



Utilización de subproductos de la palmera, como acolchado de suelos para evitar la pérdida de humedad.

Grado en Ciencias Ambientales
Facultad de Ciencias Experimentales
Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente
Área de Edafología y Química Agrícola

2014/2015

Tutores: GÓMEZ LUCAS, IGNACIO Y NAVARRO PEDREÑO, JOSÉ

Autor: RICO HERNÁNDEZ, JOSÉ R.

Resumen:

El presente estudio trata de poner en valor como método para reducir la pérdida de humedad del suelo el uso de un tipo de residuo orgánico muy habitual y abundante en nuestra zona, la hoja de palmera datilera (*Phoenix dactylifera*). Este subproducto, una vez triturado, ha sido aplicado a dos tipos de suelos con el fin de determinar a lo largo del tiempo, la humedad que son capaces de retener al contar con la protección del acolchado. Se han analizado, tanto las características fisicoquímicas de los suelos, como las de los materiales elegidos para el análisis comparativo (hoja de palmera triturada, paja y corteza de pino), estableciendo la misma altura de acolchado en todas las muestras, así como el seguimiento de las condiciones de temperatura y humedad. La pérdida de agua, se ha determinado por medición diaria del peso en balanza.

Los resultados demuestran que no hay diferencias estadísticamente significativas entre el uso de hoja de palmera triturada y los otros materiales, por lo que se considera adecuada su utilización como acolchado en zonas como la nuestra, donde el material es tan abundante y las pérdidas de agua por evaporación elevadas.

Palabras clave: palmera, acolchado, suelo, humedad, temperatura y evaporación.

Abstract:

This study tries to value as a method to reduce the loss of soil moisture the use of a type of organic residue very common and abundant in our area, the leaf of date palm (*Phoenix dactylifera*). This byproduct crushed has been applied to two types of soil in order to determine over time, the moisture that are capable to retain with mulching protection. We have analyzed, both the physical and chemical characteristics of soils, such as those of the materials chosen for the comparative analysis (palm leaf crushed, straw and pine bark), establishing the same height as mulching in all samples, as well as the conditions of temperature and humidity were monitored. The loss of water has been determined by daily measurement of weight.

The results show that there are not statistically significant differences between the use of palm leaf crushed and other materials, considered as proper use for mulching in areas such as ours, where the material is so abundant and high evaporative water losses are presented.

Key words: date palm, mulching, soil, moisture, temperature and evaporation.

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores que he tenido durante estos 4 años. Gracias por compartir vuestro saber y por el aliento recibido.

A Ignacio y José, mis tutores, por vuestro apoyo y las facilidades que me habéis dado para llevar adelante este estudio. No perdáis nunca el entusiasmo con que realizáis vuestra labor.

A mis compañeros, por vuestra amistad.

A Ana, por dejarme trabajar a tu lado y aprender de ti.

A **Virtu**, porque a pesar de encontrarme con cíclopes gigantes y escuchar cantos de sirena, siempre has creído en mí. Porque tú eres la “culpable” de que esté donde estoy... y porque has apostado muy fuerte. Gracias por caminar a mi lado.

ÍNDICE

1. Introducción	Página 4
1.1. Importancia del suelo.....	Página 4
1.2. Importancia del agua en el suelo.....	Página 6
1.3. Estrategias de protección.....	Página 8
2. Objetivos	Página 10
3. Materiales y métodos	Página 11
3.1. Localización del ensayo.....	Página 11
3.2. Materiales.....	Página 11
3.3. Preparación de suelos y residuos.....	Página 14
3.4. Caracterización de suelos.....	Página 14
3.5. Caracterización de residuos.....	Página 18
3.6. Preparación de los tratamientos y seguimiento.....	Página 19
3.7. Tratamiento estadístico.....	Página 20
4. Resultados	Página 22
4.1. El agua en las muestras.....	Página 22
4.2. Temperatura y humedad relativa.....	Página 24
5. Discusión	Página 26
6. Conclusiones y proyección futura	Página 35
7. Bibliografía	Página 37
7.1. Normas UNE.....	Página 37
7.2. Bibliografía.....	Página 37
7.3. Recursos de Internet.....	Página 39
8. Anexos	Página 40
8.1. Anexo 1. Figuras.....	Página 40
8.2. Anexo 2. Tablas.....	Página 41

1.INTRODUCCIÓN.

1.1. Importancia del suelo.

La importancia del suelo se recogió en 1972 en la Carta Europea de los Suelos del Consejo de Europa, donde en su primer punto dice: “El suelo es uno de los bienes más preciosos de la humanidad. Permite la vida de los vegetales, animales y del hombre sobre la superficie de la Tierra”. El suelo es el soporte y almacén de sustancias nutritivas, agua y aire, tanto para las plantas como para los organismos que viven en él, por lo que es necesario preservarlo para el idóneo desarrollo de los mismos. En el largo proceso de su formación intervienen el clima, los seres vivos y la roca madre. El ser humano es capaz de modificarlo en periodos de tiempo muy cortos y acelerar los procesos de degradación.

Proteger el suelo es algo que, en determinadas condiciones ambientales, puede llegar a ser crucial para mantener una buena calidad. Estas situaciones deben ser tenidas en cuenta en zonas como el sureste español, donde la escasez de agua y los largos periodos de altas temperaturas son motivo de preocupación en la agricultura. Además, se debe considerar que las prácticas que eviten la desagregación del suelo, aumenten la infiltración y reduzcan la velocidad de circulación del agua en el suelo, contribuyen a reducir la erosión del mismo (Moradi *et al.*, 2015). La aplicación de la técnica del acolchado, permite la disminución de las prácticas de laboreo, lo que contribuye a mejorar la estructura y fertilidad del suelo (Brouder y Gómez-McPherson, 2014).

Los usos intensivos a los que históricamente han sido sometidos los suelos agrícolas, han llevado a una drástica disminución de la materia orgánica presente en ellos, así como a situaciones donde los procesos erosivos se hacen más patentes (Jordan *et al.*, 2010). El carácter calizo de los suelos de la Provincia de Alicante, favorece la pérdida por degradación de la materia orgánica, lo que se traduce en tasas de la misma por debajo del 2% en la mayoría de los casos (Navarro-Pedreño *et al.*, 1995). El uso abusivo de fertilizantes compensa deficiencias nutricionales, de modo que se pueden conseguir mayores rendimientos, pudiendo reducir la calidad de los suelos, desequilibrándolos y degradándolos. Pero el problema asociado que conlleva el exceso de fertilizantes, no ya es solo para el suelo, sino también por su infiltración a las capas freáticas. Un uso racional de los mismos, así como el aporte de materia orgánica de un modo más sostenible sería muy beneficioso para frenar la degradación de los suelos (Díez, 1982, Crovetto, 1999, Navarro y Navarro, 2013). En este sentido,

el acolchado con materiales orgánicos puede favorecer la reducción del uso de fertilizantes.

Preservar unas buenas cualidades de los suelos es fundamental para evitar la disminución de los rendimientos en la producción vegetal, reducir la entrada de insumos agrícolas de origen antrópico y evitar la pérdida tanto de recursos como del propio suelo.

A la hora de pensar en el desarrollo del presente estudio, se debe volver la vista atrás en el tiempo. La técnica del acolchado ha sido utilizada desde antaño, como modo de protección del suelo frente a los elementos, además de mejorar su fertilidad, en el caso de tratarse de acolchados orgánicos (Brouder y Gómez-McPherson, 2014). Actualmente, esta técnica tiene un notable desarrollo en la agricultura intensiva. Por citar un ejemplo, en la Región de Murcia, el 74% del territorio cultivado de la comarca del Valle del Guadalentín (8188 hectáreas) y el 21% del Campo de Cartagena (2335 hectáreas) utilizaban, en 2004, acolchados sintéticos (Contreras *et al.*, 2006).

Son numerosos los beneficios que reporta el uso de acolchados: reduce los procesos erosivos, al disminuir el contacto del aire o el agua con el suelo; intercepta las gotas de lluvia; evita el encostramiento; regula la temperatura y conserva el agua; provoca un aumento de la materia orgánica, en caso de utilizar acolchados orgánicos, aumentando la fertilidad; reduce el desarrollo de hierbas adventicias; disminuye la compactación del suelo y favorece su aireación; amortigua el peso ejercido por la maquinaria; etc. (Haynes, 1980; Tian y Brussaard, 1997; Altieri, 1999; Chalker-Scott, 2007; Jordan *et al.*, 2010; Zribi *et al.*, 2011; Gerardo, 2012; Zribi *et al.*, 2015).

Las desventajas, se relacionan con el aumento de los costes de materiales y mano de obra y la dificultad que puede darse a la hora de realizar ciertos trabajos agrícolas. Se deben tener ciertas precauciones en la elección del residuo a utilizar, ya que se pueden producir cambios indeseables de algún parámetro, como el pH. Un manejo inapropiado también puede acarrear problemas, ya que si el acolchado es demasiado profundo se puede crear un exceso o defecto de humedad en la zona radicular y se pueden producir situaciones de anoxia, por la dificultad creada al aire y agua para penetrar hasta el suelo (González, 2014). Por lo tanto, se debe establecer la cobertura adecuada tanto del tipo de residuo como del espesor utilizado (Nagaya y Lal, 2008).

Los efectos que se pueden observar con el uso de estas técnicas, son tanto físicos, como químicos y biológicos (Haynes, 1980; Cánovas *et al.*, 1993; Tian y Brussaard, 1997; Neilsen *et al.*, 2002; Rees *et al.*, 2002; Jodaugiené, 2010; Aucina *et al.*, 2014; Bajgai *et al.*, 2014; Daraz *et al.*, 2014; Tosic *et al.*, 2014; Kuncheva, 2015).

- ✓ Físicos: control de la erosión, tanto eólica como la que pudiese provocar la lluvia o la escorrentía; regulación de la temperatura, tanto en situaciones de

fuerte insolación como protección frente a heladas; permanencia de la humedad en el suelo, ya que se reduce significativamente la evaporación; control de hierbas adventicias, dificultando su desarrollo; mejoras en la estructura del suelo, ya que el acolchado produce un efecto de mejora por el estímulo de la actividad microbiana y de la fauna edáfica en general.

- ✓ Químicos: Utilizar acolchados orgánicos provoca un aporte de materia orgánica, elementos fertilizantes y aumentos en la capacidad de intercambio catiónico, ya que el acolchado favorece la descomposición de los residuos, así como del humus existente.
- ✓ Biológicos: Con el aporte de materia orgánica aumenta la actividad de los microorganismos así como sus poblaciones, aumentando primeramente el número de bacterias y en etapas posteriores, las poblaciones de hongos. El papel que juega la fauna edáfica es fundamental en las propiedades del suelo, pudiendo condicionar su calidad y su productividad. Acolchar los suelos, mejora las condiciones ambientales de los organismos vivos del suelo.

1.2. Importancia del agua en el suelo.

Centrándonos en el objetivo de este estudio, debemos hablar de la importancia del agua en los suelos y la necesidad de esta para el desarrollo de la vegetación, que condiciona la productividad de los cultivos. Pero no es éste el único motivo de su importancia en el suelo, pues interviene como disolvente, amortiguador de la temperatura, dilatando y debilitando la estructura del suelo, facilitando el movimiento de solutos, etc. El agua es uno de los factores físicos directos que afectan a la productividad de los suelos.

Un uso eficiente del agua que llega al suelo pasa por lograr pérdidas mínimas de agua por escorrentía, drenaje y evaporación, utilizándose la mayor proporción posible en los procesos de transpiración (Ducrocq, 1990; Gonzalo, 2010). Utilizar barreras que reduzcan la velocidad de aire en la superficie del suelo reduce la evaporación, así como aísla esa superficie de la radiación solar, para evitar su calentamiento. Minimizando la evaporación se logra aumentar la reserva de agua en el suelo que puede estar disponible para las plantas.

En un régimen de lluvias irregular, donde tras un largo periodo seco se sucede algún episodio de lluvias torrenciales como es el caso de nuestra zona, es prioritario establecer métodos de aprovechamiento efectivos además de reducir la evaporación, que se minimicen los efectos dañinos de los episodios torrenciales reduciendo la erosión por escorrentía, evitando el encostramiento del suelo y facilitando la infiltración

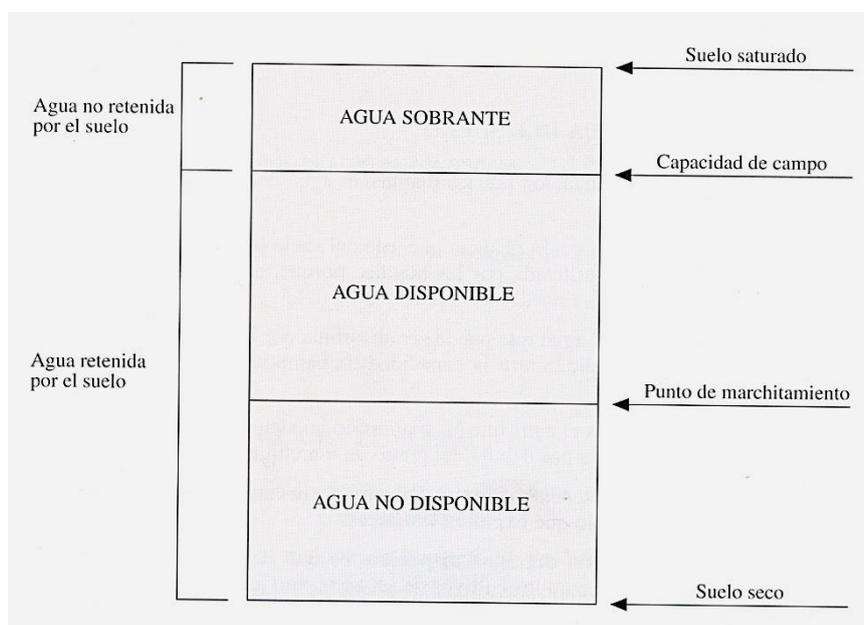
del agua. Las lluvias torrenciales tienen una energía cinética muy alta, lo que conlleva que puedan romperse los agregados del suelo, además de producir escorrentías que arrastren los sólidos, destruyendo su estructura.

El problema de la escasez de agua en muchas zonas del planeta, nos obliga a plantearnos el uso de estrategias que nos lleven a gestionar este recurso de una manera eficiente (Ducrocq, 1990). Uno de los modos de gestión, pasaría por la disminución de las tasas de evaporación. Al utilizar acolchado en los suelos, se logra debilitar la intensidad del impacto de la lluvia sobre el suelo, se favorece la conservación de la humedad sobre el mismo, se facilita su disponibilidad para las plantas, se aumenta la permeabilidad y capacidad de retención y disminuyen los efectos de la erosión y la escorrentía superficial (Moradi *et al.*, 2015; Zribi *et al.*, 2015). Además, se dificulta el desarrollo de maleza, lo que supone reducir la evapotranspiración que éstas producirían (Jordan *et al.*, 2010; Zribi *et al.*, 2011).

En los primeros 5 cm del suelo, la humedad aumenta significativamente bajo una capa de acolchado. Se ha comprobado que cuando se utilizan acolchados permeables, como pueden ser los orgánicos, la tasa de infiltración de agua en el suelo aumenta hasta un 30 %, si lo comparamos con suelos desnudos sin acolchado (Zribi *et al.*, 2011).

En la figura 1 se muestra un esquema de las diferentes clases del agua en el suelo desde el punto de vista de la utilización por las plantas. Se define como “agua disponible” la porción comprendida entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitamiento o Punto de Marchitez Permanente (Fuente, 1997).

Figura 1. Esquema de las clases de agua en el suelo y su utilización por las plantas.



