y en el suelo enmendado (3 Sc) con el resto de tratamiento en los que se incorporó el mulching. Luego la incorporación de mulching contribuyó a una disminución de las pérdidas medias de agua trascurrido los 30 primeros días, observándose también en general, un efecto positivo de la aportación del enmendante orgánico en el suelo arcilloso con mulching.

El mulching que mejor comportamiento mostró respecto a la menor pérdida media de peso fue el de caña (3 ScC y 3SC) y el de poda de cítrico (3 ScPC). Estos tratamientos fueron los más conservadores de agua del suelo, disminuyendo estas pérdidas respecto al control un 28%, 27% y un 26%, respectivamente.

Tabla 4.3. Pérdida de peso media en los suelos arcillosos a los 30 días de tratamiento.

Tratamiento	Mean	SD	min	Median	Max
3Sc	0,5948	0,0093	0,5842	0,5984	0,6017
3C	0,5888	0,0024	0,5861	0,5894	0,5909
3SC	0,4309	0,0018	0,4288	0,4319	0,4319
3ScC	0,4270	0,0228	0,4082	0,4205	0,4524
3ScHP	0,4854	0,0203	0,4700	0,4778	0,5084
3ScPC	0,4367	0,0112	0,4278	0,4329	0,4493
3ScPG	0,4635	0,0078	0,4576	0,4605	0,4723
3ScRC	0,4698	0,0263	0,4423	0,4723	0,4948
3SHP	0,4802	0,0136	0,4650	0,4847	0,4909
3SPC	0,4627	0,0294	0,4308	0,4683	0,4889
3SPG	0,4907	0,0181	0,4700	0,4985	0,5035
3SRC	0,4441	0,0160	0,4257	0,4522	0,4544

En las Figuras 4.10 y 4.11 se muestran las pérdidas medias de peso asociadas a la pérdida de agua por evaporación en los distintos tratamientos del suelo arcilloso en los dos periodos de estudio.

En el primer periodo, Figura 4.10, las mayores pérdidas medias se produjeron en el suelo control (C) y en el suelo enmendado (Sc), frente a los suelos con mulching, luego la incorporación del mulching al suelo contribuyó a disminuir pérdidas de agua. En la gráfica también se puede observar que para el suelo arcilloso no existen diferencias significativas entre el binomio mulching+compost y sólo mulching, así como entre los otros mulching ensayados.

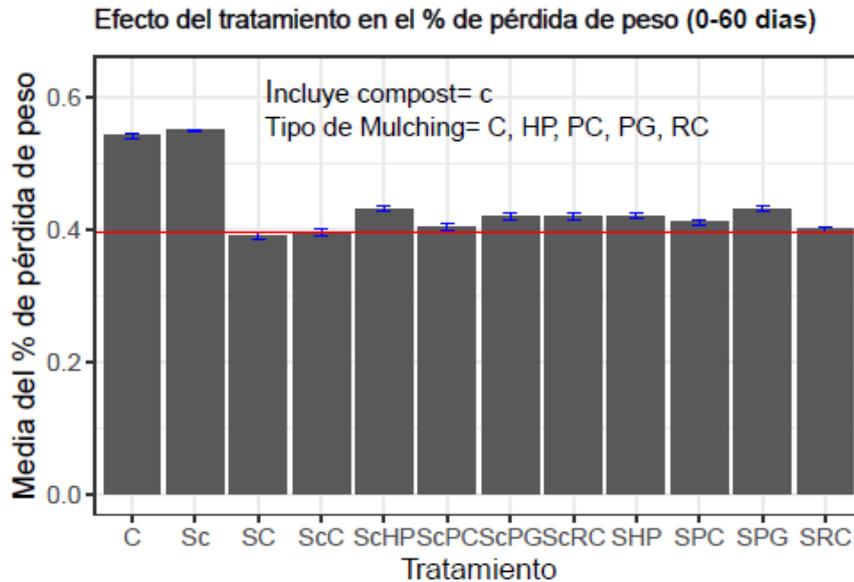


Figura 4.10. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida medias de peso (0-60 días) en el suelo arcilloso.

En el segundo periodo (Figura 4.11), las pérdidas medias fueron menores respecto al primero por la menor cantidad de agua aportada al suelo en esta fase y a que el agua añadida permanece en contacto con el mulching en su mayoría y no interaccionaba con la matriz suelo o suelo-enmienda. En este caso el tratamiento control (3 C) seguido del suelo enmendado (3 Sc), fueron los que mayores pérdidas de agua reportaron, pero las diferencias entre estos tratamientos y el resto no fue tan significativa como en el primer periodo. Para el suelo arcilloso el aporte o no de enmendante con la presencia de mulching disminuye las pérdidas medias de peso, aunque no se observan diferencias significativas respecto al tipo de mulching.

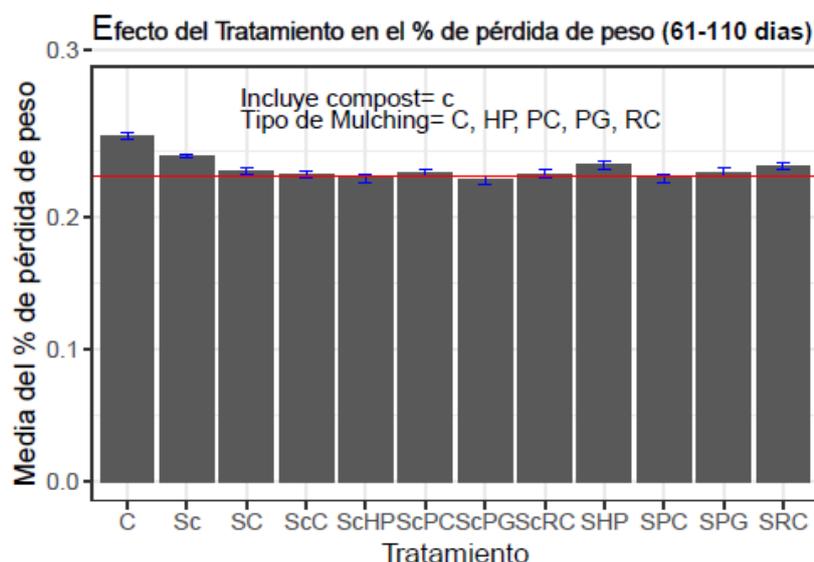


Figura 4.11. Efecto de los tratamientos en el % de pérdida de peso en suelo arcilloso (61-110 días).

4.1.5. Modelización de la pérdida de agua

Para estudiar a nivel cinético la pérdida de agua del sistema, durante la primera fase del estudio, se ha realizado una regresión polinomial del tiempo sobre la pérdida de peso y como factor de interacción el tipo de suelo, tipo de enmienda y tipo de mulching.

El ajuste de potencias mayores de x , como x^2 y su adición al modelo, junto a x , nos permite describir diversos tipos de curvatura en la relación y x .

