

Máster en Ingeniería Agronómica

Curso Académico 2020-2021

Escuela Técnica de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

## **ANEXO I: Calibración del simulador de lluvia**

**Evaluación de un suelo hidrofóbico tratado con un mejorador de suelo de uso agrícola frente a episodios de lluvia simulada**



**Autor: Raúl Serrano Hidalgo**

**Tutores: Sara Ibáñez Asensio y Héctor Moreno Ramón**

## ÍNDICE

I. Calibración del simulador de lluvia .....	1
1. Introducción .....	1
2. Tipo de boquilla.....	1
3. Regulación de la presión .....	1
4. Procedimiento.....	2
5. Mapa de intensidades .....	3

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1a) Imagen de la boquilla montada. 1b) foto con las partes de la boquilla.....	1
Figura 2: Regulador de presión .....	2
Figura 3 Imagen del simulador de lluvia con los recipientes donde se recogerá la precipitación y valorará la uniformidad.....	2

## I. Calibración del simulador de lluvia

### 1. Introducción

El simulador de lluvia es el instrumento por el cual se evaluará la erosionabilidad del suelo según los diferentes tratamientos, pero para ello es necesario reducir el número de variables al máximo de forma que las únicas que se contemplen sean el tratamiento y el periodo de simulación.

Las variables que pueden condicionar la erosión hídrica son: la pendiente y la precipitación. La variación de la pendiente no es un problema debido a que el simulador puede fijar la pendiente y mantenerla durante toda la simulación y además se puede fijar la misma pendiente para todas las simulaciones. El mayor problema es la precipitación pues su intensidad puede variar según la presión del agua corriente y la uniformidad según el tipo de boquilla, la presión del agua y la posición de la boquilla respecto a la bandeja puesto que la mayor uniformidad se consigue cuando la boquilla se sitúa en el centro.

### 2. Tipo de boquilla

El tipo de boquilla es crucial para mantener una uniformidad espacial lo suficientemente buena como para que todo el suelo se vea afectado por la lluvia bajo las mismas condiciones. Para ello se ha elegido el difusor (ref. nº 371034, serie gris) con una válvula antigoteo y una boquilla (ref. nº 1553-10). Además, cuenta con un adaptador de gota gruesa (ref. nº 371077) para la formación de gotas representativas del clima mediterráneo (figura 1a y 1b).

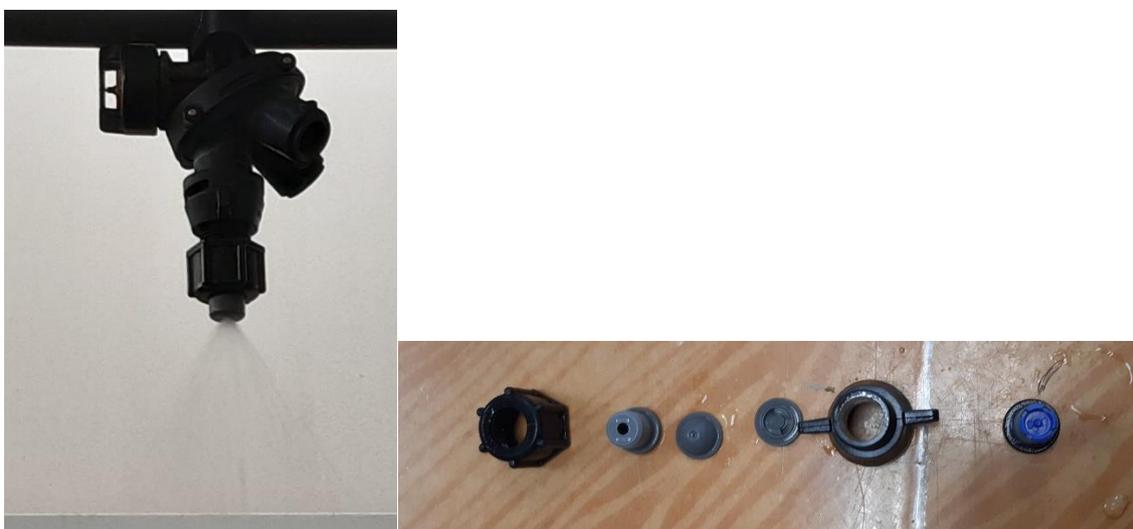


Figura 1a) Imagen de la boquilla montada. 1b) foto con las partes de la boquilla

### 3. Regulación de la presión

Para regular la presión se ha establecido un equipo regulador de PVC poco antes de llegar a la boquilla con lo que se consigue una uniformidad temporal adecuada (Figura 2). Otro factor para tener en cuenta de la presión es que regula aparte de la uniformidad temporal la espacial

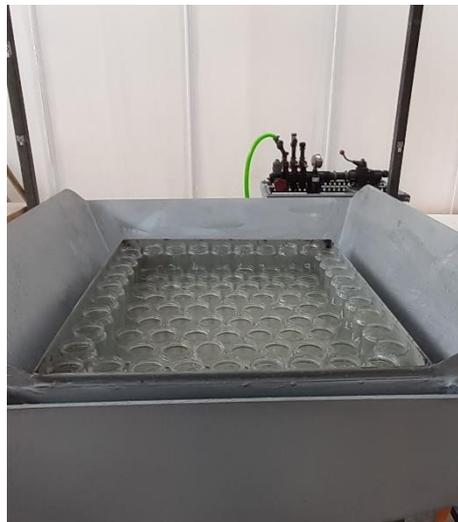
debido a que modifica la abertura del cono de lluvia originado desde la boquilla, aumentando conforme aumenta la presión.



*Figura 2: Regulador de presión*

#### **4. Procedimiento**

El procedimiento realizado para la calibración del simulador de lluvia fue mediante botes de cristal puestos donde se colocaría la bandeja de suelo (figura 3). De este modo se puede cuantificar la intensidad de la lluvia en diferentes cuadrantes de la parcela. Tras un estudio probando diferentes presiones y posiciones del simulador se consiguió un coeficiente de uniformidad del 69.4%. Además, se han conseguido que 3 repeticiones seguidas no muestren diferencias significativas superiores al 5% con un P valor > 0.83, indicando una homogeneidad temporal adecuada.