1.3. Estrategias de protección.

Diversos materiales pueden ser utilizados para el acolchado. La paja de cereal, por ejemplo, facilita la aireación y la entrada de agua en el suelo, aunque al ser de descomposición lenta y con bajo contenido en nitrógeno, se considera adecuado añadir al suelo algún tipo de abono complementario. Restos vegetales de huertos y jardines son también una opción, con posibilidad de utilizarlos en casi todo tipo de cultivos de hortalizas (Haynes, 1980; Cánovas *et al.*, 1993). Los “mulch vivos” son muy considerados por su capacidad de aportar nutrientes y mejorar la estructura del suelo, así como la aireación del mismo y el transporte de agua, gracias al sistema radicular de las plantas (Altieri, 1999). Se utilizan también astillas de madera, corteza de pino (muy usada actualmente en jardinería por su estética), arenas, gravas, etc.

Actualmente, se ha extendido el uso masivo de materiales sintéticos, favorecido por el desarrollo de nuevos materiales. El acolchado plástico se viene utilizando desde los años sesenta, siendo el polietileno uno de los polímeros más utilizados. El color del material utilizado depende de las necesidades del cultivo, así como de las condiciones ambientales (el transparente se utiliza para elevar la temperatura del suelo, el blanco para reflejar la radiación y el negro para absorberla). El uso de estos materiales supone un grave problema, tanto a nivel paisajístico, por su lenta degradación, como a nivel ambiental por la contaminación potencial de los suelos, ya que pueden incluir metales pesados en su composición (Zribi *et al.*, 2011). Si añadimos su bajo coste relativo, relacionado con las mejoras de la producción y la fácil mecanización del proceso, es difícil erradicar su uso. Últimamente se están desarrollando dos grandes grupos de acolchados biodegradables: polipropileno con aditivos termo y fotodegradables y copoliéster con o sin almidón, así como otros agrotexiles (Tosic *et al.*, 2014). Estos materiales presentan la ventaja de degradarse en unos seis meses, pero el inconveniente de reponer el acolchado encarece la técnica de cultivo (Berardocco, 2002). A pesar de ello, el desarrollo de nuevos geotexiles, permeables al agua y al CO₂, suponen un beneficio ambiental en comparación con el uso del polietileno (Zribi *et al.*, 2011).

La ventaja que presentan los acolchados orgánicos se basa en su degradación. Esto se traduce en un aporte de materia orgánica al suelo, favoreciendo la actividad de la microfauna del suelo, facilitando hábitats favorables para lombrices, insectos y diversos microorganismos y disminuyendo la compactación del suelo, lo que facilita el movimiento de CO₂ y O₂ y el aumento de la fertilidad (Haynes, 1980; Zribi *et al.*, 2011; Bajgai *et al.*, 2014; Brouder y Gómez-McPherson, 2014). En relación a la temperatura, estos acolchados actúan como aislante de las condiciones ambientales, que pueden reducir el riesgo de heladas y sobrecalentamientos excesivos. Además del potencial

de retención de agua y freno de la evaporación, suponen una pantalla a la fuerza del agua de lluvia, logrando una infiltración muy efectiva y reduciendo la erosión y el encostramiento (Rees *et al.*, 2002; Kuncheva, 2015; Moradi *et al.*, 2015; Zribi *et al.*, 2015).

Si bien el interés por los acolchados orgánicos no forma parte de la agricultura intensiva, es factible pensar en otros campos de actuación, como la agricultura ecológica, la jardinería, la restauración de suelos degradados, etc., donde el interés por la sostenibilidad debe ser primordial (Haynes, 1980; Brouder y McPherson, 2014). El volumen de residuos orgánicos que se producen actualmente es muy elevado y no ponerlos en valor adecuadamente se debe considerar como un mal uso de los recursos.



2. OBJETIVOS.

El objetivo del presente trabajo consiste en la realización de un experimento comparativo entre diferentes residuos vegetales, tales como paja, corteza de pino y principalmente, hoja de palmera triturada, usados como acolchado sobre suelo, con la finalidad de minimizar la evaporación del agua en el suelo (si hay diferencias significativas entre los acolchados utilizados), así como determinar, en la medida de lo posible, la influencia de la temperatura y la humedad relativa en la evaporación en los suelos con acolchado.

Se ha optado por realizar el ensayo sobre dos tipos de suelo y tratar así de determinar si el acolchado afecta de modo diferente a suelos de textura y propiedades distintas, frenando la evaporación.



3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Localización del ensayo.

El lugar donde se ha realizado el experimento, ha sido el invernadero de la UMH, un habitáculo muy apropiado dadas las características que se precisaban de espacio, para el preparado de los suelos y para el posicionamiento de los 32 recipientes y de aislamiento de los factores climáticos exteriores. Una de las mesas de trabajo ha sido utilizada para la colocación de los mismos, favoreciendo así el control diario de los recipientes (fotografía 1).

Entre las ventajas de utilizar estas instalaciones destaca, al estar en un lugar cerrado, que se eliminan las interferencias de fenómenos atmosféricos como la lluvia y el viento, lo que garantiza un correcto seguimiento de la evaporación, asociándola básicamente a la temperatura y a la humedad relativa del interior, discriminando otros factores.



Fotografía 1. Bandejas.



Fotografía 2. Recipiente y malla.

3.2. Materiales.

Los materiales utilizados para la realización de este ensayo, son relativamente sencillos, tanto para su adquisición como para su manejo. Se detallan a continuación sus principales características:

- ✓ Pala. Necesaria para recoger los suelos y depositarlos en los sacos y capazos.
- ✓ Sacos y capazos. Varios de estos elementos han sido necesarios para el traslado de los suelos, desde los lugares de recogida hasta el lugar de ensayo (invernadero de la UMH).

- ✓ Cedazo. Con una luz de malla cuadrada de 0,5 cm de lado, que ha sido utilizado para el tamizado de los suelos, evitando que en las muestras aparezcan fragmentos gruesos o materiales no deseados.
- ✓ Lámina plastificada. De un tamaño aproximado de 18 m², necesario para ir depositando los suelos según van siendo tamizados y poder homogeneizarlos, sobre una superficie amplia y limpia, antes de su introducción en los recipientes.
- ✓ Recipientes. Para llevar adelante el ensayo, se han utilizado 32 cubetas cuadradas de plástico, de una altura de 20 cm, de 27 cm de lado en la base y 31 cm en su parte superior, con un peso de 0,554 ± 0,001 kg. En la base de cada uno de los recipientes se han practicado 5 orificios, de un tamaño menor a 1 cm de diámetro, para permitir el drenado del agua inicial sobrante (agua gravitacional). Se han marcado, para tener una referencia a la hora de añadir los suelos, a una altura que se podría considerar como la capa superficial más afectada por la evaporación (15 cm). Tras pesarlas, se han ido marcando para lograr una correcta identificación y seguimiento de todos los tratamientos (fotografía 2).
- ✓ Malla plástica. Con una luz de malla de 0,5 mm, de un tamaño aproximado de 20x20 cm, que han servido para colocarlos en el fondo de los recipientes, evitando de este modo la pérdida de suelo por los orificios de los mismos. Este material presenta la ventaja de que no absorbe prácticamente nada de agua, con lo que no causará interferencias en el ensayo.
- ✓ Balanza Gram, modelo S3R, con sensibilidad de 0,001 kg, que ha sido utilizada diariamente para el control de las pérdidas por evaporación durante el tiempo que ha durado el proceso, además de utilizarla para determinar la masa de los recipientes y las capas de acolchado (fotografía 3).
- ✓ Sensores de humedad y temperatura (Datalogger LOG 32). Se han dispuesto 2 sensores, que han recogido los datos de temperatura y humedad durante todo el tiempo que ha durado el ensayo, a razón de una medida por hora.
- ✓ Trituradora MTD modelo 465, para el material orgánico del acolchado.



Fotografía 3. Medición y balanza.



Fotografía 4. Corteza de pino.

Los suelos y materiales orgánicos utilizados en este experimento son:

- ✓ Suelo 1. Se han utilizado algo más de 230 kg tamizados, por lo que se recogió una cantidad superior a los 250 kg de este suelo.
- ✓ Suelo 2. De este suelo se ha necesitado aproximadamente la misma cantidad, unos 230 kg de suelo tamizado.
- ✓ Corteza de pino. Este residuo, es de características similares a los utilizados en jardinería, respecto al tamaño y a la especie utilizada (*Pinus halepensis*), muy común y fácil de conseguir. El tamaño de los fragmentos varía entre 2 tamaños: entre los 3,9x1,8 cm los mayores y 1,5x0,9 cm los fragmentos más pequeños. Al aplicar la capa de acolchado, se acoplan bastante bien, homogeneizándose la superficie de un modo bastante aceptable (fotografía 4).
- ✓ Paja. Se ha utilizado paja de cereal (heno), con fragmentos de $9,3 \pm 2,0$ cm de longitud, y un grosor aproximado de 0,2 cm. Ésta cubierta es la que aparentemente, presenta un mayor paso de aire entre los fragmentos, además de ser el más ligero de los residuos (fotografía 5).



Fotografía 5. Paja de cereal.



Fotografía 6. Hoja de palmera triturada.

- ✓ Hoja de palmera triturada. Es un residuo de muy alta disponibilidad en la zona, dada la densidad de palmeras (*Phoenix dactylifera*) en Elche y el elevado volumen de residuos que se producen con su poda. Este es el principal interés del estudio, ya que trata de poner en valor el mencionado material. Es el único residuo que ha necesitado de un tratamiento previo de triturado. Se ha estimado un tamaño medio de los fragmentos de $4,0 \pm 1,6$ cm de longitud, con un grosor menor de 0,1 cm. Dado el pequeño tamaño de los restos, al cubrir los recipientes se logra una capa bastante homogénea, similar a la de la paja de cereal (fotografía 6).

3.3. Preparación de suelos y residuos.

Se ha procedido a tamizar ambos suelos con un cedazo de 5 mm de luz de malla, extendiéndolos sobre una lámina de plástico. Una vez cribados, se ha mezclado, el total de cada uno de ellos, para lograr una correcta homogeneización de los suelos, dejándolos extendidos unos días para que perdieran toda el agua por evaporación.

Los 3 residuos a evaluar fueron esparcidos sobre una lámina de plástico, para que perdieran la que pudieran contener antes de aplicarlos en el ensayo.

Las hojas de palmera proceden de las podas que se hacen en la universidad y se ha utilizado la trituradora ubicada en el invernadero para fragmentarlas. Este es el único residuo que ha necesitado de un tratamiento previo de triturado, ya que tanto los residuos de la corteza de pino como los de paja, tenían un tamaño adecuado para el ensayo.

3.4. Caracterización de suelos.

El hecho de analizar diversos parámetros físico-químicos permite conocer el tipo de suelo. A la hora de la caracterización y análisis de los suelos, se ha seguido el protocolo estandarizado que se utiliza en los laboratorios del Departamento de Agroquímica y Medioambiente de la UMH, basado en las normas internacionales UNE y del M.A.P.A. (actualmente MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

El primer paso fue poner a secar las muestras de suelos en una zona seca y aireada a temperatura ambiente. Una vez secas, se tamizaron las muestras y se recogió en bolsas de plástico, iniciándose los análisis a partir de ese momento. Para minimizar el error experimental se analizaron 3 réplicas de cada muestra.

A continuación se exponen los análisis realizados y la metodología utilizada:

- ✓ **pH.** Se mide, en pH-metro previamente calibrado mediante patrones estandarizados, una suspensión de suelo/agua en proporción 1:2,5 (p/V) (M.A.P.A., 1986).
- ✓ **Conductividad eléctrica (CE).** Se mide en conductímetro, previamente calibrado mediante patrones estandarizados de disoluciones de KCl, de conductividades conocidas, en extracto suelo/agua en proporción 1:5, (p/V), siguiendo el proceso establecido en la norma UNE 77308: 2001. Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica específica.
- ✓ **Textura.** Determinada mediante un densímetro Bouyoucos, que se basa en que la densidad de una suspensión depende de la cantidad suspendida, pudiendo evaluar las variaciones de esa densidad respecto al tiempo y relacionarla con la velocidad de suspensión y el tamaño de las partículas suspendidas (M.A.P.A., 1986)

Primeramente, se deben dispersar los agregados de las partículas destruyendo la materia orgánica del suelo, lo que se consigue al añadir hexametáfosfato sódico y elevando el pH con carbonato sódico. Posteriormente se miden las temperaturas y densidades a los 40 segundos (arcilla y limo) y a las 2 horas (arcilla). Por diferencia, se calcula el contenido en arena. Estos porcentajes se cruzan en el diagrama triangular para determinar la textura, según la clasificación USDA (United States Department of Agriculture) (Ver anexo 8.1, figura 1).

- ✓ **Materia orgánica y contenido de carbono.** La determinación de materia orgánica se basa en la utilización de dicromato potásico en medio sulfúrico como oxidante, valorando el exceso del ácido con sulfato ferroso amónico (sal de Mohr). El carbono orgánico oxidable se determina por retroceso o diferencia entre el dicromato utilizado y el valorado con la sal de Mohr. El contenido de materia orgánica se obtiene indirectamente mediante la consideración de que el 58% de la materia orgánica del suelo es carbono (M.A.P.A., 1986).
- ✓ **Nitrógeno.** Utilizando el método Kjeldahl, para determinar el Nitrógeno total, transformando el N orgánico en N amoniacal y valorando este con ácido clorhídrico (HCl), mediante los procesos de: digestión de la muestra, por vía húmeda en medio sulfúrico; destilación del ión amonio en medio alcalino; y posterior valoración, factorizando con ácido clorhídrico de normalidad conocida (M.A.P.A., 1986).
- ✓ **Relación C/N.** Una vez determinado el contenido de carbono y nitrógeno, se obtiene esta relación de una simple división entre ambos.

- ✓ **Fósforo.** Para determinar el fósforo asimilable en el suelo, utilizamos para extraerlo el método de Burriel y Hernando, metodología muy recomendada por su sensibilidad en suelos calizos con pH alcalinos (Díez, 1982). Tras la extracción, con la disolución Burriel y Hernando (1/20 en peso/volumen), se forma un compuesto que es reducido en presencia de ácido ascórbico, determinando la concentración por colorimetría en el espectrofotómetro visible-UV a una longitud de onda de 825 nm.
- ✓ **Carbonatos.** El contenido en carbonato cálcico equivalente, se ha determinado según la norma UNE-77317, mediante el calcímetro de Bernard. Este método se basa en la reacción de ácido clorhídrico (HCl) al entrar en contacto con el carbonato cálcico (CaCO₃). De la reacción se desprende dióxido de carbono (CO₂), que será lo que utilizemos para valorar la cantidad de carbonatos equivalentes que hay en la muestra, ya que en condiciones de presión y temperatura constante, el volumen de dióxido de carbono producido es proporcional al contenido de carbonatos de la muestra.
- ✓ **Cationes de cambio** (Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺). Para conocer la concentración de estos macronutrientes, se realiza una extracción con acetato amónico y tras el filtrado, se determinan mediante espectrometría de absorción atómica con llama de nitroso/acetileno para Ca y llama de acetileno/aire para el Mg y espectrometría de emisión atómica con llama de acetileno/aire para Na y K (MAPA, 1986). Si se prevé que las concentraciones de macronutrientes sean altas, se prepararán diluciones previas.
- ✓ **Micronutrientes** (Cu, Fe, Mn y Zn). Para determinar la concentración de estos micronutrientes, se extraen con DTPA 0,005N y tras 2h de agitación y posterior filtrado, siguiendo lo especificado en la norma UNE-77315, los contenidos disponibles de los metales se determinan mediante espectrometría de absorción atómica con llama de acetileno/aire.

Tras los análisis de los resultados, se ha determinado para los suelos, que desde el punto de vista agronómico:

- ✓ El pH de ambas muestras es moderadamente básico.
- ✓ La CE es alta. En ambos casos los suelos presentan un alto contenido en sales.
- ✓ Dados los porcentajes de arena, limo y arcilla observados y según la clasificación USDA, el suelo 1 presenta una textura franca con un alto porcentaje de arena, mientras que en el 2 la textura es franco-limosa.

