



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

**Valoración de la efectividad de los residuos de café
sobre la respuesta hidrológica del suelo mediante
ensayos en laboratorio con lluvia artificial**

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Agronòmica i del Medi Natural**

**Titulació: Enginyeria Agroalimentaria i del Medi Rural
Hortofruticultura i Jardineria**

Autor: D. Javier Carrillo Segura

Tutora Académica: Dra. Sara Ibáñez Asensio

Curso 2018/2019

RESUMEN

Últimamente se ha evidenciado cómo el recurso suelo en nuestro país ha sufrido un deterioro gradual, generado por fenómenos de erosión y de remoción de masas producidos por diversos factores, entre los cuales encontramos la erosión física y química, sumado a eventos negativos como el cambio climático y la sedimentación de los ríos, lo cual supone un impacto negativo en el ambiente.

En el presente TFG se va a realizar una experiencia donde se trabajará con bandejas de suelo (en concreto 13) de una determinada superficie y a las cuales se les añadirá una enmienda orgánica (posos de café) con el fin principal de comprobar si dicho residuo ayuda a luchar frente a la erosión hídrica (escorrentía) y a la vez mejora la infiltración, y con el fin secundario de observar si la aplicación de dicha enmienda mejorará las propiedades físicas del suelo.

Cabe destacar que se realizará diferentes estudios ya que algunas de las bandejas llevaran el café en superficie mientras que otras lo llevaran enterrado, y además el café que se utilizará estará o bien compostado o bien sin compostar.

Para comprobar el primer objetivo se hará uso de un simulador de lluvia, situado en el invernadero y que nos proporcionará una precipitación conocida; Se hará también uso de mesas de simulación donde se colocará las bandejas y se realizará la experiencia. Se obtendrá así los datos de escorrentía y tasas de infiltración.

Por otro lado, también se trabajará en laboratorio, bien sea para conocer la cantidad de humedad de las diferentes muestras que se recogerán de las bandejas, como para determinar cantidad de materia orgánica, determinar costra superficial etc.

En conclusión, viendo que día a día la erosión y los problemas de degradación van aumentando y eliminando algo tan importante como es el suelo, con esta experiencia se quiere averiguar si la adición de posos de café al suelo es una buena medida de conservación de los suelos evitando parte de erosión o por si el contrario la adición de este residuo no tiene efecto alguno.

Palabras clave: erosión, café, compost, escorrentía, infiltración, enmienda, residuo, conservación.

ABSTRACT

Lately it has been shown how the soil resource in our country has suffered a gradual deterioration, generated by phenomena of erosion and mass removal caused by various factors, among which we find physical and chemical erosion, added to negative events such as climate change and the sedimentation of the rivers, which supposes a negative impact on the environment.

In this TFG, an experience will be carried out where you will work with soil trays (specifically 13) of a certain surface and to which an organic amendment (coffee grounds) will be added with the main purpose of checking if such waste helps to fight against water erosion (runoff) and at the same time improves infiltration, and with the secondary purpose of observing whether the application of said amendment will improve the physical properties of the soil.

It should be noted that different studies will be carried out since some of the trays will carry the coffee on the surface while others will carry it buried, and in addition the coffee that will be used will be either composted or without composting.

To verify the first objective, we will use a rain simulator, located in the greenhouse and that will provide us with a known rainfall; Simulation tables will also be used where the trays will be placed and the experience will take place. This will result in runoff data and infiltration rates.

On the other hand, it will also work in the laboratory, either to know the amount of moisture of the different samples that will be collected from the trays, as to determine the amount of organic matter, determine surface crust etc.

In conclusion, seeing that day by day erosion and degradation problems are increasing and eliminating something as important as the soil, with this experience we want to find out if the addition of coffee grounds to the soil is a good conservation measure for soils avoiding part of erosion or if the opposite the addition of this residue has no effect.

Keywords: erosion, coffee, compost, runoff, infiltration, amendment, waste, conservation.

En agradecimiento por todo el apoyo recibido por parte de mi pareja, Raquel, mi familia, amigos y profesores.

En especial dar las gracias a mis padres, el principal pilar de mi vida, y quienes han estado a mi lado apoyándome constantemente, creyendo en mí y en lo que hacía. Por su inmensurable e incondicional cariño recibido durante siempre, y porque sus valores son parte de mí y la esencia de mi persona.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 El suelo. Su calidad y conservación.....	1
1.1.2 Degradación de suelos. Procesos de erosión hídrica. Medidas de conservación y la necesidad de conservar.....	2
1.2 La erosión hídrica y sus tipos.....	5
La erosión y sus consecuencias, agentes y tipos de erosión.....	5
1.2.2 Propiedades del suelo determinantes de la erosión hídrica.....	8
Estructura del suelo	
Estabilidad estructural	
Retención de agua	
Cantidad materia orgánica	
1.2.2 Protección del suelo mediante cubiertas.....	11
1.3 El café.....	12
1.3.1 Residuos del café y su revalorización.....	13
Residuos del café y usos (alternativas ambientales de uso)	
Principales ventajas del uso	
El café compostado	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	16
3. METODOLOGÍA.....	17
3.1 Ensayo.....	17
3.1.1 Mesas de simulación y simuladores de lluvia.....	17
3.1.2 Preparación de las muestras.....	19
3.2 Caracterización de las muestras del suelo.....	22

3.2.1	Determinación de la materia orgánica y humedad gravimétrica..	22
3.2.3	Determinación de la resistencia a la penetración.....	24
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1	Resultado escorrentía.....	26
4.1.1	Tiempos de inicio de escorrentía.....	30
4.2	Percolación total recogida.....	31
4.3	Propiedades físicas del suelo.....	32
4.3.1	Caracterización del suelo.....	32
4.3.2	Determinación de la resistencia a la penetración (con penetrómetro manual).....	32
4.3.2.1	Determinación de resistencia a la penetración (con penetrómetro de suelos).....	34
4.3.3	Determinación del carbono orgánico.....	35
4.3.4	Determinación del porcentaje de contenido de humedad.....	37
5.	CONCLUSIONES.....	39
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	41
7.	ANEJOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factores de la degradación de los suelos.....	3
Figura 2. Etapas de la erosión hídrica.....	6
Figura 3. Estructura de un grano de café.....	13
Figura 4. Detalles de una mesa de simulación de laboratorio.....	18
Figura 5. Parrilla portagoteros.....	18
Figura 6. Detalle goteros.....	18
Figura 7: Ficha de simulación de la experiencia.....	21
Figura 8. Estufa.....	23
Figura 9. Campana temperatura ambiente.....	23
Figura 10. Mufla.....	23
Figura 11. Penetrómetro.....	24
Figura 12. Penetrómetro de suelos.....	25
Figura 13. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café sin compostar en superficie (SSC).....	26
Figura 14. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café compostado en superficie(SC).....	27
Figura 15. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café sin compostar enterrado(ESC).....	27
Figura 16. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café compostado enterrado(EC).....	28
Figura 17. Gráfica de la curva de escorrentía de la bandeja control.....	29
Figura 18. Tiempos de inicio de la escorrentía.....	30
Figura 19. Promedio de las percolaciones totales por familia de bandejas.....	31
Figura 20.- Determinación costra superficial con penetrómetro de suelos.....	35
Figura 21. – Datos obtenidos para la determinación del carbono orgánico.....	36
Figura 22. Porcentaje de retención de humedad por bandejas.....	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fecha de riegos y cantidad de agua a las bandejas.....	20
Tabla 2. Nomenclatura de las distintas bandejas.....	25
Tabla 3. Determinación de resistencia a la penetración en bandejas. Día 1.....	33
Tabla 4. Determinación de resistencia a la penetración en bandejas. Día 2.....	33

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El suelo. Su calidad y conservación

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo.

Se puede definir el suelo de forma general como un cuerpo natural no consolidado, compuesto por materia mineral y orgánica, presente en la superficie de la tierra y capaz de soportar el crecimiento vegetal.

Un cuerpo natural consistente en capas u horizontes de constituyentes orgánico y/o mineral de espesor variable, que difieren del material parental en la morfología, sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas, y en sus características biológicas. (Joffe, 1949).

El suelo es la formación natural de la superficie, de estructura suelta y espesor variable, resultante de la transformación de la roca subyacente bajo la influencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos. (Demolon, 1965).

Me gustaría destacar la definición de suelo que da la "Soil Science Society of America" donde lo define como la materia mineral no consolidada sobre la superficie de la tierra que ha sido sujeta e influenciada por los factores genéticos y factores ambientales del material parental, clima organismo y topografía, todos actuando sobre un periodo de tiempo, produciendo un producto (suelo) que difiere del material del que deriva en muchas propiedades físicas, químicas y biológicas.

Dentro de los estudios más avanzados de la Ciencia del Suelo, aquellos encaminados a conocer su calidad y salud son hoy en día prioritarios. La calidad del suelo está definida por su capacidad de realizar funciones simultáneas tales como sostener la productividad de los cultivos, purificar el agua y del aire, y el proporcionar condiciones saludables para plantas, animales y el hombre dentro de los límites de un ecosistema.

La calidad del suelo no es fácil de definir, pues depende del uso que se le vaya a dar a dicho suelo (agrícola, forestal, urbano, industrial). Una de las opciones posibles es la que ofrecieron Doran y Parkin en 1994, definiendo la calidad de un suelo como su capacidad para mantener su productividad biológica, su calidad ambiental, promoviendo además la salud de animales, plantas y el propio ser humano.

Para muchos autores, la materia orgánica del suelo está considerada como el indicador más significativo de calidad (Larson and Pierce, 1991). Doran y Parkin (1994) la han incluido como el componente más importante a seleccionar entre un grupo de datos mínimos y necesarios para definir la calidad del suelo. Los efectos de las prácticas de

manejo sobre la materia orgánica son fundamentales para evaluar la sustentabilidad de los cultivos, sistemas de laboreo y sus efectos sobre el medio ambiente.

1.1.2 Degradación de suelos. Procesos de erosión hídrica. Medidas de conservación/La necesidad de conservar.

En la segunda mitad del siglo XX ha tenido lugar un aumento sin precedentes de los procesos de degradación del suelo provocados por la actividad humana. Los procesos de erosión, pérdida de materia orgánica y/o humus, contaminación etc., han aumentado de forma alarmante durante los últimos 50 años, afectando particularmente a los sistemas agrarios. Es una preocupación creciente que supone la pérdida de un recurso esencial para la producción de alimentos y solamente renovable a muy largo plazo.

El suelo es un recurso con una velocidad de degradación rápida y, tasas de formación y regeneración extremadamente lentas. Por lo tanto, la prevención y una política de gestión sostenible del recurso son fundamentales. Así, por ejemplo, el "*Mapa Mundial del Estado de la degradación antropogénica de los suelos (GLASOD), 1990*" en la Unión Europea, estima que 52 millones de hectáreas (más de un 16% total del territorio) están afectadas por algún tipo de proceso de degradación.

Los principales tipos de procesos degradativos del suelo (figura 1) son: degradación física lo que supone pérdida de estructura, degradación química, salinización, toxicidad de elementos incorporados al suelo, degradación biológica con descenso de la actividad biológica del suelo y pérdida de materia orgánica y erosión eólica o hídrica con pérdidas físicas del suelo y la cual será, la que hagamos más hincapié en el presente TFG.

La degradación física y biológica está estrechamente relacionadas ya que se suelen producir por la pérdida de materia orgánica del suelo.

La degradación de suelos implica importantes cambios socioeconómicos: desequilibrios en los rendimientos y producción de los agrosistemas, disminución o pérdida de ingresos económicos, ruptura del equilibrio tradicional entre las actividades agrícolas y de pastoreo, abandono de tierras y cultivos, deterioro del territorio paisajístico etc. (ROJAS, A.E. & IBARRA, J. 2003)

I. DETERIORO FÍSICO

A. CLIMÁTICOS

1. Aridez y altas temperaturas. Fuerte evapotranspiración
2. Distribución de las precipitaciones irregular
3. Alternancia de periodos de sequía y de lluvias torrenciales

B. NO CLIMÁTICOS

1. Erosión hídrica y eólica
 - 1.1 Espesor: Retención de humedad
Pérdida de componentes más finos
 - 1.2 Estructura: Aireación. Retención de humedad
Permeabilidad. Infiltración
2. Sellado y encostramiento
3. Compactación del suelo
4. Ocupación por la construcción e infraestructuras

II DETERIORO QUÍMICO

A. SALINIZACIÓN Y ALCALINIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

B. REDUCCIÓN DE FERTILIDAD

C. CONTAMINACIÓN DEL SUELO. TOXIFICACIÓN

- a. Productos fitosanitarios
- b. Fertilizantes
- c. Metales pesados
- d. Acidificación (lluvia ácida, minería)
- e. Residuos orgánicos de origen urbano
- f. Radiactividad

III DETERIORO BIOLÓGICO

A. DISMINUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD: Pérdida duradera de la vegetación natural

B. REDUCCIÓN DEL CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA

- a. Fertilidad
- b. Física (estructura); química (intercambio iónico) y biológico (sustento de organismos)

C DISMINUCIÓN DE LOS ORGANISMOS DEL SUELO

Alteraciones en la evolución de la materia orgánica, edafización y fijación del nitrógeno.

