

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

### GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

## ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL SUELO UTILIZANDO SENSORES APLICADO A UNA PARCELA EXPERIMENTAL

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

Autor:

**Daniel Fenollar Tecles**

Tutor:

**Josep Vicent Llinares Palacios**

**GANDÍA, 2017**

<b>Índice</b>	2
Agradecimientos	6
1. Resumen	7
2. Introducción	8
2.1. Método gravimétrico o técnica termostato-peso (secado y pesado en horno)	9
2.2. Tecnología de sonda de neutrones	9
2.3. Reflectometría de dominio del tiempo (Time Domain Reflectometry)	10
2.4. Capacitancia y reflectometría del dominio de la frecuencia (Frequency Domain Reflectometry)	11
2.5. Uso de tensiómetros	12
2.6. Medición de bloques de yeso	13
2.7. Método de placa de presión	13
2.8. Método de radar de penetración en tierra	14
2.9. Sensores remotos	14
3. Clima y precipitación	14
3.1. Índices climáticos	15
4. Objetivos	17
5. Métodos	18
5.1. Diseño experimental	18
5.2. Instalación de los sensores en el campo	20
5.3. Técnicas analíticas de caracterización del suelo	26

6. Resultados	29
6.1. Resultados de los datos de los sensores del suelo	29
6.1.1. Lavanda	29
6.1.2. Suelo desnudo	32
6.1.3. Romero	36
6.2. Datos de la caracterización del suelo	39
7. Conclusiones	40
8. Bibliografía	42

## Índice de figuras

Figura 1: Diagrama Ombrotérmico de Gaussen de Gandia-Marxuquera.	16
Figura 2. Detalle de la instalación de los sensores en el suelo en la zona de estudio.	18
Figura 3. Comparativa de la humedad del suelo área <i>Lavandula angustifolia</i> .	30
Figura 4. Comparativa de la conductividad eléctrica área <i>Lavandula angustifolia</i> .	31
Figura 5. Comparativa de la temperatura área <i>Lavandula angustifolia</i> .	32
Figura 6. Comparativa de la humedad suelo desnudo.	33
Figura 7. Comparativa del potencial del agua en suelo desnudo.	34
Figura 8. Comparativa de la temperatura suelo desnudo.	35
Figura 9. Comparativa humedad área <i>Rosmarinus officinalis</i> .	36
Figura 10. Comparativa conductividad eléctrica área <i>Rosmarinus officinalis</i> .	37
Figura 11. Comparativa de la temperatura área <i>Rosmarinus officinalis</i> .	38

## Índice de imágenes

Imagen 1. Método gravimétrico.	9
Imagen 2. Sonda de neutrones.	10
Imagen 3. Principio del sistema TDR.	11
Imagen 4. Principio del sistema FDR.	12
Imagen 5. Tensiómetro.	12
Imagen 6. Bloque de yeso.	13
Imagen 7. Georradar NG-SC.	14

Imagen 8. Localización de la zona de estudio.	19
Imagen 9. Zona de estudio con parcela de romero, parcela de lavanda y parcela de suelo desnudo.	19
Imagen 10. Sensor modelo 5ET.	20
Imagen 11. Sensor modelo 10HS.	21
Imagen 12: Sensor modelo GS3.	21
Imagen 13. Sensor modelo 5TM.	22
Imagen 14. Sensor modelo MPS-6.	22
Imagen 15. Sensor de temperatura del suelo RT-1.	23
Imagen 16. Caja hermética con dataloggers en el interior.	23
Imagen 17. Detalle perforación del suelo para la instalación de los sensores.	25
Imagen 18. Detalle Instalación finalizada.	26

### **Índice de tablas**

Tabla 1: Índices Climáticos	16
Tabla 2. Datos de la caracterización de suelo	39

## **Agradecimientos**

A mis compañeros de la asignatura de Sensores para la medida de campo, por ceder las imágenes sobre la instalación de los sensores en el suelo de estudio.

## 1. RESUMEN

En este trabajo se estudia el comportamiento de diferentes parámetros del suelo como son la humedad volumétrica, la conductividad eléctrica y la temperatura con sensores electrónicos, bajo diferentes coberturas vegetales correspondientes a dos tipos de plantas aromáticas autóctonas: romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill. Subsp. Pirenaica (DC.) Guinea). También se midieron los parámetros citados anteriormente en suelo desnudo (sin presencia de cobertura vegetal) y además se caracterizó el suelo para conocer sus propiedades. Para el seguimiento temporal del contenido volumétrico de agua en el suelo, de la conductividad eléctrica y de la temperatura fue necesaria la instalación de los sensores y datalogger a diferentes profundidades del suelo.

**Palabras clave:** suelo, humedad, conductividad, temperatura, romero, lavanda, desnudo, cobertura, sensores capacitativos, FDR.

In this work the behavior of different soil parameters such as volumetric humidity, electrical conductivity and temperature with electronic sensors are studied under different vegetation coverages corresponding to two types of autochthonous aromatic plants: rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and lavender (*Lavandula angustifolia* Mill. Pyrenean Subsidy (DC.) Guinea). The parameters mentioned above were also measured in bare soil (without vegetation cover) and the soil was characterized to know its properties. For the temporal monitoring of the volumetric content of water in the soil, the electrical conductivity and the temperature it was necessary to install the sensors and datalogger at different soil depths.