Tabla 1. Resultados de la caracterización y análisis de los suelos.

	Suelo 1	Suelo 2
Arcilla (%)	21	21
Limo (%)	30	68
Arena (%)	49	11
Textura	franco	franco-limoso
pH	8,4	8,0
CE (mS/cm)	1,18	2,23
Na (g/kg)	0,61	0,31
K (g/kg)	3,66	7,58
Ca (g/kg)	0,12	0,28
Mg (g/kg)	0,32	0,43
Cu (ppm)	0,31	0,48
Fe (ppm)	0,53	0,44
Mn (ppm)	1,68	0,26
Zn (ppm)	0,36	0,28
P (%)	0,55	0,20
M.O. ox. (%)	0,50	0,30
C (%)	0,29	0,17
g C / kg suelo	2,90	1,74
N (%)	0,02	0,03
g N / kg suelo	0,22	0,30
Relación C/N	13,18	5,80
Carbonatos (%)	70	52

- ✓ El contenido en materia orgánica es muy bajo, llegando a aparecer de forma residual en el suelo 2. De manera similar, la concentración de carbono es baja en el suelo 1 y aparece de modo residual en el suelo 2.
- ✓ La concentración de nitrógeno es muy baja en ambos suelos.
- ✓ La relación óptima C/N para suelos agrícolas se establece en 10-12 y tal y como se observa en nuestros resultados, el suelo 1 cumple este requisito, no así el suelo 2, que presenta una peor relación C/N, lo que supone una calidad edáfica inferior.
- ✓ La concentración de fósforo es muy baja en ambos suelos.
- ✓ La presencia de carbonato cálcico equivalente es muy alta en ambos suelos, destacando especialmente el suelo más arenoso (suelo 1).
- ✓ En referencia a la concentración de macronutrientes: los niveles de potasio y magnesio están dentro de los habituales en estos suelos; la concentración de calcio extraíble es más elevada en el suelo 2; la concentración de sodio

presenta unos niveles por encima de lo deseable en ambos suelos desde el punto de vista agronómico.

- ✓ Sobre los datos obtenidos de los micronutrientes: las concentraciones de hierro y zinc son más bajas de lo habitual; la concentración de manganeso es mejor en el suelo 1 y con valores bastante menores en el suelo 2; la concentración de cobre está dentro de niveles usuales en este tipo de suelos.

A la vista de los resultados (tabla 1), los suelos no destacan por su calidad agronómica, presentando los problemas típicos del área mediterránea, en relación al bajo contenido en materia orgánica, la elevada salinidad y en general, la descompensación en los niveles de algunos elementos nutritivos.

3.5. Caracterización de residuos.

A la hora de preparar las muestras de los residuos, se procedió a extenderlas de modo similar a los suelos, para posteriormente triturarlos y dejarlos en condiciones de analizarlos. Siguiendo la metodología de las normas UNE-EN-ISO 13000, Mejoradores del suelo y sustratos de cultivo, se han determinado los siguientes parámetros:

- ✓ **Densidad aparente** (ρ_{ap}). Se ha determinado la densidad aparente de los materiales, según las directrices de la norma UNE-EN 13040, mediante compresión de una masa conocida de la muestra en un cilindro de volumen conocido.
- ✓ **Conductividad Eléctrica** (CE). Según la norma UNE-EN 13038, se ha medido la conductividad de un extracto en agua destilada 1/5 (V/V).
- ✓ **Materia orgánica y porcentaje de ceniza**. Se han determinado según la norma UNE-EN13039. El contenido en cenizas, se ha determinado mediante la calcinación de las muestras en el horno Mufla, a 450°C. Como materia orgánica se toma la pérdida de masa por ignición. Ambas se expresan como porcentaje en peso seco de la muestra.

Los resultados obtenidos tras la caracterización y análisis se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los análisis de los residuos.

	Corteza de pino	Paja	Hoja de palmera
Densidad (g/cm³)	0,25	0,07	0,12
CE (mS/cm)	0,474	0,788	2,28
Materia orgánica (%)	94,5	94,8	93,2
Contenido cenizas (%)	5,5	5,2	6,8

Los resultados muestran contenidos de materia orgánica e inorgánica similares en todas las muestras. La densidad de las muestras explica la diferencia de peso de las mismas utilizado en el ensayo, siendo la de la corteza de pino el doble que la de hoja de palmera y esta última, el doble que la paja. El contenido en sales, relacionado con la CE, es muy alto en la hoja de palmera, siendo más baja en los otros materiales.

3.6. Preparación de los tratamientos y seguimiento.

Tras tamizar los suelos con un cedazo de 5 mm de luz, se homogeneizaron sobre la lámina de plástico y se dejaron secar un par de días. Tras ese tiempo, se introdujeron en los recipientes, hasta una altura de 15 cm, que se corresponde con la capa superficial del suelo arable. Una vez pesadas las bandejas con el suelo, se procedió a saturarlas de agua en exceso, dejándolas drenar durante 24h, para llevar los suelos a su capacidad de campo. El objetivo es determinar el tiempo que las muestras tardan, partiendo de la capacidad de campo, en perder el agua disponible para las plantas.

Después de volver a pesarlas, tras 24 h de drenaje libre, se depositó sobre los suelos una capa de acolchado de 2 cm de altura, para después volver a pesarlos y determinar así la masa de acolchado empleado. Este momento es el estimado como tiempo 0 para el inicio de la recogida de los datos. Los datos iniciales son los mostrados en la tabla 1 del anexo 8.2, los datos medios de las pérdidas diarias de agua se recogen en la tabla 2 del anexo 8.2 y los datos diarios de cantidad (en gramos y porcentaje) del agua presente en los suelos se detallan en el anexo 8.2, tablas 3 y 4.

Se han utilizado 4 réplicas de cada tratamiento y para cada uno de suelos se han preparado los siguientes tratamientos: 4 muestras control sin cobertura de acolchado, 4 muestras con cobertura de corteza de pino, 4 muestras con cobertura de paja y 4 muestras con cobertura de hoja de palmera triturada. En total se analizaron 8 tratamientos combinando los distintos elementos que intervienen en el ensayo (tabla 3).

Tabla 3. Tratamientos.

	Tratamientos			
Suelo 1	Corteza de pino	Paja	Hoja de palmera	Control
Suelo 2	Corteza de pino	Paja	Hoja de palmera	Control

Las bandejas se distribuyeron aleatoriamente sobre la mesa del invernadero, de modo que no se vieran afectadas por su posición y las diferentes réplicas no fueran colindantes entre ellas.

El seguimiento y control de peso se ha realizado diariamente, durante los 95 días que ha durado el ensayo. Se ha procurado que las pesadas se realizaran siempre a la misma hora, desplazándonos para ello al invernadero, entre las 8 y las 9 de la mañana diariamente. Con esto se han conseguido intervalos de tiempo prácticamente iguales entre medidas, con determinaciones cada 24 h.

Las temperaturas y la humedad relativa se han recogido automáticamente cada hora durante los 95 días de ensayo, por medio de los sensores colocados a 1 m de altura sobre las muestras.

3.7. Tratamiento estadístico.

Primeramente, se han utilizado los datos obtenidos para representar gráficamente la tendencia en el tiempo de la disminución del agua, como modo de comparar los ritmos de evaporación de los diferentes acolchados en los 2 suelos, utilizando para ello los datos de las medias de las 4 réplicas, en cada caso (ver anexo 8.2, tabla 3).

Para poder determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos al finalizar el ensayo, se ha procedido a realizar el análisis de varianza de un factor (ANOVA), con las siguientes hipótesis:

- ✓ Hipótesis nula: el promedio de pérdida de agua en los 4 grupos es igual, con un 99 % de confianza.
- ✓ Hipótesis alternativa: en al menos un grupo, el promedio de la pérdida de agua es distinto, con un 99 % de confianza.

Tras realizar la prueba ANOVA y rechazar la hipótesis nula, se ha realizado la prueba o test de Tukey, lo que nos permitirá conocer cuál es el grupo o grupos que presenta diferencias estadísticamente significativas, en relación a la pérdida de agua por evaporación, entre todos los grupos.

Se han analizado los datos referentes al porcentaje de agua (equivale a expresar: g agua / 100 g suelo seco) en los dos tipos de suelos, con el fin de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, realizando el análisis de varianza de un factor (ANOVA), con las siguientes hipótesis:

- ✓ Hipótesis nula: el porcentaje de agua que se acumula en los dos tipos de suelos es igual, con un 99 % de confianza.
- ✓ Hipótesis alternativa: el porcentaje de agua que se acumula en los dos tipos de suelos es distinto, con un 99 % de confianza.

Los datos recogidos por el sensor de temperatura y humedad relativa, han alcanzado más de 2300 mediciones, que han sido agrupadas por días, obteniendo máximos, mínimos y medias de los datos (ver anexo 8.2, tabla 6). Se ha tratado de establecer una relación entre estos datos y las pérdidas diarias de agua de las muestras por evaporación.

Los cálculos de regresión y correlaciones entre las variables se han realizado mediante los programas EXCEL (Office, v. 2013) y SPSS (v. 21).



4. RESULTADOS.

4.1. El agua en las muestras.

Una vez analizados los datos, se puede comprobar que el uso del acolchado alarga el tiempo que transcurre hasta que el suelo vuelve a su peso inicial, es decir, se considera seco. Los resultados muestran que este tiempo es mayor en el acolchado de corteza de pino, que es donde el agua permanece durante más días, mientras que la paja y la hoja de palmera triturada presentan resultados bastante similares, tanto en el suelo 1 como en el suelo 2, siendo este último donde el agua se mantiene durante más días al ser un suelo menos arenoso. Los datos diarios de las pérdidas de agua (ver anexo 8.2, tabla 2) se han utilizado para calcular los promedios de los tiempos de permanencia de los suelos, en días, que se muestran en la tabla 4, así como para la realización de diferentes gráficas.

Tabla 4. Tiempo transcurrido hasta el secado de los suelos (días).

	Suelo 1	Suelo 2
Corteza de pino	81 ± 8	93 ± 2
Paja	69 ± 3	82 ± 4
Hoja de palmera	74 ± 1	83 ± 7
Control	41 ± 5	52 ± 6

Las diferencias de permanencia del agua entre el suelo 1 y el suelo 2, son consecuencia de la acumulación inicial, que es mayor en el suelo 2 (figuras 2 y 3), ya que como se puede deducir de la tabla 5, en este último la capacidad de retención es mayor, consecuencia de tener una textura limosa.

Tabla 5. Porcentaje inicial de agua en los suelos (g agua / 100 g suelo).

	Suelo 1	Suelo 2
Corteza de pino	24,5 ± 1,4	29,8 ± 0,6
Paja	25,5 ± 2,2	30,6 ± 1,3
Hoja de palmera	25,8 ± 0,2	30,6 ± 0,9
Control	24,9 ± 1,5	29,9 ± 0,5

El test ANOVA realizado con estos datos, con el 99 % de confianza, apoya la hipótesis alternativa, en la que se proponía que el porcentaje acumulado de agua en ambos suelos es diferente, ya que la probabilidad obtenida es de $8,8 * 10^{-6}$ (ver anexo 8.2, tabla 5). Estos resultados son los esperados, dadas las diferentes texturas.

En las figuras 2 y 3, se muestra como la tendencia de la pérdida de agua es similar en ambos suelos, apreciándose variaciones en el tiempo que se pueden justificar físicamente por las diferentes texturas edáficas.

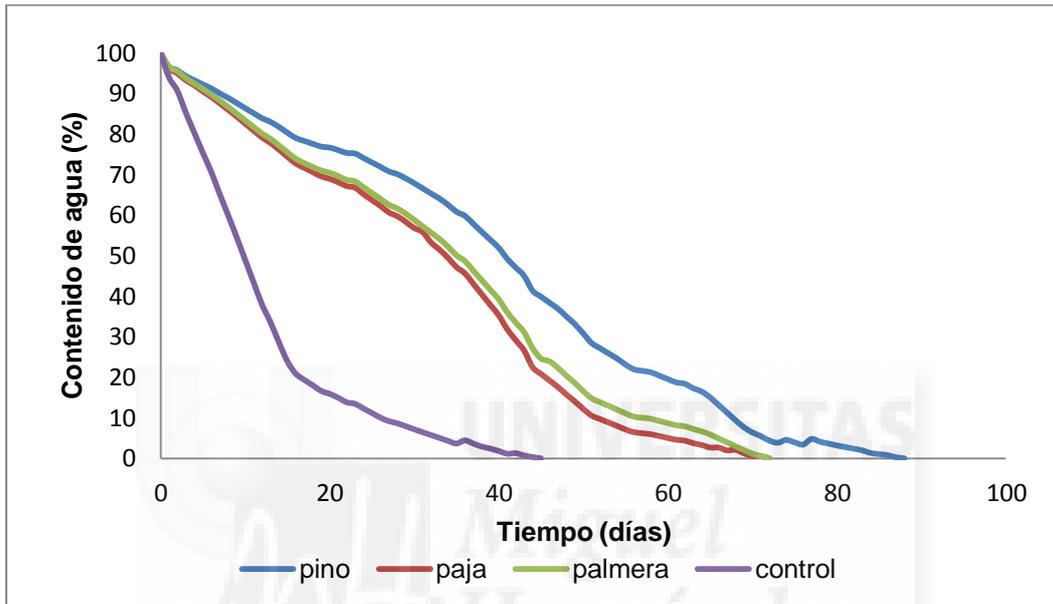


Figura 2. Variación en el tiempo del agua retenida en el suelo 1.

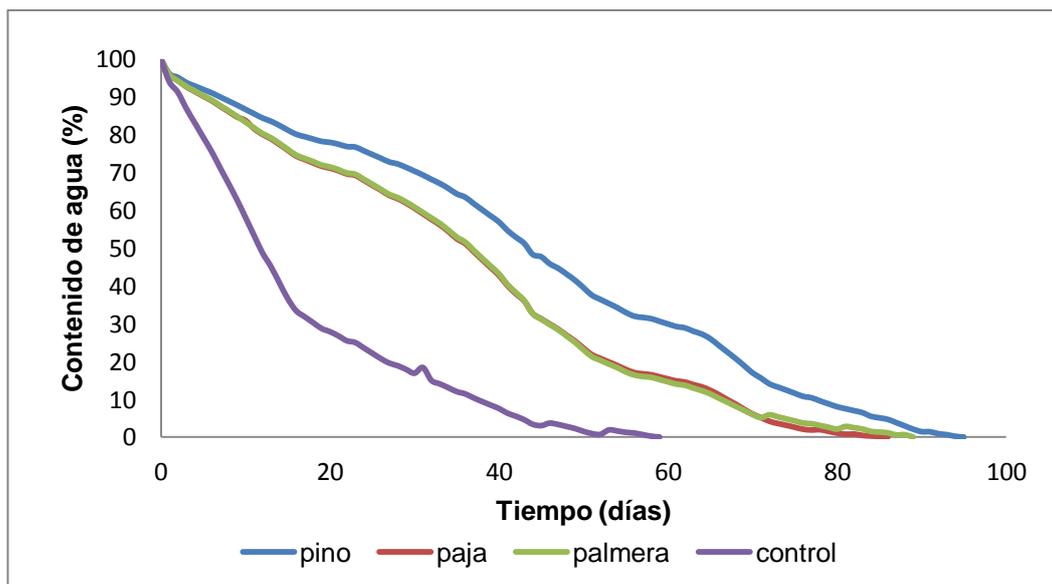


Figura 3. Variación en el tiempo del agua retenida en el suelo 2.

4.2. Temperatura y humedad relativa.

Para poder determinar el efecto de la temperatura y la humedad relativa con la pérdida de agua por evaporación, se representan a continuación, las gráficas de evolución obtenidas de los datos recogidos durante el tiempo del ensayo (figuras 4 y 5). En el anexo 8.2 se representa la tabla 6, que recoge los datos de máximas, mínimas y medias de estas variables.