La velocidad con que el sistema pierde agua estaría relacionada con la pendiente de la ecuación polinomial de segundo grado que se presenta a continuación.

$$\text{Pérdida de agua del sistema} = \beta_0 + \beta_1 t + \beta t^2$$

Donde:

t : es el tiempo, expresado en días

β_0 : término independiente de la función cuadrática

β_1 : pendiente para la t

β : pendiente para la t^2

En el modelo ajustado el valor de β_0 indica la velocidad al inicio, el valor de β_1 es la pendiente para el tiempo (t) y cuanto menor es su valor (la curva está más tumbada) lo que nos indica que la pérdida de agua es más lenta, es decir, se pierde menos agua por unidad de tiempo. El valor de β es la pendiente para t^2 y nos informa sobre la curvatura y de su evolución a lo largo del tiempo. Este valor es más significativo a tiempos más grandes, por estar elevado al cuadrado y cuanto más negativo es más decae la curva al avanzar el tiempo.

A continuación, analizamos los modelos obtenidos en función de las variables estudiadas.

a) Efecto del tipo de suelo

En este apartado analizamos sólo la influencia de la variable tipo de suelo sobre la pérdida de peso con el tiempo, independientemente de la incorporación o no del compost, ni la incorporación o no de los diferentes tipos de mulching ensayados.

En la Tabla 4.4, se observa que la menor pendiente (valor β_1) corresponde al suelo arenoso; indicando una menor velocidad en la pérdida de agua, pero como podemos ver en la Figura 4.12 el suelo arenoso acumuló menos pérdidas de agua, pues su capacidad de retención de agua es la menor de todos los suelos estudiados y su

disponibilidad en el tiempo también fue menor, detectándose que durante los primeros días perdió más cantidad de agua, invirtiéndose esta tendencia con el paso de los días. Teóricamente el valor de la velocidad fue inferior al resto de suelos debido a que el suelo arenoso alcanzó antes el punto de marchitez permanente de los 60 días considerados en el modelo.

Para el suelo franco y el suelo arcilloso las pendientes indicaron una mayor velocidad de pérdida de peso. El suelo franco tiene mayor capacidad de retención y aunque es el que más rápido pierde el agua, es el que más el tiempo tarda en perderla, como se puede apreciar en la Figura 4.12.

Tabla 4.4. Coeficientes del modelo polinomial y evaluación del ajuste del modelo a los datos obtenidos en función del tipo de suelo.

	Arcilloso	Arenoso	Franco
(Intercept)	0,04107*** (0,00422)	0,05487*** (0,00385)	0,03587*** (0,00524)
Tiempo	0,01994*** (0,00032)	0,01688*** (0,00030)	0,02067*** (0,00040)
Tiempo2	-0,00017*** (0,00001)	-0,00016*** (0,00000)	-0,00016*** (0,00001)
R ²	0,88003	0,83616	0,86535
Adj. R ²	0,87991	0,83600	0,86523
Num. obs.	2124	2124	2112
RMSE	0,06257	0,05711	0,07628

***p < 0,001, **p < 0,01, *p < 0,05

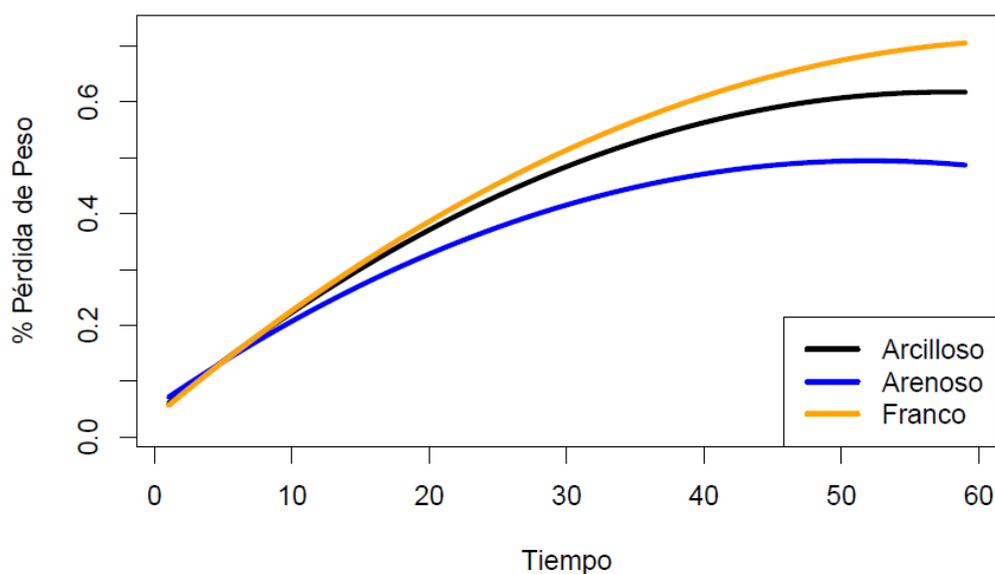


Figura 4.12. Efecto del tipo de suelo en la evolución de la pérdida de peso primera fase del estudio, según el modelo polinomial.

b) Efecto de la enmienda

En este apartado analizamos el efecto de la incorporación o no de la enmienda respecto a la pérdida de peso en el tiempo, sin tener en cuenta el tipo de suelo, ni la incorporación o no de los diferentes tipos de mulching ensayados. Para ello, los tratamientos se han agrupado en:

- ✓ **Control:** suelos sin enmienda y sin mulching.
- ✓ **Suelo:** suelos sin enmienda y con mulching.
- ✓ **Suelo + compost HP 5%:** suelos con enmienda con mulching y suelos con enmienda sin mulching.

En la Tabla 4.5, podemos observar que el suelo control y el suelo enmendado presentan igual valor de β_1 , pero se diferencian en el valor de β_0 y β_2 , influyendo en las diferencias en la velocidad inicial y en su evolución en el tiempo. El suelo control pierde inicialmente más rápido el agua que el resto siendo la velocidad de pérdida más lenta al final. El suelo enmendado pierde menos agua al principio que el control, siendo la evolución de las pérdidas de agua más sostenida en el tiempo.

En la Figura 4.1, se observó una clara diferencia en la evolución del porcentaje de pérdidas de peso entre el suelo control sin mulching y sin enmienda y el resto de los tratamientos. El suelo control sin mulching y sin enmienda generó más porcentajes de pérdidas de peso acumuladas durante el proceso, aunque al final los porcentajes de pérdidas de peso se igualaron ya que los suelos se dejaron hasta desecación.

Tabla 4.5. Coeficientes del modelo polinomial y evaluación del ajuste del modelo a los datos obtenidos en función la presencia de enmienda.