**Key words:** soil, moisture, conductivity, temperature, rosemary, lavender, nude, coverage, capacitive sensors, FDR.

En aquest treball s'estudia el comportament de diferents paràmetres del sòl com son la humitat volumètrica, la conductivitat elèctrica y la temperatura amb sensors electrònics, sota diferents cobertes vegetals corresponents a dos tipus de plantes aromàtiques autòctones: romer (*Rosmarinus officinalis* L.) i lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill. Subsp. Pirenaica (DC.) Guinea). També es van mesurar els paràmetres nomenats anteriorment en sòl nu (sense coberta vegetal) a més de caracteritzar el sòl per conèixer les seues propietats. Per al seguiment temporal del contingut volumètric d'aigua en el sòl, de la conductivitat elèctrica i de la temperatura va ser necessària l'instal·lació dels sensors i dataloggers a diferents profunditats del sòl.

**Paraules clau:** sòl, humitat, conductivitat, temperatura, romer, lavanda, nu, coberta, sensors capacitatiu, FDR.

## 2. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se ha desarrollado para poder caracterizar el suelo mediante un seguimiento con sensores electrónicos para la medida de campo.

La disponibilidad de humedad en el suelo es esencial para el ciclo de los nutrientes, un requisito previo para la producción primaria. La humedad del suelo afecta la evapotranspiración de la tierra, que es un proceso central en el sistema climático y un nexo de los ciclos de agua, energía y carbono (Falloon et al., 2011).

En los suelos agrícolas se utilizan riegos localizados bien sea por goteo o aspersión, por ello es de gran importancia saber en cada momento la humedad del suelo para tener un plan de riego adecuado para cada suelo, un suelo arcilloso necesita menos riego que un suelo arenoso que la pierde más rápidamente por lixiviación. Por este motivo se emplean los sensores de humedad para saber el momento exacto que debe realizarse el riego y no aplicar más agua que la necesaria ya que esto son pérdidas económicas. La humedad del suelo es el contenido de agua en el suelo, mantenido en los espacios entre las partículas del suelo (Ali, 2010). Representa una pequeña fracción (0,15%) del agua dulce disponible en todo el mundo (Dingman, 1994), pero es un almacén influyente de agua en el ciclo hidrológico y es de fundamental importancia para muchos procesos hidrológicos, biológicos y biogeoquímicos. La humedad del suelo modula las interacciones entre la superficie terrestre y la atmósfera, influyendo así en el clima y el clima y es importante para determinar la respuesta de lluvia-escorrentía de las cuencas hidrográficas, especialmente cuando los procesos de escorrentía por saturación son importantes (Wei, 1995).

En los suelos no agrícolas también existe un grave problema como es la pérdida de suelo motivo de la erosión, que se produce en suelos desnudos. Los suelos desnudos son consecuencia del abandono de tierras agrícolas y a los incendios forestales y son los susceptibles a la erosión. La erosión se produce por las lluvias torrenciales que sufrimos en la Comunitat Valenciana, más concretamente en el sur de València y norte de Alacant lluvias muy fuertes que descargan mucha agua en muy poco tiempo y no da tiempo al suelo absorber el agua y por lo tanto arrastra el suelo junto al agua de lluvia. Según la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD), es necesario comprender los efectos negativos a largo plazo de la gestión inadecuada de los ecosistemas del suelo, que reducen la estabilidad estructural de los ecosistemas, la disponibilidad de nutrientes importantes y la capacidad de retención del suelo para prevenir la desertificación (Prince et al., 2007, Sivakumar, 2007). La información sobre la humedad del suelo es valiosa para una amplia gama de agencias relacionadas con el clima y el tiempo atmosférico de la zona, el potencial de escorrentía y el control de inundaciones, la erosión del suelo y las elevadas



pendientes, la gestión de yacimientos, la ingeniería geotécnica y la calidad del agua (NASA, 1999).

Por todos los motivos citados, los sensores para la medida de campo son muy interesantes bien sea para caracterizar un suelo o para realizar un seguimiento en suelos de uso agrícolas. En el presente estudio los sensores se utilizan para observar la evolución de la humedad del suelo, la conductividad eléctrica del suelo, la temperatura ambiental y del suelo, así como un pluviómetro para recoger las precipitaciones que se produzcan.

Las técnicas basadas en el suelo son técnicas de estimación de la humedad del suelo en las que el instrumento está en contacto directo con las partículas del mismo. Los instrumentos pueden ser calibrados con precisión, para realizar mediciones de la humedad del suelo y se pueden registrar en cualquier escala de tiempo, pero el problema es que solo se toman medidas puntuales y esto dificulta la interpretación espacial (*Western et al.*, 2002). Las diferentes técnicas son explicadas a continuación:

### **2.1. Método gravimétrico (secado y pesado en estufa)**

Este método es ampliamente utilizado para determinar el contenido de humedad del suelo (*Schmugge et al.*, 1980). Consiste en el secado en estufa de una muestra de suelo de volumen conocido a 105°C durante 24 h. El contenido de agua se calcula restando el peso seco de estufa del peso inicial del suelo del campo (*Lunt et al.*, 2005). El contenido de humedad puede expresarse en términos de porcentaje de agua en volumen.



Imagen 1. Método gravimétrico. Fuente: <https://es.slideshare.net/LabFerrer/medida-del-contenido-de-humedad-del-suelo>

### **2.2. Tecnología de sonda de neutrones**

Consiste en una sonda y un escalador de conteo de electrones conectados por un cable electrónico. Los neutrones de alta energía y rápido movimiento son liberados en el suelo por una fuente radiactiva. Los neutrones son frenados por colisiones con los núcleos de átomos de hidrógeno presentes en las moléculas de agua en el suelo (*Chanasyk y Naeth*, 1996). Las sondas de neutrones pueden ser de dos tipos: sondas de profundidad, que pueden introducirse a la profundidad del suelo a la que se debe medir el contenido de

humedad y sondas de superficie que pueden usarse para medir el contenido de humedad en la capa superior del suelo (Schmugge *et al.*, 1980). Las sondas de neutrones proporcionan resultados precisos (Muñoz-Carpena, 2012) y no son destructivas.