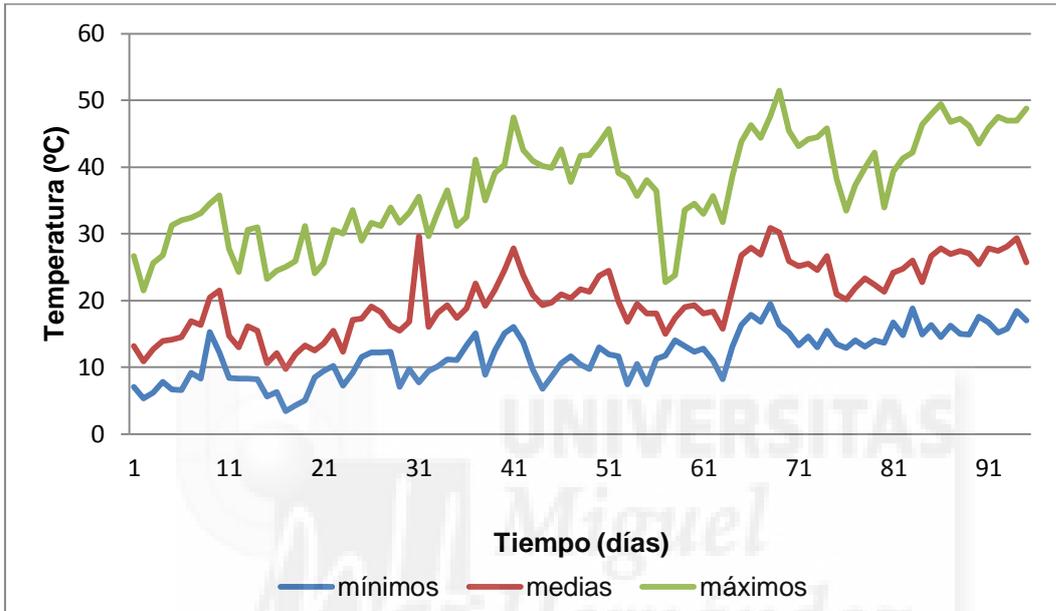


Figura 4. Evolución de la temperatura durante el tiempo del ensayo.

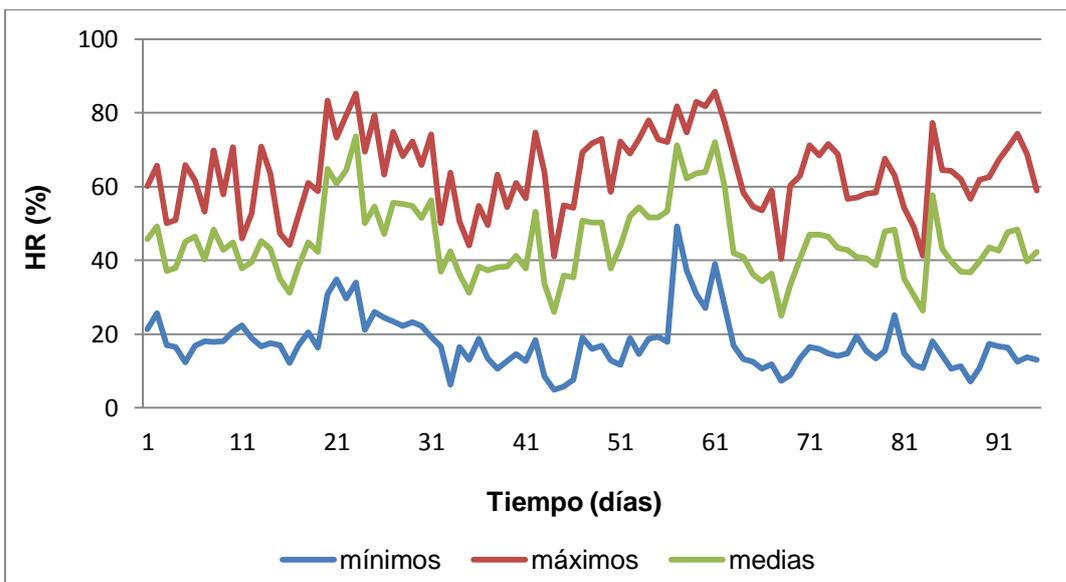


Figura 5. Evolución de la humedad relativa durante el tiempo del ensayo.

Se muestra a continuación la gráfica conjunta donde quedan representados los datos promedio de temperatura y humedad relativa y donde se aprecia la relación entre ambos factores, que parece indicar que a menor temperatura hay mayor humedad relativa y viceversa (figura 6).

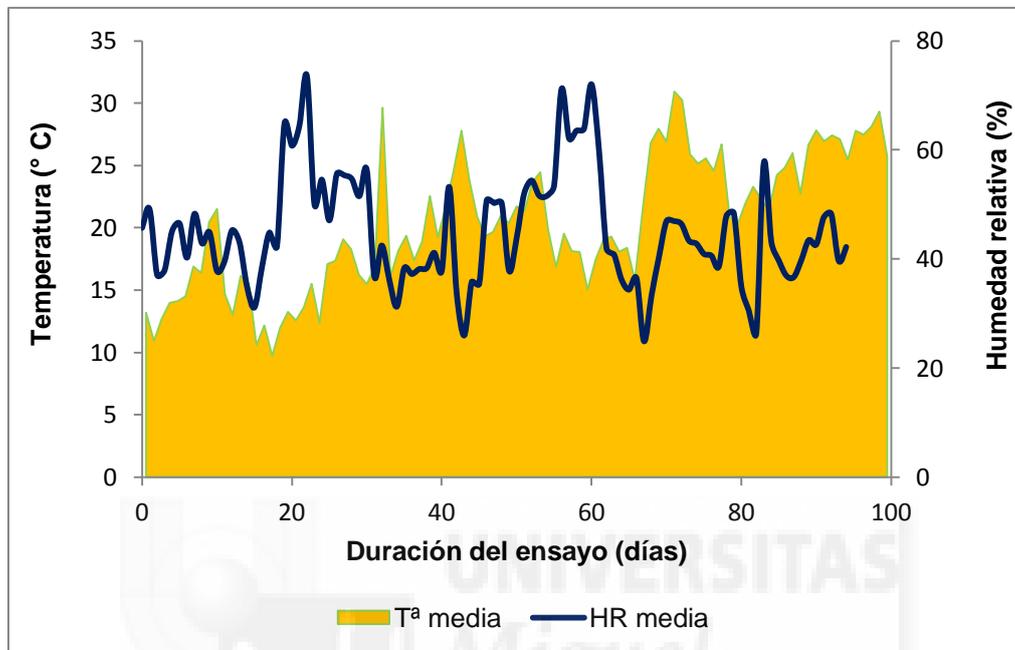


Figura 6. Evolución de los promedios de temperatura y humedad relativa durante el tiempo del ensayo.

5. DISCUSIÓN.

A la hora de determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre la utilización de los diferentes acolchados, la prueba de ANOVA, con un nivel de confianza del 99 %, reflejó un valor de P de $4,45 * 10^{-6}$ para el suelo 1 y $5,31 * 10^{-5}$ para el suelo 2 (ver anexo 8.2, tablas 7 y 8). Dado que los valores obtenidos son inferiores a 0,01, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa en la que, al menos en un grupo, el promedio de la pérdida de agua es distinto, al final del ensayo con un 99 % de confianza.

Para determinar qué grupo o grupos presentan las diferencias, se ha utilizado el Test HSD (*Honestly Significant Difference*) de Tukey, El resumen de los resultados es el que conforma las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Resumen del Test HSD de Tukey en el suelo 1.

HSD =15,77	pino	paja	palmera	control
pino		10,5	7,5	37,75
paja			-3	27,25
palmera				30,25
control				

Tabla 7. Resumen del Test HSD de Tukey en el suelo 2.

HSD = 19,21	pino	paja	palmera	control
pino		6,75	8,5	35,75
paja			1,75	29
palmera				27,25
control				

Como se puede apreciar de los resultados de las tablas, con un 99 % de confianza, podemos decir que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con acolchado, pero sí las hay entre estos y el control.

En el supuesto de que los dos suelos fueran considerados iguales y se les sometiera a las mismas pruebas estadísticas en conjunto, los datos obtenidos arrojarían resultados similares respecto a los obtenidos entre grupos de tratamiento (ver tabla 8 y anexo 8.2, tabla 9 donde se muestra el test ANOVA).

Tabla 8. Resumen del Test HSD de Tukey para los 2 suelos.

HSD =14,53	pino	paja	palmera	control
pino		8,625	8	36,75
paja			-0,625	28,125
palmera				28,75
control				

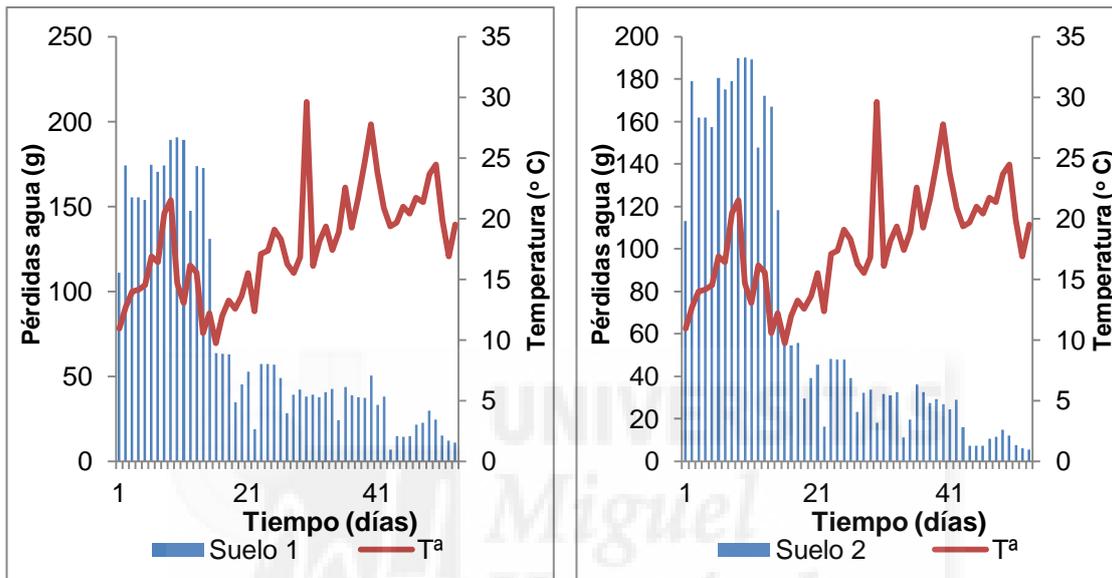


Figura 7. Relación de la Temperatura con la pérdida de agua en los suelos control.

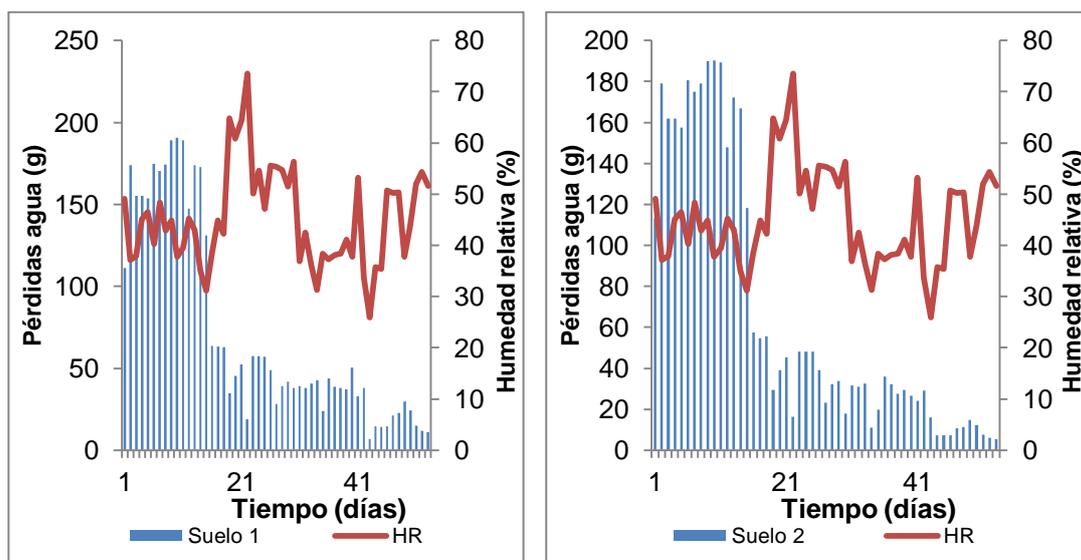


Figura 8. Relación de la Humedad relativa con la pérdida de agua en los suelos control.

Tal y como se observa en las figuras 7 y 8, las pérdidas de agua en el suelo control tienen una cierta relación con la temperatura y humedad. Sin embargo, se observa una elevada disminución de agua bastante constante durante los 16 primeros días del ensayo, con velocidades de evaporación promedio de 174 g/día para el suelo 1 y 172 g/día para el suelo 2. En este primer periodo de tiempo, el suelo control sin acolchado ha perdido aproximadamente el 75 % del agua, relacionada con la fracción disponible o menos retenida (Ducrocq, 1990), reduciéndose a partir de entonces la velocidad de evaporación (figura 9).

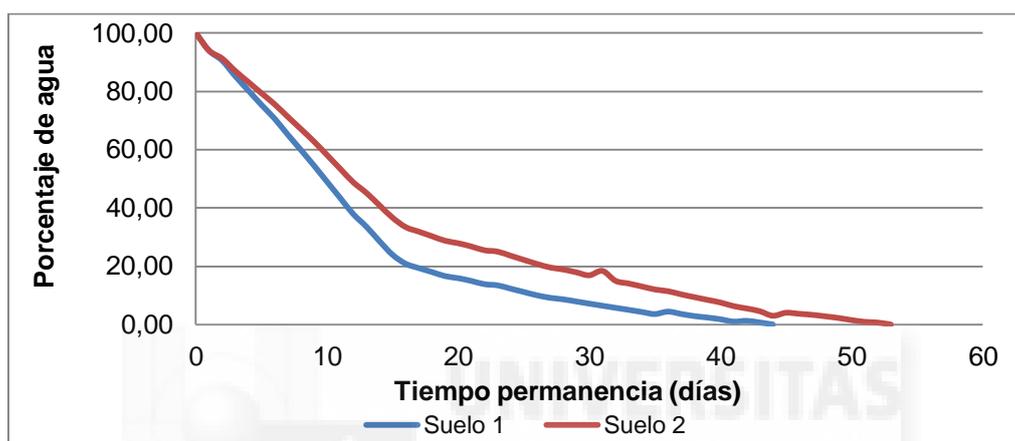


Figura 9. Variación en el tiempo de la pérdida de agua en las muestras control, en los suelos 1 y 2.

En este sentido indicar que la Capacidad de Campo (CC) para suelos de textura media, suele estar comprendida entre el 15 y el 30 % del peso seco del suelo (Ducrocq, 1990). En nuestro caso el suelo 1 retiene el 25,1 % y el suelo 2 el 30,1 % (valores medios de todas las bandejas analizadas, para cada tipo de suelo). Por otro lado, el mismo autor cita que el Punto de Marchitez Permanente (PMP) para estos tipos de suelos, suele estar en el intervalo del 5 al 15 % de agua y en nuestro experimento observamos que el agua no evaporada, tras 16 días, representa el 6,0 % en el suelo 1 y el 11,1 % en el suelo 2. En consecuencia podemos decir, de forma aproximada, que la importante pérdida de agua observada en los suelos sin acolchado, durante los 16 primeros días, se corresponde conceptualmente con el “Agua Disponible”, o fracción comprendida entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente.

Dado que la hoja de palmera es nuestro principal motivo de estudio, en la figura 10 se muestra la evolución de la humedad en los suelos de este acolchado.