	Control	Suelo	Suelo+Compost
(Intercept)	0,25477*** (0,00968)	0,00202 (0,00403)	0,04331*** (0,00421)
Tiempo	0,01780*** (0,00074)	0,02111*** (0,00031)	0,01780*** (0,00032)
Tiempo ²	-0,00021*** (0,00001)	-0,00019*** (0,00000)	-0,00014*** (0,00001)
R ²	0,66528	0,87137	0,83004
Adj. R ²	0,66401	0,87128	0,82994
Num. obs.	531	2650	3179
RMSE	0,07186	0,06648	0,07591

***p < 0,001, **p < 0,01, *p < 0,05

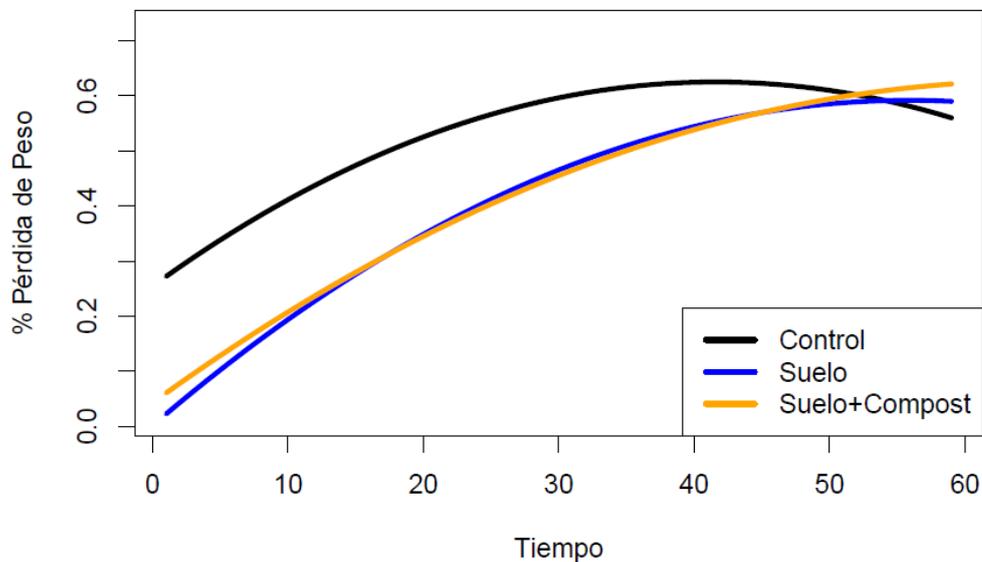


Figura 4.13. Efecto de la enmienda en la evolución de la pérdida de peso en la primera fase del estudio, según el modelo polinomial.

c) Efecto del tipo de mulching

En la Tabla 4.6, se observan los coeficientes del modelo polinomial y evaluación del ajuste del modelo a los datos obtenidos en función del tipo de mulching. La calidad del ajuste según R^2 nos indica que el modelo se adapta bastante bien a los datos obtenidos para cada tipo de mulching, sin embargo, no es tan preciso en el suelo desnudo (nada).

Los suelos con mulching de caña presentaron los menores valores de β y β_1 lo que indica una pérdida de peso por evaporación de agua del suelo más lenta, conservando durante más tiempo el agua del suelo a disposición de la planta.

En la Figura 4.14, se observa que durante la primera fase la cobertura que indujo menores pérdidas de peso acumuladas fue el mulching de caña, aunque al final las pérdidas se igualaron porque los suelos se dejaron hasta desecación, siendo el suelo desnudo el que mayor pérdida de peso sufrió.

Tabla 4.6. Coeficientes del modelo polinomial y evaluación del ajuste del modelo a los datos obtenidos en función del tipo de mulching.

	Nada	(C)	(HP)	(PC)	(PG)	(RC)
(Intercept)	0,23825*** (0,00654)	0,00292 (0,00458)	-0,00094 (0,00577)	0,00479 (0,00525)	0,00720 (0,00612)	0,00819 (0,00538)
Tiempo	0,01793*** (0,00050)	0,01728*** (0,00035)	0,02171*** (0,00044)	0,01884*** (0,00040)	0,02017*** (0,00047)	0,01927*** (0,00041)
Tiempo ²	-0,00020*** (0,00001)	-0,00012*** (0,00001)	-0,00020*** (0,00001)	-0,00014*** (0,00001)	-0,00017*** (0,00001)	-0,00015*** (0,00001)
R ²	0,72110	0,93095	0,89701	0,91383	0,88091	0,90627
Adj. R ²	0,72057	0,92082	0,89681	0,91366	0,88069	0,90609
Num. obs.	1062	1060	1057	1059	1062	1060
RMSE	0,06863	0,04776	0,05956	0,05458	0,06422	0,05614

***p < 0,001, **p < 0,01, *p < 0,05

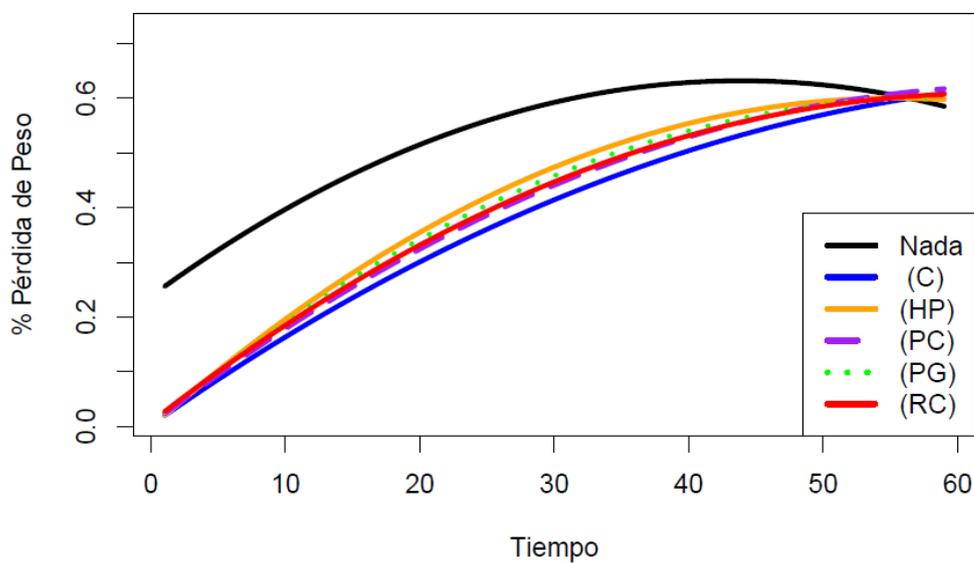


Figura 4.14. Efecto de tipo de mulching en la evolución de la pérdida de peso en la primera fase del estudio, según el modelo polinomial.

4.2. EFECTO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS SOBRE LA EVAPORACION Y OTRAS PROPIEDADES DE INTERÉS

4.2.1. Efecto del tipo de suelo

Los suelos utilizados en este estudio presentan granulometrías distintas (especialmente en lo referente a la existencia de arcilla) y diferentes valores basales de materia orgánica (expresados como COS). Ambos componentes del suelo condicionan de forma muy importante la formación de complejos arcillo-húmicos y por tanto de agregados estables, responsables de muchas de las propiedades hidrofísicas del medio.

La estructura del suelo regula la retención e infiltración de agua, los intercambios gaseosos, la materia orgánica del suelo y la dinámica de los nutrientes, la penetración de las raíces y la susceptibilidad a la erosión (Rabot, et al., 2018). También constituye el hábitat para los organismos del suelo, impulsando su diversidad y regulando su actividad (Elliott y Coleman, 1988). La estructura del suelo está conformada activamente por estos organismos, modificando así la distribución de agua y aire en sus hábitats (Bottinelli et al., 2015; Feeney et al., 2006).