Figura 1. – Factores de la degradación de los suelos (Rubio et al.1984; López Bermudez y Albaladejo, 1989. López Bermudez, 1992; Núñez Crespi et al., 2007

CONSERVACION DE SUELO. TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN

Los costes sociales y económicos de la erosión son complejos de calcular. Por una parte, se deben considerar las pérdidas de cosecha por reducción de la superficie de suelo cultivable o de su productividad (FAO, 1993). Hay que tener en cuenta que lo primero que se pierde por erosión es la parte superficial del suelo, generalmente la más fértil, por lo que el daño económico puede ser importante, aunque no se pierda mucho espesor del suelo. Debemos añadir también los costes por el mayor requerimiento de fertilizantes y por un mayor consumo de combustible o de esfuerzo en suelos erosionados. Entre los costes indirectos de la erosión deben incluir los derivados de la contaminación de las aguas, el colmatado de los embalses por los sedimentos, la pérdida de biodiversidad etc.

España, debido a su clima mediterráneo es vulnerable en gran medida a los procesos erosivos por lo que cualquier acción dirigida a mitigar este efecto es de gran valor para la conservación del medio natural.

Como una de las medidas para la conservación del suelo es el aporte de materia orgánica. (GARCÍA IZQUIERDO, C. 2008). La forma de actuación de la materia orgánica en la rehabilitación de suelo debe comenzar con la mejora en las prácticas de manejo del suelo, entre ellas la rotación de cultivos, las coberturas del suelo, aportes de materia orgánica, la reducción del laboreo etc. La consecuencia de estas buenas prácticas hace que exista una barrera física eficaz contra la erosión hídrica, además el aporte del café en el caso de nuestro TFG como cobertura del suelo aporta materia orgánica y nutriente y ese aumento de materia orgánica se mantiene en el suelo al estar menos alterado y más protegido. En poco tiempo se debe apreciar que la estructura superficial del suelo se vuelve más estable y menos propensa al encostramiento o la erosión; también debe aumentar la infiltración y reducir la escorrentía superficial a la vez.

La pérdida de suelo es más intensa en zonas en pendiente porque en ellas el agua corre con más fuerza. Para impedir que el agua y el viento se lleven partículas de tierra, podemos usar algunas técnicas que son muy eficaces a pesar de su sencillez. Se trata de prácticas para conservar el suelo y el agua.

La *cobertura vegetal* (pastos tupidos, residuos de cosecha), además de enriquecer el suelo, ayuda a protegerlo contra la erosión, especialmente en la época de lluvias. (Diaz Mendoza, C. 2011). En la época de sequía, evita que el suelo se reseque, al disminuir la pérdida de agua por evaporación. Asimismo, la utilización del rastrojo como cobertura

ayuda a controlar las malezas y aumenta la materia orgánica y la fertilidad.

Toda práctica que pueda reducir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, que reduzca el caudal circulante o que mejore la resistencia del suelo a la erosión, como una mejora de la estructura propia del mismo, disminuirá las pérdidas erosivas. En este sentido, la presencia de residuos de cosecha sin enterrar, constituirán una de las principales estrategias de conservación de los suelos agrícolas. (Giráldez, J V).

Dentro de esta técnica se englobará el presente TFG, donde los posos de café serían residuos aplicados al suelo, con el fin de mejorar las propiedades físicas de éste y evitar la erosión hídrica producida por la lluvia.

1.2 La erosión hídrica y sus tipos

A lo largo de la historia, la erosión es uno de los problemas ambientales más importantes de la región mediterránea (Martínez, Martínez, Francia & González, 2004). Debido a que es una región caracterizada por una precipitación anual baja, la ocurrencia de tormentas de elevada intensidad y sequías prolongadas, una elevada evapotranspiración, la presencia de grandes pendientes consecuencia de una actividad tectónica reciente, junto con el recurrente uso del fuego, el sobrepastoreo y el laboreo (García-Ruiz, Nadal, Lana-Renault & Beguería, 2013), hacen que, en la región, más del 43% de la superficie, registre tasas de erosión superiores a $12 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (de Alba, 2002).

El clima mediterráneo se caracteriza por una elevada variabilidad espacial y temporal de las lluvias. No resultan raros los eventos extremos, de elevada intensidad, que generan importantes tasas de erosión y escorrentía (Martínez-Casasnovas, Ramos, & Ribes, 2002). Usualmente, unos pocos eventos al año son responsables de gran parte de las pérdidas de suelo anuales (GonzálezHidalgo, Arrillaga, Peña, 2005; Ramos, 2016).

La superficie terrestre se ve afectada por la acción de fuerzas naturales que producen o facilitan el desplazamiento de partículas individuales o de la masa del suelo. La fuerza de la gravedad es el principal motor de los procesos erosivos, pero, por sí misma, solo es capaz de producir erosión cuando la pendiente es suficientemente elevada para permitir el deslizamiento del suelo (derrumbes, deslaves, movimientos en masa etc.). Cuando además de la gravedad, interviene la energía cinética de un fluido como el aire o el agua, los desplazamientos de partículas son muy importantes y extensos. (BIENES ALLAS, R. 2006). En el caso de la erosión eólica las partículas pueden ser transportadas por el viento a grandes distancias. La erosión hídrica, no obstante, es la que tiene mayores repercusiones ambientales y económicas.

Cuando el agente erosivo que origina el desprendimiento y desplazamiento de los materiales del suelo es el agua se habla de erosión hídrica. Básicamente la erosión hídrica puede clasificarse en erosión de ladera y erosión en canales o cursos de agua. Por otro lado, los tipos de erosión hídrica se clasifican en aquellos que degradan uniformemente la superficie del suelo (erosión de impacto y erosión laminar) y los que

concentran el desprendimiento de partículas de suelo en áreas específicas (erosión en riles, erosión en cárcavas, erosión en canales y costas).

La erosión por salpicadura consiste en el arranque y desplazamiento de partículas de suelo por impacto de las gotas de lluvia (Figura 2). Depende sobre todo de la energía cinética con que impactan las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo. Depende también de la resistencia específica de cada suelo a este proceso erosivo, es decir de la estabilidad de la estructura, textura, contenido en materia orgánica etc.

Por otro lado, la erosión laminar se produce por la circulación de una lámina fina de agua por la ladera, siempre que la superficie sea uniforme (figura 2). Para que aparezca la escorrentía sobre la superficie del suelo la intensidad de la precipitación debe ser mayor que la capacidad de infiltración del suelo, o bien que esté ya saturado. La velocidad del agua de escorrentía laminar es limitada, por lo que la capacidad de arrastre también, lo que selecciona partículas de tamaño pequeño y afecta a una superficie relativamente amplia.

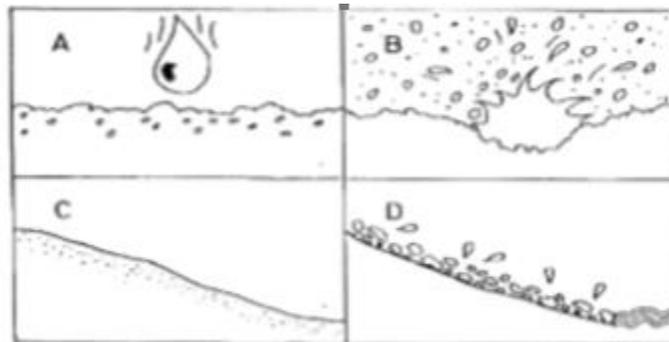


Figura 2. – Etapas de la erosión hídrica: Por el impacto de gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A), sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas (B), que tapan los poros formando una selladura superficial (C), provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (D). (Derpsch et al.,1991)

En la actualidad se busca encontrar alternativas para el control de la erosión y estabilización de suelos. (García-Chevesich Pablo A. (2008). Entre las tecnologías utilizadas para el control de la erosión se encuentran la bioingeniería, especialmente utilizando pastos, y árboles; las obras de manejo de aguas de escorrentía, cortacorrientes, canales revestidos en piedra y en concreto, torrenteras; barreras de vegetación, colocación de suelos orgánicos, revegetación con tela de fibra, utilización de estaquillas o malla metálica; Así pues, uno de los principales métodos de control de la erosión hídrica del suelo es el uso de cubiertas, que son usadas como barrera frente a dicha erosión, y

que evitaran porcentualmente que el impacto de gota rompa los agregados de la superficie del suelo y éstos luego se pierdan por escorrentía, evitando así mayores tasas de erosión y sedimentación.

Medidas directas de la erosión hídrica mediante parcelas de erosión

Para realizar estudios detallados de la magnitud alcanzada por la erosión hídrica y de los factores ambientales que la condicionan se utilizan parcelas experimentales de campo y en ocasiones, también, parcelas que se establecen en el interior de laboratorios o invernaderos como en nuestro caso. Una parcela de erosión es, casi siempre, una superficie de terreno delimitada por unos bordes y provistos de un sistema para almacenar el agua de escorrentía y los sólidos desplazados. (Alegre, J. & García Estringana). Las parcelas permiten trabajar con precisión en la determinación de las pérdidas de suelo, y al mismo tiempo posibilitan el establecimiento de relaciones entre la erosión, las características de la precipitación, las características (hidrológicas (escorrentía), la naturaleza del suelo y los usos del mismo. La precisión y la posibilidad de medir al mismo tiempo erosión y escorrentía es lo que hace de las parcelas un instrumento básico en los estudios de pérdidas de suelo.

Las parcelas se clasifican en función de su tamaño y se habla de microparcels, parcelas de tamaño medio y macroparcels. Las parcelas de menores dimensiones se utilizan, básicamente para realizar estudios de escorrentía e infiltración, estudios de contaminantes del agua etc. Por sus pequeñas dimensiones estas parcelas son baratas y de manejo relativamente fácil lo que permite testar un elevado número de tratamientos con repeticiones.

Simuladores de lluvia.

Son equipos que se diseñan para generar episodios de lluvia con un tamaño de gota y una intensidad conocidos. Se emplean en muchos de los trabajos de laboratorio, por razones evidentes, y también en numerosas experiencias de campo con el fin de disponer a voluntad de precipitaciones.

Para que se produzcan pérdidas de suelo importantes, a partir de episodios de lluvia natural, es preciso que se den precipitaciones de alta intensidad, lo que de forma natural sucede con una frecuencia baja. En consecuencia, para obtener datos fiables de erosión en parcelas de campo a partir de episodios de lluvia natural, normalmente se necesitan periodos de control de más de 10 años. La necesidad de este prolongado periodo de muestreo es una de las razones que justifican el empleo de simuladores de lluvia en trabajos de campo, ya que permiten obtener datos con mayor rapidez.

La misión de los simuladores en general no es reproducir la lluvia natural. Por el contrario con los simuladores se intenta que las condiciones de la precipitación durante los ensayos siempre sean las mismas, y que dejando fijo el tipo de lluvia se puedan estudiar los

efectos de otras variables como el tipo de suelo, la pendiente o la cubierta vegetal realizando, además, las repeticiones necesarias para mejorar la exactitud de las comparaciones. Una de las grandes ventajas de los simuladores es que permiten repetir lluvias de características semejantes tantas veces como queramos.

Pero aunque un simulador no tiene que reproducir necesariamente la lluvia natural si tiene que generar un tipo de precipitación que se parezca a la lluvia. En este sentido hay dos aspectos que son fundamentales. En primer lugar el tamaño de las gotas de lluvia que está limitado y en segundo lugar la velocidad de impacto sobre el suelo.

Un simulador debe cumplir una serie de requisitos:

- 1- Que la distribución de las gotas de lluvia sea uniforme y sea repetible
- 2- Que la velocidad de la gota cuando impacta con el suelo sea semejante a la de la lluvia.
- 3- Que pueda simular una tormenta (lluvia de intensidad alta con tamaños de gota grandes).
- 4- Que la intensidad y los tamaños de gota sean reproducibles.

Las principales ventajas son:

- La capacidad de tomar numerosas mediciones rápidamente sin tener que esperar las precipitaciones naturales;
- La posibilidad de trabajar con precipitaciones constantemente controladas, eliminando de ese modo la errática e imprevisible variabilidad de la lluvia natural;
- en general es más rápido y sencillo establecer un simulador sobre los tratamientos de los cultivos existentes que establecer tratamientos sobre parcelas de escorrentía.

Dada la complejidad de realizar medidas a escala y tiempo reales, se han desarrollado dispositivos basados en generar lluvia artificial, de intensidad controlable, que se proyecta sobre una superficie de extensión y características conocidas. El sistema permite trabajar incluso en laboratorio, sobre una superficie de inclinación variable, con lo que resulta posible comparar diferentes tratamientos y obtener muchos datos en un período corto de tiempo.