*Figura 3 Imagen del simulador de lluvia con los recipientes donde se recogerá la precipitación y valorará la uniformidad*

## 5. Mapa de intensidades

### Repetición 1

16,63006	18,70882	22,63536	22,63536	21,22065	18,39123	18,39123	11,43317	8,315033
5	6	97	97	91	79	79	14	76
28,06323	41,02660	33,95305	31,12363	28,29421	26,87950	28,29421	29,70892	17,66944
89	76	45	33	21	15	21	27	67
53,75900	52,34429	42,44131	35,36776	31,12363	32,53834	39,61189	49,51487	52,34429
3	24	82	51	33	39	69	12	24
65,07668	52,34429	42,44131	35,36776	32,53834	36,78247	53,75900	73,56495	73,56495
78	24	82	51	39	57	3	15	15
63,66197	53,75900	41,02660	32,53834	38,19718	48,10016	70,73553	90,54147	87,71205
72	3	76	39	63	06	03	87	75
59,41784	49,51487	42,44131	39,61189	48,10016	59,41784	76,39437	84,88263	76,39437
54	12	82	69	06	54	27	63	27
53,75900	49,51487		45,27073	48,10016	55,17371	65,07668	66,49139	56,58842
3	12	46,68545	94	06	36	78	84	42
49,51487	48,10016	45,27073	45,27073		50,92958	48,10016	45,27073	33,95305
12	06	94	94	46,68545	18	06	94	45
25,98448	38,19718	38,19718	39,61189	39,61189	39,61189	31,12363	26,87950	11,43317
05	63	63	69	69	69	33	15	14
15,59068	18,70882	29,70892	29,70892	28,29421	24,05008	21,22065	9,354412	5,196896
83	6	27	27	21	03	91	98	1

### Repetición 2

17,6694	28,0632	24,0500	24,0500	21,2206	18,3912	18,3912	13,5119	13,5119
467	389	803	803	591	379	379	299	299
31,1813	39,6118	33,9530	29,7089	28,2942	26,8795	28,2942	31,1236	18,7088
766	969	545	227	121	015	121	333	26
58,0031	49,5148	39,6118	32,5383	31,1236	33,9530	39,6118	48,1001	48,1001
348	712	969	439	333	545	969	606	606
65,0766	52,3442	41,0266	33,9530	32,5383	36,7824	52,3442	67,9061	70,7355
878	924	076	545	439	757	924	091	303
63,6619	63,6619	42,4413	32,5383	36,7824	48,1001	70,7355	84,8826	82,0532
772	772	182	439	757	606	303	363	151
60,8325	50,9295	42,4413	41,0266	49,5148	59,4178	76,3943	84,8826	72,1502
56	818	182	076	712	454	727	363	409
56,5884	50,9295	45,2707	46,6854	49,5148	56,5884	65,0766	63,6619	63,6619
242	818	394	5	712	242	878	772	772
49,5148	49,5148	48,1001	46,6854	48,1001	49,5148	49,5148	42,4413	31,1236
712	712	606	5	606	712	712	182	333
29,1026	42,4413	42,4413	41,0266	38,1971	36,7824	33,9530	25,4647	10,3937
182	182	182	076	863	757	545	909	922
18,7088	20,7875	32,5383	29,7089	28,2942	25,4647	21,2206	10,3937	5,19689
26	844	439	227	121	909	591	922	61

Repetición 3

36,7824	36,7824	32,5383	28,2942	25,4647	24,0500	24,0500	24,0500	13,5119
757	757	439	121	909	803	803	803	299
50,9295	45,2707	38,1971	31,1236	28,2942	28,2942	31,1236	33,9530	33,9530
818	394	863	333	121	121	333	545	545
59,4178	48,1001	38,1971	32,5383	29,7089	31,1236	38,1971	49,5148	53,7590
454	606	863	439	227	333	863	712	03
62,2472	48,1001	38,1971	31,1236	32,5383	35,3677	49,5148	67,9061	67,9061
666	606	863	333	439	651	712	091	091
59,4178	49,5148	39,6118	32,5383	33,9530	42,4413	62,2472	79,2237	80,6385
454	712	969	439	545	182	666	939	045
58,0031	49,5148	43,8560	42,4413	45,2707	55,1737	66,4913	76,3943	70,7355
348	712	288	182	394	136	984	727	303
56,5884	52,3442	48,1001	46,6854	48,1001	53,7590	59,4178	59,4178	46,6854
242	924	606	5	606	03	454	454	5
48,1001	48,1001	45,2707	45,2707	45,2707	45,2707	42,4413	41,0266	28,2942
606	606	394	394	394	394	182	076	121
36,7824	36,7824	36,7824	36,7824	38,1971	33,9530	28,2942	14,1471	21,2206
757	757	757	757	863	545	121	061	591
21,2206	24,0500	25,4647	24,0500	21,2206	18,3912	14,1471	9,90297	2,82942
591	803	909	803	591	379	061	424	121

Máster en Ingeniería Agronómica

Curso Académico 2020-2021

Escuela Técnica de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

## **ANEXO II: Determinación de la hidrofobicidad de diferentes muestras**

**Evaluación de un suelo hidrofóbico tratado con un mejorador de suelo de uso agrícola frente a episodios de lluvia simulada**



**Autor: Raúl Serrano Hidalgo**

**Tutores: Sara Ibáñez Asensio y Héctor Moreno Ramón**

## ÍNDICE

I.	Determinación de la hidrofobicidad de diferentes muestras .....	1
1.	Introducción .....	1
2.	Determinación de la Textura.....	1
2.1.	Materiales .....	2
2.2.	Método.....	3
3.	Determinación de la Hidrofobicidad .....	7
3.1.	Método WDPT.....	7
3.1.1.	Materiales .....	7
3.1.2.	Procedimiento.....	7
3.2.	Método de la gota.....	7
3.2.1.	Materiales .....	8
3.2.2.	Procedimiento.....	8
4.	Resultados .....	9
5.	Tabla de los cálculos intermedios para el cálculo de la textura.....	12
6.	Graficas Tamaño de partícula - Porcentaje en peso de partículas en suspensión.....	15