El contenido de carbono de los suelos agrícolas varía considerablemente en función del clima, textura del suelo, drenaje y otros factores físicos (Paustian, K. 2014). La materia orgánica del suelo influye indirectamente en la infiltración y retención del agua del suelo, aunque sus efectos sobre la capacidad de agua disponible del suelo se entienden menos (Celik et al., 2004; Minasny y McBratney, 2018a; Rawls et al., 2003).

En la Figura 4.15 se presenta la evolución y análisis estadístico de la capacidad de retención de agua, los agregados estables, el carbono orgánico y la pérdida de agua del suelo al inicio y al final del experimento.

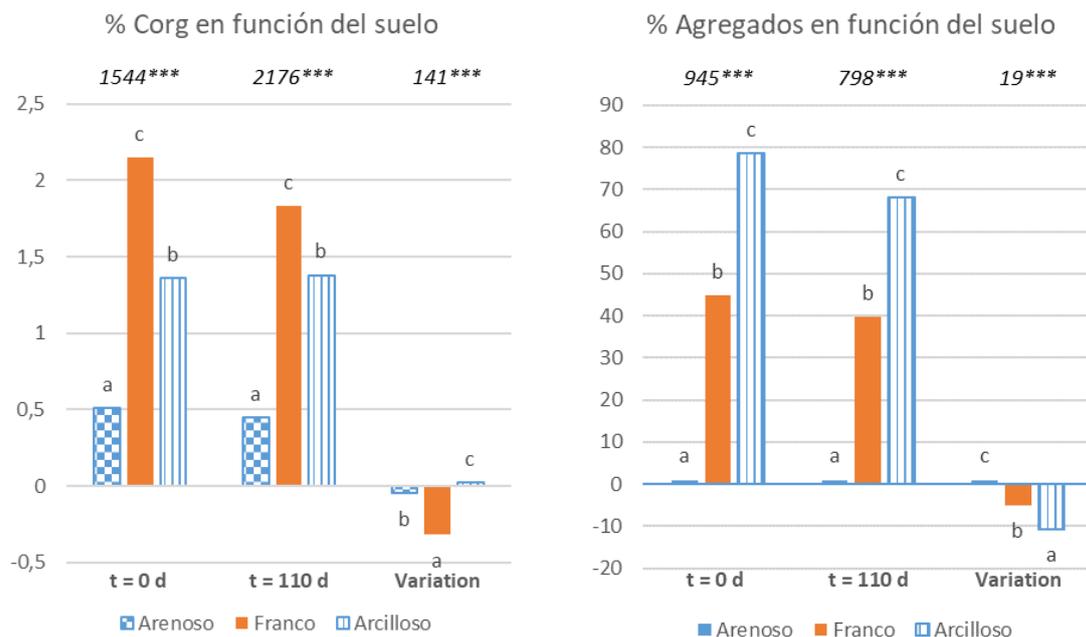
Podemos observar que el contenido medio de carbono orgánico del suelo (COS) inicial es mayor para los suelos franco (2,15%), frente a los arcillosos (1,36%) y los arenosos (0,51%). Tras los tratamientos realizados a los suelos, el contenido de carbono orgánico se reduce en los suelos francos hasta alcanzar un valor medio de COS de 1,83 %, este hecho no se observa para los suelos arcillosos y arenosos que no ven disminuido su contenido en carbono orgánico.

En cuanto los agregados estables los suelos arcillosos mostraron mayores proporciones medias tanto al inicio (78,6%) como al final del experimento (68,0%), aunque su contenido disminuyó al final del experimento. Los suelos arenosos no presentaron agregados estables ni al inicio ni al final del experimento.

La capacidad de retención de agua (CRH) nos indica el agua retenida por la matriz después de eliminada el agua de drenaje (agua retenida en el suelo con potencial

hídrico superior 1/3 de atmósfera o -33 kPa). En nuestro experimento parece existir una mayor CRH en los suelos franco frente los arcilloso, mostrando además una evolución positiva en el tiempo, esto es aumenta su CRH frente a los otros tipos de suelos, a pesar de que la calidad de los agregados fue superior en el suelo arcilloso, este hecho pudo estar relacionado con el mayor contenido en carbono orgánico que mostró el suelo franco. El efecto positivo del carbono orgánico sobre la retención de agua en el suelo ha sido muy estudiado (Rawls et al., 2003 Yang et al., 2014; Williams et al., 2016).

La pérdida media de agua es máxima para los suelos francos, seguido de los arcilloso y arenosos, especialmente en el primer periodo que parte del suelo con un contenido de humedad alto correspondiente a la capacidad de campo de agua y se deja que vaya eliminando agua hasta los 60 días. Estos resultados están en concordancia con la CRH que mostraron los suelos, de forma que los que más capacidad de almacenar agua mostraron, más agua perdieron en el proceso. La lluvia de 20 l/m² inducida a los 61 días genera mayores pérdidas en los suelos arenosos, no existiendo diferencias entre los suelos francos y arcillosos.



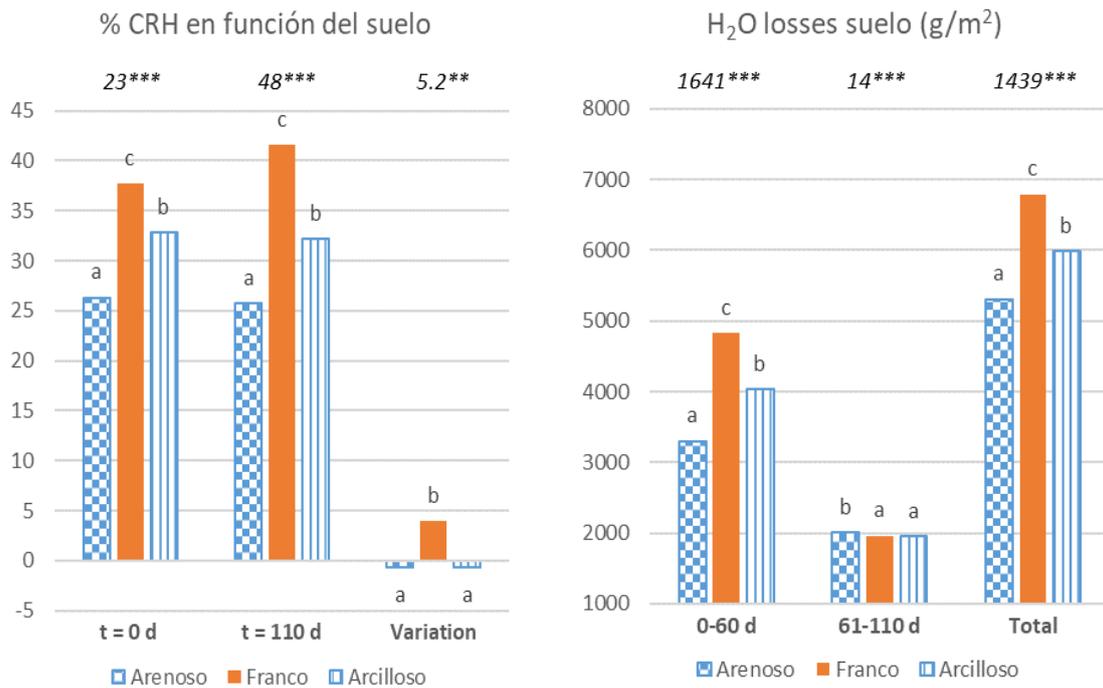


Figura 4.15. Análisis estadístico de la evolución de diferentes propiedades en función del tipo de suelo.