1.2.2 Propiedades del suelo determinantes de la erosión hídrica

Dentro de las propiedades del suelo cabe destacar:

- **Estructura del suelo:** La estructura del suelo hace referencia a la organización de las

partículas sólidas en agregados y la consecuente generación de poros (Wild, 1992). Se trata de una de las características más importantes del suelo, ya que influye directamente sobre varias propiedades físicas con incidencia en la fertilidad. De la estructura depende la facilidad para la circulación de las soluciones nutritivas e intercambio de gases, así como la disponibilidad de espacios para la penetración de raíces y hábitat de microorganismos.

Cabe destacar dentro de la estructura dos términos que son agregado que es una unidad tridimensional formada por un conjunto de partículas individuales del suelo dando lugar a terrones y grumos unidos por material coloidal y que poseen cierta organización interna y forma externa característica. Y por el otro lado el término poro que son espacios irregulares, no rígidos, interconectados entre sí por los que circula el agua y el aire y se clasifican según su tamaño en macroporos, microporos y capilares.

La definición de estructura incluye el tamaño y la manera de agregarse de forma natural y estable de las partículas individuales, así como el espacio de huecos de distintos tamaños que lleva asociada esta organización en agregados (Porta, 2008).

Las partículas de los agregados del suelo se unen de forma más o menos estable por agentes de enlace químico tales como la coagulación de arcillas, formación de complejos órgano-minerales etc. De la efectividad de esta unión dependen un conjunto de propiedades físicas que controlan la funcionalidad del suelo asociada a la estructura. Entre ellas, algunas de las más importantes son la estabilidad de agregados, la densidad aparente y la retención de agua a potenciales que permiten el agua útil para las plantas.

Dentro de la estructura del suelo o de sus propiedades relacionadas, cabe destacar el término encostramiento del suelo o costra superficial. Este fenómeno se produce cuando las gotas, bien sea por lluvia o provocadas por el riego, impactan contra la superficie del suelo rompiendo los agregados poco estables de éste. Este proceso conduce a la liberación de partículas finas que, al ser movilizadas, van a rellenar los poros y los huecos del horizonte superficial y dan lugar a la formación de una costra superficial o costra de apelmazamiento. La costra es una capa que puede tener de varios mm a varios cm (0,5 a 2 cm). Es extremadamente compacta, dura, frágil, se agrieta y es mucho menos permeable al agua y al aire que el material inmediatamente subyacente.

- **La estabilidad estructural:** En caso de que la estructura del suelo se deshaga, ello supone una limitación para el crecimiento de las plantas. Un colapso de la estructura impide la retención, disponibilidad y movimiento del agua. La actividad biológica también se restringe por falta de hábitat y oxigenación (Wild, 1992). Muchos son los

procesos que pueden dar lugar a la rotura y dispersión de los agregados y, como consecuencia, a la destrucción y compresión de los poros. La mayoría procede de fuerzas ambientales naturales como impacto de las gotas de lluvia, congelación o mojado rápido de materiales secos, y otras derivan del manejo del suelo. La actuación directa del hombre sobre los suelos, especialmente en el ámbito de la agricultura, modifica la forma, la estabilidad y, aún más importante, la capacidad del suelo para restaurar la condición estructural (Volverás, B. & Amézquita, E. 2009).

Es por ello que uno de los parámetros a tener en cuenta para catalogar la fertilidad física del suelo es la estabilidad de los agregados, también denominada estabilidad estructural. Ella se define como la resistencia de los agregados a la rotura o compresión frente a fuerzas externas como la humectación y la compactación (Sánchez-Marañón et al., 2011). Especialmente, la estabilidad o persistencia de los agregados en agua influye sobre el crecimiento de las plantas, transporte de agua y aire, actividad biológica, erosionabilidad, y formación de costras superficiales. De nada sirve la funcionalidad estructural del suelo si cuando este se moja los agregados colapsan y dispersan, eliminando la porosidad preexistente. Al desagregarse las partículas del suelo, estas tienen también más riesgo de erosionarse y de empaquetarse formando costras que impiden la infiltración del agua y la emergencia de semillas. Por esta razón, la estabilidad de los agregados es un indicador esencial para diagnosticar la calidad dinámica del suelo o la capacidad del mismo para desarrollar sus funciones ecológicas y productivas (Doran and Parkin, 2006). En ambientes naturales, la materia orgánica del suelo favorece la estabilidad de los agregados. Por una parte, interviene como agente cementante, dado que los compuestos húmicos puentean las partículas minerales o incluso las tapizan favoreciendo una unión duradera. Por otra parte, la materia orgánica incentiva la actividad biológica que, específicamente en el caso de bacterias, produce segregaciones tales como los mucopolisacáridos derivados de la metabolización de residuos orgánicos, que actúan como pegamentos para fortalecer la unión de las partículas minerales que forman los agregados (Wild, 1992). Si la adición de posos de café al suelo tuviera un efecto similar al de la materia orgánica en suelos naturales, ello podría contribuir a mejorar la estabilidad estructural de suelos mediterráneos, en especial aquellos con mayor presión antrópica y de menor contenido de materia orgánica.

- **Densidad aparente:** Otra de las propiedades físicas derivadas de la estructura es la densidad aparente, la cual se define como la masa de sólidos respecto al volumen inalterado de suelo seco (volumen de sólidos más volumen de poros) (Porta, 2008). Su valor será siempre inferior a la densidad real y varía con el tamaño de las partículas, agregados y ordenación del mismo. Cuanto mayor es el volumen de poros, menor es la densidad aparente. En general, suelos bien estructurados dan lugar a un mayor volumen de poros y, consecuentemente, disminuye su densidad aparente. Es por ello que, aunque no es una medida directa de porosidad (volumen de huecos con

respecto al volumen total), es un buen estimador del espacio poroso del suelo (Liu et al., 2016). Suelos naturales con alto contenido de materia orgánica y por tanto con actividad biológica, disponen de un mejor espacio poroso. Cabe investigar si la adición de los restos orgánicos de los posos de café tendría un efecto similar en los suelos.

- **Retención de agua:** El agua del suelo se encuentra bajo la acción de ciertos potenciales energéticos, esencialmente de tipo matricial, debido a las fuerzas de cohesión entre moléculas de agua y fuerzas de adhesión de estas a la superficie de las partículas coloidales. Ello repercute en la retención de agua del suelo. El estudio del agua del suelo se refiere, por tanto, no sólo a la cantidad de agua sino también a la fuerza con la que esa agua está retenida en el suelo.

Estructuras con poros comprendidos entre 50 y 0.2 μm , son las que disponen de más agua de almacenamiento o agua capilar útil, mientras que por debajo de 0.2 μm , el agua está retenida a punto de marchitamiento. Se trata de un agua higroscópica. Dado que la adición de posos de café aporta material orgánico y puede modificar la densidad aparente, cabe estudiar si se potencian o no los poros de almacenamiento de agua.

- **Textura:** La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. La textura del suelo tiene un gran efecto sobre la capacidad de retención del agua por parte del suelo, dado que el agua es retenida en forma de película sobre la superficie de las partículas y en los pequeños poros existentes entre ellas. Por ello, los suelos con textura fina (arcillosa) que tienen un gran número de partículas con una gran superficie total, y que tienen un elevado volumen de pequeños poros distribuidos entre sus partículas, presentan una elevada retención de agua, mucho mayor que la correspondiente a la de los suelos con textura gruesa (arenosos). KRAMER (1974).
- **Contenido en materia orgánica:** La MO juega un papel clave en la fertilidad de los suelos como fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos, y a través de funciones de tipo biológico, químico y físico, derivadas de las muchas y variadas reacciones gobernadas o mediatizadas por la MO, entre las que se incluyen cambio iónico, oxidación-reducción, capacidad tampón y adsorción de compuestos orgánicos naturales y/o xenobióticos.

Por otra parte, la MO participa en numerosos procesos geoquímicos que inciden en la productividad y preservación de los ecosistemas terrestres, y particularmente estabiliza el suelo frente a la erosión y mediatiza la ecodinámica de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

1.2.2 Protección del suelo mediante cubiertas

La situación de partida y planteamiento de la investigación para la restauración de sistemas en escenarios con erosión del suelo y pérdida de nutrientes esencialmente, nos ha llevado a otro tipo de caso muy frecuente en nuestro ambiente mediterráneo semiárido. Se trata de ir propiciando cubiertas permanentes en cultivos como por ejemplo viñedos y olivares como una de las técnicas de conservación de suelos.

El empleo de cubiertas está considerado como una técnica más avanzada que la cero labranza, dentro de la agricultura de conservación. (Marqués Pérez, M.J. 2006)

Las principales ventajas que ofrecen las cubiertas son la mejora de la estabilidad estructural del suelo ya que protegen el suelo frente a la erosión porque impiden el golpe directo de la lluvia; mejoran la infiltración, sirven de barrera frente a la escorrentía etc. Otra de las ventajas es que mejoran el balance hídrico ya que mejoran el almacenamiento de agua en el suelo, al aumentar la infiltración y reducirse la evaporación del agua. Un terreno desprovisto de cubierta está expuesto a la luz del sol directa, aumentando su temperatura y produciendo la evaporación y formación de grietas de desecación de las arcillas y su endurecimiento. Otra ventaja es la del aumento del contenido de materia orgánica que aportan las cubiertas al suelo.

Aunque hay más ventajas que ofrecen las cubiertas, éstas son las que nos atañen en nuestro TFG, además otra ventaja que tendría nuestro tipo de cubierta (posos de café) frente a una cubierta “viva” es que no compiten por agua ni fertilizantes con el cultivar que haya en dicho suelo, ya que los posos de café entrarían dentro de cubiertas “inertes”.

Cuando se produce el impacto de gota debida a la lluvia, da lugar a la costra de erosión definida por Biielders y col. (1996), mientras que otra parte se convierte en trabajo de corte o cizalladura que desprende partículas del suelo. La acumulación de los restos de agregados en las microdepresiones del suelo da lugar a la costra de depósito o de sedimentación. La cubierta disipa gran parte de esta energía evitando así la formación de costras superficiales y, con ella, la reducción de la capacidad de infiltración del suelo.

En el ensayo clásico de Morin y Benyamini (1977) la presencia de una cubierta inerte, una capa de residuos, impedía la generación de escorrentía, mientras que en un mismo suelo sometido a una lluvia de igual intensidad a la que en una parcela contigua, generaba un volumen próximo al 90% de la precipitación total.

1.3 El café

El fruto del café maduro está constituido de afuera hacia dentro por las siguientes partes (Figura 3); la pulpa o epicarpio (cubierta roja o amarilla); el mucílago, el pergamino (envoltura cartilaginosa que cubre por separado cada semilla y que constituye el endocarpio); la película o piel plateada que cubre la almendra; la almendra y el embrión (Ospina, 2001).

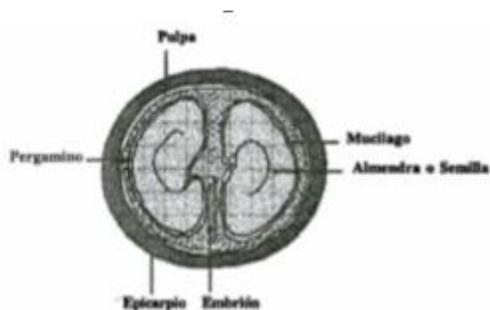


Figura 3. – Estructura de un grano de café. (Ospina, 2001)

1.3.1 Residuos del café y su revalorización

Las diferentes estructuras tisulares del fruto del café dan lugar a la generación de subproductos y residuos. Dependiendo de si el procesado del café se realiza por vía húmeda o seca podemos distinguir cuatro tipos de residuos: la pulpa, la cáscara, la piel de plata y los posos de café.

- Pulpa: es el primer subproducto que se obtiene tras el procesado húmedo de los granos de café, representa el 29% del peso seco del grano. Se compone orgánicamente por taninos (1.8-8.56%), sustancias pépticas (6.5%), azúcares reductores (12.4%), azúcares no reductores (2.0%), cafeína (1.3%), ácido clorogénico (2.6%) y ácido cafeico (1.6%).

- Cáscara: se obtiene a partir del procesado por vía seca de los granos de café, supone el 12% del peso seco del grano. La cáscara está constituida por un 15% humedad, 5.4% ceniza, 7.0% proteína, 0.3% lípidos, y 72.3% de carbohidratos.

- Piel de plata: o también denominada cascarilla, es un subproducto que proviene del proceso de tostado. Principalmente está compuesto por celulosa y hemicelulosa.

- Posos de café (PDC): sedimento que queda como residuo tras la elaboración de la infusión del café. Por cada tonelada de café se genera alrededor de 650 kg de PDC (Ospina, 2001).