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1:	Imagen del densímetro Bouyoucos .....	2
Ilustración 2:	Imagen con las probetas de 1L que contienen la solución Hexametáfosfato sódico, agua destilada y 40gramos de suelo. ....	3
Ilustración 3:	Triangulo textural USDA .....	4
Ilustración 4:	Triangulo textural ilustrando la posición que ocuparía cada una de las muestras en él .....	6
Ilustración 5:	Imagen de la estructura con la que se midió la hidrofobicidad mediante la alteración del método de Yoder.....	8
Ilustración 6:	Imagen de la muestra de suelo mientras caen las gotas de agua de la bureta. En la imagen 1a) se puede observar una muestra de arena de sílice tratada con el producto hidrofobizante (Terrasil) y en la imagen 1b) una muestra de tierra vegetal sin ningún producto .....	9
Ilustración 7:	Gráfica que muestra la evolución de cuánta agua es necesaria aportar a una muestra de 30g para llegar a saturarse. En las últimas dos muestras los valores están mal representados pues su valor debería ser ascendente infinito pues no hay infiltración real. ....	11
Ilustración 8:	Cantidad de agua recogida en la probeta tras cada experiencia. En la gráfica se muestra que los valores de agua recogidos en las muestras hidrófobas se comienzan a diferenciar de las normales a partir de la muestra que contiene un 37.5% de arena. El último valor de las de las muestras hidrófobas es 0 debido a que no ha habido ninguna infiltración.....	11

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Resultados de la Textura .....	5
Tabla 2:	Grados de hidrofobicidad según el Método WDPT.....	7
Tabla 3	Resultados de hidrofobicidad (WDPT): .....	9
Tabla 4:	Resultados de la hidrofobicidad (Test de la gota) .....	10

## I. Determinación de la hidrofobicidad de diferentes muestras

### 1. Introducción

Para poder valorar correctamente el *Zytonic* como un producto capaz de revertir la hidrofobicidad causada por los incendios, primero se ha de simular esas condiciones postincendio. Para proporcionar esas condiciones al suelo se ha utilizado un producto químico proporcionado por la misma empresa, denominado *Terrasil*. Producto que por recomendación de la empresa se ha de mezclar con arena para que realice su función. Esto conlleva a que se ha de buscar mezclas de tierra vegetal y arena de manera que tenga un buen grado de hidrofobicidad aportado por la arena tratada con *Terrasil*, pero a su vez mantenga la mayoría de las propiedades de la tierra vegetal, sobre todo propiedades físicas como la textura.

Las mezclas que se han utilizado han sido las siguientes:

- *Tierra vegetal mezclado con un 5% de arena de sílice*
- *Tierra vegetal mezclado con un 10% de arena de sílice*
- *Tierra vegetal mezclado con un 20% de arena de sílice*
- *Tierra vegetal mezclado con un 25% de arena de sílice*
- *Tierra vegetal mezclado con un 37.5% de arena de sílice*
- *Tierra vegetal mezclado con un 50% de arena de sílice*
- *Tierra vegetal mezclado con un 62.5% de arena de sílice*
- *Tierra vegetal mezclado con un 75% de arena de sílice*

### 2. Determinación de la Textura

La determinación de la textura se ha realizado mediante el Método Bouyoucos, debido a que es un método que proporciona una gran fiabilidad de los resultados sin necesidad de estar grandes periodos de tiempo en reposo y evitando el pesaje exacto de pequeñas cantidades de sustancia coloidal con la condición de que la cantidad materia orgánica y de sales disueltas del suelo sean muy bajas *Norambuena (2000)*, condiciones que cumplen los suelos con los que se trabajan en este trabajo.

El método consiste en la dilución de una muestra de suelo en una mezcla de agua destilada y hexametáfosfato de sodio, un compuesto dispersante que disgrega cualquier agregado del suelo. En estas condiciones se agita la mezcla y se va midiendo mediante un densímetro la densidad de la suspensión del suelo pues es un indicativo de la concentración de partículas en dicha suspensión.

La fórmula que relaciona las dos propiedades es la siguiente:

$$\varphi = Pl + \frac{c}{1000} \cdot \left(1 - \frac{Pl}{Ps}\right)$$

Ecuación 1:

Siendo  $Pl$  y  $Ps$  las densidades del líquido y las partículas respectivamente.

Mediante el densímetro y aplicando la ecuación de Stokes se puede obtener el diámetro de partículas que ya han sedimentado o están en suspensión en un momento determinado.

La fórmula es la siguiente:

$$x = \frac{\theta}{\sqrt{t}}$$

Ecuación 2

Donde  $\theta$  es un parámetro que se define por otra ecuación:

$$\theta = 1000 \cdot \sqrt{\frac{30 \cdot \eta \cdot h}{g (P_s - P_l)}}$$

Ecuación 3

De esta forma y sustituyendo los valores  $\eta$ ,  $g$ ,  $P_s$  y  $P_l$  pues son constantes conocidas donde  $\eta$  es la viscosidad del agua a 30°C,  $g$  es la gravedad en  $\text{cm}/\text{seg}^2$ ,  $P_s$  es la densidad de la partícula que es 2,650 g/ml y  $P_l$  es la densidad del líquido, que es una solución de agua destilada con calgón al 0.5% a 30°C que es de 0,99949 g/ml, da que esta ecuación relaciona directamente  $\theta$  con  $h$  que es la distancia en centímetros desde la superficie de la suspensión al centro del bulbo del densímetro, que es la Lectura del densímetro. De este modo se obtendría el valor del diámetro de partículas en suspensión en un determinado momento a través de la lectura del densímetro.

### 2.1. Materiales

- Probetas de 1.000 mL
- Cuencos de cerámica
- Muestras de suelo
- Agua destilada
- Balanza
- Cuchara
- Émbolo de agitación
- Calgón (Hexametáfosfato de sodio 5%)
- Batidoras
- Densímetro de Bouyoucos



Ilustración 1: Imagen del densímetro Bouyoucos

## 2.2. Método

### Calibración del densímetro

Para el calibrado del densímetro se introduce 100 mL de solución calgón en una probeta de 1 L y se completa hasta el litro con agua destilada.