Imagen 2. Sonda de neutrones. Fuente: [http://www.infoagro.com/frutas/riego\\_deficitario\\_en\\_melocotonero.htm](http://www.infoagro.com/frutas/riego_deficitario_en_melocotonero.htm)

### **2.3. Reflectometría de dominio del tiempo (Time Domain Reflectometry, TDR)**

La **técnica TDR (Time Domain Reflectometry)** ha sido la que más difusión ha presentado a la hora de medir la humedad del suelo hasta superar los métodos tradicionales tales como la gravimétrica, la resistencia eléctrica, la sonda de neutrones, etc. La técnica TDR se utiliza en diversas aplicaciones industriales dentro del campo de la electrónica, ideadas en su momento para detectar anomalías en las líneas de transmisión eléctrica, y la respuesta del campo eléctrico de los constituyentes del suelo.

En la Reflectometría de Dominio de Tiempo (TDR) se determina la velocidad de propagación ( $v$ ) de un pulso de energía electromagnética en el suelo. Para determinar  $v$  en el suelo, se envían impulsos eléctricos muy cortos a través de una sonda metálica. A partir del tiempo de recorrido  $t$  y de la longitud  $l$  de la sonda, que se ha recorrido dos veces (ida y vuelta), se calcula la velocidad de propagación  $v = 2l / t$  (Worsching *et al.*, 2006). La velocidad del pulso puede variar con el cambio en el contenido de humedad del suelo debido al valor dieléctrico relativamente alto del agua (Muñoz-Carpena, 2012). La velocidad del pulso en la sonda se mide y se correlaciona con la humedad del suelo. Una velocidad más baja indica un suelo más húmedo. Este sistema se ha utilizado para medir el contenido volumétrico de agua en el suelo de varios estudios (Yu y Drnevich, 2004). Esta técnica no es destructiva. El instrumento utilizado es portátil, fácil de instalar y seguro en el momento de operar. Esta técnica permite realizar mediciones fiables del contenido

volumétrico de agua en un corto espacio de tiempo (Benson y Bosscher, 1999). No se requieren calibraciones específicas del suelo (Topp y Davis, 1985; Ferrara y Flore, 2003). Esta técnica proporciona resultados precisos y permite obtener mediciones continuas en todo el rango de humedad del suelo (Chandler *et al.*, 2004), junto con medidas de la conductividad eléctrica del suelo (Thomsen *et al.*, 2007). Sin embargo, la longitud de la sonda puede afectar a la exactitud de la medición de la humedad (Richardson *et al.*, 1992). Las sondas TDR son sensibles al medio en el que se encuentren. Por lo tanto, las mediciones podrían ser erróneas debido a la presencia de espacios vacíos entre el suelo y la sonda (Ferre *et al.*, 1998, Sakaki *et al.*, 1998). Su aplicabilidad es limitada en suelos altamente salinos (Ferrara y Flore, 2003).

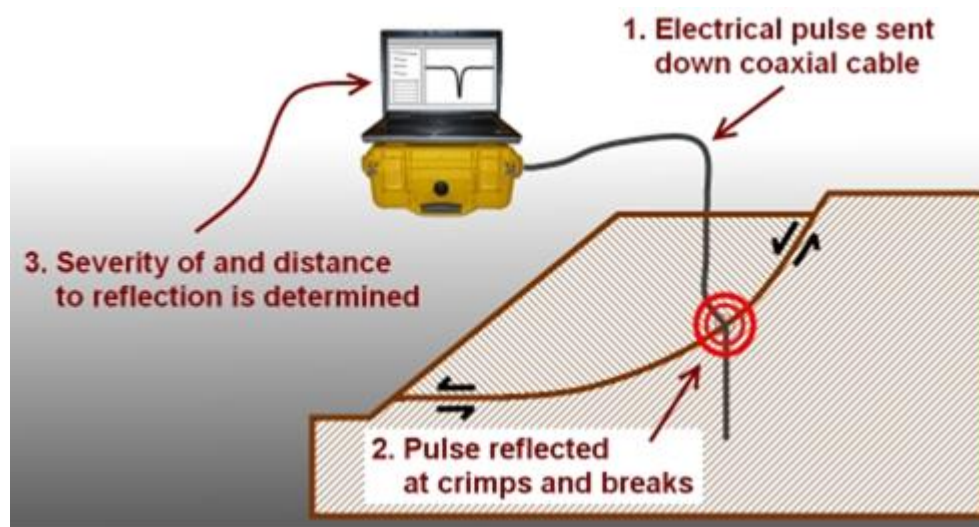


Imagen 3. Principio del sistema TDR. Fuente: <http://www.kanegeotech.com/instrumentation/>

#### 2.4. Capacitancia y reflectometría del dominio de la frecuencia (Frequency Domain Reflectometry, FDR)

La Reflectometría de Dominio de Frecuencia (FDR) es similar al sistema TDR, pero la reflectometría del dominio de la frecuencia proporciona una estimación del contenido de humedad del suelo sobre la base de una variación en la frecuencia de una señal debido a las propiedades dieléctricas del suelo (Robock *et al.*, 2000). La capacitancia eléctrica de un condensador que utiliza el suelo como dieléctrico depende del contenido de humedad del suelo. Cuando el condensador está acoplado a un oscilador, formando un circuito eléctrico, los cambios en la frecuencia del circuito indican cambios en el contenido de humedad del suelo. La frecuencia del oscilador está restringida dentro de un cierto rango para determinar la frecuencia de resonancia. Esto da una medida del contenido de agua del suelo (Muñoz-Carpena *et al.*, 2004). Esta técnica proporciona resultados precisos, pero requiere una calibración específica dependiendo del suelo en el que se aplique. La ambigüedad en la medición del tiempo de recorrido automático del instrumento, la sensibilidad a los poros llenos de aire, ~~la esfera de influencia restringida~~, la salinidad del

suelo, la temperatura, la densidad aparente y el contenido de arcilla limitan el uso de este método (Erlingsson *et al.*, 2009).