El principal motivo por el que, desde mediados del siglo pasado, se están buscando alternativas al uso de estos residuos y subproductos, es el conjunto de problemas medioambientales que generan. Los posos de café contienen cafeína, taninos, ácido clorogénico y fenoles. Entre algunas alternativas, se encuentran el uso como materia prima para la producción de piensos, bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectina, enzimas pépticos, proteínas y abono (Rathinavelu and Graziosi,2005). De este modo se conseguiría la reducción de residuos generados a nivel mundial, así como la propia contaminación producida por ellos mismos. En detalle, las alternativas propuestas por

Rajkumar Rathinavelu y Giorgio Graziosi en su artículo “Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café” son:

- Piensos: la pulpa del café puede reemplazar parte de los concentrados comerciales para la alimentación del ganado lechero. Pero para que esto no sea perjudicial para la salud, tanto del propio animal como posteriormente del ser humano que la ingiere, no se debe superar una adición mayor al 20%, dependiendo del animal que se trate.
- Biogás: el agua drenada del extracto de la cera del café puede ser utilizado para la producción de biogás.
- Ensilaje: Los sólidos de la pulpa de café puede usarse como un conservante del forraje que posteriormente consumirá el ganado.
- Setas: la pulpa una vez fermentada y secada parcialmente puede usarse como sustrato para el cultivo de setas exóticas.
- Combustible: debido a que la cáscara de los granos de café está constituida básicamente por lignocelulosa puede usarse como combustible.
- Estiércol: los sólidos de la pulpa de café dan lugar a una buena fuente de humus y de carbono orgánico para el suelo y las plantas.
- Bebidas alcohólicas y refrescantes: aún se ha descubierto poco sobre esto.
- Sustancias: de los mucílagos de café podemos obtener pectinas sin refinar, azúcares naturales del fruto del café, compuesto antioxidantes y pro antocianinas incoloras.

La adición al suelo de los posos de café es por tanto una posible alternativa ambiental para estos residuos. Tradicionalmente, aunque sin control analítico, los posos de café se han usado como abonos para la mejora de la fertilidad química en pequeños huertos y, frecuentemente, en las macetas de muchos hogares. Pero la adición de los posos de café al suelo como enmienda orgánica cobra mayor interés, si cabe, teniendo en cuenta el estado de degradación que sufren los suelos en general, y en particular los suelos mediterráneos (Rodríguez Martín et al., 2016). Estos tienen un porcentaje muy bajo de materia orgánica (en promedio <1% de carbono orgánico) como consecuencia de su desmedida explotación y mal uso. Conocer los efectos de la adición de estos residuos sobre las propiedades químicas y físicas es prioritario antes de adoptar una decisión. En esta línea se enmarca el presente trabajo, que pretende conocer las ventajas e inconvenientes de adicionar posos de café como enmienda orgánica para el suelo. Es una opción para manejar ambientalmente residuos orgánicos con posibles beneficios para la calidad del suelo. Si bien la tradición ha considerado que la adición de posos de café al suelo favorece su fertilidad química, especialmente en suelos calcáreos, lo cierto es que apenas existen investigaciones rigurosas al respecto. Esta falta de datos experimentales es aún más deficiente en el caso de la fertilidad física. Hasta el momento, se desconocen los efectos que los posos de café, una vez adicionados al suelo, podrían tener sobre las propiedades edáficas relacionadas con la estructura y agua del suelo.

Según la fundación ILERSIS, nos dice que los posos de café consiguen mejorar el suelo y aportar esponjosidad, además de servir como abono para las plantas.

Además, es un buen repelente contra insectos ya que bien utilizado puede ser un magnífico aliado en la lucha biológica contra algunas plagas. Los posos de café están indicados para repeler caracoles, babosas, hormigas y mosquitos.

Uno de los principales usos que también le podríamos dar a los posos de café (PDC) sería el de aportarlo como enmienda orgánica como ya hemos mencionado antes, que es el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizado fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar, también, su actividad química o biológica.

Así pues, la función principal atribuida a las enmiendas orgánicas es el aporte de materia orgánica al suelo, con el fin de generar humus para mejorar la fertilidad del suelo.

Dentro de este punto, debemos hablar también del compost ya que una de las partes de esta experiencia es el aporte a varias bandejas de posos de café compostado. Así que, dentro de los usos de los posos de café también debemos hacer mención del uso como enmienda orgánica compostada.

Se entiende como compost al producto resultante de un proceso controlado de descomposición microbiana aeróbica de residuos orgánicos biodegradables.

De forma general en el proceso de compostaje se distinguen dos fases bien diferenciadas, que se caracterizan por la intensidad de la actividad microbiana. Una primera fase de actividad intensa (compostaje) y otra en que esta actividad microbiana se ralentiza como consecuencia del agotamiento del residuo biodegradable (maduración o estabilización).

Los factores que inciden en el proceso de elaboración del compost y en consecuencia del producto final, son esencialmente, la naturaleza de los residuos biodegradables y de los microorganismos, el tamaño de las partículas, la temperatura y el pH.

Aunque como se ha dicho las características físicas y químicas de estos productos difieren según el origen de la materia prima utilizada en su fabricación, su interés reside en su contenido en materia orgánica que con carácter general oscila entre un 35 y un 45%.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVOS PRIMARIOS

- Estudio del efecto del poso del café (PDC) frente a la erosión hídrica producida en el suelo, comprobando si se reducen las tasas de escorrentía al mejorar las tasas de infiltración en las diferentes muestras, comprobando si el hecho de estar el poso del café en superficie o enterrado o de ser poso de café compostado o sin compostar afectará al resultado de dichas tasas.

2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Comprobar si el tiempo de inicio de la escorrentía varía en función del tipo de café que tengamos, sea café compostado o sin compostar, o en función de si el café se encuentra en superficie o enterrado.
- Caracterización del suelo
- Comprobar si la adición de los posos de café conlleva a una mejora de las propiedades físicas del suelo: porcentaje de retención de humedad, la cantidad de carbono orgánico y la resistencia a la penetración.
- Comprobar si tiene efecto en las propiedades físicas del suelo el hecho de encontrarse el café en superficie o el café enterrado.
- Comprobar si tiene efecto en las propiedades físicas del suelo el hecho de tener café compostado o café sin compostar.

3. METODOLOGÍA

3.1 Ensayo de simulación de lluvia

El ensayo se ha llevado a cabo en los invernaderos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), específicamente en el invernadero de la Unidad Docente de Suelos de la ETSIAMN, se ha realizado dicho ensayo en un total de 13 bandejas que diferenciaban por el tipo residuo depositado (poso de café y poso de café compostado) y su posición en la bandeja (deposición superficial o enterrado). Dichas bandejas se diferenciaban entre ellas ya que además de tener el mismo suelo todas, (origen: Albufera) 3 de ellas tenían poso de café compostado enterrado, otras 3 tenían poso de café compostado en superficie, otras 3 con poso de café sin compostar enterrado y otras 3 con poso de café en superficie, además de una bandeja control.

El suelo se depositó tamizado a 2 mm y para su agregación se realizaron una serie de riegos mensuales para que se compactarán y poder trabajar después con ellas. Para realizar el ensayo se coloraron las mesas de simulación a cierta pendiente conocida (9%), donde se utilizó un simulador de lluvia que se encuentra en dicho invernadero instalado para realizar la simulación y que será de 30 minutos.

Después de colocar las bandejas en la mesa de simulación se recogió de cada una de ellas la escorrentía producida y la percolación producida a intervalos de tiempo predeterminados (cada tres minutos) y la percolación producida durante el ensayo.

3.1.1 Mesas de simulación y simulador de lluvia

Las mesas de simulación permiten manipular muchas de las características del terreno determinantes del proceso erosivo (como la pendiente, la pedregosidad superficial o subsuperficial o el porcentaje de cubierta vegetal) posibilitando así el estudio de su influencia sobre la erosión de forma independiente. Además, están diseñadas para reproducir condiciones de drenaje libre y van dotadas de un sistema de muestras que permite controlar la evolución de la infiltración y del material erosionado tanto por impacto como por escorrentía (Figura 4). Dichas mesas disponen de dispositivos específicos de control de la erosión hídrica, uno en el extremo lateral inferior de la mesa para recoger la escorrentía y otro en el fondo de la mesa para poder recoger la infiltración.

Las bandejas de campo con las que se realizó la experiencia tienen unas dimensiones que son 68 cm de ancho x 75 cm de largo x 10 cm de profundo, con un volumen total de 51000 cm³ o de 51 litros.



Figura 4. Detalles de una mesa de simulación con inclinación. Vista desde atrás y vista lateralmente.

Una parte esencial en los estudios de erosión son los simuladores de lluvia, donde las gotas se generan de forma individual, todas iguales y, en principio, impactan siempre en el mismo lugar, variando su \varnothing según sea el dispositivo de salida utilizado. En esta experiencia se utilizaron goteros ura-riego estándar 4l/h (figura 6). La intensidad de lluvia que fue utilizada varió entre 120-140 mm o lo que es lo mismo 120-140 l/m². El diámetro de las gotas fue de 2 mm aproximadamente.



Figura 5. Parrilla portagoteros



Figura 6. Detalle gotero

El simulador de lluvia consta de varias partes: El soporte que es la estructura fija y que debe estar diseñada para que el mecanismo generador de las gotas permanezca horizontal durante toda la experiencia sea cual sea la inclinación del terreno y para que el generador de lluvias se sitúe a 2 m de altura sobre el suelo (altura para la que se han determinado las características de las gotas de lluvia). Por otro lado el mecanismo generador de lluvia que en esta experiencia fue una parrilla portagoteros (figura 5) que ya hemos visto antes compuesta de 256 goteros distribuidos de forma homogénea.

3.1.2 Preparación de las muestras

Para la elaboración de las diferentes muestras de la experiencia, se trajo suelo procedente de la Albufera de Valencia que es con el cual se llenaron las bandejas para realizar la experiencia. Su textura era Franca. En total se añadieron 18 kg de suelo que tras su toma en las parcelas de arroz de la Albufera se dejó secar y se tamizó de acuerdo a la normativa de preparación de muestras de suelo (USDA). Este suelo al estar tamizado, se encontraba libre de elementos como piedras, ramas etc., evitando así que en la experiencia otros factores que no fueran suelo afectaran a los resultados.

Una vez llenadas las bandejas, se añadió el poso del café o bien en superficie o bien enterrado. El poso del café se añadió en dos condiciones diferentes: compostado y no compostado. La cantidad de posos de café (compostado y sin compostar) en ambas posiciones (enterrado y superficial) fue de 1,3 kg y su distribución a lo largo de la bandeja fue completamente homogénea en toda la superficie de ésta.

Los posos de café son procedentes de diferentes cafeterías y cuyo proceso de compostaje se ha realizado en pilas abiertas de compostaje (proporcionado por Centro de Formación Folgado).

Para resumir, el diseño realizado fue:

- 3 bandejas con 18kg de suelo + 1,3kg de posos de café (PDC) sin compostar en superficie.
- 3 bandejas con 18kg de suelo + 1,3kg de PDC sin compostar enterrado.
- 3 bandejas con 18kg de suelo + 1,3kg de PDC compostado en superficie.
- 3 bandejas con 18kg de suelo + 1,3kg de PDC compostado enterrado.
- 1 bandeja control con 18kg de suelo.

Para la preparación de las bandejas se ha necesitado aplicar riegos constantes para que el suelo tamizado se agregara, pues se dispuso de forma disgregada sobre las bandejas. Desde el 11 de septiembre de 2018 y hasta el 28 de junio de 2019 se realizaron aplicaciones de agua en riegos continuados sobre las bandejas y a intervalos de 20-30 días. A cada una de ellas se aplicaron unos 6 litros por bandeja para que éstas fueran

cogiendo estructura de suelo. En julio de 2019 se realizaron las simulaciones y la toma de datos.

Tabla 1. Fecha de riegos y cantidad de agua a las bandejas.

Día	Litros/bandeja
11/09/2018	6 litros
01/10/2018	6 litros
13/11/2018	6 litros
20/12/2018	6 litros
12/01/2019	6 litros
24/01/2019	6 litros
13/02/2019	6 litros
07/03/2019	6 litros
27/03/2019	6 litros
18/04/2019	6 litros
08/05/2019	6 litros
29/05/2019	6 litros
28/06/2019	6 litros

3.2 Cálculo de la Escorrentía y la percolación

En los simuladores de lluvia, el agua se distribuye lo más uniformemente posible a lo largo de la parcela, o en esta experiencia, se distribuye a lo largo de toda la bandeja donde se obtienen los valores de escorrentía e infiltración para cada una de ellas.

Las simulaciones tuvieron una duración de 30 minutos, con una precipitación de 120-130 mm/h, y con una pendiente en las bandejas de 9%. Para ello se cogieron las bandejas con un poliplasto y se depositaron sobre la mesa de simulación, inclinándola un 9% para que todas las bandejas tuvieran las mismas condiciones.

Una vez instalado, se inició la simulación, registrando el tiempo al que comenzaba la escorrentía. Todos los datos se registraron en las diferentes fichas de ensayo de la experiencia (figura 7).

En el ANEJO I se pueden observar las fotos de cada bandeja antes de realizar la experiencia. En el ANEJO II se puede observar las fotografías de las bandejas después de haber realizado la experiencia.