Lo primero es mezclar la solución con el émbolo agitador y esperar hasta que alcance la temperatura ambiente y registrar dicha temperatura. Por último, se sumerge el densímetro en la disolución y se determina la lectura del borde superior del menisco que rodea el vástago del densímetro siendo esta la lectura control ( $L_0$ )

### Cálculo de la Textura

El primer paso para la determinar la textura es desagregar todos los agregados de la muestra de suelo que se va a emplear. Para ello se sumerge una muestra de 40g de suelo en 100mL de Hexametafosfato de Sodio durante 10 minutos. Posteriormente, esta mezcla se vuelve en un recipiente para poder ser batido en una batidora Lomi 6B para aumentar la eficacia del Hexametafosfato durante 5 minutos. Trascurrido este tiempo el contenido batido se introduce en una probeta de 1L la cual se enrasa a dicha cantidad (figura 2).



*Ilustración 2: Imagen con las probetas de 1L que contienen la solución Hexametafosfato sódico, agua destilada y 40gramos de suelo.*

Una vez preparada la probeta comienza la determinación de la textura, primero agitando el contenido con un émbolo de agitación estableciendo el  $t_0$ , y se introduce el densímetro en la probeta. A partir de aquí se registra el valor del densímetro a tiempos determinados (30s, 60s, 90s, 600s, 3600s, 10800s [3h] y >28800s [>8h])

El siguiente paso es realizar una corrección de temperatura para poder utilizar la lectura del densímetro para el parámetro  $\theta$  pues su fórmula se basa en constantes registradas a una temperatura de 30°C.

El último paso de los cálculos es calcular el tamaño de partícula y finalmente para saber la textura de la muestra se hace representando en una gráfica semilogarítmica El porcentaje en peso de partículas en suspensión (ecuación 4) frente al tamaño de partícula.

$$\frac{\text{Lectura del densímetro} - \text{Lectura control}}{40} * 100$$

Ecuación 4

A partir de esa grafica se puede ver a determinado tamaño de partícula que porcentaje de partículas siguen en suspensión y si se observa el Porcentaje de partículas en los tamaños de partículas de 0.002mm y 0.05mm se puede saber el porcentaje de arcillas limos y arenas pues esos son los límites entre arcilla y limo, y limo y arena respectivamente.

El valor de la fracción arcilla será directamente el porcentaje en peso a 0.002, el valor de la fracción limo será el porcentaje en peso a 0.05 menos la el medido para la fracción arcilla y por último la fracción arena será la diferencia del total menos la fracción arcilla y limo.

Ya finalmente con las fracciones conocidas y empleando el Triángulo de texturas del USDA se sabe la textura de la muestra:

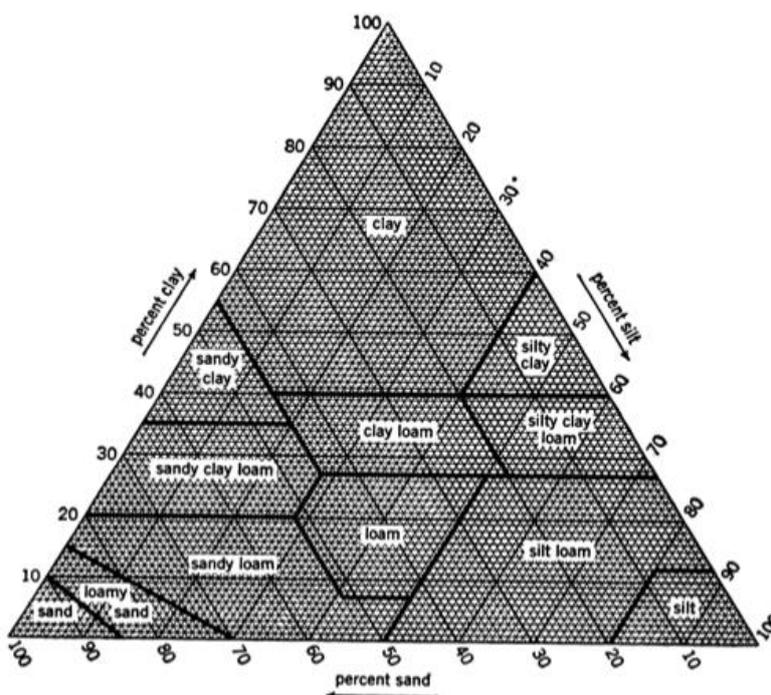


Ilustración 3: Triangulo textural USDA

**Resultados**

Los resultados finales de textura de cada muestra se observan en la siguiente tabla. Los cálculos intermedios se encuentran en la tablas al final del ANEXO (Apartado 4)

Tabla 1: Resultados de la Textura

<b>Muestra</b>	<b>Fracción Arcillosa (%)</b>	<b>Fracción Limosa (%)</b>	<b>Fracción Arenosa (%)</b>	<b>Textura</b>	
Tierra Vegetal	<b>18</b>	<b>32</b>	<b>50</b>	Franca	
TV 95%	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>55</b>	Franco Arenosa	
TV 90%	<b>16</b>	<b>29</b>	<b>55</b>	Franco Arenosa	
TV 80%	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>60</b>	Franco Arenosa	
TV 75%	<b>14</b>	<b>26</b>	<b>60</b>	Franco Arenosa	
TV 62,5%	<b>12,5</b>	<b>21</b>	<b>66,5</b>	Franco Arenosa	
TV 50%	<b>11,5</b>	<b>17,5</b>	<b>71</b>	Franco Arenosa	
TV 37,5%	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>79</b>	Arena Franca	
TV 25%	<b>7,5</b>	<b>8,5</b>	<b>84</b>	Arena Franca	
Arena	<b>3,75</b>	<b>3,75</b>	<b>92,5</b>	Arenosa	