4.2.2. Efecto de la enmienda del suelo

En la Figura 4.16 se muestra el efecto del uso de una enmienda orgánica o no sobre la pérdida de agua de los suelos. Podemos concluir que el uso de un 5% de enmienda vía compost en los suelos genera un aumento en la pérdida de agua en ambos periodos estudiados. Del mismo modo, el uso de enmienda aumenta también el contenido en COS del medio y también aumenta la CRH comparado con los medios sin enmendar. Por todo ello, y considerando que la materia orgánica es capaz de retener más cantidad de agua que las fracciones minerales podemos justificar la mayor pérdida de agua observada en suelos enmendados debido a la mayor presencia de agua en el medio. Importante comentar que la estabilidad de los agregados mejora con la adición de materia orgánica exógena, aunque este aumento no persiste a lo largo del experimento, indicando que la inclusión de materia orgánica exógena no presupone la formación a largo plazo de complejos arcillo-húmicos, pues de hecho desaparece la estabilidad de agregados en breve plazo si no se dan los procesos formadores de agregados de forma adecuada.

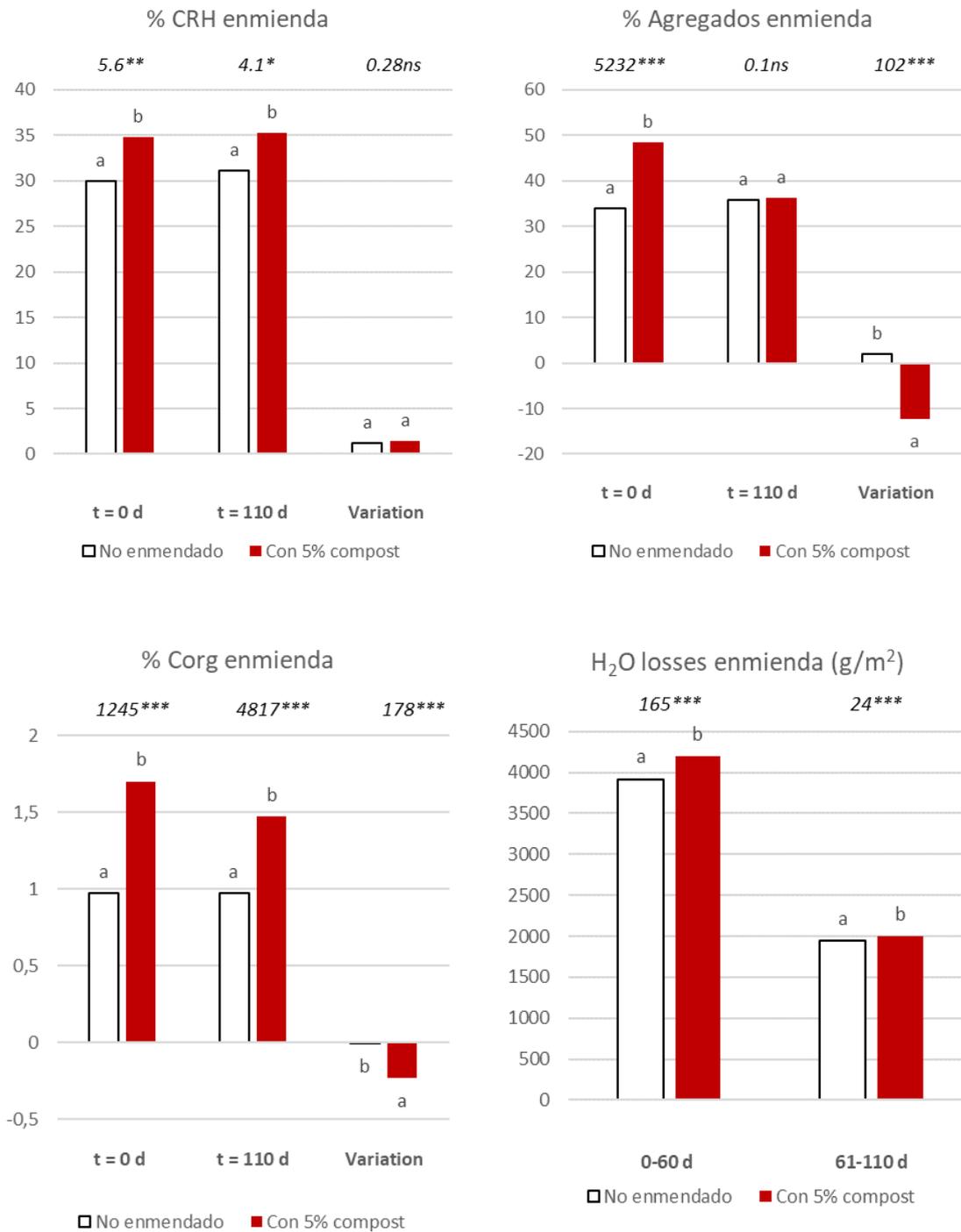
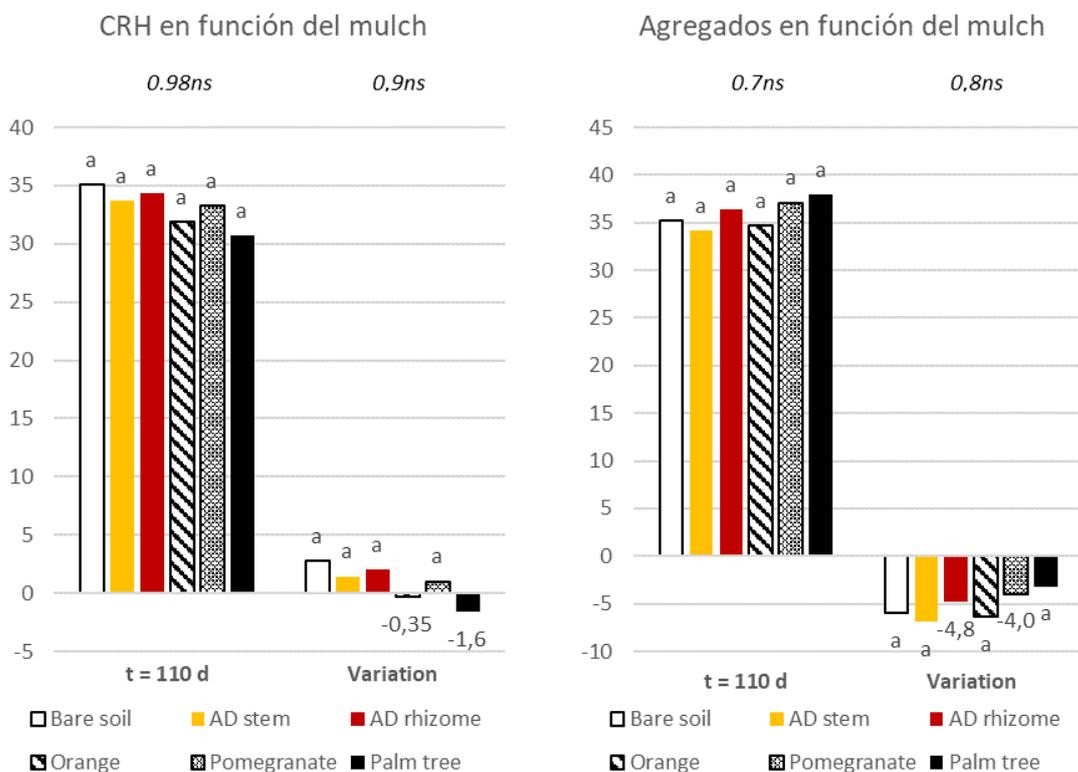


Figura 4.16. Análisis estadístico de la evolución de diferentes propiedades en función del uso o no de enmienda.