Imagen 4. Principio del sistema FDR. Fuente: <https://es.slideshare.net/samoquiroz/sondas-de-capacitancia-fdr>

## 2.5. *Uso de tensiómetros*

Un tensiómetro mide el potencial capilar en base a la fuerza de succión ejercida sobre el agua por el suelo (Schmugge *et al.*, 1980). El instrumento consiste en un tubo hueco lleno de agua hermético con una taza de cerámica permeable unida al tubo. El caudal de agua se determina por el cambio de volumen requerido para producir la nueva lectura del manómetro (Wallhan, 1939). Esta técnica no es destructiva y es rentable. Puede determinar la distribución de la humedad tanto en condiciones saturadas como insaturadas. El uso a largo plazo es posible si el equipo se mantiene adecuadamente (Zazueta y Xin, 1994). No presenta electrónica compleja, y el uso de la solución de agua de etilenglicol permite que los tensiómetros se utilicen en regiones frías. Sin embargo, los tensiómetros no son adecuados para mediciones en suelos secos (Schmugge *et al.*, 1980).



Imagen 5. Tensiómetro. Fuente: <http://www.efesaro.com/sensor-de-humedad-del-suelo-irrometer/>

## 2.6. Medición de bloques de yeso

Un bloque de yeso es una célula electroquímica con una solución saturada de sulfato de calcio que actúa como un electrolito, colocado en las profundidades de la zona de raíces. Para determinar la resistencia entre los electrodos, se aplica una pequeña tensión alterna utilizando un circuito puente. Los bloques de yeso se utilizan como amortiguadores contra la salinidad cambiante del suelo puesto que las lecturas pueden verse afectadas por la conductividad eléctrica de dicho suelo. Los bloques absorben la humedad del suelo, y los electrodos en los bloques se utilizan para medir la conductividad eléctrica, la cual aumenta con la humedad en los bloques. Estos valores medidos se utilizan para estimar el potencial matricial del suelo y el contenido de humedad del suelo (Werner, 2002). La mayor limitación de esta técnica es la disolución y degradación del bloque de yeso (International Atomic Energy Agency, 2008) y la necesidad de recalibrar con el tiempo (Bulut y Leong, 2008).



Imagen 6. Bloque de yeso. Fuente: <https://es.slideshare.net/LabFerrer/sensores-aplicables-al-riego-de-apoyo-en-via>

## 2.7. Método de placa de presión

El método de placa de presión se utiliza generalmente para estimar la capacidad de campo (FC), el punto de marchitez permanente (PWP) y el contenido de humedad a diferentes presiones. El aparato consiste en una cámara metálica estanca al aire con una placa de presión cerámica porosa (Madsen *et al.*, 1986). La placa de presión y las muestras de suelo están saturadas y se colocan en la cámara metálica. La presión requerida se aplica a través de un compresor y el agua de la muestra del suelo, que se mantiene a una presión menor que la presión ejercida, sale por la salida de la cámara hasta que se alcanza el equilibrio contra la presión aplicada. Las muestras de suelo se secan al horno con el fin de determinar el contenido de humedad (Rao *et al.*, 2010).

## 2.8. Método de radar de penetración en tierra

Las mediciones del radar de penetración en tierra (GPR) se basan en la transmisión y reflexión de una onda electromagnética en el suelo (Chanzy *et al.*, 1996). El receptor detecta variaciones en las propiedades eléctricas del subsuelo detectando la parte de la señal transmitida que se refleja (Du y Rummel, 1994). Un número determinado de antenas de radar se mueven sobre la superficie del suelo simultáneamente al evaluar el contenido de humedad (Reynolds, 1997). Esta técnica de alta resolución es rápida, no destructiva, puede penetrar más allá de la capa superficial y es capaz de cubrir grandes áreas (Huisman *et al.*, 2001) con condiciones hidrológicas diferenciales en poco tiempo (Lunt *et al.*, 2005). El rendimiento esta técnica varía según el tipo de suelo en el que se aplique (Doolittle y Collins, 1995).

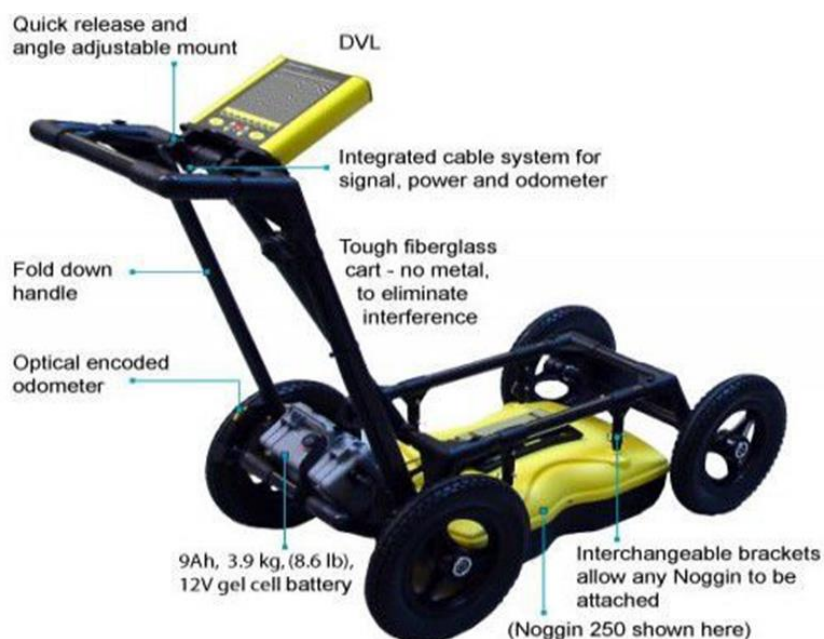


Imagen 7. Georradar NG-SC. Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/mae-srl/product-104001-1651523.html>