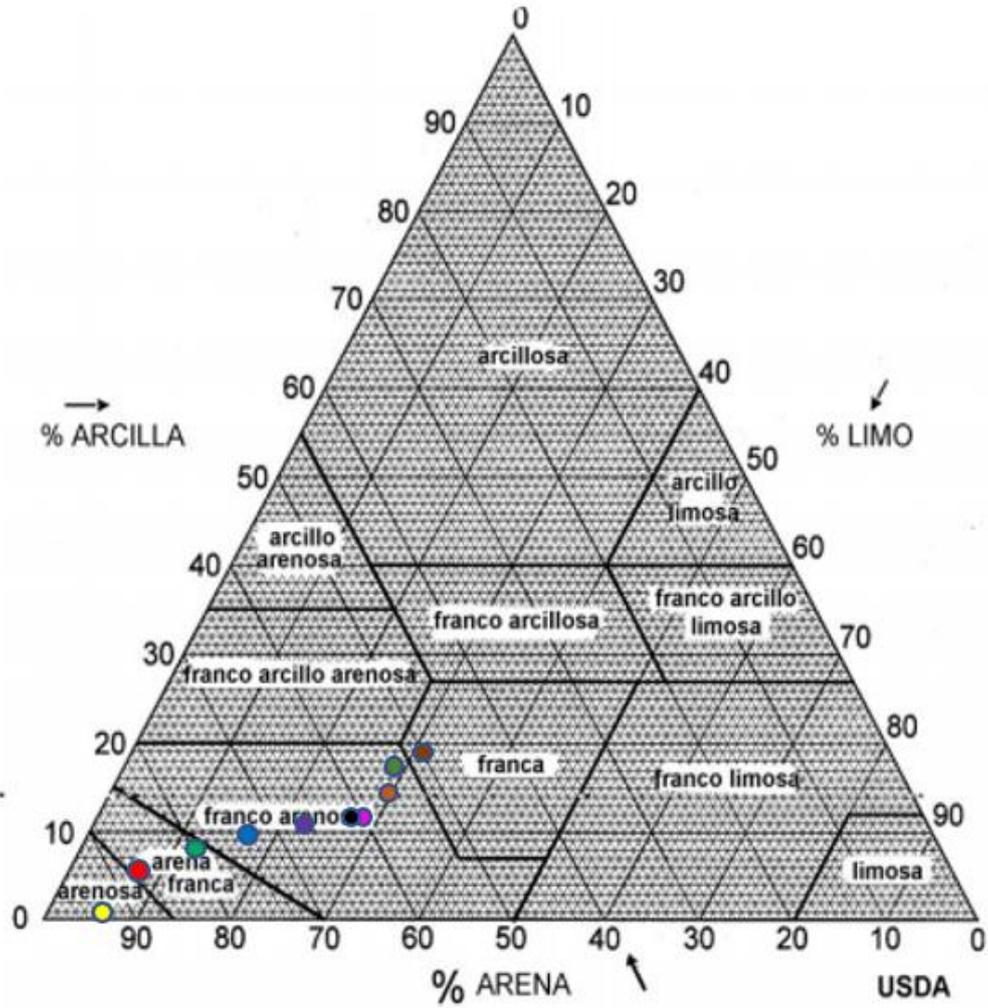


Diagrama textural de la USDA

Ilustración 4: Triángulo textural ilustrando la posición que ocuparía cada una de las muestras en él

### 3. Determinación de la Hidrofobicidad

Para ver el efecto del Terrasil sobre el suelo se han utilizado dos métodos. El primero es el método estándar para ver la hidrofobicidad que es la prueba WDPT (Water Drop Penetration Time) la cual marca el grado de hidrofobicidad del suelo dependiendo del tiempo que tarda una gota de agua en el espacio poroso del suelo.

El segundo método consiste en medir la hidrofobicidad del suelo dependiendo de la dificultad que tiene el agua en entrar al suelo y la facilidad que tiene esta en circular por el espacio poroso.

#### 3.1. Método WDPT

##### 3.1.1. Materiales

- Muestras de suelo
- Agua destilada
- Jeringuilla
- Cronómetro
- Tazas de papel de aluminio

##### 3.1.2. Procedimiento

Para valorar la hidrofobicidad del suelo por este método se ha colocado el suelo en una taza para simular el epipedón. Posteriormente mediante una jeringuilla se aporta agua en forma de gotas en la superficie del suelo. En ese momento se inicia el cronómetro y se mide el tiempo medio que tardan las gotas en entrar en el espacio poroso del suelo. Dependiendo de lo que tarden la hidrofobicidad puede categorizarse como Suelo humectable, con hidrofobicidad ligera, grave, fuerte, severa y extrema. Los tiempos que marcan que grado de hidrofobicidad tiene el suelo se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Grados de hidrofobicidad según el Método WDPT

WDPT (s)	Grado de Hidrofobicidad
<= 5s	No hidrófobo / Suelo humectable
5 – 60s	Hidrofobicidad ligera
60 – 600s	Hidrofobicidad grave
600 – 3600s	Hidrofobicidad severa
>= 3600s	Hidrofobicidad extrema

#### 3.2. Método de la gota

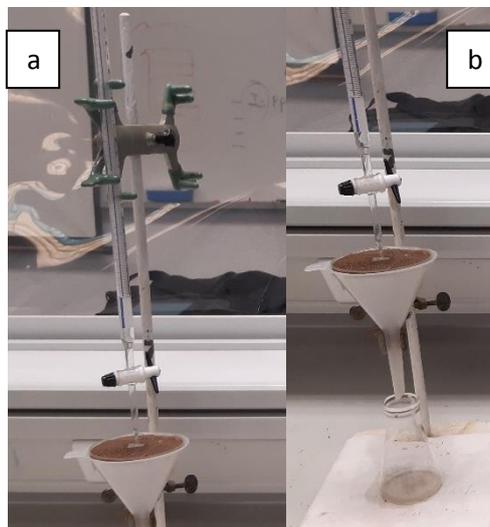
El método de la gota es un método para medir estabilidad de agregados que consiste en ir aplicando gotas con una energía determinada y ver cuanto tarda un agregado en disgregarse. En este ensayo, este método ha sido modificado para que las gotas en vez de disgregar el suelo, su función es ir humedeciendo el suelo para observar la capacidad de humectación del suelo. Para esto se ha reducido al mínimo la distancia con que la gota golpea al suelo de manera que la gota no tenga suficiente fuerza como para disgregar el suelo.