3.2 Caracterización de las muestras del suelo

Dentro de la metodología empleada en laboratorio, mencionaré la utilizada para la determinación de la materia orgánica de un suelo (de las diferentes bandejas) mediante calcinación; además, los materiales que usaré para la determinación de la costra superficial de las diferentes bandejas y los materiales a utilizar para obtener la capacidad de retención de agua de cada bandeja etc. Aquí englobaremos también los métodos y fórmulas utilizadas para la obtención de la fracción orgánica, costra superficial, la escorrentía, la tasa de infiltración etc.

3.2.1 Determinación de la materia orgánica y humedad gravimétrica

El método de determinación de la materia orgánica por calcinación (USDA, 2004) se basa en la destrucción total de todo componente orgánico en el suelo y por tanto la cuantificación del componente inorgánico. Por lo que respecta a la determinación de la humedad, esta se realizó por gravimetría de acuerdo a la normativa de análisis del Departamento de Agricultura de EEUU (USDA, 2004).

Para ello, primero de todo y con la ayuda de una cucharilla y unos botes de muestras, se recogieron dos muestras de suelo por bandeja (en total 26), una muestra superficial y otra a unos 5 cm aproximadamente y se llevaron al laboratorio para realizar allí la determinación de la materia orgánica. Los materiales empleados fueron:

- Cápsulas de porcelana
- Estufa
- Campana de temperatura ambiente
- Mufla
- Balanza de precisión

Las muestras recogidas de las bandejas fueron cambiadas a las cápsulas de porcelana ya que a 450°C que es la temperatura que llega la mufla cualquier otro material puede quemarse, usando porcelana para evitarlo. Después, se introdujeron las capsulas ya con suelo (3-5 gramos de suelo) dentro de la estufa (figura 9) y ésta se puso a 105°C durante 24h para que todas las muestras perdieran la humedad. Con este dato se pudo calcular el contenido húmedo de cada muestra. A las 24 horas se sacaron las muestras de la estufa

y se introdujeron en una campana de temperatura ambiente (figura 10) para que la muestra se atemperara. Posteriormente y con una balanza de precisión se registró el peso de cada muestra que se hizo por triplicado.

Por último, se introdujeron las muestras a 450°C en la mufla (figura 11) y se dejaron 24 horas. Transcurrido ese tiempo, se sacaron y se volvieron a meter en la campana de temperatura ambiente para luego pesar las muestras y así saber cuál es el contenido de materia orgánica perdido y por lo tanto el que tenía cada muestra de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Fracción Orgánica (\%)} = ((P_{105} - P_{450}) / P_{105}) \times 100$$

Donde P_{105} es el peso de la muestra a 105°C (suelo seco) y P_{450} es el peso de la muestra del suelo a 450°C (fracción mineral).

$$\text{Fracción Orgánica (\%)} = 100 - \text{Fracción mineral}$$

El carbono orgánico se determinó posteriormente de forma indirecta mediante la siguiente relación establecida por Van Bemelen, en la que se asume que la materia orgánica tiene 58% de carbono orgánico: $\text{Fracción Orgánica (\%)} = 1.724 \times \text{Carbono orgánico (\%)}$



Figura 8. – Estufa



Figura 9.- Campana tº ambiente

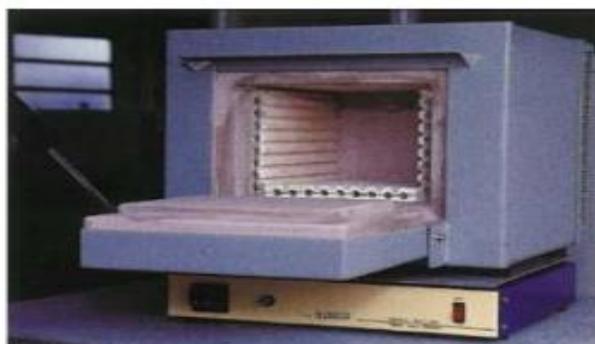


Figura 10. – Mufla

3.2.2 Determinación de la resistencia a la penetración

Para determinar la resistencia a la penetración de las capas superiores del suelo de cada una de las bandejas, se realizaron una serie de medidas, en diferentes puntos de cada bandeja para que sea lo más uniforme posible y con la ayuda de un penetrómetro. Exactamente con uno manual y con el desarrollado por la empresa Eijelkamp para suelos (figuras 11 y 12). El penetrómetro manual es instrumento que usa para medir la dureza de los materiales, principalmente para ver el grado de madurez de las frutas y el desarrollado por Eijelkamp se usa para ver la resistencia a la penetración en el suelo. Las unidades que registran los penetrómetros son unidades de presión y vienen dadas en kg/cm^2 o MPas.

Dependiendo de la textura del suelo (arenoso, franco o arcilloso), al penetrómetro se le conecta una unidad externa (puntales) de diferente diámetro. Así pues, para suelos arcillosos y francos, este puntal tendrá un diámetro de 10 o 15 mm, mientras que en suelos arenosos el diámetro de dicho puntal será de 20 o 25 mm. En la figura 11 se pueden observar dichos puntales.

Para determinar la resistencia a la penetración se ha utilizado un penetrómetro manual (Figura 11) del tipo de los utilizados en fruticultura. En cada bandeja se han realizado medidas en 2 días diferentes. En cada medida se han tomado 6 muestras repartidas por bandeja con el penetrómetro y con un puntal de 15 mm de diámetro ya que la textura del suelo es franca y es el diámetro que hay que usar para este tipo de textura según nos indica las instrucciones del mismo penetrómetro.



Figura 11. – Penetrómetro

El uso del penetrómetro de Eijelkamp permitirá medir valores más altos de 11 (kg/cm^2), límite del penetrómetro manual.

Con el penetrómetro de suelos hemos cogido 5 muestras repartidas por cada bandeja, y dichas muestras nos han dado diferentes valores dependiendo de la profundidad a la que se introduce el penetrómetro en cm. Las unidades que nos ofrece de presión el penetrómetro de suelos son megapascales (MPa).

Así pues, haciendo una media de las 5 medidas tomadas de todas las bandejas hemos realizado el promedio de cada familia de bandejas y se representa en la figura 20 donde se observan el valor medio de los datos recogidos con el penetrómetro de suelo en las distintas familias.



Figura 12. – Penetrómetro de suelos

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este estudio se ha centrado en comprobar si la adición de posos de café (PDC) al suelo, ha sido beneficioso para que éste pueda hacer frente a la erosión hídrica, principalmente para evitar altas tasas de escorrentía, y mejorar la infiltración del agua en el terreno.

Por otro lado, con este experimento podemos discutir si la adición de estos posos de café, tanto en superficie como enterrado al suelo genera aspectos positivos o negativos por lo que a la mejora de las propiedades físicas del suelo se refiere. También lo comprobaremos cuando el poso del café sea compostado o sin compostar.

Tabla 2. Nomenclatura de las distintas bandejas

SC- Superficie compostado
SSC- Superficie sin compostar
EC- Enterrado compostado
ESC- Enterrado sin compostar
Control

4.1 Resultados de escorrentía

Una vez tomados los datos de escorrentía y percolación, se puede observar como los tratamientos enterrados han presentado más escorrentía que los tratamientos con el café en superficie. Además el control, también ha presentado altas tasas de escorrentía.

En las siguientes figuras, se pueden observar las distintas curvas de escorrentía de las bandejas, donde viene representada la cantidad de escorrentía en mm/h en el tiempo (s).

Así pues, en la figura 13 vemos representada la curva promedio de las 3 bandejas con el café en superficie sin compostar. Los valores medios de los datos recogidos de escorrentía de las 3 bandejas se estabilizan alrededor de 40mm/h.

La ecuación de dicha curva es $y = 18,196\ln(x) - 20,283$ y que como hemos mencionado anteriormente dando un valor a la "x" de 60, para representar 60 minutos, obtenemos un valor de "y" de 54,22 mm/h, y que aplicando la fórmula de la conductividad hidráulica obtenemos el valor de la tasa de infiltración y es de 75,78 mm/h. Además la R^2 que es el ajuste de la curva da un valor de 0,906 que es un 90%, indicando que está bien ajustada la curva.

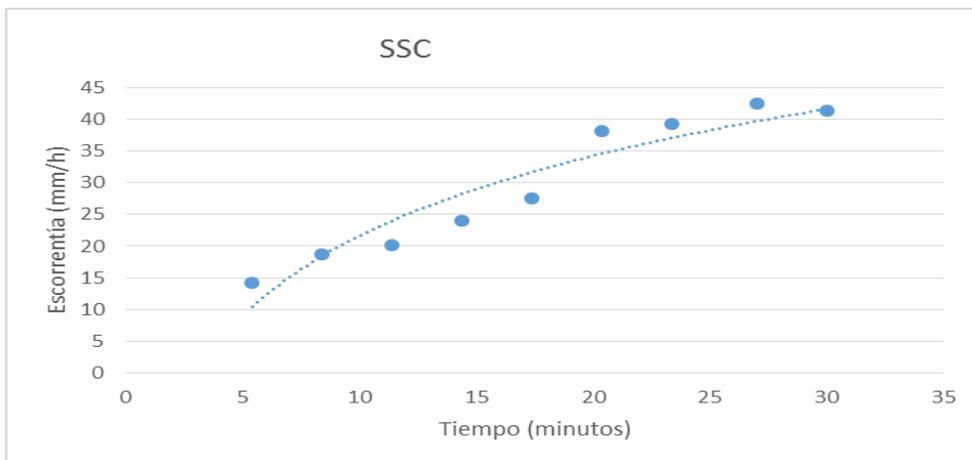


Figura 13. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café sin compostar en superficie (SSC)

En la figura 14, lo que observamos es la curva de escorrentía en este caso de las bandejas con el café compostado en superficie. Así pues, los valores medios de los datos de las 3 bandejas se estabilizan alrededor de los 45 mm/h.

La ecuación de dicha curva también la hemos sacado y es $y = 16,845\ln(x) - 5,7271$ para

averiguar también la tasa de infiltración. Así, dando a la “x” un valor de 60 obtenemos un valor y de 63,24 mm/h y aplicando la fórmula de la conductividad hidráulica obtenemos un valor de infiltración de 66,76mm/h. El valor de R^2 es de 0,9276, más de 90% indicando que está bien ajustada la curva.

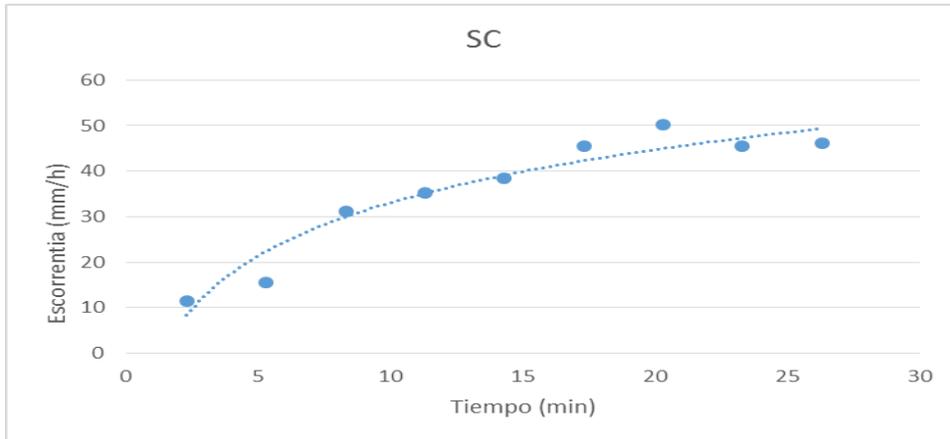


Figura 14. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café compostado en superficie (SC)

La gráfica de la figura 15 es la que obtenemos a partir del promedio de valores de las bandejas con el café enterrado sin compostar, y ya se puede observar cómo los valores de escorrentía son bastante más elevados que en las bandejas con el café en superficie, estabilizándose los valores en 85 mm/h.

Dando el valor de 60 a “x” y mediante la ecuación de la curva que es $y = 15,917\ln(x) + 33,137$, obtenemos que dicho valor de y es de 98,31 y dando el valor de infiltración 31,69mm/h, observándose, así como el valor de la infiltración es prácticamente la mitad que el de las dos primeras bandejas cuando el café, fuera de tipo que fuera estaba en superficie.