4.2.3. Efecto del mulching

La mayoría de los estudios realizados en países de desarrollo como Asia, América Latina y África demuestran efectos positivos en la aplicación de residuos vegetales como mulching en la calidad del suelo, materia orgánica y almacenamiento de carbono, así como en la retención de la humedad, disminución de la erosión (Turmel et al, 2015).

En nuestro ensayo, cuando consideramos la pérdida de agua al cabo de 60 días o 110 días, estamos estudiando el efecto residual de los tratamientos pues éstos sufren una evolución dependiente del tiempo transcurrido. En este sentido, cuando observamos la Figura 4.17, podemos concluir que el uso de mulching produce una pérdida de agua menor frente al suelo desnudo si consideramos el sistema que evoluciona desde la situación de capacidad de campo durante 60 días. Sin embargo, cuando se produce una lluvia artificial, el suelo desnudo pierde menos agua que los suelos con mulching, probablemente debido a que la mayoría del agua de lluvia no penetra en el suelo, sino que moja el mulching, siendo este menos eficiente en su capacidad de retenerla. Como podemos esperar el uso de mulching no influye significativamente sobre el contenido en materia orgánica del suelo subyacente ni en la formación de agregados estables en tanto en cuanto no existe una mezcla de ambas fases.



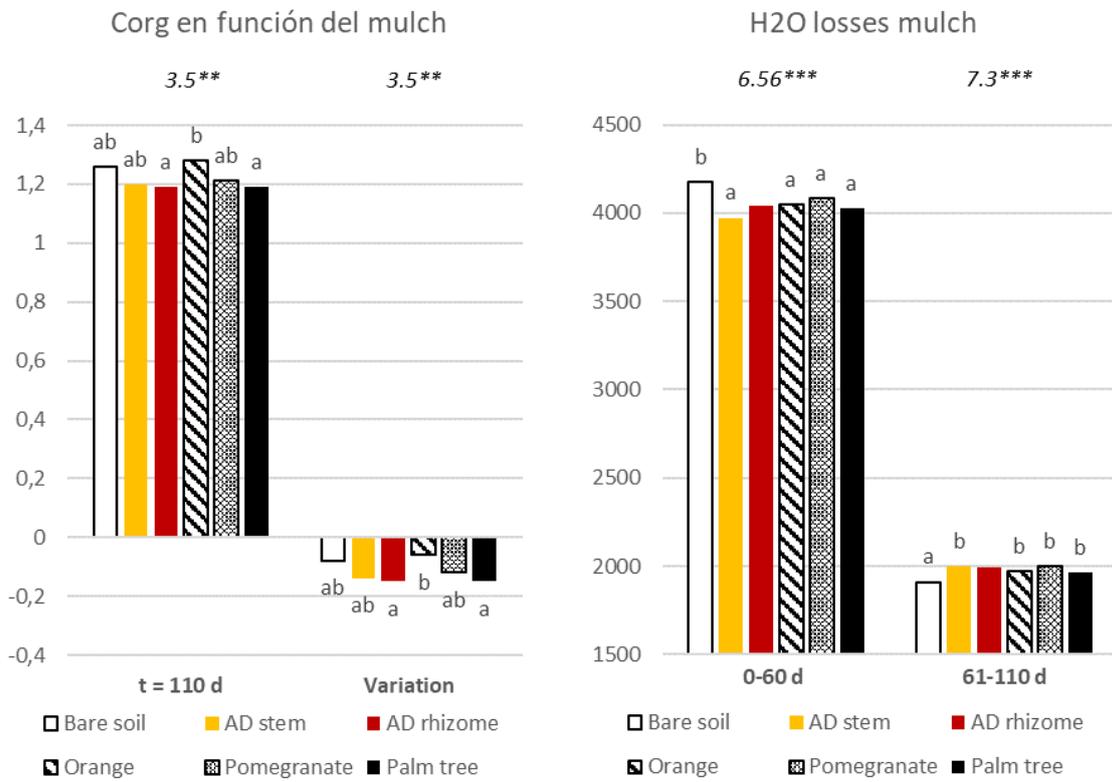


Figura 4.17. Análisis estadístico de la evolución de diferentes propiedades en función del tipo de mulching aplicado.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes de este trabajo son:

- ✓ Las pérdidas de peso de suelo, asociadas a la pérdida de agua en forma de vapor, en el primer periodo de estudio (0-60 días) fueron, en general, mayores para los suelos francos, seguidos de los arcillosos y de los arenosos, posiblemente debido a las diferencias en la cantidad de agua retenida al inicio del ensayo para cada tipo de suelo (en situación de capacidad de campo), que fue mayor en los suelos franco y arcilloso que en el arenoso, y a la fuerza con que el agua queda retenida en la matriz. Sin embargo, en el segundo periodo de estudio (61-110 días) tras el aporte de 20 l/m² de agua, simulando un evento de lluvia, las pérdidas de peso se invirtieron siendo mayores para los suelos arenosos, seguidos de los arcillosos y francos.
- ✓ Para los tres tipos de suelos, la presencia de mulching y la presencia simultánea de mulching y enmendante disminuyeron las pérdidas de peso con respecto a los suelos desnudos, demostrando la efectividad de estas estrategias en el aumento de la disponibilidad potencial de agua para la planta. Las coberturas de mulching de caña común y de poda de cítrico resultaron las más efectivas en la conservación de agua en el suelo.
- ✓ Tras un evento de lluvia simulada de 20 l/m², la estrategia de incorporación de materia orgánica al suelo arenoso y franco resultó efectiva disminuyendo las pérdidas medias respecto al control y sus respectivos tratamientos de solo mulching.
- ✓ La adición de materia orgánica exógena mejoró el contenido en COS del suelo, la CRH y también mejoró la estabilidad de los agregados, aunque este aumento no persistió a lo largo del experimento, indicando que la inclusión de materia orgánica exógena no presupone la formación a largo plazo de complejos arcillo-húmicos.
- ✓ El uso de mulching reduce las pérdidas de agua cuando el sistema evoluciona desde la situación de capacidad de campo durante los primeros 60 días. Sin embargo, cuando se produce la lluvia simulada, se aprecia una menor eficacia del mulching en la capacidad de retención de agua, probablemente debido a que la mayoría del agua de lluvia no penetra en el suelo, sino que humedece el mulching.
- ✓ Aunque se trata de un estudio preliminar respecto a la capacidad de mejora del estado hídrico del suelo, podemos concluir que el aporte de materia orgánica y el uso del mulching mejoran de forma general la retención del agua en el suelo, existiendo pocas diferencias asociadas al material usado como mulching en este experimento, aunque parecen ser más eficientes los obtenidos a partir del tallo de la caña común (*Arundo donax L.*) y poda de cítricos y el menos eficiente la hoja de palmera (*Phoenix dactylifera L.*).