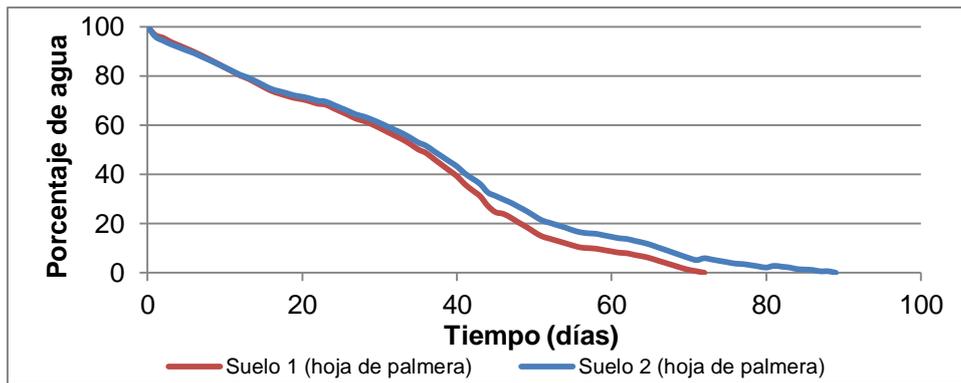


Figura 10. Variación en el tiempo de la pérdida de agua en los suelos con acolchado de hoja de palmera.

Las muestras con acolchado han tardado aproximadamente 50 días en alcanzar los mismos valores de pérdida de agua de alrededor del 75 % (figuras 11 y 12). Al igual que en el suelo control, en los primeros 16 días los suelos con acolchado tienen unas pérdidas por evaporación bastante homogéneas que aparentemente se ajustan a una pérdida lineal, reduciéndose en este periodo en poco más del 20 % el contenido de agua (figuras 11 y 12).

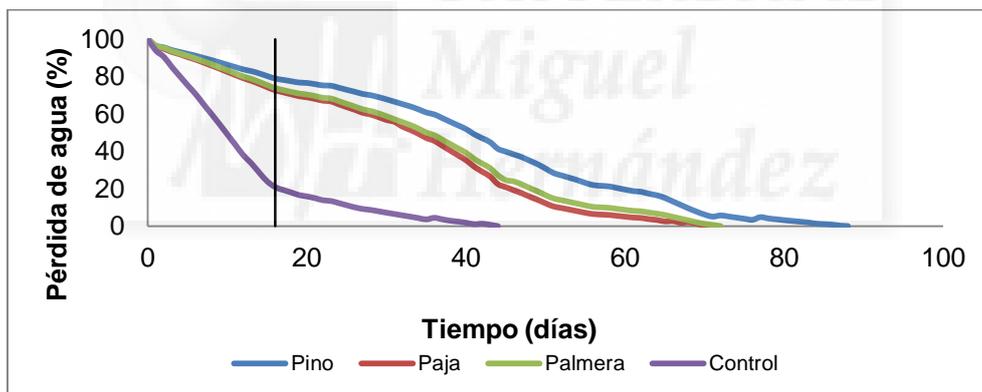


Figura 11. Variación en el tiempo de la pérdida de agua en el suelo 1. Detalle del día 16.

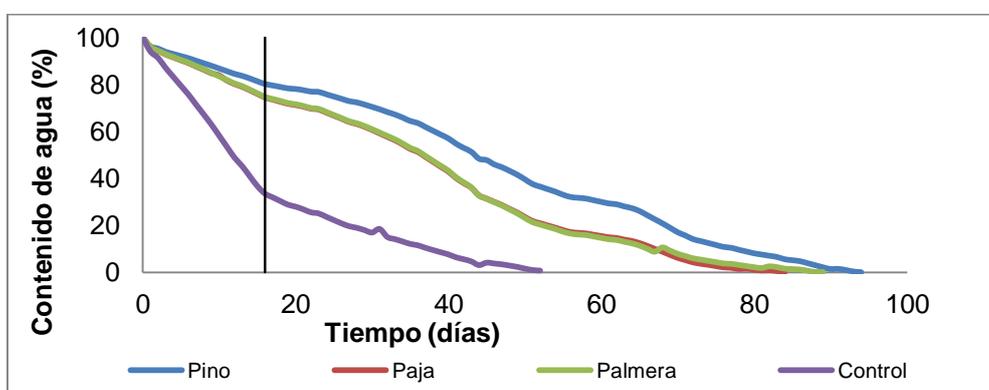


Figura 12. Variación en el tiempo de la pérdida de agua en el suelo 2. Detalle del día 16.

Tras pasar los 16 primeros días, se aprecia una pérdida variable, con oscilaciones aparentemente menos lineales, de agua en los suelos con acolchado. La mayoría de estas oscilaciones podemos asociarlas con las variaciones de temperatura e inversamente con la evolución de la humedad relativa, como se puede comprobar en las figuras 13 a 18, donde se muestran los resultados de los distintos tratamientos de acolchado, obtenidos durante el ensayo.

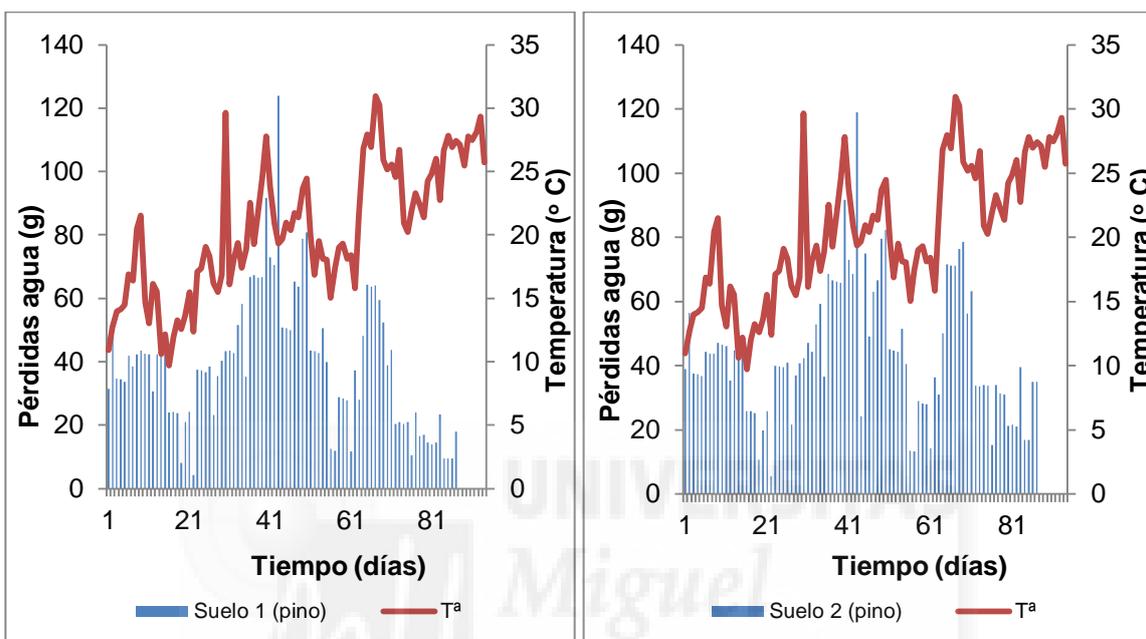


Figura 13. Relación de la Temperatura con las pérdidas de agua durante el tiempo del ensayo, en los suelos con acolchado de corteza de pino.

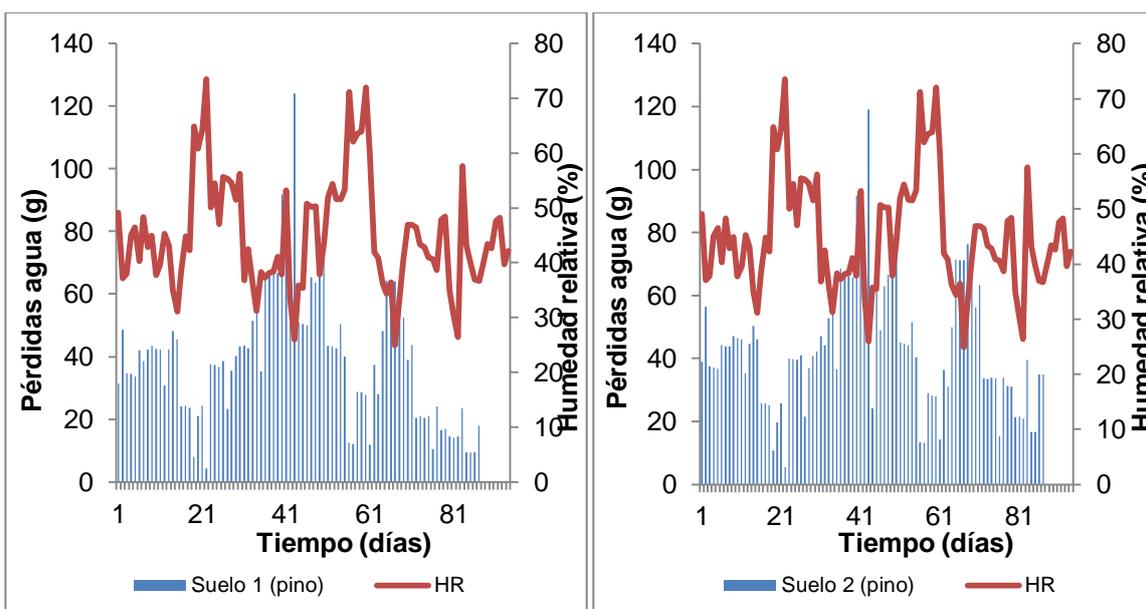


Figura 14. Relación de la Humedad relativa con la pérdida de agua durante el tiempo del ensayo, en los suelos con acolchado de corteza de pino.

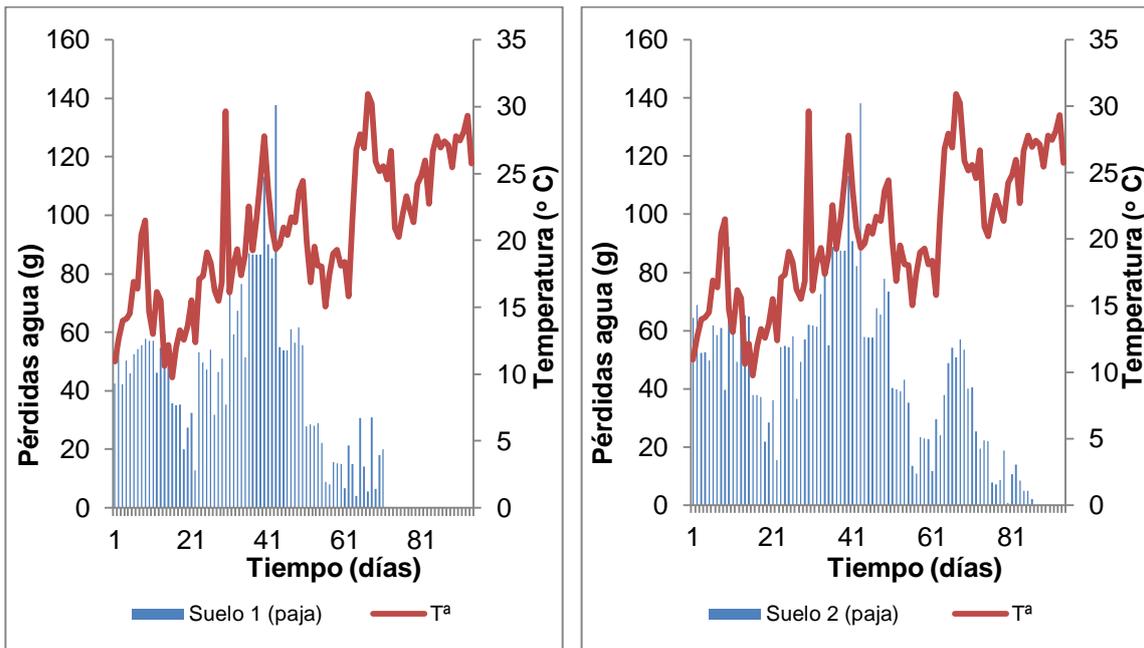


Figura 15. Relación de la Temperatura con la pérdida de agua en el tiempo del ensayo, en los suelos con acolchado de paja.

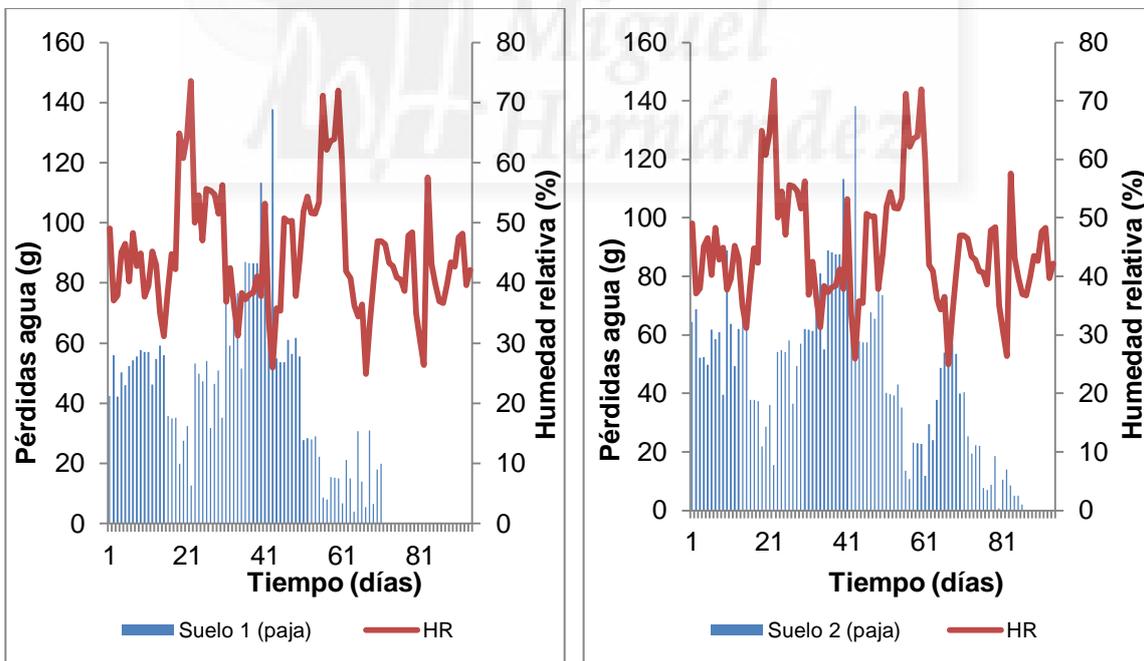


Figura 16. Relación de la Humedad relativa con la pérdida de agua durante el tiempo del ensayo, en los suelos con acolchado de paja.