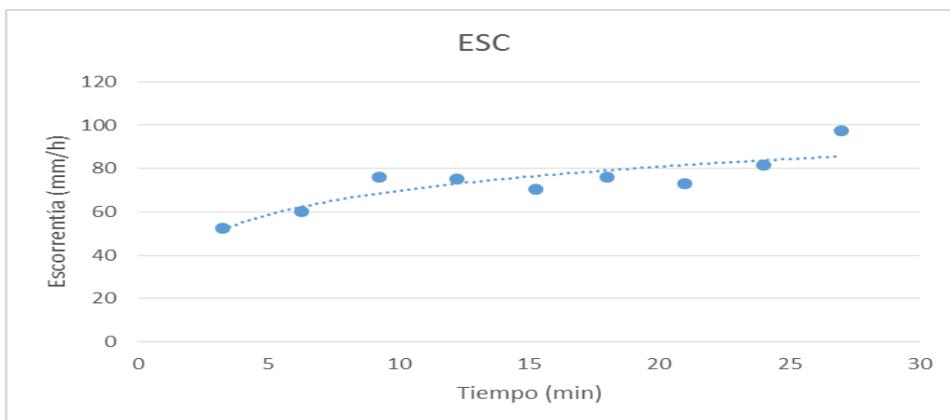


Figura 15. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café sin compostar enterrado (ESC)

En la figura 16, tenemos la curva de escorrentía del promedio de las bandejas con café compostado enterrado. Como ocurre anteriormente con la gráfica de datos de las bandejas con el café sin compostar enterrado, en ésta también se observa como los valores de escorrentía son bastante más altos que los datos obtenidos de las bandejas con el café en superficie, siendo los de ésta última familia los más altos de toda la experiencia. Los valores oscilan se estabilizan en 90mm/h.

Mediante la ecuación de la curva $y = 14,967\ln(x) + 34,852$, y como siempre dando el valor a "x" de 60 sacamos "y" que nos da 96,13 mm/h. Cuando le restamos los 130mm de la precipitación, obtenemos un valor de tasa de infiltración de 33,87 mm/h, siendo este valor también bajo en comparación con las dos primeras gráficas anteriormente comentadas. El valor de R^2 en este caso si es más bajo, siendo éste de 66%.

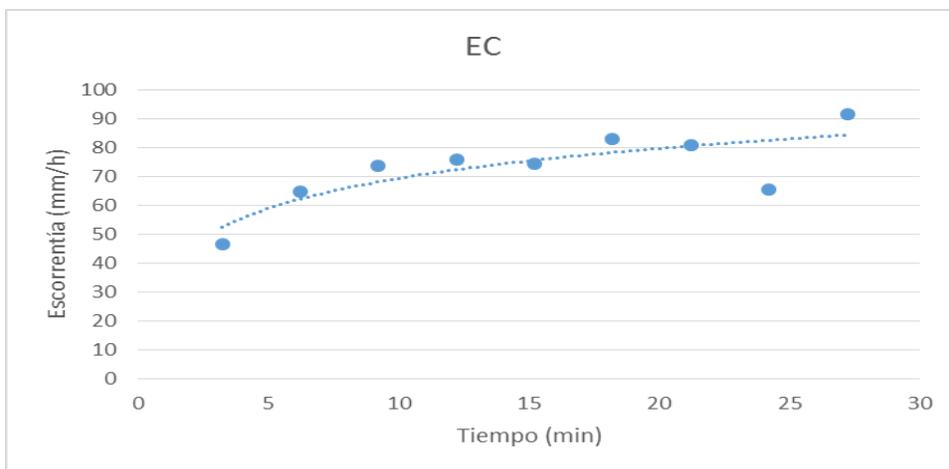


Figura 16. Gráfica de la curva de escorrentía de la familia de las bandejas con café compostado enterrado (EC)

Por último, en la bandeja control (figura 17) se puede observar cómo los datos obtenidos de escorrentía oscilan los 60 mm/h, aunque en ésta última bandeja hubo un problema y ésta llegó a agrietarse con la consiguiente aparición de grietas, las cuales evitaron una mayor cantidad de escorrentía, alrededor de un 15-20%.

Con la ecuación de la curva obtenida $y = 19,103\ln(x) + 0,9411$, y dando el valor a "x" de 60, la "y" nos da un valor de 79,16 mm/h, obteniendo una tasa de infiltración de 50,84 mm/h. El valor de R^2 es ligeramente alto de 0,84 dando a entender que la curva está bien ajustada.

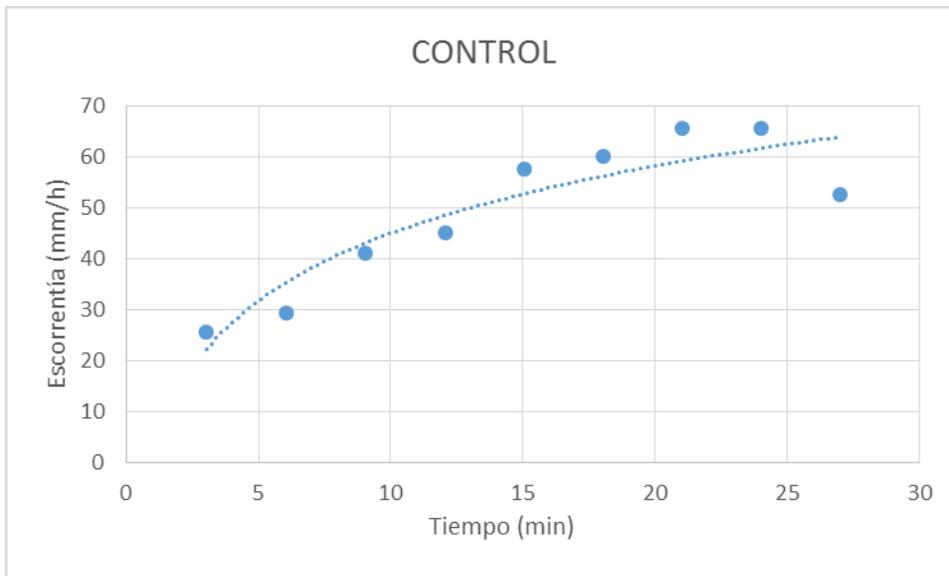


Figura 17. Gráfica de la curva de escorrentía de la bandeja control

En resumen, las gráficas nos han mostrado que las bandejas que menores tasas de escorrentía han recogido son las bandejas que tienen el café, da igual el tipo, en superficie. Mientras que las bandejas con el café enterrado han dado valores bastante altos de tasas de escorrentía, llegando incluso al doble que los resultados de las bandejas con el café en superficie. La bandeja control también ha dado valores bastante altos de tasas de escorrentía como era de esperar, igualándose a las bandejas con el café enterrado.

Por lo que se puede concluir en lo referente a la escorrentía, está claro que no importa el tipo de enmienda que utilicemos, es decir, no importa que sea café compostado o café sin compostar, sino lo que importa es que el café se encuentre enterrado o en superficie.

Lo que se quiere evitar es que no se produzcan muchas pérdidas por escorrentía, por lo que lo más eficiente sería poner el café, del tipo que sea, en la superficie del terreno y no enterrado. Se observa que, con el café en superficie, se puede llegar a evitar hasta la mitad de pérdidas por escorrentía

4.1.1 Tiempos de inicio de escorrentía

Como se puede observar en la figura 18, el residuo sin compostar en superficie es el que tiene un tiempo de inicio de escorrentía más tardío, dando los 3 valores de inicio de escorrentía de cada una de las bandejas por encima de la media.

Por otro lado, el control tiene un tiempo de inicio de escorrentía muy parecido a los suelos enterrados, tanto enterrado compostado como enterrado sin compostar, oscilando entre el minuto 3 y 4, y coincidiendo bastante con los resultados obtenidos de la resistencia a la penetración los cuales hablaremos más tarde.

Aunque a priori las bandejas con el café compostado en superficie por encontrarse así y proteger el suelo deberían haber retrasado el inicio de la escorrentía, por el contrario han tenido valores sensiblemente bajos, es decir, son las bandejas donde antes se ha iniciado la escorrentía, lo cual nos hace pensar que se forma una especie de capa que con la humedad se endurece y compacta evitando así la fácil infiltración y por lo tanto la escorrentía más rápida.

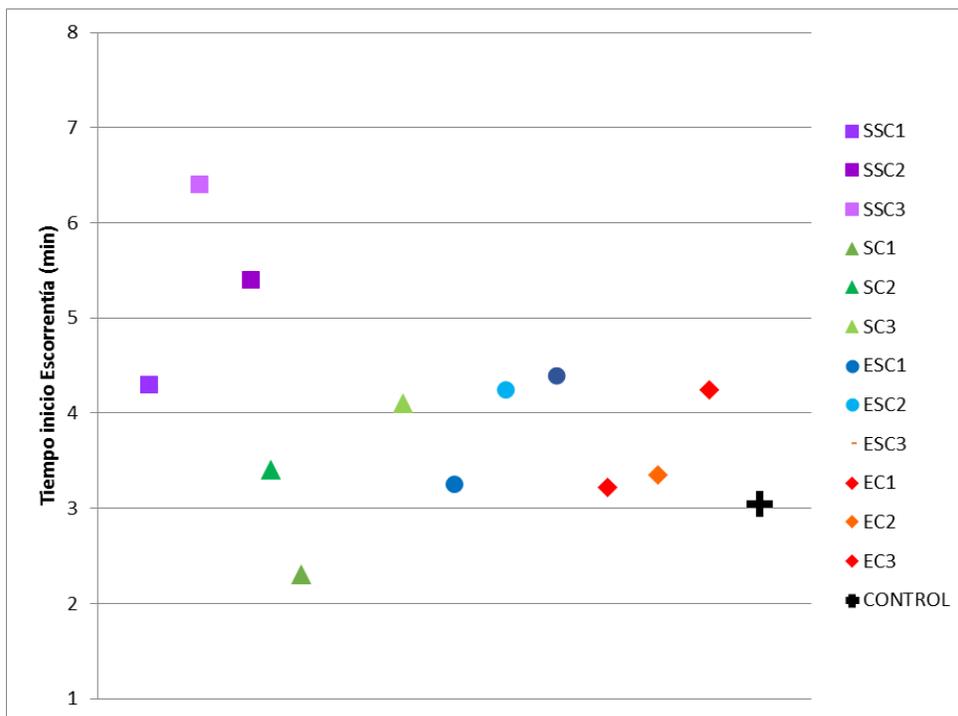


Figura 18. Tiempos de inicio de la escorrentía

4.2 Percolación total recogida

En la figura 19, se observa la recogida de la percolación total por cada familia de bandejas en mililitros. Como habíamos dicho anteriormente, una de las partes de recogida de datos, era la de recoger la percolación producida en cada bandeja. Así pues, hemos sacado el promedio de las bandejas por familia y en la figura 19 se pueden observar los resultados.

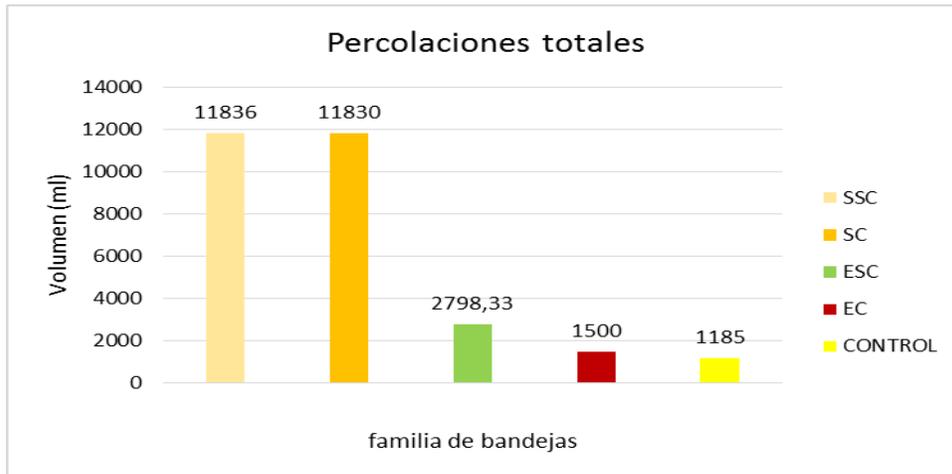


Figura 19. Volumen de las percolaciones totales.

Cabe destacar que las bandejas que más percolación han tenido son las que contenían el café en superficie, independientemente del tipo. Además, tiene sentido ya que también han sido éstas las que han tenido las menores tasas de escorrentía. Se han recogido la misma cantidad de litros en ambas familias, por lo que ha dado igual si el café era compostado o sin compostar.

Por otro lado, las bandejas que tienen el café enterrado, sea del tipo que sea, han dado valores significativamente bajos en comparación con las bandejas con el café en superficie. De hecho, las bandejas con el café enterrado sin compostar hemos recogido hasta 4 veces menos cantidad de percolación que de las primeras (solamente 2,8 litros), mientras que las bandejas con el café enterrado compostado han sido incluso menores, llegando a recogerse una octava parte de las dos primeras, solo 1,5 litros.

Por último, de la bandeja control se ha recogido también muy poca cantidad de percolación, siendo la que menos de las 5 medidas y no llegando a recogerse ni 1,2 litros.

En resumen, al igual que ha ocurrido con los valores recogidos de escorrentía, se puede concluir con la percolación, que no depende el tipo de café que tengas (compostado o sin compostar), sino que depende donde se encuentre éste, recogiendo más cantidad de percolación en las muestras con el café en superficie.