## 2.9. Sensores remotos

Los métodos basados en la teledetección incluyen el uso de satélites, radar (microondas) y sensores activos y pasivos (Puma *et al.*, 2005). Únicamente la región de microondas es más adecuada para las mediciones cuantitativas (Mattikalli *et al.*, 1998) debido a que las propiedades físicas primarias que afectan a la medición son dependientes sobre la humedad del suelo. La teledetección de la humedad del suelo depende de la energía electromagnética reflejada o emitida desde la superficie del suelo (Schmugge *et al.*, 1980).

## 3. Clima y precipitación

El clima de la ciudad de Gandía se considera mediterráneo subtropical, con una clasificación climática de Köppen-Geiger Csa, con unas temperaturas suaves en invierno y moderadamente cálidas en verano. La temperatura anual media es de 18,0 °C. Los

inviernos tienen una temperatura media de 14 °C, mientras que en los veranos es de 26 °C. Las temperaturas máximas medias en invierno oscilan entre 16 °C y 21 °C, mientras que las mínimas oscilan entre 7 °C y 11 °C. Las temperaturas máximas en verano oscilan entre 29 °C y 33 °C, mientras que las mínimas veraniegas suelen oscilar entre 20 °C y 24 °C. La mayor parte de las precipitaciones se producen entre octubre y inicios de diciembre, con precipitaciones frecuentemente torrenciales. La precipitación media aproximada es de 497 mm. Aproximadamente, en la ciudad de Gandía hay 3000 horas de sol anuales (Fuente: <https://es.climate-data.org/location/57005/>).

### 3.1. Índices Climáticos

En la zona de estudio también se calcularon los índices climáticos a partir de los datos disponibles de la estación V23 Gandía Marxuquera, los cuales son los siguientes: (Fuente: <http://eportal.mapama.gob.es/websiar/Ficha.aspx?IdProvincia=46&IdEstacion=23>)

Para calcular los índices climáticos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- It: Índice de Termicidad,  $10*(T+M+m)$ .
- Ic: Índice de Continentalidad,  $T_{max} - T_{min}$ .
- Io: Índice Ombrotérmico,  $(P/2)*10/\sum T_m$ .
- Ppv: Precipitación del verano en mm de los tres meses consecutivos más cálidos del año.
- Ttv: Valor en décimas de grado resultante de la suma de las temperaturas medias mensuales de los tres meses consecutivos más cálidos del año.
- ETo: Evapotranspiración FAO de Penman-Monteith
- IG (Índice de Giacobbe):  $(P_{jun}+P_{jul}+P_{aug})/Temperatura\ del\ mes\ más\ cálido$ .

Donde:

- T: Temperatura media anual.
- m: Temperatura media de los mínimos del mes más frío del año.
- M: Temperatura media de las máximas del mes más frío del año.
- Tmax: Temperatura media del mes más cálido.
- Tmin: Temperatura media del mes más frío.
- Tm: Temperatura media de cada mes.

- P: Precipitación anual total.

Tabla 1: Índices Climáticos

Índices	
Termicidad	387,791146
Continentalidad	15,5475
Ombrotermico	2,74267557
Ppv	36,98125
Ttv	740,9
Eto	87,6795313
I Giacobe	1,4443685