6. Bibliografía

Agencia Europea del Medio Ambiente (1995). El medio ambiente en la Unión Europea 1995. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-827-5263-1-sum/page001.html>

Amigos de la Tierra, 2006. Non a la incineración. Diariu y llugar de confluencia virtual y real de cuantos oponémonos a la instalación d'una planta incineradora de basures en cogersa. Disponible en: <https://noalaincineracion.blogspot.com/2006/05/gases-de-efecto-invernadero-e.html>

Autio W. R., Greene D. W. 1991. Improving the growth of newly planted apple trees. Hort. Sci. 26:840-843.

Bottinelli N., Jouquet P., Capowiez Y., Podwojewski P., Grimaldi M., Peng X. 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? Soil Tillage Res. 146, 118–124. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.01.007>

Bonciarelli F. 1979. Agronomía. Editorial Academia, Juan de Rivera, 13. León (España). pp. 32-43.

Ceccanti B., Masciandaro G., Macci C. 2007. Pyrolysis-gas chromatography to evaluate the organic matter quality in a mulched soil. Soil Tillage Res. 97:71-78.

Celik I., Ortas I., Kilic S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil Tillage Res., 78, pp. 59-67. Disponible en: [10.1016/j.still.2004.02.012](http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.02.012)

Chen L., Sela S., Svoray T., & Assouline S. 2013. The role of soil-surface sealing, microtopography, and vegetation patches in rainfall-runoff processes in semiarid areas. Water Resources Research, 49, 5585– 5599.

CICLOPLAST, 2009. Disponible en:

http://www.cicloplast.com/pdf/evolucion_reciclado_plasticos.pdf

Citrus sinensis L Osbeck. Imagen de restos de poda de cítricos. Disponible en:

<http://www.riberaexpress.es/2014/05/16/un-proyecto-life-transformara-los-restos-de-poda-de-citricos-en-aceite-pensos-y-biomasa/>

CurioSfera, 2018. Historia de la agricultura. Origen, inventor y evolución. Disponible en: <https://www.curiosfera.com/historia-de-la-agricultura/#x1f33e> Origen de la agricultura

Czynczyk A., Mika A., Bielicki P., Krawiec A. 2004. Evaluation of apple cultivars for sustainable fruit production. J. Fruit Ornam. Plant Res. 12:251-256.

Dahiya R., Ingwersen J., Streck T. 2007. The effects of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: experimental findings and modeling. *Soil Tillage Res.* 96:52-63.

Decisión de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo Texto pertinente a efectos del EEE. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2014/955/oj>

Diari digital comarcal, 16 de mayo de 2014. “Un proyecto LIFE transformará los restos de poda de cítricos en aceite, piensos y biomasa”. Disponible en: <http://www.riberaexpress.es/2014/05/16/un-proyecto-life-transformara-los-restos-de-poda-de-citricos-en-aceite-piensos-y-biomasa/>

Díaz F., Jimenez C.C., Tejedor M. 2005. Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation. *Agric. Water Manage.* 74:47-55.

Dong H., Li W., Tang W., Zhang D. 2008. Furrow seeding with plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in a saline field. *Agron. J.* 100:1640-1646.

ECONOMIACIRCULAR, 2015. Paquete de la comisión europea sobre la economía circular. M&B Asociados. Disponible en: <http://www.anfalum.com/actualidad-legislativa/ECONOMIACIRCULAR.pdf>

EcuRed, 2013. Residuo agrícola. Disponible en:

https://www.ecured.cu/Residuo_agr%C3%ADcola#Caracter.C3.ADsticas_de_los_residuos_agr.C3.ADcolas

Elliott E.T., Coleman D.C. 1988. Let the soil work for us. *Ecol. Bull.*, 39, 23-32.

Erenstein O., 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Tillage Res.* 67:115-133.

Feeney D.S., Crawford J.W., Daniell T., Hallett P.D., Nunan N., Ritz K., Rivers M., Young I.M. 2006. Three-dimensional microorganization of the soil-root-microbe system. *Microb. Ecol.* 52, 151–158. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00248-006-9062-8>.

Gimeno T., Bladé C., Kribeche H. y Bautista S. 2004. Tratamientos de rehabilitación post-incendio en áreas sensibles a la degradación del suelo. Fundación Centro de estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). Dpto. Ecología. Universidad de Alicante.

Gutiérrez M., Villa F., Cotrina F., Albalat A., Macua J., Romero J., Sanz J., Uribarri A., Sábada S., Aguado G. y del Castillo J. 2003. Utilización de los plásticos en la horticultura del valle medio del Ebro. Dirección General de Tecnología Agraria. Informaciones Técnicas. España.

Hatfield J.L., Sauer T.J., Prueger J.H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. *Agron. J.* 93:271-280.

Haynes R.J. 1980. Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems* 6:3-30.

Hogue E.J., Neilsen G.H. 1987. Orchard floor vegetation management. *Hortic. Rev.* 9:377-430.

Hydroenvironment, 2019. Acolchado plástico en cultivo de cebolla. [Figura 1.4.]. Disponible en:

https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=product_info&products_id=884

Infante A. 2004. Abonos verdes y mulch. *Chile Agrícola* 29:30-31.

IVIA. "Recomendaciones de salinidad...". Acolchado geotextil en cultivo de granados. [Figura 1.5.]. Disponible en: http://estaciones.ivia.es/recomendaciones_sal.html

John N.W.M. 1987. Geotextiles. Blackie, Glasgow, Chapter 7, pp. 160-177.

Jordán A., Zavala L.M., Gil J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81:77-85.

Labrador J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Mundi-Prensa. 19-26.

Lamont W.J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. *Hort. Technology* 3:35-39.

Macoglass, 2016. Acolchado plástico en cultivo de tomate. [Figura 1.3.]. Disponible en: http://www.macoglass.com/plasticos_agricultura_plasticos_acolchados_cultivos/

Maggilautaro, 2011. Acolchado de Sorgo Granífero en cultivo de soja. [Figura 1.8.]. Disponible en:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soja_en_Siembra_Directa_sobre_rastrojo_de_Sorgo_Gran%C3%ADfero.jpg

Marañés A., Sánchez J.A., de Haro S., Sánchez S.T., Lozano F.J. 1994. Análisis de suelos. Metodología e interpretación. Ed. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Almería.

Martin Ch.A., Ponder H.G., Gilliam Ch.A. 1991. Evaluation of landscape fabrics in suppressing growth of weed species. J. Environ. Hort. 9:38-40.

Mateo G., Crespo M.B. 2009. Manual para la determinación de la flora valenciana. 4ª edición, corregida y ampliada. Monografías de Flora Montiberica nº5. Alicante-Valencia. 269, 330, 401 y 447.