Como era de esperar, el hecho de no tener ninguna cubierta hace que el agua caída por

la precipitación impacte directamente sobre la superficie del suelo, destruyendo los agregados y, provocando con ello que se pierda mucha agua por escorrentía. De ésta forma la cantidad de agua que penetra en el suelo se reduce drásticamente, resultando en poco volumen recogido de percolación.

4.3 Propiedades físicas del suelo

- **4.3.1 Caracterización del suelo**

El Suelo de partida es el recogido de l'Albufera como ya se ha mencionado anteriormente, y que se ha analizado en el laboratorio para así poder caracterizarlo.

La textura de dicho suelo es franca, siendo el porcentaje de limo de 35%, de arena 45%, mientras que el de arcilla es del 20%.

Por otro lado, el contenido de materia orgánica de dicho suelo es normal, llegando al 10%, mientras que el contenido en carbono orgánico es del 4%.

- **4.3.2 Determinación de la resistencia a la penetración (con penetrómetro manual)**

Como se puede observar, la resistencia superficial que ofrecía la bandeja control era muy elevada tanto el día 1 como el día 2, de hecho, la medida del penetrómetro que iba de 0 a 11 kg/cm² se quedaba corta, dando varios valores por encima de 11 o quedándose ligeramente cerca de dicho valor

Algo parecido ocurre con las bandejas que tienen suelo y café compostado en superficie. En las 3 bandejas, y en ambos días, las 6 medidas han sido muy similares y también han mostrado una resistencia a la penetración muy alta dando la mayoría de valores por encima de los 11 kg/cm² como se puede observar en las tablas. Por lo que podemos asumir que la bandeja control y las bandejas con café compostado en superficie tienen similitudes por lo que a la costra superficial corresponde.

Por otro lado, las bandejas que tienen café compostado enterrado, también han mostrado una ligera resistencia a la penetración alcanzándose en dos de las tres bandejas valores altos que oscilan entre 8 y 11 kg/cm² en la medida del primer día, mientras que en la medida del segundo día los valores de resistencia de estas bandejas también han dado valores altos (a excepción de la 3 bandeja), aunque no tanto como el primer día.

Por último, las 6 bandejas que tienen el café sin compostar, bien sea enterrado o en superficie, nos han dado valores similares que oscilan entre 3 y 8 kg/cm² (sin contar algún valor anómalo) tanto el día 1 como el día 2 y que corresponden a un bajo nivel de resistencia a la penetración si las comparamos con las primeras 7 bandejas.

Por lo que podemos concluir que las bandejas que mayor resistencia a la penetración aparte del control que ha sido la que más ha mostrado, son las bandejas con café compostado, o bien enterrado o bien en superficie. Además, si el café en superficie es compostado tiende a crear una costra más resistente que si es café sin compostar, y se asemeja mucho a la resistencia a la penetración que ofrece la bandeja control, incluso llega a superar los valores del control, indicando así, que forma una costra superficial más resistente que cualquiera de las bandejas.

Tabla 3. – Determinación de la resistencia a la penetración en bandejas. Día 1

N ° Medidas Presión (kg/cm ²)	1	2	3	4	5	6
CONTROL	11+	10,7	11+	11+	8,6	10,4
SC. 1	10,4	11+	11+	11+	11+	11+
SC.2	10	11+	11+	11+	11+	11+
SC.3	9,9	8,7	11+	11+	11+	11+
SSC.1	5,2	7	5,3	7	8,3	7,5
SSC.2	6,2	6,9	8,1	8,3	6,7	7
SSC.3	7,5	8,6	7,8	7,6	5,5	4,8
EC.1	5,6	11+	10,5	11+	10,4	11+
EC.2	7,5	9	9,3	11+	8,8	9,1
EC.3	8,5	7,8	7,3	7,1	6,5	8,1
ESC.1	5	5,2	7,3	3,2	11+	5,5
ESC.2	5,7	7,5	4,1	3,2	4,5	3,7
ESC.3	3,7	7,1	6,5	5	4,7	5,9

Tabla 4. – Determinación de la resistencia a la penetración en bandejas. Día 2.

N ° Medidas Presión (kg/cm ²)	1	2	3	4	5	6
CONTROL	9,5	8,6	11+	11+	10,5	9,7
SC. 1	6,6	10,8	8,2	8,9	10,5	8,8
SC.2	10,8	8,4	8,3	11+	8,2	11+
SC.3	11+	11+	11+	10,4	10,3	10,8
SSC.1	3,6	6,4	6,4	8,2	7,3	8,4
SSC.2	4,9	6,5	7,1	7,7	7,5	5,9
SSC.3	4,7	3	4,7	4,8	5	3,6
EC.1	6,8	5,8	9,7	7	4,5	6
EC.2	6,6	5,8	5,5	5,9	6,5	5,6
EC.3	7,,8	7,4	5,5	6,2	6,4	5
ESC.1	8	8,1	7,8	6	9	7,4
ESC.2	5,4	3,6	3,7	4,1	4,9	5,9
ESC.3	4,2	6	5,2	4,3	4,8	3,5

- **4.3.2.1 Determinación de resistencia a la penetración (con penetrómetro de suelos)**

Como era de esperar la bandeja control es la que más resistencia ofrece a la penetración de cualquiera de los tratamientos, al igual que con el penetrometo manual, obtenemos que la bandeja control es la bandeja que más resistencia nos ha ofrecido. En este caso, el valor de la resistencia es de 0,4 MPa.

El resto de familias, a excepción de las que tienen el café en superficie sin compostar, tienen una resistencia a la penetración igual, siendo de 0,2 MPa. Mientras que la que menos resistencia inicial ofrece a la penetración es la que tiene el café en superficie sin compostar, siendo este valor de 0,1MPa.

Como se observa en la gráfica de la figura 20, el valor de la resistencia a la penetración de las bandejas con el café compostado en superficie es alto y va creciendo a medida que hay más profundidad. Mientras que las bandejas con el café enterrado, bien compostado o sin compostar cuando llegan a los 3 cm de profundidad se reduce la resistencia en comparación con las muestras de café en superficie.

En resumen, al igual que ocurría con el penetrómetro manual, los valores que han ofrecido más resistencia a la penetración ha sido la bandeja control y la bandeja con el café compostado en superficie, indicando así que son las bandejas que más costra superficial pueden llegar a generar, con la consiguiente elevada tasa de escorrentía y la baja tasa de infiltración como ya se ha visto anteriormente.

Las bandejas que mejor han respondido a la resistencia a la penetración han sido las que tienen el café en superficie sin compostar y que, como hemos podido comprobar son las que mayor capacidad de percolación han tenido, con la consiguiente poca pérdida de escorrentía.

Las bandejas enterradas de ambos tipos han mostrado una ligera resistencia a poca profundidad pero a medida que había más profundidad han sido las que menos resistencia han ofrecido en comparación con las superficiales o el control.

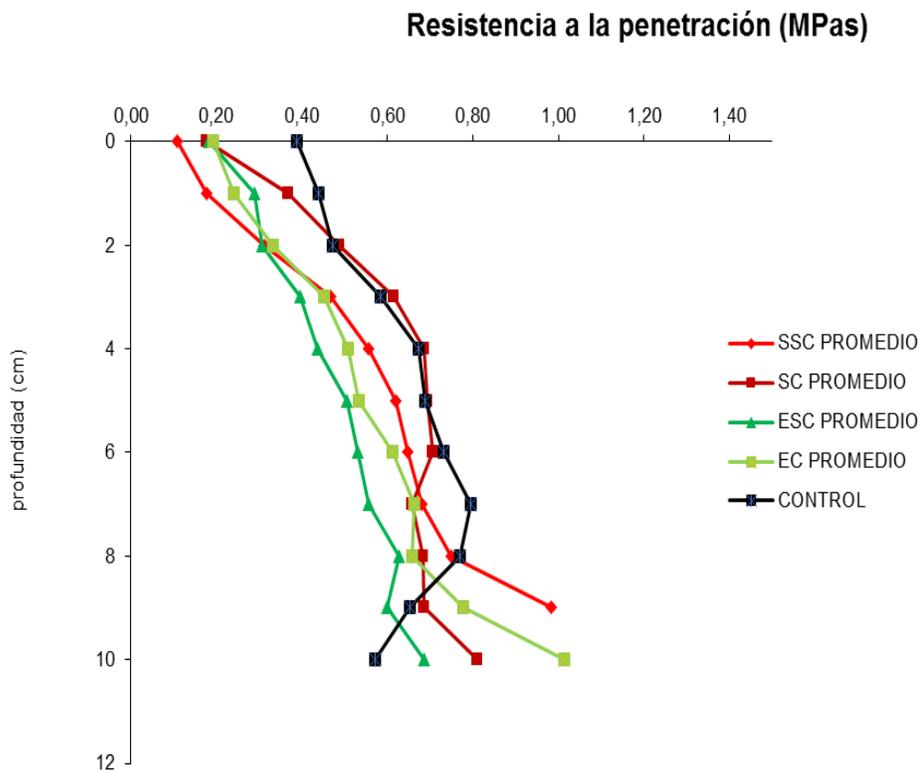


Figura 20.- Determinación costra superficial con penetrómetro de suelos

4.3.3 Determinación del carbono orgánico

Viendo la figura 21, los valores de carbono orgánico obtenido en las bandejas control son bajos tanto en la muestra de suelo superficial como la muestra en profundidad, sin llegar ninguno de los dos valores al 5% del contenido en carbono orgánico.

Por otro lado, las muestras de las bandejas que mayor porcentaje de carbono orgánico tienen son las muestras recogidas en la superficie de las bandejas con café compostado y sin compostar en superficie, las muestras con el café compostado han dado valores ligeramente superiores a las muestras con el café sin compostar. Las muestras cogidas en superficie de las bandejas con café, del tipo que sea, enterrado han dado valores bajos de contenido en carbono orgánico, semejantes al control, y no superando el 7%.

Por último, las muestras de todas las bandejas recogidas a 5 cm del suelo han dado también valores bajos de contenido de carbono orgánico, a excepción de las bandejas con el café enterrado, donde los porcentajes de contenido de carbono orgánico llegan al 13% aproximadamente.

Por lo que se puede resumir de esta experiencia, es que el valor máximo de contenido orgánico registrado, se registró en los tratamientos superficiales llegando a un 18% de contenido orgánico en la muestra de café compostado y un 17% en la muestra del café sin compostar.

No obstante, siempre se observa tanto en los enterrados como en los superficiales que el valor del carbono orgánico de las muestras con café compostado es ligeramente mayor que las muestras con el café sin compostar y mucho más mayor que el contenido orgánico de la bandeja control.

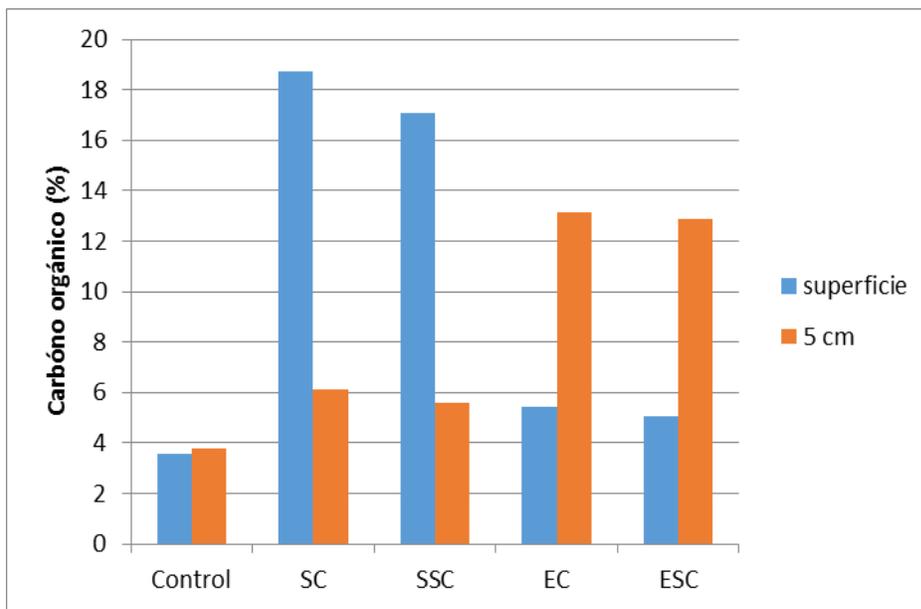


Figura 21. – Datos obtenidos para la determinación del carbono orgánico.

4.3.4 Determinación del porcentaje de contenido de humedad

Para la determinación del contenido de la humedad en las distintas bandejas, se han recogido 3 muestras de cada bandeja para que sea así más representativa, inmediatamente después de la simulación y rápidamente se han llevado al laboratorio para introducirse en la estufa (figura 9) y se han dejado 24 horas para eliminar la humedad de dichas muestras y así poder calcular el contenido de humedad de las bandejas.