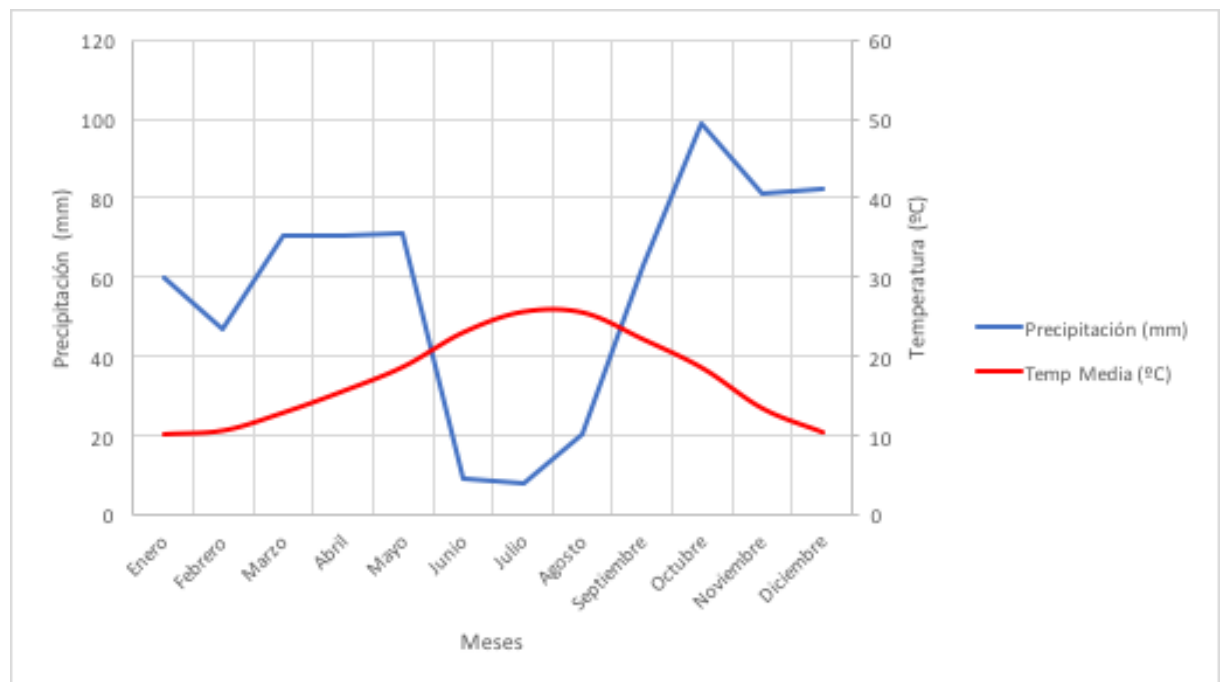


Figura 1: Diagrama Ombrotérmico de Gausson de Gandia-Marxuquera.



#### **4. OBJETIVOS**

El objetivo principal de este estudio es observar si se producen variaciones en los distintos parámetros medidos del suelo como son: contenido volumétrico de agua (VWC), conductividad eléctrica, temperatura, potencial del agua en el suelo, durante un periodo de tiempo determinado (6 meses) mostrando las diferencias obtenidas entre un suelo con cobertura de romero (*Rosmarinus officinalis L.*), un suelo con cobertura de lavanda (*Lavandula angustifolia Mill. Subsp. Pirenaica (DC.) Guinea*) y un suelo desnudo.

## 5. MÉTODOS

### 5.1 Diseño experimental

En el presente estudio se instalaron diferentes sensores en la microrreserva de la Escola Politècnica Superior de Gandía (EPSG) con el fin de medir los parámetros del suelo como son, temperatura, conductividad eléctrica y contenido volumétrico y potencial del agua a diferentes profundidades, como se puede observar en la siguiente Figura 2:

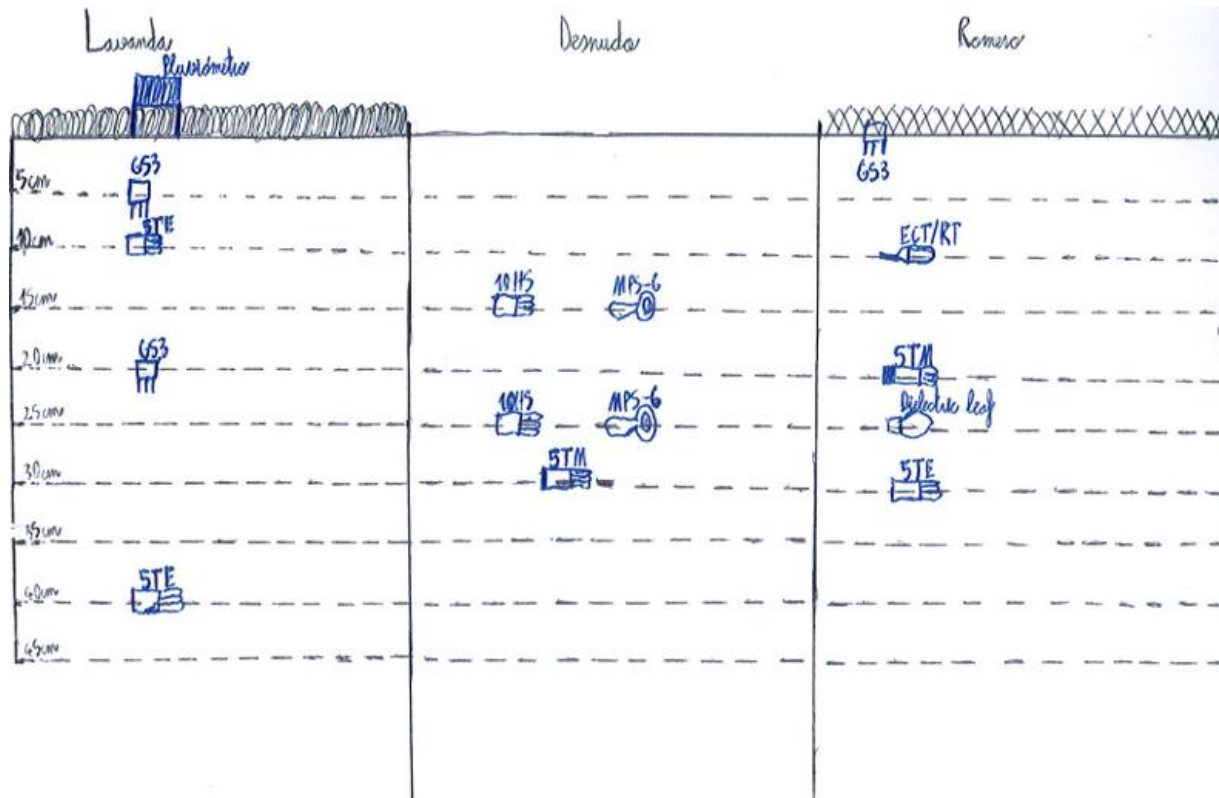


Figura 2. Detalle de la instalación de los sensores en el suelo en la zona de estudio (Nota: los datos recogidos por el sensor Dielectric leaf corresponden con los datos recogidos de los sensores de humedad volumétrica. Por tanto, no figura como sensor utilizado en este estudio).