### 3.2.1. Materiales

- Bureta
- Placas Petri perforadas
- Papel de filtro circular
- Muestras de suelo
- Agua destilada
- Probetas
- Embudos

### 3.2.2. Procedimiento

Para valorar la hidrofobicidad según este método se ha empleado una estructura compuesta por una bureta de 25 mL que está sujeta mediante unas pinzas en una barra metálica. Sujeta también a esta y justo debajo se coloca un porta embudos con un embudo.



*Ilustración 5: Imagen de la estructura con la que se midió la hidrofobicidad mediante la alteración del método de Yoder*

Sobre ese porta embudos se coloca la placa Petri perforada con un agujero en el centro con un papel de filtro circular. Sobre esta placa Petri se coloca 30g de muestra de suelo. La altura del porta embudos se ajusta para que la placa Petri que está apoyada sobre el esté a 1 o 2 centímetros de la salida de la bureta para reducir la energía de la caída de la gota y para minimizar este efecto también se pone una pequeña tira de papel de filtro donde debería caer la gota (5a).

El último elemento es una probeta que se coloca debajo del embudo de forma que el agua que percole cuando el suelo se sature se recoja en esta (5b).

Una vez todos los elementos están colocados se abre la bureta de manera que el agua caiga gota a gota, lo ideal es que la velocidad sea constante, hecho que se puede conseguir mediante una bureta electrónica, pero que es muy difícil con una convencional y solo se puede aproximar. En este caso se ha empleado una bureta convencional y por ello los valores se basan en el volumen de agua gastado. Los valores que se han recogido han sido el volumen de agua necesario para la saturación del suelo, es decir cuando comienza a perder agua la placa Petri y el volumen de agua recogido en la probeta al final de la experiencia. Estos valores muestran el agua que el suelo es capaz de almacenar y cuanto tarda hasta llegar a ese punto.

Se puede observar como se van humedeciendo dos muestras en la figura 6, donde en la 6a muestra una muestra el comportamiento de una muestra altamente hidrofoba y en la 6b una muestra humectable

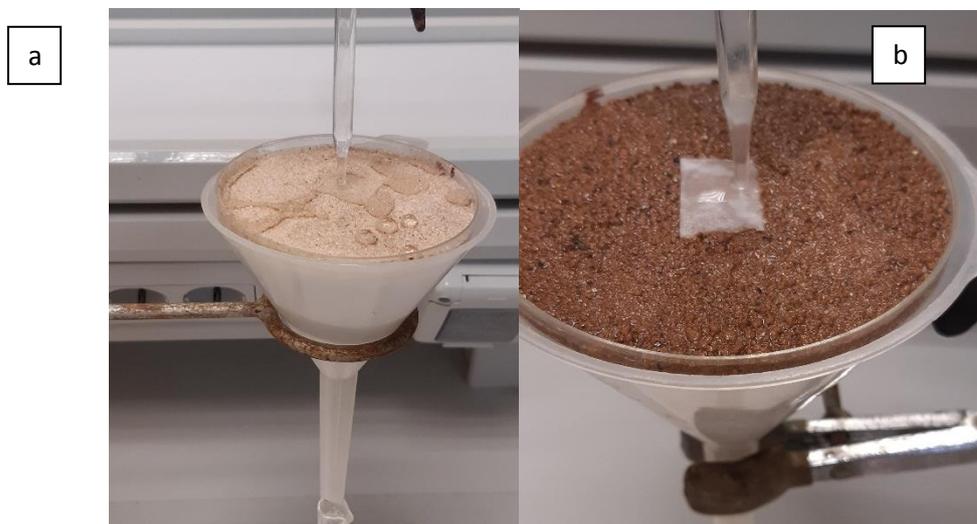


Ilustración 6: Imagen de la muestra de suelo mientras caen las gotas de agua de la bureta. En la imagen 1a) se puede observar una muestra de arena de sílice tratada con el producto hidrofobizante (Terrasil) y en la imagen 1b) una muestra de tierra vegetal sin ningún producto

#### 4. Resultados

Los resultados del primer método fueron los siguientes:

Por el primer método las muestras no tratadas con Terrasil mostraban nula hidrofobicidad, mientras que en las muestras tratadas la hidrofobicidad se comenzaba a ver a partir de que la muestra contuviese un mínimo del 20% de arena tratada con Terrasil en un grado ligero y aumentaba a hidrofobicidad fuerte cuando tenía un 25% de arena hidrofóbica. Cuando la muestra tenía 37.5 y 50% de arena la arena la hidrofobicidad era severa y pasaba a extrema donde la gota de agua podía mantenerse perfectamente en la superficie del suelo durante más de 2 horas a partir de la muestra de 62.5% de arena, es decir con un porcentaje de tierra vegetal del 37.5%.

Tabla 3 Resultados de hidrofobicidad (WDPT):

Muestras hidrofóbicas	Grado de Hidrofobicidad
Tierra Vegetal	<b>Humectable</b>
TV 95%	<b>Humectable</b>
TV 90%	<b>Humectable</b>
TV 80%	<b>Ligera</b>
TV 75%	<b>Fuerte</b>
TV 62,5%	<b>Severa</b>
TV 50%	<b>Severa</b>
TV 37,5%	<b>Extrema</b>
TV 25%	<b>Extrema</b>
Arena	<b>Extrema</b>

Los datos obtenidos del segunda prueba se muestran en la tabla 4. En ella se puede observar que la diferencia entre las muestras normales e hidrófobas comienza a aparecer a partir de la muestra contenga un 37.5% de arena en lo relacionado con el agua que puede almacenar el suelo. Mientras que en las muestras humectables los 30g de suelo pueden almacenar alrededor de 14mL de agua, las muestras hidrófobas con la misma cantidad de agua pueden almacenar solo 11 mL, que es una reducción del 12% y esta diferencia va siendo cada vez mayor (figura 3). Además, en cuanto a la velocidad con que se humecta el suelo se mantiene igual hasta llegar a la muestra con un 62.5% de arena (TV 37.5%) donde la muestra es altamente hidrófoba donde se formaba una capa de agua en la superficie del suelo y no entraba en el espacio poroso con facilidad. El inicio de la percolación que se observa en las muestras hidrófobas TV 37.5% es debido a la formación de canales.