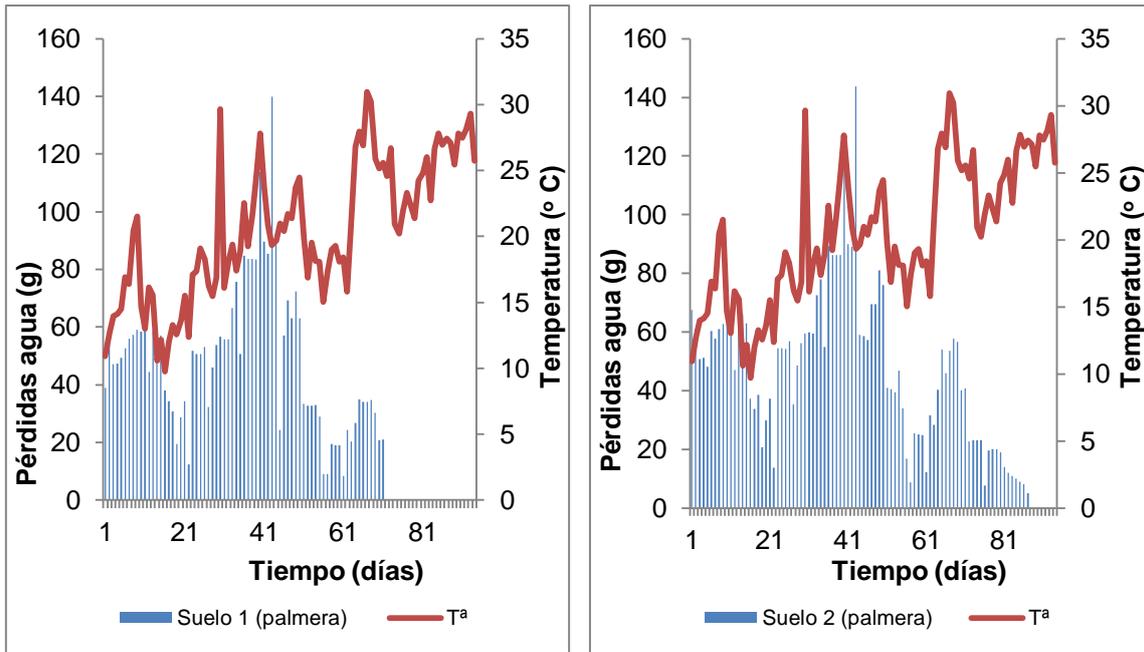


Figura 17. Relación de la Temperatura con la pérdida de agua durante el tiempo del ensayo, en los suelos con acolchado de hoja de palmera.

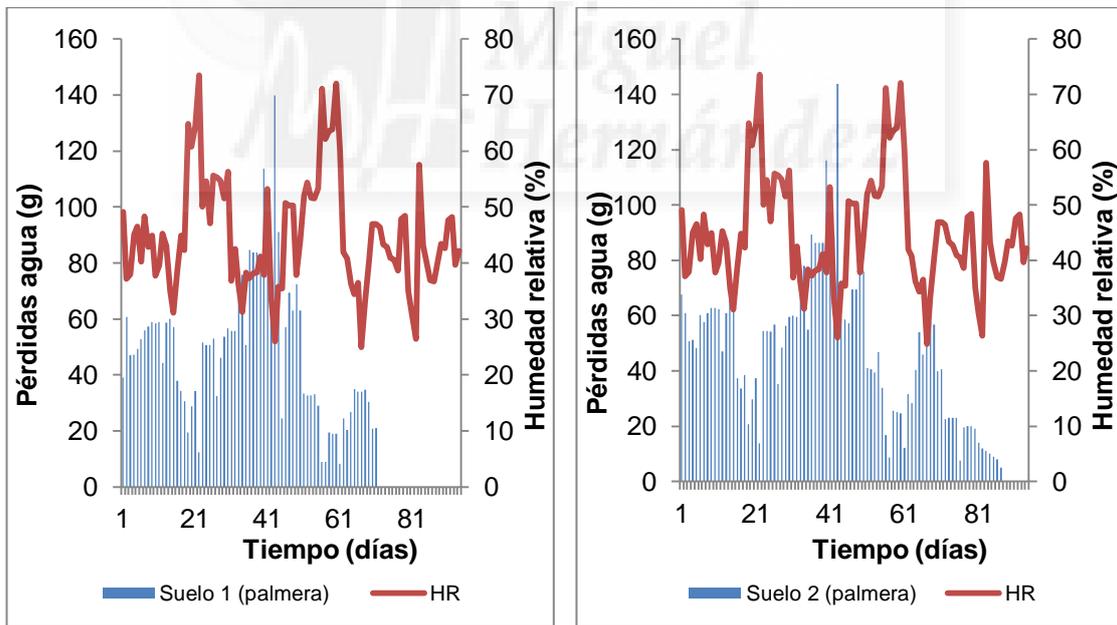


Figura 18. Relación de la Humedad relativa con la pérdida de agua durante el tiempo del ensayo, en los suelos con acolchado de hoja de palmera.

En los últimos días del ensayo, la cantidad de agua que permanece en las muestras es muy baja, siendo una fracción que posiblemente esté por debajo del Punto de Marchitez Permanente y su retención por el suelo es lo suficientemente alta como para que la temperatura y la humedad relativa supongan una influencia perceptible.

Teniendo en cuenta las variaciones mencionadas de la evaporación del agua, hemos tratado de dividir la evaporación en 3 fases:

- ✓ Fase A. Se corresponde a los 16 días iniciales, donde se observa una clara relación lineal de la pérdida de humedad con el tiempo en todos los casos.
- ✓ Fase B. A partir del día 17 como punto de inflexión, hasta un porcentaje aproximado del 5 % de agua y donde la relación lineal presenta una ligera reducción en su ajuste respecto a la fase anterior en los suelos con acolchado.
- ✓ Fase C. El contenido de humedad ha alcanzado unos niveles demasiado bajos y está fuertemente retenida en los suelos.

Los resultados de los ajustes realizados en las fases A y B se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de los ajustes lineales de correlación entre la pérdida de agua y el tiempo en las fases A (día 1-16) y B (día 17 hasta alcanzar una humedad en el suelo del 5 %).

		Fase A. Días 1-16		Fase B.		
		Ecuación de ajuste	R ²	Ecuación de ajuste	R ²	Periodo
Suelo 1	Pino	$y=-1,2084x + 98,436$	0,994	$y=-1,4895x + 109,18$	0,9852	17-71
	Paja	$y=-1,6126x + 98,626$	0,9969	$y=-1,8288x + 107,94$	0,9791	17-60
	Palmera	$y=-1,5538x + 98,869$	0,9975	$y=-1,6208x + 103,84$	0,9723	17-66
	Control	$y=-5,080x + 100,24$	0,999	$y=-0,8573x + 33,006$	0,9925	17-35
Suelo 2	Pino	$y=-1,1146x + 97,883$	0,9983	$y=-1,2183x + 103,92$	0,9804	17-85
	Paja	$y=-1,4686x + 97,9$	0,9927	$y=-1,3977x + 99,197$	0,9761	17-71
	Palmera	$y=-1,4549x + 97,913$	0,993	$y=-1,3661x + 98,189$	0,9692	17-74
	Control	$y=-4,1767x + 99,777$	0,991	$y=-1,0172x + 46,924$	0,9943	17-42

En resumen, podemos afirmar que tras analizar ambos suelos, el uso de acolchado reduce la evaporación en los suelos, independientemente del residuo utilizado. Los resultados finales no indican diferencias estadísticamente significativas, con un nivel de confianza del 99 %, cuando analizamos los datos de ambos suelos por separado. En este caso, los residuos se comportan de modo similar, a pesar de que se aprecia una evaporación menor, no significativa, en la corteza de pino, permaneciendo agua en los tratamientos alrededor de un 8 % más de tiempo que con los otros residuos

utilizados. Esto puede tener su explicación en la relación superficie/volumen de los residuos utilizados, bastante menor en la corteza de pino, lo que podría influir a la hora de que este material capte más agua evaporada del suelo que los otros dos materiales tratados, por lo que al condensar en la superficie inferior del sustrato, también será mayor la proporción de agua que vuelve al suelo.

En cuanto a la incidencia de la temperatura y la humedad relativa, el suelo control no refleja mucha dependencia de estos factores, ya que en los 16 primeros días ha perdido sobre el 75 % del agua, de una manera bastante regular (figura 9). Se aprecia que en esta primera fase, los ajustes realizados muestran que la pendiente de la recta es aproximadamente cuatro veces mayor en el tratamiento control frente a los acolchados (tabla 9)

El suelo con acolchado, por el contrario, sí presenta una cierta relación con los factores mencionados, aumentando la evaporación en los días de altas temperaturas y baja humedad relativa y a la inversa (figuras 13 a 18).



6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA.

Las conclusiones más relevantes de este trabajo son:

- ✓ Los tres subproductos orgánicos ensayados en el presente TFG como material de acolchado, en dos suelos de diferente textura, han resultado efectivos para reducir la evaporación del agua respecto al suelo desnudo, lo que se traduce en una mayor disponibilidad potencial de agua para las plantas. Como dato de referencia podemos decir que los suelos con acolchado tardan 3 veces más tiempo en perder la misma cantidad de agua que los suelos que no lo tienen.
- ✓ Los datos registrados en nuestro experimento, reflejan resultados muy similares, tanto si analizamos los dos tipos de suelos por separado, como si lo hacemos en conjunto, lo que refuerza la opinión del beneficio de utilizar acolchados, independientemente del tipo de suelo.
- ✓ Se aprecia que la corteza de pino es algo más efectiva, para evitar la pérdida total de agua en los suelos que la paja y la hoja de palmera, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas al 99 %.
- ✓ En los suelos control, las pérdidas de agua observadas son prácticamente iguales, perdiendo en los 16 primeros días el 75 % del agua inicial, a una velocidad prácticamente constante de 173 g/día en cada suelo.
- ✓ Durante los últimos días del experimento ($t > 80$ d), la cantidad de agua que permanece en los suelos es una fracción fuertemente retenida y su evaporación posiblemente no está relacionada con las oscilaciones de las variables ambientales controladas.
- ✓ Por último queremos indicar que, en zonas en las que se genera como residuos la hoja de palmera, su uso una vez triturada como material de acolchado de suelos es adecuado y presenta ciertas ventajas frente a los otros dos residuos ensayados:
 - (a) Respecto a la corteza de pino y a pesar de que éste subproducto es algo más efectivo que la hoja de palmera, tiene la desventaja de su mayor coste, tanto económico como medioambiental, como consecuencia de su demanda en jardinería y transporte desde su lugar de origen (zonas forestales).
 - (b) En comparación con la paja, el triturado de hoja de palmera tiene una mayor densidad, lo que repercute en que se vea menos afectado por la

erosión eólica (pérdida de material) y sea más efectivo sobre el suelo en que se aplique.

- (c) Permite utilizar un subproducto local, evitando su transporte a vertedero (beneficio económico y medioambiental) o su quema (beneficio medioambiental).

Como proyección futura, sería interesante realizar nuevos experimentos que incluyeran suelos arcillosos además de los arenosos y limosos utilizados, con el fin de determinar resultados con los tres tipos de textura, así como una línea de investigación donde se utilizasen cubiertas vegetales e incluir así el factor de la evapotranspiración de las plantas en la permanencia del agua en los suelos.



7. BIBLIOGRAFÍA.

7.1. Normas UNE.

- AENOR. UNE 77308:2001. Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica específica.
- AENOR. UNE 77317: 2001. Calidad del suelo. Determinación del contenido en carbonato. Método volumétrico.
- AENOR. UNE 77315: 2001. Calidad del suelo. Extracción de oligoelementos con una disolución tampón de ADTP.
- AENOR. UNE 13000. Mejoradores del suelo y sustratos de cultivo.
- AENOR. UNE-EN 13040: 2008. Mejoradores del suelo y sustratos de cultivo. Preparación de las muestras para ensayos físicos y químicos. Determinación del contenido de materia seca, del contenido en humedad y de la densidad aparente compactada en el laboratorio.
- AENOR. UNE-EN 13038: 2001. Mejoradores del suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la conductividad eléctrica.
- AENOR. UNE-EN 13039: 2001. Mejoradores del suelo y sustratos de cultivo. Determinación del contenido en materia orgánica y de las cenizas.

7.2. Bibliografía.

- Altieri, M. (1999). Cultivos de cobertura y utilización de Mulch. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Capítulo 10, pág. 203-215. Ed. Nordan-Comunidad.
- Bajgai, Y.; Kristiansen, P.; Hulugalle, N.; McHenry, M. (2014). Effect of residue management and conventional and organic soil management systems on crop yields and weed biomass. *Acta Horticulturae* 1018, 227-234.
- Brouder, S.M.; Gomez-Macpherson, H. (2014). The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187, 11-12.
- Canovas, A.; Hilgers, M.; Jiménez, R.; Mendizabal, M.; Sánchez, F. (1993). El acolchado. Tratado de agricultura ecológica. Capítulo III, pág. 57-62. Ed. Instituto de Estudios Almerienses, Departamento de Ecología y Medioambiente.
- Chalker-Scott, L. (2007). Impact of Mulches on Landscape Plants and the Environment. A Review. *Journal of Environmental Horticulture* 25 (4), pág. 239-249.

- Daraz, G.; Din, S.; Ramzan, M.; Hanif, M.; Hameed, M. (2014). Influence of Tillage and Mulching Practices on Soil Physical Properties under Semi-Arid Environment. *Journal of Environment and Earth Science* 4(9), pág. 120-124.
- Contreras, F.; García, J.; González-Benavente, A.; López, J.; Varó, P. (2006). Estudio económico sobre alternativas al acolchado tradicional de polietileno en el cultivo de melón en la Región de Murcia. Ed. Consejería de Agricultura, Agua y Medioambiente, Región de Murcia.
- Crovetto, C. (1999). Agricultura de conservación: El grano para el hombre, la paja para el suelo. Ed. Eumedica.
- Díez, J.A. (1982). Consideraciones sobre la utilización de la técnica extractiva para la evaluación de fósforo asimilable en suelos. *Anales de Edafología y Agrobiología* 41, 1345-1353.
- Dudrocq, M. (1990). Guías de Agricultura y Ganadería: Sistemas de Irrigación. Ed. CEAC S.A. Barcelona.
- Fuente, J.L. (1997). Manual práctico sobre utilización de suelos y fertilizantes. Ed. MAPA & Mundi-Prensa. Madrid.
- Gonzalez, S. (2014). Proper Mulching Techniques. Ed. International Society of Arboriculture, Champaign, Illinois.
- Haynes, R.J. (1980). Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems* 6 (1), pág. 3-32.
- Jordán, A.; Zavala, L.; Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81, 77-85.
- Jodaugienė, D.; Pupalienė, R.; Sinkevicienė, A.; Marcinkevicienė, A.; Zebrauskaitė, K.; Baltaduonytė, M.; Cepulienė, R. (2010). The influence of organic mulches on soil biological properties. *Zemdirbyste-Agriculture* 97 (2), 33-40.
- Kuncheva, G.S. (2015). Comparative study of microbial activity and chemical properties of soil by implementing anti-erosion measure vertical mulching with organic residues. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 63 (1), 59-63.
- M.A.P.A. (1986). Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Ed. MAPA.
- Moradi, A.; Teh Boon Sung, C.; Goh, K.; Husni Mohd Hanif, A.; Fauziah Ishak, C. (2015). Effect of four soil and water conservation practices on soil physical processes in a non-terraced oil palm plantation. *Soil & Tillage Research* 145, 62-71.
- Nagaya, L.; Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil & Tillage Research* 98, 106-111.

- Navarro, G.; Navarro, S. (2013). Química Agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Navarro-Pedreño, J.; Moral Herrero; Gómez Lucas, I.; Mataix Beneito, J. (1995). Residuos orgánicos y agricultura. Ed. Universidad de Alicante.
- Neilsen, G.; Hogue, E.; Forge, T.; Neilsen, D. (2002). *Canadian Journal of Soil Science* 83 (1), 131-137.
- Rees, H.; Chow, T.; Loro, P.; Lavoie, J.; Monteith, J.; Blaauw, A. (2002). Hay mulching to reduce runoff and soil loss under intensive potato production in northwestern New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Soil Science* 82 (2), 249-258.
- Tian, G.; Brussaard, L. (1997). Mulching effect of plant residues of chemical contrasting compositions on soil organic matter content and cation Exchange capacity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 28 (17-18), 1603-1611.
- Tosic, I.; Zarko, I.; Maksimovic, I. (1991). The effect of plant mulching and covering on the lettuce yield and nitrate content (*Lactuca sativa*). *African Journal of Agricultural Research* 9 (23), 1774-1777.
- Zribi, W.; Faci, J.; Aragüés. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *ITEA* 107 (2), 148-162.
- Zribi, W.; Aragüés, R.; Medina, E.; Faci, J. (2015). Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. *Soil & Tillage Research* 148, 40-45.