A continuación, se muestra la zona de estudio dentro de la Escola Politècnica Superior de Gandía (EPSG).



Imagen 8. Localización de la zona de estudio. Fuente: Google Earth.



Imagen 9. Zona de estudio con parcela de romero, parcela de lavanda y parcela de suelo desnudo.

## 5.2. Instalación de los sensores en el campo.

Primero se expondrán los pasos que se han seguido durante el presente estudio:

- 1) Realización de tres hoyos correspondientes a las tres parcelas estudiadas (romero, lavanda y suelo desnudo) con el fin de instalar dentro de ellos los sensores.
- 2) Conexión de los sensores utilizados en el presente estudio con tres dataloggers, los cuales a la vez se encuentran en el interior de dos cajas estancas.
- 3) Instalación de los sensores a diferentes profundidades dentro de los tres hoyos y toma de datos de los parámetros medidos (humedad, conductividad eléctrica, temperatura y potencial del agua en el suelo).
- 4) “Volcado” de datos en el ordenador correspondientes a los parámetros medidos al finalizar cada periodo de estudio.

La finalidad del presente trabajo es aplicar todos estos conocimientos para poder medir los parámetros de humedad edáfica o contenido volumétrico de agua en el suelo (VWC), potencial del agua, temperatura y conductividad eléctrica con el fin de observar las variaciones en los valores de dichos parámetros durante un periodo de tiempo determinado (6 meses), los cuales se expondrán en este estudio.

Los sensores utilizados en este estudio son:

- Sensor 5TE: Sensor que realiza lecturas del contenido volumétrico de agua (VWC) a través de la medición de la constante dieléctrica del suelo mediante la tecnología de capacitancia / frecuencia, de la temperatura con un termistor de a bordo y de la conductividad eléctrica mediante una matriz de electrodos de acero inoxidable, todo ello de forma independiente. Este sensor es preciso en la mayoría de medios porque utiliza una frecuencia de 70 MHz, lo que minimiza los efectos de salinidad y de textura. El contenido volumétrico de agua (VWC) en suelos minerales se calcula utilizando la ecuación de Topp, estando también disponibles otras calibraciones. La temperatura y la conductividad eléctrica están calibrados por el fabricante para todo tipo de suelos.



Imagen 10. Sensor modelo 5ET. Fuente: <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/5te-vwc-temp-ec/>

- Sensor 10HS: Sensor que realiza lecturas de la humedad volumétrica con un área de influencia de 1 litro de suelo y con una precisión mayor que el sensor 5TE. Este sensor mide el contenido volumétrico del agua a través de la medición de la constante dieléctrica del suelo haciendo servir la tecnología de capacitancia/ frecuencia. Este sensor es preciso en la mayoría de medios porque utiliza una frecuencia de 71 MHz, lo que minimiza los efectos de salinidad y de textura.



Imagen 11. Sensor modelo 10HS. Fuente: <http://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/10hs-large-volume-vwc/>

- Sensor GS3: Sensor que mide la temperatura, la humedad y la conductividad eléctrica del suelo. Este sensor puede ser utilizado en suelos de ambientes hostiles. Este sensor mide la conductividad eléctrica, la humedad (contenido de agua) y la temperatura independientemente. Su frecuencia de 70 Mhz minimiza la salinidad y los efectos texturales, por lo que es preciso en la mayoría de suelos y en otros medios. La temperatura se mide con un termistor de a bordo, y la conductividad eléctrica se mide haciendo uso de un conjunto de electrodos de acero inoxidable.



Imagen 12: Sensor modelo GS3. Fuente: <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/gs3-vwc-temp-ec/>

- Sensor 5TM: Sensor que mide la temperatura junto con el contenido volumétrico de agua (VWC). Este sensor determina la temperatura mediante un termistor de a bordo y el contenido volumétrico de agua (VWC) midiendo la constante dieléctrica del suelo usando la tecnología de capacitancia / frecuencia. El filtrado de señales minimiza la salinidad y los

efectos texturales, haciendo que el sensor sea exacto en la mayoría de los suelos. Este sensor presenta un volumen de influencia de 715 mL.



Imagen 13. Sensor modelo 5TM. Fuente: <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/5tm-vwc-temp/>

- Sensor MPS-6: Sensor de potencial de agua matricial que proporciona lecturas de temperatura y potencial de agua en el suelo a largo plazo y sin mantenimiento a cualquier profundidad y sin sensibilidad a las sales presentes en el suelo. La gama del sensor MPS-6 va desde la capacidad de campo al aire seco. Este sensor puede realizar mediciones precisas en potenciales de agua al menos tan secas como el punto de marchitez permanente (PWP).



Imagen 14. Sensor modelo MPS-6. Fuente: <https://www.decagon.com/en/soils/water-potential/mps-6-calibrated-water-potential-sensor/>

- Sensor de temperatura del suelo RT-1: Sensor que mide la temperatura del suelo u otros materiales. El sensor RT-1 es de acero inoxidable, completamente impermeable, sumergible y diseñado para un uso continuo en exteriores. Este sensor de temperatura se puede utilizar con la serie de dataloggers Em5b y Em50. Para medir el contenido de agua volumétrica y la temperatura, se recomienda utilizar los sensores 5TM, 5TE o GS3.



Imagen 15. Sensor de temperatura del suelo RT-1. Fuente: <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/rt-1-rugged-soil-temperature-sensor/>

Además de los sensores de humedad, para la realización de este proyecto se instalaron 3 sensores de temperatura para comparar las diferencias de temperaturas entre los dos tipos de coberturas instaladas y un área en la que no hay cobertura. Y también se instaló un pluviómetro ECRN-50 (Decagon), el cual mide la precipitación en mm y cuyo funcionamiento se basa en el sistema de cangilones basculantes, con una sensibilidad de 1 mm de precipitación.