En el siguiente gráfico se puede observar el promedio del porcentaje de humedad por familia de bandejas:

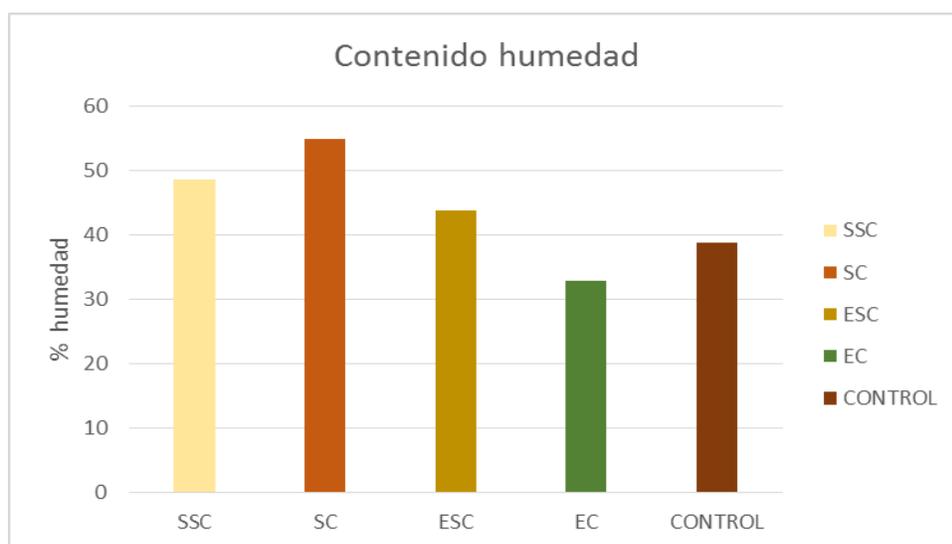


Figura 22. Porcentaje de contenido de humedad por bandejas

Después de observar la figura 22, se observa que los suelos con el café sea del tipo que sea, pero en superficie, tienen mayor contenido de agua. Los valores de dichos promedios oscilan entre 49 y 55%, siendo el que ligeramente mayor porcentaje de agua tiene los suelos con el café compostado en superficie.

Por otro lado, los suelos que tienen el café enterrado, sea del tipo que sea han dado valores más bajos que los primeros, siendo estos segundos menos capaces de retener agua en el suelo. De hecho, el valor que nos da el promedio de bandejas con el café enterrado compostado que es 32.9% es incluso menor que el valor de la bandeja control (38.69%), indicando que el contenido de agua de las bandejas con café compostado enterrado es menor que cuando no tienen nada las bandejas, es decir el control.

Se observa que con los datos recogidos del porcentaje de humedad de los distintos tratamientos, nos van a corroborar que el volumen de agua de escorrentía recogida y el volumen de agua de percolación recogido nos ha dado valores coherentes. Así pues efectivamente, las parcelas que tienen el café en superficie, da igual si es compostado o sin compostar, tienen un porcentaje de humedad más elevado que las que lo tienen

enterrado, se han recogido un volumen de percolación mayor y han tenido una menor tasa de escorrentía. Tiene sentido que, al haberse percolado más agua por la bandeja, éstas tengan mayor cantidad de agua.

La bandeja control ha dado valores similares de humedad que las bandejas con el café enterrado, al igual que ha dado valores de tasas de escorrentía altas y de percolación bajas.

5. CONCLUSIONES

- Después de haber realizado la experiencia, se ha demostrado que de las distintas bandejas con las que se ha realizado el ensayo, las que mejor respuesta han ofrecido frente a la erosión hídrica producida por la escorrentía han sido las que contenían poso de café en superficie, sin tener en cuenta del tipo que fuese, o bien poso de café compostado o bien poso de café sin compostar. Las bandejas que contenían el poso del café en superficie han dado valores más bajos de tasa de escorrentía que las bandejas que tenían el poso de café enterrado o que la bandeja control.
- Las bandejas con el poso de café en superficie del tipo que sea, han dado tasas más elevadas de percolación que las bandejas con el poso de café enterrado del tipo que sea, o que la bandeja control. La diferencia de los datos recogidos de percolación de las bandejas con el poso de café en superficie llega a ser hasta 4 veces mayor que las bandejas con café enterrado sin compostar, o hasta 8 veces mayor que las bandejas con poso de café compostado enterrado o que la bandeja control.
- Las muestras recogidas en la superficie de las diferentes bandejas, han demostrado que las bandejas que mayor contenido de carbono orgánico han tenido han sido las del café en superficie, destacando las bandejas con el café compostado que han sido ligeramente superiores a las del café sin compostar. El contenido en carbono orgánico ha sido de hasta 4 veces mayor las que tenían el café en superficie con el enterrado mientras que ha sido hasta 8 veces mayor que el contenido de carbono orgánico de la bandeja control.
- Por otro lado, cuando las muestras se han recogido en cierta profundidad, el contenido de carbono orgánico más elevado lo han dado las bandejas con el café enterrado. También siendo ligeramente superior el contenido de carbono orgánico de las bandejas con el café compostado.
- La bandeja control es la que mayor resistencia a la penetración tiene, por lo que tiene mayor tendencia a la formación de costra, seguida muy de cerca por las bandejas que tienen el poso de café en superficie y teniendo también valores altos de resistencia a la penetración. Las bandejas con café enterrado sin compostar y las bandejas con café enterrado compostado tienen valores semejantes de resistencia a la penetración y se pueden considerar valores medios, además a cierta profundidad éstas dos van perdiendo resistencia a la penetración en comparación con las superficiales, mientras que las bandejas que menor resistencia han ofrecido han sido las que tienen el poso del café sin compostar enterrado, aunque a cierta profundidad empieza a aumentar dicha resistencia.
- Por lo que al porcentaje de retención de humedad se refiere, las bandejas con el poso del café en superficie, da igual que tipo de poso, han dado los valores más altos. Aun así, las bandejas con el poso de café sin compostar enterrado han dado

valores de retención de humedad que no se alejan de las bandejas con el poso en superficie, mientras que las bandejas con el poso de café enterrado compostado han dado valores más bajos incluso que la bandeja control, indicando que es el peor tipo de bandeja por lo que a retención de agua se refiere. Por lo tanto, se puede concluir que las bandejas que más agua retienen son las que tienen el café en superficie, sea del tipo que sea.

Ya que los valores obtenidos en toda la experiencia han sido prácticamente muy similares en las bandejas con el poso de café en superficie, ya fuera en el contenido de materia orgánica, contenido de humedad, tasas de percolación, tasas de escorrentía etc. nos quedaríamos con el tipo de café que fuese más fácil de obtener y éste es el café sin compostar ya que el café compostado como se ha mencionado en este trabajo, ha tenido que obtenerse a través de un proceso de compostaje, lo cual ha necesitado un tiempo para que se produjera y también ha necesitado de una logística (lugar y recipientes) que a menudo no se disponen, haciendo de éste tipo de poso más difícil su obtención que el poso de café sin compostar.

- Resumiendo, si queremos evitar la erosión hídrica o por lo menos minimizarla, evitar altas tasas de escorrentía, tener altas tasas de infiltración y mejorar las propiedades físicas del suelo (contenido de materia orgánica, mejorar retención de humedad, evitar costra superficial etc.) haremos uso de poso de café en superficie. Además, al ser más fácil de obtener y no necesitar tanto tiempo para su obtención, se usará el poso de café sin compostar.

De hecho, el uso de este tipo de residuo en los campos, podría ser una buena manera de conservar los suelos, evitar la erosión hídrica y mejorar las propiedades de éstos, convirtiéndose así, en una alternativa para evitar el conjunto de problemas medioambientales que generan la acumulación de este tipo de residuo y que cada vez son más elevados.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agricultureros, 2016. Lo que debes saber de las cubiertas vegetales. Consultada el 13 de junio de 2019 en <http://agricultureros.com/lo-debes-saber-las-cubiertas-vegetales/>

AgroEs.es. Enmiendas orgánicas. Consultada el 15 de junio de 2019 en <http://www.agroes.es/agricultura/abonos/100-enmiendas-organicas>

Alegre, J. & García Estringana, P. 2006. Técnicas experimentales: tipos de parcelas, empleo de simuladores de lluvia, escorrentía cortical en: Conservación del medio ambiente: revegetación, recuperación del suelo y empleo de residuos en el control de la erosión. 2º Edición. Madrid, 103-119.

ALMOROX ALONSO, J.; LÓPEZ BERMÚDEZ, F. & RAFAELLI, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación*. Ed. Edit.UM. Murcia. 384 pp.

BIENES ALLAS, R. 2006. La erosión hídrica: Importancia y clases. Parámetros climáticos condicionantes de la erosión (intensidad, torrencialidad, aridez, déficit hídrico, tamaño gota), en: Conservación del medio ambiente: revegetación, recuperación del suelo y empleo de residuos en el control de la erosión. 2º Edición. Madrid, 43-61.

Cárceles-Rodríguez, B.; Gálvez-Ruiz, B.; Francia-Martínez J.; Cuadros Távira S.; Rodríguez Pleguezuelo C. & Durán-Zuazo V. (2016). La cubierta vegetal y la erosión de suelos por surcos por eventos lluviosos extremos en ambientes semiáridos. *Revista de ciencias ambientales*, 51(1): 51-61

Demolón, A.. Principios de Agronomía. Tomo 1: Dinámica del suelo. Omega, 1965. 527 p.

Díaz Mendoza, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetación. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 31(3): 80-90

FAO (1996). Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. *FAO montes 131*

FAO (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68)

García Álvarez, A. 2007. El suelo como sistema, en: Procesos de degradación y recuperación de suelos. Ed. CIEMAT. Madrid, 7-28.

García-Chevesich Pablo A. (2008). Procesos y control de la erosión. Ed. Outskirts Press. Denver, Colorado. 276 pp.

GARCÍA IZQUIERDO, C. (2008). *Enmiendas orgánicas para suelos basadas en residuos orgánicos*. Academia de ciencias de la Región de Murcia. 93 pp.

Giráldez, J V. La cubierta vegetal en el olivar como protectora del suelo frente a los agentes erosivos, en: Cubiertas vegetales en el olivar. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Andalucía, 125-131.

Gisbert Blanquer, J M.; Ibáñez Asensio, S. & Moreno Ramón, H. (2012). MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS FRENTE A LA EROSIÓN HÍDRICA. Riunet

Gisbert Blanquer, JM. & Ibáñez Asensio, S. (2008). Génesis de suelos. Ed. UPV. Valencia. 222pp.

ILERSIS fundació privada, 2015. Abono Casero, Posos De Café Para Las Plantas. Consultada el 20 de junio de 2019 en <https://ilersis.org/empresa-jardineria-medio-ambiente/abono-casero-posos-de-cafe-para-las-plantas/>

INTAGRI. 2017. Los Factores de Formación del Suelo. Serie Suelos. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/los-factores-de-formacion-del-suelo> .

Joffe Jacob, S. 1949. Pedology. Ed. Pedology Publications. 662pp.

Llorca Llorca, R. & Bautista Carrascosa I. (2009). Prácticas de atmósfera, suelo y agua. Ed. UPV. Valencia. 107pp.

Lobo Bedmar, C. 2007. Procesos de degradación del suelo, en: Procesos de degradación y recuperación de suelos. Ed. CIEMAT. Madrid, 29-40.

Marqués Pérez, M.J. 2006. El papel de las enmiendas orgánicas en el control de la erosión, en: Conservación del medio ambiente: revegetación, recuperación del suelo y empleo de residuos en el control de la erosión. 2º Edición. Madrid, 181-198.

Morgan R.P.C. (2005). Soil Erosion and Conservation. Ed. 3º edition Blackwell Publishing.UK 304 pp.

Ospina, J. E. 2001. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Bogotá D.C.

Pascual España, B. (2007). Riegos de gravedad y a presión. Ed. UPV. Valencia. 373pp.

Pastor, J. & Hernández, A J. 2007. La restauración en sistemas con suelos degradados: estudio de casos en vertederos sellados, minas abandonadas y en explotación y agrosistemas de secano, en: Procesos de degradación y recuperación de suelos. Ed. CIEMAT. Madrid, 529-550.

Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R. M. 2008. Introducción a la edafología: uso y protección del suelo. Madrid: Mundi-Prensa.

Porta, J.; López-Acevedo, M. & Roquero, C. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-prensa. Madrid. 807 pp.

Rathinavelu, R., Graziosi, G. 2005. Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. Organización internacional del café. ED 1967/05.

ROJAS, A.E. & IBARRA, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Diulnet*: 4-9

Soil Survey Staff. 2014. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service

Tecnicoagricola, 2013. Abonos orgánicos y enmiendas organicas. Consultada el 15 de junio de 2019 en <http://www.tecnicoagricola.es/abonos-organicos-y-enmiendas-organicas/>

Toy Terrence J.; Foster George R. & Renard Kenneth G. (2002). Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement and Control. Ed. Wiley. U.S.A 338 pp.

Volverás, B. & Amézquita, E. 2009. Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. ACTA AGRON (PALMIRA), 58 (1), 35-39.