Tabla 4: Resultados de la hidrofobicidad (Test de la gota)

Muestra	Muestra Normal		Muestra hidrofobica	
	Valor Volumen saturación	Valor volumen Percolado	Valor volumen Saturación	Valor volumen Percolado
TV 95%	16.5	8.8	16.5	9.5
TV 95%	17.3	8.8	17.5	8.5
TV 95%	15.3	9.5	17	8.2
TV 90%	14	11.5	16	10.2
TV 90%	16.5	10	16.5	9.5
TV 90%	13	11	16	10.4
TV 80%	14	11.5	17	10.3
TV 80%	15	10	17	10.1
TV 80%	15.5	10.2	17	8.9
TV 75%	16	13	16.5	10.5
TV 75%	14	12	16	10.2
TV 75%	14	11.5	15.5	11
TV 62.5%	13.3	11.5	13.5	14
TV 62.5%	14	12.5	13	14
TV 62.5%	13.4	12.5	15	15
TV 50%	14.7	12	15	15
TV 50%	13.5	12.5	14	14.5
TV 50%	15	13	15	14
TV 37.5%	14	13	<b>11.5</b>	17
TV 37.5%	12	12	<b>9</b>	20.5
TV 37.5%	15.	10.5	<b>14</b>	15.5
TV 25%	12.5	13.5	0	0
TV 25%	12.7	13.5	0	0
TV 25%	16.5	11.5	0	0

\* Inicio de la percolación debido a la formación de canales

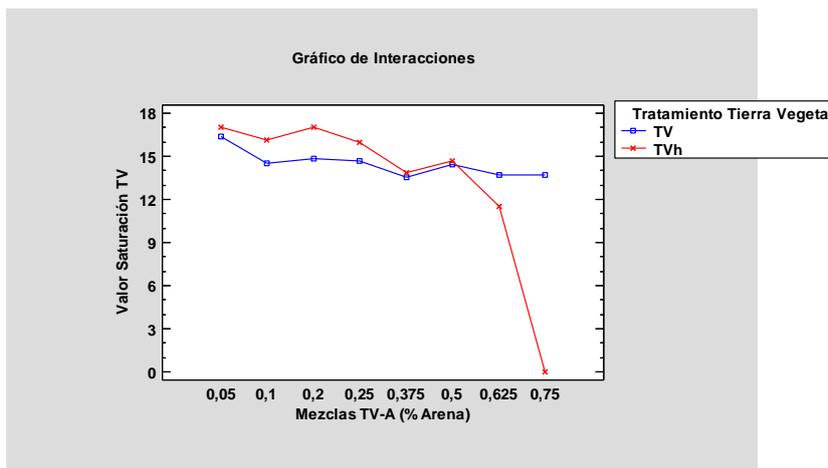


Ilustración 7: Gráfica que muestra la evolución de cuánta agua es necesaria aportar a una muestra de 30g para llegar a saturarse. En las últimas dos muestras los valores están mal representados pues su valor debería ser ascendente infinito pues no hay infiltración real.

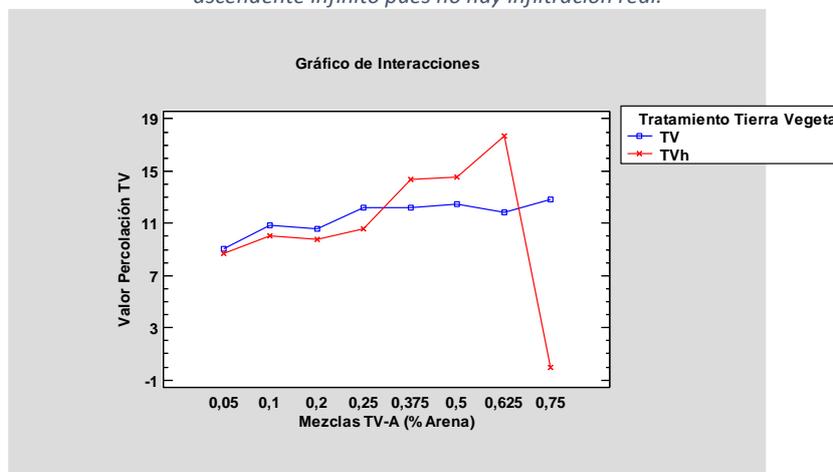


Ilustración 8: Cantidad de agua recogida en la probeta tras cada experiencia. En la gráfica se muestra que los valores de agua recogidos en las muestras hidrofobas se comienzan a diferenciar de las normales a partir de la muestra que contiene un 37.5% de arena. El último valor de las de las muestras hidrofobas es 0 debido a que no ha habido ninguna infiltración

5. Tabla de los cálculos intermedios para el cálculo de la textura

	Tiempo	Ln	Lo	T <sup>a</sup>	Lc	θ	f	$\sqrt{t[\text{min}]}$	x (μm)	Diámetro D(μm)	Diámetro Partículas (mm)	Porcentaje en Peso (%)
TV 62,5%	0,5	21	7	19	14	45,6	1,13	0,70710678	64,4881384	72,87159644	0,072871596	35
	1	20	7	19	13	45,9	1,13	1	45,9	51,867	0,051867	32,5
	3	16	7	19	9	47	1,13	1,73205081	27,1354627	30,6630728	0,030663073	22,5
	10	15	7	19	8	47,2	1,13	3,16227766	14,9259506	16,86632413	0,016866324	20
	38	13	7	19	6	47,7	1,13	6,164414	7,73796179	8,74389682	0,008743897	15
	90	12	7	19	5	47,9	1,13	9,48683298	5,04910333	5,705486764	0,005705487	12,5
	1105,8	12	7	19	5	47,9	1,13	33,2535712	1,44044679	1,627704875	0,001627705	12,5
TV 37,5%	0,5	16	7	19	9	47	1,13	0,70710678	66,4680374	75,1088823	0,075108882	22,5
	1	15	7	19	8	47,2	1,13	1	47,2	53,336	0,053336	20
	3	13,	7	19	6,5	47,55	1,13	1,73205081	27,4530053	31,02189599	0,031021896	16,25
	10	13	7	19	6	47,7	1,13	3,16227766	15,0840644	17,04499282	0,017044993	15
	38	12	7	19	5	47,9	1,13	6,164414	7,77040607	8,780558862	0,008780559	12,5
	90	11	7	19	4	48,2	1,13	9,48683298	5,08072611	5,741220501	0,005741221	10
	1105,8	11	7	19	4	48,2	1,13	33,2535712	1,44946838	1,637899268	0,001637899	10
TV 50%	0,5	20	7	19	13	45,9	1,13	0,70710678	64,9124025	73,35101484	0,073351015	32,5
	1	17,	7	19	10,5	46,55	1,13	1	46,55	52,6015	0,0526015	26,25
	3	15	7	19	8	47,2	1,13	1,73205081	27,2509327	30,79355396	0,030793554	20
	10	14	7	19	7	47,4	1,13	3,16227766	14,9891961	16,9377916	0,016937792	17,5
	34	13	7	19	6	47,7	1,13	5,83095189	8,18048251	9,243945238	0,009243945	15
	90	12	7	19	5	47,9	1,13	9,48683298	5,04910333	5,705486764	0,005705487	12,5
	1105,8	11	7	19	4	48,2	1,13	33,2535712	1,44946838	1,637899268	0,001637899	10