Matheus J., Caracas M., Fernández O. 2007. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (zea mays l). Agricultura Andina 13:27-31.

McCraw D., Motes E.J. 2009. Use of Plastic Mulch and Row Covers in Vegetable Production. Disponible en:

<http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1099>.

Mellouli H.J., Wesemael B., Poesen J., Hartmann R. 2000. Evaporation losses from bare soils as influenced by cultivation techniques in semi-arid regions. Agric. Water Manage. 42:355-369.

Mika A., Krzewińska D., Olszewski T. 1998. Effects of mulches, herbicides and cultivation as orchard groundcover management systems in young apple orchard. J. Fruit Ornam. Plant Res. 6:1-13.

Minasny B. & McBratney A.B. 2018. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. Eur. J. Soil Sci., 69, pp. 155-157. Disponible en: [10.1111/ejss.12526](https://doi.org/10.1111/ejss.12526)

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Catálogo de residuos. Centro de estudios y experimentación de obras públicas (2009). “Consumo aparente de plásticos en España”. Centro español de plásticos. Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/volumen-y-distribucion-/244/consumo-aparente-de-plasticos-en-espana.html>

Moreno J., Pérez Mª D., Moral R., Pérez A., Paredes C. 2003. Manual de técnicas de laboratorio para análisis de aguas, suelos, residuos orgánicos y plantas. Ed. Universidad Miguel Hernández. 507-509.

Moreno J., Moral R. 2008. COMPOSTAJE. Ediciones Mundi-Prensa Madrid-Barcelona-Mexico. Disponible en: http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-003161_i.pdf

Moreno M.M., Moreno A., Mancebo I., Meco R., Lopez J.A. 2004. Comparación de diferentes materiales de acolchado en cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*

Mill.). Actas VI Congreso Sociedad Española Agricultura Ecológica (SEAE), Almería, España. p. 243.

Neilsen G.H., Hogue E.J., Forge T., Neilsen D. 2003. Mulches and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. Hortscience 38:41-45.

Ngouajio M., Ernest J. 2005. Changes in the physical, optical, and thermal properties of polyethylene mulches during double cropping. Hortscience 40:94-97.

Organización Panamericana de la salud 2007. Los residuos verdes como material de origen para elaborar compost. Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/residuosverdes/part1.pdf>

Ogbobe O., Essien K.S., Adebayo A. 1998. A study of biodegradable geotextiles used for erosion control. Geosynth. Int. 5:545-553.

Porta J., López-Acevedo M., Poch R. M. 2013. *Edafología. Uso y protección de suelos.* Ed. Mundi-Prensa. 608 p. 22-24, 213, 215, 218-220, 400-403.

Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona.

Primo E., Carrasco J.M. 1980. Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes. Ed. Alambra, Madrid.

Rabot E., Wiesmeier M., Schlüter S., Vogel H.J. 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. Geoderma 314, 122-137.

Rahman M.J., Uddin M.S., Bagum S.A., Mondol A.T.M.A.I., Zaman M.M. 2006. Effect of mulches on the growth and yield of tomato in the costal area of Bangladesh under rainfed condition. Int. J. Sustain. Crop Prod. 1:6-10.

Rawls W.J., Pachepsky Y.A., Ritchie J.C., Sobecki T.M., Bloodworth H. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. Geoderma, 116 , pp. 61-76. Disponible en: [10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6)

Real Decreto 1481/2001 del 27 de diciembre, 23 de abril de 2013. Por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-1697-consolidado.pdf>

Rico J., Navarro-Pedreño J., Gómez I. 2016. Evaluation of plant waste used as mulch on soil moisture retention. Spanish Journal Soil Science. 6(2), 133-144.

Robinson D. 1988. Mulches and herbicides in ornamental plantings. Hortscience 23:547-552.

Robledano F., Romero A., Belmonte F., Fernández M.A., Martínez C., Sánchez M., Zapata V.M. 2016. Consecuencias del abandono de cultivos en la Región de Murcia y recomendaciones de gestión. En A. Romero Díaz (Coord.) Abandono de cultivos en la Región de Murcia. Consecuencias Ecogeomorfológicas. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia p. 227-263.

Romero-Rodríguez E., Casado G., Hervalejo A., González-Chimeno A.B. y Arenas F.J. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Centro IFAPA Las Torres-Tomejil. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía, 2016. Acolchado con malla en cítricos. [Figura 1.6.]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/157298-Acolchado-o-mulching-en-citricos-ventajas-para-el-cultivo-instalacion-y-manejo.html>

Rozpara E., Grzyb Z.S., Bielicki P. 2008. Influence of various soil maintenance methods in organic orchard on the growth and yielding of sweet cherry trees in the first years after planting. J. Fruit Ornam. Plant Res. 16:17-24.

Sajjadi S. A., & Mahmoodabadi M. 2015. Aggregate breakdown and surface seal development influenced by rain intensity, slope gradient and soil particle size. Solid Earth, 6, 311– 321. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/se-6-311-2015>

Sánchez B. 2016. “Valorización de lodos de depuración de la industria de procesados vegetales mediante co-compostaje con tronco de palmera”. Trabajo fin de grado. Universidad Miguel Hernández de Elche.

Sela S., Svoray T., & Assouline S. 2012. Soil water content variability at the hillslope scale: Impact of surface sealing. Water Resources Research, 48, W03522. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/2011WR011297>

Solé A., Cantón Y. 2005. Mejora de suelos salinos y control de la erosión en zonas áridas. 19.

Smets T., Poesen J. 2009. Impacts of soil tillage on the effectiveness of biological geotextiles in reducing runoff and interrill erosion. Soil Tillage Res. 103:356-363.

Stewart D. 2005. The effect of soil and irrigation management on grapevine performance. PhD Thesis, University of Adelaide, Australia.

Tarara J.M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. Hortscience 35:169-180.

Tesi R. 2000. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y los viverismo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España.

Turney J., Menge J. 1994. Root health: Mulching to control root disease in avocado and citrus. Riverside, California Avocado Society, Inc., California Avocado Commission and Citrus Research Board. 8p.

Vargas M^a del C., Andreu F. J., Fernández L. A., Fernández F. J., García-Morales J. L., Melgar R., Moral R., Moreno J., Suárez F. 2014. DE RESIDUO A RECURSO. El Camino hacia la Sostenibilidad. Red Española de Compostaje. Ed. Mundi-Prensa. 15-39.

Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Spanish Journal Soil Science. 37: 29-38.

Williams A., Hunter M.C., Kammerer M., Kane D.A., Jordan N.R., Mortensen D.A. et al. 2016. Soil water holding capacity mitigates downside risk and volatility in US rainfed maize: time to invest in soil organic matter? PLoS One, 11, e0160974.

Yang F., Zhang G.L., Yang J.L., Li D.C., Zhao Y.G., Liu F. et al. 2014. Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. Journal of Hydrology Part D, 519, 3086– 3093.

Zhang Q.T., Inoue M., Inosako K., Irshad M., Kondo K., Qui G.Y., Wang S.H. 2008. Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of swiss chard salt accumulation under saline irrigation. J. Food Agric. Environ. 3-4:480-485.

Zribi W., Faci J.M., Aragüés R. ITEA 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. Vol. 107 (2), 150-156.