7.3. Recursos de Internet.

- Aucina, A.; Rudawska, M.; Leski, T.; Skridaila, A.; Pasakinskiene, I.; Riepsas, E. (2014). Forest litter as the mulch improving of bare-root Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings. iForest (early view): e1-e7 [online 2014-08-20]. www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor1083-008 (última consulta 09/05/2015).
- Berardocco, H. Acolchado plástico (2002). www.inplexvenados.com (última consulta 03/04/2015).
- Gerardo, G. (2012) Mulch (acolchado, mantillo).Permacultura.org.mx www.permacultura.mx/reporte/mulch-acolchado-mantillo/ (última consulta 11/05/2015).
- Gonzalo, C. UPV (200). Manejo de suelos en condiciones de escasez de agua. [www.dipalme.org/servicios/anexos/anexosiea.nsf/vanexos/iea-sa-c7/\\$file/sa-c7.pdf](http://www.dipalme.org/servicios/anexos/anexosiea.nsf/vanexos/iea-sa-c7/$file/sa-c7.pdf) (última consulta 11/05/2015).

8. ANEXOS.

8.1. Anexo. Figuras.

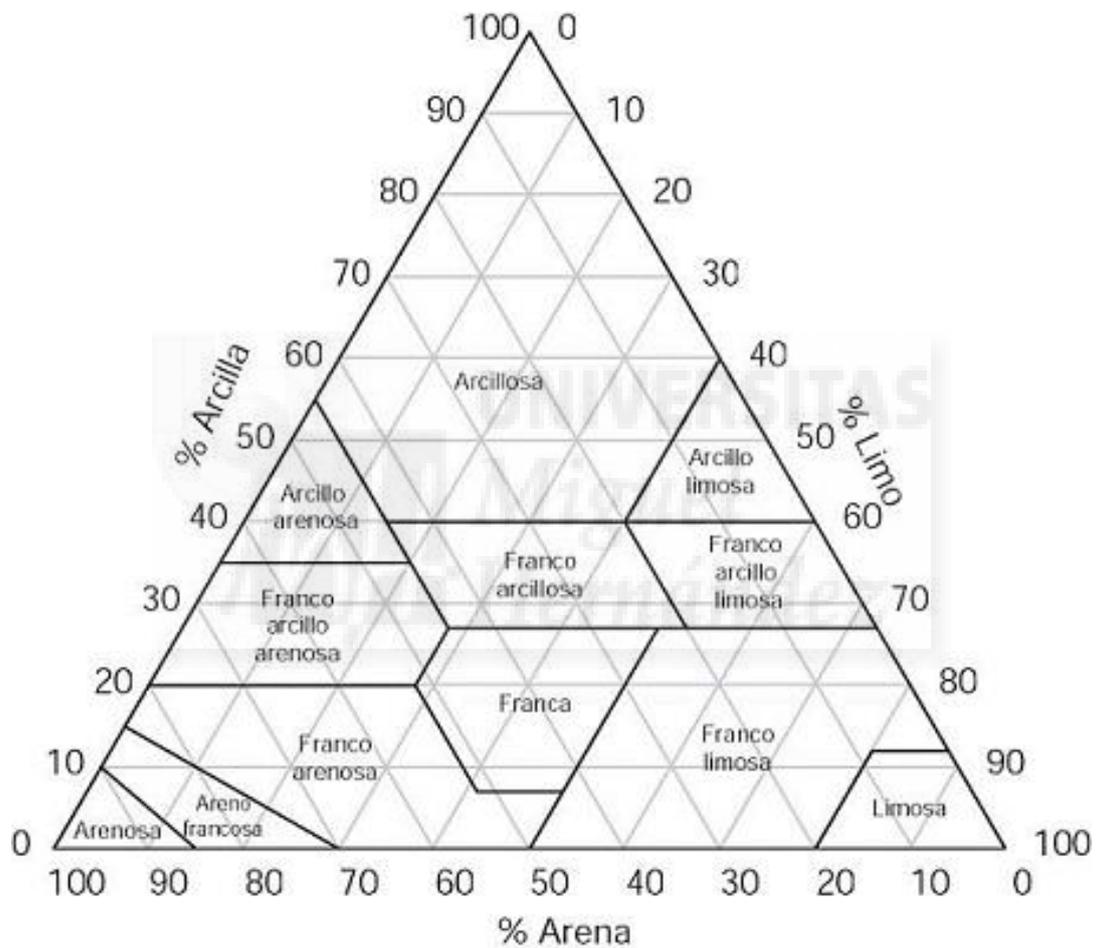


Figura 1. Triángulo de clasificación de suelos (USDA).

8.2. Anexo. Tablas.

Tabla 1. Medida de los pesos iniciales de las muestras (g).

		PESO (g)			
		BANDEJA	SUELO	ACOLCHADO	AGUA
SUELO 1	CORTEZA DE PINO	554	13180	489	3192
		553	13980	591	3302
		553	14109	398	3552
		554	14393	387	3596
	PAJA	554	12020	12	3044
		555	12544	16	3149
		555	13839	10	3544
		554	14120	10	3648
	HOJA DE PALMERA	554	13608	65	3410
		555	14192	130	3544
		554	13896	148	3535
		554	13429	68	3584
	CONTROL	554	12619	0	3117
		556	13737	0	3499
		554	14544	0	3569
		555	14100	0	3526
SUELO 2	CORTEZA DE PINO	552	13798	391	4051
		554	13831	446	4192
		555	13605	540	4000
		553	13595	371	4082
	PAJA	553	13851	17	4467
		555	13457	29	4100
		555	13910	14	4095
		553	13668	17	4116
	HOJA DE PALMERA	553	13593	64	4001
		555	13438	93	4289
		554	13949	50	4216
		556	13286	76	4105
	CONTROL	554	13944	0	4018
		554	13611	0	4155
		555	13865	0	4067
		555	13643	0	4013

Tabla 2. Datos medios de las pérdidas diarias de agua (g), recogidos durante el ensayo (continúa en las páginas siguientes).

Fecha	Pino		Paja		Palmera		Control	
	suelo 1	suelo 2						
21/01/2015	32	39	43	65	39	68	115	111
22/01/2015	49	57	56	69	61	61	184	174
23/01/2015	35	38	42	52	47	51	169	155
24/01/2015	35	37	50	53	47	51	169	155
25/01/2015	34	37	46	50	49	48	161	154
26/01/2015	42	44	53	62	53	60	187	175
27/01/2015	39	44	54	59	56	58	180	170
28/01/2015	42	44	56	61	57	61	184	174
29/01/2015	44	47	58	40	59	63	191	189
30/01/2015	43	47	57	89	58	63	190	191
31/01/2015	42	46	57	64	59	62	190	189
01/02/2015	31	35	46	49	44	47	148	148
02/02/2015	42	45	55	62	59	61	171	174
03/02/2015	48	50	59	65	60	66	161	173
04/02/2015	46	46	56	65	57	63	105	131
05/02/2015	24	26	36	38	38	37	52	64
06/02/2015	24	26	35	38	34	34	46	63
07/02/2015	24	25	35	37	31	39	48	63
08/02/2015	8	11	20	22	19	21	24	35
09/02/2015	21	20	28	29	29	30	33	45
10/02/2015	24	26	33	36	34	37	38	53
11/02/2015	4	6	13	16	12	14	14	19
12/02/2015	38	40	53	54	52	55	39	57
13/02/2015	37	40	50	55	51	55	39	57
14/02/2015	37	40	47	54	51	54	39	57
15/02/2015	39	41	54	58	53	57	29	49
16/02/2015	23	22	32	37	32	35	18	28
17/02/2015	36	37	47	49	46	49	25	39
18/02/2015	40	41	51	57	54	56	26	42
19/02/2015	43	42	35	62	57	60	25	38
20/02/2015	44	47	84	62	56	60	24	39
21/02/2015	43	44	59	61	56	60	24	38
22/02/2015	52	53	67	73	67	73	25	41
23/02/2015	58	59	77	81	76	78	20	43
24/02/2015	35	37	52	55	51	55	15	24
25/02/2015	67	69	87	89	85	89	28	44
26/02/2015	67	67	87	88	84	86	26	39
27/02/2015	67	66	87	88	84	86	17	38
28/02/2015	67	66	87	88	83	86	21	37
01/03/2015	92	92	113	113	114	116	3	50
02/03/2015	73	73	90	91	90	90	16	33
03/03/2015	71	69	85	82	85	89	20	38

04/03/2015	124	119	138	138	140	144	25	7
05/03/2015	51	24	55	58	91	59		15
06/03/2015	51	75	54	58	24	59		14
07/03/2015	50	49	54	58	57	57		15
08/03/2015	65	63	61	68	69	70		21
09/03/2015	64	67	57	66	63	70		23
10/03/2015	79	80	62	78	72	81		30
11/03/2015	81	82	56	74	63	76		24
12/03/2015	44	45	28	40	33	41		15
13/03/2015	43	45	29	40	33	41		12
14/03/2015	43	44	28	39	33	40		11
15/03/2015	51	52	29	43	33	47		
16/03/2015	40	41	22	35	29	34		
17/03/2015	13	14	9	14	9	17		
18/03/2015	12	13	8	11	9	9		
19/03/2015	29	29	16	23	19	26		
20/03/2015	29	28	15	23	19	25		
21/03/2015	28	28	15	23	19	25		
22/03/2015	12	14	7	12	8	12		
23/03/2015	37	36	21	30	24	32		
24/03/2015	28	31	15	24	20	28		
25/03/2015	48	50	10	38	27	40		
26/03/2015	64	72	31	49	35	54		
27/03/2015	64	71	14	54	34	76		
28/03/2015	64	71	6	51	34	54		
29/03/2015	60	76	31	57	35	58		
30/03/2015	53	79	7	54	30	57		
31/03/2015	30	56	18	40	21	40		
01/04/2015	44	63	20	41	21	41		
02/04/2015	20	34		25		23		
03/04/2015	21	34		20		23		
04/04/2015	20	34		22		23		
05/04/2015	41	34		22		23		
06/04/2015	11	15		8		8		
07/04/2015	24	34		7		20		
08/04/2015	17	31		9		20		
09/04/2015	17	31		19		20		
10/04/2015	15	21		1		19		
11/04/2015	14	22		11		14		
12/04/2015	15	21		14		12		
13/04/2015	24	40		9		11		
14/04/2015	10	17		5		10		
15/04/2015	10	17		5		9		
16/04/2015	10	35		2		8		
17/04/2015	18	35				5		
18/04/2015		36						

19/04/2015	7
20/04/2015	21
21/04/2015	20
22/04/2015	11
23/04/2015	10
24/04/2015	16

Tabla 3. Control diario del contenido de agua (%) en los suelos (continúa en las páginas siguientes).

Día	Suelo 1				Suelo 2			
	Pino	Paja	Palmera	Control	Pino	Paja	Palmera	Control
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	96,6	96,2	96,6	94,0	96,2	95,9	95,9	94,0
2	95,7	94,9	95,5	90,6	95,2	94,4	94,3	91,3
3	94,3	93,2	93,7	85,2	93,8	92,7	92,8	87,0
4	93,2	92,0	92,4	80,3	92,9	91,5	91,6	83,2
5	92,2	90,5	91,1	75,4	92,0	90,2	90,4	79,4
6	91,2	89,1	89,7	70,6	91,1	89,0	89,2	75,6
7	90,0	87,6	88,2	65,2	90,0	87,6	87,8	71,3
8	88,9	85,9	86,6	59,9	89,0	86,2	86,4	67,1
9	87,6	84,3	85,0	54,6	87,9	84,7	84,9	62,8
10	86,4	82,6	83,4	49,0	86,7	83,8	83,4	58,2
11	85,1	80,9	81,7	43,5	85,6	81,7	81,9	53,5
12	83,9	79,2	80,1	37,9	84,5	80,1	80,4	48,8
13	83,0	77,8	78,8	33,6	83,6	79,0	79,2	45,2
14	81,7	76,1	77,2	28,6	82,5	77,5	77,8	40,9
15	80,3	74,4	75,5	23,9	81,3	75,9	76,2	36,6
16	79,0	72,7	73,9	20,9	80,1	74,4	74,6	33,4
17	78,3	71,6	72,8	19,4	79,5	73,5	73,7	31,9
18	77,6	70,6	71,8	18,0	78,9	72,6	72,9	30,3
19	76,9	69,5	71,0	16,6	78,3	71,7	72,0	28,7
20	76,6	68,9	70,4	15,9	78,0	71,2	71,5	27,9
21	76,0	68,1	69,6	14,9	77,5	70,5	70,8	26,8

22	75,3	67,1	68,7	13,8	76,9	69,6	69,9	25,5
23	75,2	66,8	68,3	13,4	76,7	69,3	69,6	25,0
24	74,1	65,2	66,9	12,3	75,8	68,0	68,2	23,6
25	73,0	63,7	65,4	11,2	74,8	66,7	66,9	22,2
26	71,9	62,3	64,0	10,0	73,8	65,4	65,6	20,8
27	70,8	60,7	62,5	9,2	72,8	64,0	64,2	19,6
28	70,1	59,7	61,6	8,6	72,3	63,1	63,4	18,9
29	69,0	58,3	60,3	7,9	71,4	61,9	62,2	17,9
30	67,9	56,8	58,8	7,2	70,4	60,6	60,9	16,9
31	66,6	55,8	57,2	6,4	69,4	59,1	59,4	18,4
32	65,3	53,2	55,7	5,7	68,2	57,6	58,0	15,0
33	64,1	51,5	54,1	5,0	67,1	56,2	56,6	14,1
34	62,5	49,5	52,2	4,3	65,8	54,4	54,8	13,1
35	60,8	47,2	50,1	3,6	64,4	52,5	52,9	12,0
36	59,8	45,6	48,7	4,4	63,5	51,2	51,6	11,4
37	57,8	43,0	46,3	3,6	61,8	49,1	49,4	10,4
38	55,9	40,4	43,9	2,9	60,2	47,0	47,4	9,4
39	53,9	37,8	41,6	2,4	58,6	44,9	45,3	8,5
40	51,9	35,3	39,2	1,8	56,9	42,8	43,2	7,6
41	49,2	31,9	36,0	1,0	54,7	40,1	40,4	6,3
42	47,1	29,2	33,5	1,3	52,9	37,9	38,2	5,5
43	45,0	26,6	31,1	0,7	51,2	36,0	36,1	4,6
44	41,4	22,5	27,2	0,0	48,3	32,7	32,6	3,0
45	39,9	20,8	24,6		47,7	31,3	31,2	4,0
46	38,4	19,2	23,9		45,9	29,9	29,8	3,7
47	36,9	17,6	22,3		44,7	28,6	28,4	3,3
48	35,0	15,7	20,4		43,1	26,9	26,7	2,8
49	33,1	14,0	18,6		41,5	25,4	25,1	2,2
50	30,8	12,2	16,6		39,5	23,5	23,1	1,5
51	28,4	10,5	14,8		37,5	21,8	21,3	0,9
52	27,1	9,7	13,8		36,4	20,8	20,3	0,7
53	25,9	8,8	12,9		35,3	19,9	19,3	0,0
54	24,6	8,0	12,0		34,2	18,9	18,4	

55	23,1	7,1	11,1	33,0	17,9	17,2
56	21,9	6,4	10,3	32,0	17,1	16,4
57	21,6	6,2	10,0	31,7	16,7	16,0
58	21,2	5,9	9,8	31,3	16,5	15,8
59	20,4	5,5	9,2	30,6	15,9	15,2
60	19,5	5,0	8,7	29,9	15,4	14,6
61	18,7	4,6	8,1	29,2	14,8	14,0
62	18,4	4,4	7,9	28,9	14,6	13,7
63	17,3	3,7	7,2	28,0	13,9	12,9
64	16,5	3,3	6,7	27,2	13,3	12,3
65	15,0	2,5	5,9	26,0	12,4	11,3
66	13,2	2,7	4,9	24,3	11,2	10,0
67	11,3	1,8	4,0	22,5	9,9	8,7
68	9,4	2,1	3,0	20,8	8,7	10,5
69	7,7	1,2	2,0	18,9	7,4	9,2
70	6,1	0,3	1,2	17,0	6,1	7,8
71	5,1	0,0	0,6	15,6	5,1	6,9
72	5,7		0,0	14,1	4,2	5,9
73	5,1			13,2	3,6	5,4
74	4,5			12,4	3,1	4,8
75	3,9			11,6	2,6	4,3
76	3,4			10,8	2,1	3,7
77	4,8			10,4	1,9	3,5
78	4,1			9,5	1,3	3,1
79	3,6			8,8	1,5	2,6
80	3,2			8,0	1,1	2,1
81	2,8			7,5	0,7	1,8
82	2,4			7,0	0,8	2,5
83	2,0			6,5	0,5	2,1
84	1,3			5,5	0,0	1,5
85	1,0			5,1		1,3
86	0,8			4,7		1,1
87	0,3			3,8		0,6

88	0,0	3,0	0,1
89		2,1	0,0
90		1,3	
91		1,4	
92		0,9	
93		0,3	
94		0,0	

Tabla 4. Control diario del contenido en agua (gramos) en los suelos (continúa en las páginas siguientes).