TV 25%	0,5	15	7	19	8	47,2	1,13	0,70710678	66,7508801	75,42849456	0,075428495	20
		12,										
	1	5	7	19	5,5	47,8	1,13	1	47,8	54,014	0,054014	13,75
	3	11	7	19	4	48,2	1,13	1,73205081	27,828283	31,44595976	0,03144596	10
	10	11	7	19	4	48,2	1,13	3,16227766	15,2421783	17,2236615	0,017223662	10
	34	10	7	19	3	48,4	1,13	5,83095189	8,30053152	9,379600619	0,009379601	7,5
	90	10	7	19	3	48,4	1,13	9,48683298	5,10180796	5,765042993	0,005765043	7,5
	1105,8	10	7	19	3	48,4	1,13	33,2535712	1,45548277	1,644695531	0,001644696	7,5
TV 75%	0,5	24	7	19	17	44,8	1,13	0,70710678	63,3567676	71,59314738	0,071593147	42,5
	1	22	7	19	15	45,3	1,13	1	45,3	51,189	0,051189	37,5
	3	21	7	19	14	45,6	1,13	1,73205081	26,3271723	29,74970467	0,029749705	35
		17,										
	10	5	7	19	10,5	46,55	1,13	3,16227766	14,7204025	16,63405483	0,016634055	26,25
	30	17	7	19	10	46,7	1,13	5,47722558	8,52621448	9,634622361	0,009634622	25
	90	15	7	19	8	47,2	1,13	9,48683298	4,97531685	5,622108043	0,005622108	20
	1105,8	12	7	19	5	47,9	1,13	33,2535712	1,44044679	1,627704875	0,001627705	12,5
TV 90%	0,5	26	7	19	19	44,2	1,13	0,70710678	62,5082395	70,63431059	0,070634311	47,5
	1	24	7	19	17	44,8	1,13	1	44,8	50,624	0,050624	42,5
	3	21	7	19	14	45,6	1,13	1,73205081	26,3271723	29,74970467	0,029749705	35
	10	18	7	19	11	46,4	1,13	3,16227766	14,6729683	16,58045423	0,016580454	27,5
	30	16	7	19	9	47	1,13	5,47722558	8,58098673	9,69651501	0,009696515	22,5
	90	15	7	19	8	47,2	1,13	9,48683298	4,97531685	5,622108043	0,005622108	20
		1105,8	15	7	19	8	47,2	1,13	33,2535712	1,41939642	1,603917956	0,001603918
TV	0,5	29	7	17	22	43,4	1,16	0,70710678	61,3768686	71,19716758	0,071197168	55
	1	25	7	17	18	44,5	1,16	1	44,5	51,62	0,05162	45
	3	21	7	17	14	45,6	1,16	1,73205081	26,3271723	30,53951984	0,03053952	35

	10	17	7	17	10	46,7	1,16	3,16227766	14,7678367	17,13069054	0,017130691	25
	30	16	7	17	9	47	1,16	5,47722558	8,58098673	9,953944612	0,009953945	22,5
	90	15	7	17	8	47,2	1,16	9,48683298	4,97531685	5,771367548	0,005771368	20
	1105,8	12	5	17	7	47,4	1,16	33,2535712	1,42541081	1,653476543	0,001653477	17,5
TV 95%	0,5	24	5	20	19	44,2	1,12	0,70710678	62,5082395	70,00922819	0,070009228	47,5
	1	22	5	20	17	44,8	1,12	1	44,8	50,176	0,050176	42,5
	3	19	5	20	14	45,6	1,12	1,73205081	26,3271723	29,48643295	0,029486433	35
	10	5	5	20	12,5	46,05	1,12	3,16227766	14,5622886	16,30976326	0,016309763	31,25
	38	5	5	20	10,5	46,55	1,12	6,164414	7,55140715	8,457576012	0,008457576	26,25
	90	15	5	20	10	46,7	1,12	9,48683298	4,92261222	5,513325691	0,005513326	25
	1200	12	5	20	7	47,4	1,12	34,6410162	1,36832014	1,532518555	0,001532519	17,5
TV 80%	0,5	22	5	20	17	44,8	1,12	0,70710678	63,3567676	70,95957971	0,07095958	42,5
	1	20	5	20	15	45,3	1,12	1	45,3	50,736	0,050736	37,5
	3	17	5	20	12	46,2	1,12	1,73205081	26,6735824	29,87441233	0,029874412	30
	10	15	5	20	10	46,7	1,12	3,16227766	14,7678367	16,53997707	0,016539977	25
	38	14	5	20	9	47	1,12	6,164414	7,62440679	8,539335608	0,008539336	22,5
	90	13	5	20	8	47,2	1,12	9,48683298	4,97531685	5,572354874	0,005572355	20
	1200	11	5	20	6	47,7	1,12	34,6410162	1,37698039	1,542218039	0,001542218	15

### 6. Graficas Tamaño de partícula - Porcentaje en peso de partículas en suspensión