Días	Suelo 1				Suelo 2			
	Pino	Paja	Palmera	Control	Pino	Paja	Palmera	Control
0	3411	3346	3554	3428	4081	4195	4153	4063
1	3295	3220	3432	3222	3926	4023	3984	3820
2	3263	3177	3393	3107	3887	3959	3917	3709
3	3215	3121	3332	2923	3830	3890	3856	3535
4	3180	3079	3285	2754	3793	3838	3805	3380
5	3145	3029	3238	2586	3755	3785	3754	3225
6	3112	2983	3188	2425	3719	3735	3705	3071
7	3070	2930	3136	2238	3674	3674	3645	2897
8	3031	2876	3080	2058	3631	3615	3587	2726
9	2989	2821	3022	1875	3587	3554	3526	2552
10	2945	2763	2963	1684	3540	3515	3464	2363
11	2903	2706	2905	1495	3493	3426	3401	2172
12	2861	2649	2846	1305	3447	3362	3339	1983
13	2830	2603	2802	1157	3412	3313	3292	1836
14	2788	2548	2743	986	3367	3251	3231	1662
15	2739	2489	2683	825	3317	3186	3165	1489
16	2694	2433	2626	720	3271	3121	3102	1358
17	2670	2397	2588	668	3245	3083	3064	1295
18	2646	2362	2554	622	3220	3045	3031	1232
19	2622	2327	2523	574	3194	3008	2992	1169
20	2614	2307	2504	550	3184	2986	2971	1134
21	2593	2279	2475	517	3164	2958	2942	1089
22	2569	2247	2441	479	3138	2922	2904	1036
23	2564	2234	2428	465	3133	2906	2891	1017
24	2527	2181	2377	426	3093	2852	2836	960
25	2490	2131	2326	387	3053	2797	2782	903
26	2453	2084	2275	348	3013	2743	2727	846

27	2414	2030	2222	319	2972	2685	2671	797
28	2391	1998	2190	301	2951	2649	2635	768
29	2356	1951	2144	275	2914	2599	2587	729
30	2315	1900	2090	250	2873	2542	2531	687
31	2272	1865	2034	225	2831	2480	2471	749
32	2229	1781	1978	201	2784	2419	2411	610
33	2186	1722	1922	177	2740	2357	2352	572
34	2134	1654	1856	152	2687	2285	2279	532
35	2076	1578	1780	172	2628	2204	2201	489
36	2041	1526	1729	157	2591	2149	2146	465
37	1974	1439	1645	128	2523	2060	2057	422
38	1907	1353	1561	102	2456	1972	1971	383
39	1840	1266	1477	85	2390	1884	1884	345
40	1774	1180	1394	64	2324	1797	1798	308
41	1682	1067	1280	61	2232	1684	1682	258
42	1609	977	1191	45	2159	1593	1592	225
43	1538	891	1105	25	2091	1511	1503	187
44	1414	754	965	0	1972	1372	1359	180
45	1364	699	874		1948	1315	1300	165
46	1313	645	850		1873	1257	1242	151
47	1263	591	793		1824	1200	1185	136
48	1198	530	724		1761	1132	1115	115
49	1134	474	661		1694	1066	1046	92
50	1055	412	588		1615	989	965	62
51	975	356	525		1532	915	889	38
52	931	329	492		1487	875	848	23
53	888	300	459		1443	835	807	11
54	845	272	427		1398	796	768	0
55	795	243	394		1347	753	721	
56	755	221	365		1306	718	687	
57	742	212	356		1293	704	670	
58	730	204	347		1280	693	661	
59	701	189	327		1251	670	636	
60	673	173	308		1222	647	611	
61	645	158	289		1194	624	586	
62	633	152	281		1180	613	574	
63	596	130	257		1144	583	542	
64	568	115	236		1113	559	514	
65	520	126	210		1063	521	474	
66	456	95	175		991	473	420	
67	392	81	141		920	419	496	
68	328	76	107		849	368	442	
69	268	45	72		773	311	384	
70	216	38	42		694	257	328	
71	246	20	21		638	217	288	
72	202	0	0		575	177	247	

73	182	541	152	224
74	161	507	132	201
75	140	473	110	178
76	181	440	88	155
77	171	424	80	148
78	147	390	83	128
79	130	359	64	108
80	113	328	46	88
81	99	307	48	69
82	85	285	35	55
83	70	264	21	43
84	47	225	12	32
85	37	208	7	22
86	28	191	2	13
87	18	156	0	5
88	0	121		0
89		86		
90		79		
91		58		
92		37		
93		26		
94		16		
95		0		

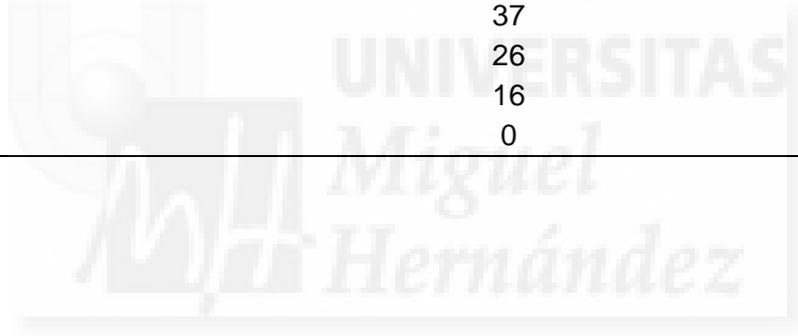


Tabla 5. Resumen del test ANOVA sobre el porcentaje acumulado de agua en los 2 suelos.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	51,005	1	51,005	191,87	8,8141E-06	13,745023
Dentro de los grupos	1,595	6	0,265833333			
Total	52,6	7				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	4	100,7	25,175	0,3425		
Columna 2	4	120,9	30,225	0,1892		

Tabla 6. Datos de Temperatura y Humedad relativa (medias diarias) recogidos durante el ensayo (continúa en las páginas siguientes).

Fecha	Mínimos		Máximos		Medias	
	T ^a (°C)	HR (%)	T ^a (°C)	HR (%)	T ^a (°C)	HR (%)
21/01/2015	7,1	21,3	26,7	60,1	13,2	45,7
22/01/2015	5,4	25,7	21,5	65,7	10,9	49,1
23/01/2015	6,2	16,9	25,6	50	12,7	37,1
24/01/2015	7,8	16,5	26,8	50,9	14,0	37,9
25/01/2015	6,7	12,3	31,3	65,8	14,1	45,1
26/01/2015	6,6	16,8	32	61,6	14,5	46,5
27/01/2015	9,2	18	32,4	53,2	16,9	40,2
28/01/2015	8,3	17,9	33,1	69,8	16,4	48,3
29/01/2015	15,3	18	34,5	57,9	20,5	42,9
30/01/2015	12,2	20,6	35,8	70,7	21,5	44,9
31/01/2015	8,4	22,3	27,7	45,9	14,7	37,8
01/02/2015	8,3	18,9	24,3	52,6	13,0	39,6
02/02/2015	8,3	16,7	30,6	70,9	16,2	45,3
03/02/2015	8,2	17,5	31	63,5	15,5	43,1
04/02/2015	5,6	16,9	23,2	47,3	10,6	35,0
05/02/2015	6,3	12,1	24,5	44,2	12,2	31,1
06/02/2015	3,4	16,9	25,1	52,4	9,7	38,5
07/02/2015	4,3	20,5	25,9	61	12,0	44,9
08/02/2015	5,1	16,2	31,2	58,8	13,3	42,3
09/02/2015	8,5	30,8	24,1	83,3	12,6	64,8
10/02/2015	9,5	34,8	25,6	73,3	13,6	60,8
11/02/2015	10,2	29,6	30,6	79,4	15,5	64,5
12/02/2015	7,3	34	30	85,3	12,4	73,6
13/02/2015	9,2	21,1	33,6	69,4	17,1	50,1
14/02/2015	11,6	26	29	79,4	17,4	54,6
15/02/2015	12,2	24,5	31,7	63,2	19,1	47,1
16/02/2015	12,2	23,4	31,2	74,9	18,3	55,6
17/02/2015	12,3	22,1	34	68,3	16,2	55,3
18/02/2015	7,1	23,2	31,7	72,2	15,5	54,7
19/02/2015	9,8	22,2	33,2	65,8	16,9	51,5
20/02/2015	7,7	19,3	35,6	74,2	29,6	56,3
21/02/2015	9,5	16,7	29,7	50,1	16,1	36,8
22/02/2015	10,1	6,15	33,2	63,8	18,2	42,5
23/02/2015	11,2	16,5	36,5	50,5	19,4	36,2
24/02/2015	11,1	13	31,2	44	17,4	31,2
25/02/2015	13,3	18,7	32,5	54,8	18,9	38,3
26/02/2015	15,1	13,3	41,1	49,6	22,6	37,2
27/02/2015	8,9	10,5	35	63,3	19,2	38,2
28/02/2015	12,5	12,6	39,1	54,4	21,7	38,3
01/03/2015	15,1	14,5	40,4	61	24,6	41,2
02/03/2015	16,1	12,7	47,4	56,9	27,8	37,8
03/03/2015	13,8	18,4	42,6	74,6	23,9	53,2
04/03/2015	9,7	8,5	40,9	63,9	20,9	33,6
05/03/2015	6,8	4,8	40,2	41,1	19,3	26,0
06/03/2015	8,6	5,8	39,9	55	19,7	35,8

07/03/2015	10,6	7,7	42,7	54,2	21,0	35,4
08/03/2015	11,7	19	37,8	69,3	20,4	50,7
09/03/2015	10,4	15,9	41,7	71,8	21,7	50,2
10/03/2015	9,8	16,8	41,8	73	21,4	50,3
11/03/2015	13	12,9	43,6	58,6	23,7	37,8
12/03/2015	12	11,6	45,7	72,3	24,5	43,8
13/03/2015	11,7	18,8	39,1	68,9	19,9	52,0
14/03/2015	7,5	14,6	38,4	73	16,9	54,4
15/03/2015	10,5	18,7	35,7	77,9	19,5	51,6
16/03/2015	7,5	19,2	38,1	72,7	18,1	51,5
17/03/2015	11,3	17,9	36,4	72,1	18,1	53,4
18/03/2015	11,8	49,2	22,8	81,7	15,0	71,2
19/03/2015	14,1	37,2	23,8	74,7	17,4	62,1
20/03/2015	13,2	30,8	33,6	83	19,0	63,6
21/03/2015	12,3	27,1	34,5	81,7	19,3	63,9
22/03/2015	12,8	39	33	85,7	18,1	72,0
23/03/2015	11	27,6	35,7	77,4	18,4	59,9
24/03/2015	8,2	16,8	31,8	68,3	15,8	41,9
25/03/2015	13,1	13,2	38,6	58,4	21,6	40,8
26/03/2015	16,4	12,4	43,8	54,5	26,8	36,2
27/03/2015	17,9	10,5	46,3	53,6	28,0	34,4
28/03/2015	16,8	11,8	44,4	58,9	26,9	36,5
29/03/2015	19,5	7,3	47,6	40,4	30,9	24,9
30/03/2015	16,4	8,8	51,5	60,2	30,2	33,2
31/03/2015	15,2	13,3	45,4	62,8	25,9	40,4
01/04/2015	13,3	16,5	43,1	71,2	25,2	46,9
02/04/2015	14,6	15,9	44,2	68,4	25,6	46,9
03/04/2015	13	14,8	44,5	71,5	24,6	46,4
04/04/2015	15,5	14	45,8	68,7	26,7	43,4
05/04/2015	13,5	14,7	38,3	56,6	20,9	42,8
06/04/2015	12,9	19,4	33,5	57	20,2	40,9
07/04/2015	14,1	15,5	37,3	58,1	21,9	40,6
08/04/2015	13,1	13,4	39,9	58,3	23,3	38,6
09/04/2015	14,1	15,5	42,2	67,5	22,3	47,9
10/04/2015	13,7	25,2	34	63,1	21,4	48,4
11/04/2015	16,7	14,8	39,3	54,2	24,2	35,0
12/04/2015	14,8	11,6	41,3	49,1	24,8	30,5
13/04/2015	18,8	10,7	42,2	41,2	26,0	26,4
14/04/2015	14,9	18	46,4	77,2	22,7	57,6
15/04/2015	16,4	14,2	47,9	64,4	26,7	43,2
16/04/2015	14,5	10,5	49,5	64,2	27,8	39,7
17/04/2015	16,3	11,3	46,8	62,1	26,9	37,0
18/04/2015	15	7,1	47,3	56,7	27,4	36,7
19/04/2015	14,9	10,7	46,2	61,8	27,1	39,8
20/04/2015	17,6	17,4	43,5	62,5	25,5	43,5
21/04/2015	16,7	16,6	45,9	67,2	27,8	42,7
22/04/2015	15,2	16,2	47,5	70,5	27,5	47,6
23/04/2015	15,8	12,5	47	74,4	28,1	48,3
24/04/2015	18,5	13,7	47	68,8	29,3	39,7

25/04/2015	17	13	48,8	58,9	25,7	42,2
26/04/2015	15,6	9,8	46,7	53,8	26,0	32,1
27/04/2015	16,2	11,6	46,1	65,6	28,3	40,3
28/04/2015	17,6	12,9	48,3	69,9	29,2	44,3

Tabla 7. Análisis de la varianza (ANOVA) en el suelo 1.

RESUMEN Suelo 1						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	4	328	82	100,67		
Columna 2	4	286	71,5	9,67		
Columna 3	4	298	74,5	1		
Columna 4	4	177	44,25	20,25		
ANÁLISIS DE VARIANZA 99 % confianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3258,19	3	1086,06	33,02	4,44853E-06	5,95
Dentro de los grupos	394,75	12	32,90			
Total	3652,94	15				

Tabla 8. Análisis de la varianza (ANOVA) en el suelo 2.

RESUMEN Suelo 2						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	4	369	92,25	6,25		
Columna 2	4	342	85,5	15		
Columna 3	4	335	83,75	98,92		
Columna 4	4	226	56,5	75		
ANÁLISIS DE VARIANZA 99 % confianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2982,5	3	994,17	20,38	5,30789E-05	5,95
Dentro de los grupos	585,5	12	48,79			
Total	3568	15				

Tabla 9. Análisis de la varianza (ANOVA) en los suelos 1 y 2.

RESUMEN Suelos 1 y 2						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	8	697	87,13	75,84		
Columna 2	8	628	78,50	66,57		
Columna 3	8	633	79,13	67,27		
Columna 4	8	403	50,38	83,70		
ANÁLISIS DE VARIANZA 99 % confianza						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6213,84	3	2071,28	28,24	1,2932E-08	4,57
Dentro de los grupos	2053,63	28	73,34			
Total	8267,47	31				