Para el funcionamiento adecuado de todo el hardware se conectaron a 3 Datalogger que almacenaron la información. Estos datalogger requieren de instalación previa en el ordenador y de una configuración que permite establecer con qué frecuencia realiza las lecturas tomadas por los sensores. Los dataloggers se encuentran en una caja cerrada herméticamente y muy resistente, y presentan 5 pilas tipo AAA que les permiten tener una autonomía de varios meses. Dichos dataloggers, a su vez, se encuentran dentro de cajas que los protegen de las condiciones meteorológicas, como la que se puede observar en la siguiente imagen:



Imagen 16. Caja hermética con Dataloggers en el interior.

Seguidamente se mostrará una descripción botánica de las especies vegetales que se hallan en las parcelas donde se instalaron los dataloggers con sus sensores.

El romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y la lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill. Subsp. Pirenaica (DC.) Guinea) son especies autóctonas de la zona de estudio y se adaptan adecuadamente al

suelo y al clima, cuyas características tanto morfológicas como bioclimáticas de cada una de estas plantas son las siguientes:

- **Romero** (*Rosmarinus officinalis* L.): Especie vegetal mediterránea conocida por sus usos culinarios y medicinales. Se trata de una planta arbustiva que puede alcanzar altitudes de hasta dos metros, con hojas lineares, duras y con el envés blanquecino y cubierto de pelos. Son características de esta planta las flores azules con dos labios bien marcados. Puede florecer todo el año, pero en estado silvestre suele tener una floración en otoño y otra a principios de la primavera. Es una especie termófila, desarrollándose muy bien en sitios secos y soleados y sobre cualquier tipo de suelo, preferentemente calizo. (Fuente: [http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/12\\_140\\_16\\_Rosmarinus.pdf](http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/12_140_16_Rosmarinus.pdf)).

- **Lavanda** (*Lavandula angustifolia* Mill. Subsp. *Pirenaica* (DC.) Guinea): Arbusto leñoso y tomentoso con un fuerte aroma, característico de la región mediterránea. Las hojas se disponen en fascículos opuestos, y son lineares o estrechamente lanceoladas; cuando son jóvenes son grisáceas y tomentosas, y se vuelven verdes y revolutas más tarde. La inflorescencia está constituida por una serie de verticilastros con brácteas ovadas en la base. El cáliz lo conforman 5 dientes, el superior con un apéndice en su ápice. La corola es bilabiada, y está dividida en 5 lóbulos iguales (2 superiores y 3 inferiores). El fruto consiste en un grupo de 4 aquenios, cada uno de ellos con una semilla. Generalmente, la lavanda suele encontrarse sobre lugares pedregosos, suelo calizo o terrazas fluviales con predominancia arenosa. A menudo forma parte del sotobosque de pinares o encinares abiertos y suele estar asociada a matorrales.

Para la instalación de los sensores en la parcela donde está plantado el romero (*Rosmarinus officinalis* L.) se utilizó una pala para realizar una perforación de 34 cm de profundidad y se instaló un pluviómetro en la superficie para medir la cantidad de agua caída. Dentro de esta perforación se instalaron un sensor modelo 10HS y un sensor modelo 5TE a 34 cm de profundidad, además de un sensor modelo GS3 a 15 cm de profundidad.

Para la instalación de los sensores en la parcela donde está plantada la lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill. Subsp. *Pirenaica* (DC.) Guinea) se hizo servir una pala para realizar una perforación de 40 cm de profundidad. También se instaló un pluviómetro en la superficie para medir la cantidad de lluvia caída, mientras que dos sensores modelo GS3 se instalaron a 5 cm y a 20 cm de profundidad respectivamente y dos sensores modelo 5TE se instalaron a 10 cm y a 40 cm de profundidad respectivamente.

Por otra parte, también se realizó una perforación de 30 cm de profundidad en la parcela con suelo desnudo en la cual se instalaron dos sensores modelo 10HS a 15 cm y a 25 cm de



profundidad respectivamente, dos sensores modelo MPS-6 a 15 cm y a 25 cm de profundidad respectivamente y un sensor 5TM a 30 cm de profundidad.



Imagen 17. Detalle de la instalación de los sensores en suelo.

Los sensores se instalaron de forma que alterasen lo menos posible las condiciones físicas del suelo, esto es, de forma horizontal, consiguiendo a la vez lecturas más fiables.

Una vez instalados todos los sensores de temperatura, de contenido volumétrico de agua en el suelo (humedad), de conductividad eléctrica y el pluviómetro, se conectaron a 3 dataloggers, que a su vez se introdujeron en 2 cajas de plástico resistentes, elevadas del suelo para proteger el equipo electrónico de las inclemencias del tiempo.



Imagen 18. Detalle Instalación finalizada.

### 5.3 TÉCNICAS ANALÍTICAS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO

Para la caracterización del suelo de la zona de estudio se utilizó Los Métodos oficiales de análisis de agua y suelos, 1975. El suelo utilizado para la caracterización se obtuvo de la zona de estudio recogido de tres puntos diferentes. Antes de su análisis se dejó secar al aire.

Para la obtención de los parámetros analíticos el primer paso a realizar es la preparación de la muestra. Para ello se extiende el suelo en un contenedor y se deshacen todos los terrones utilizando un amasador de cocina. Posteriormente, el suelo es tamizado con un tamiz de 2 mm de luz, desechando la porción retenida en el tamiz, y utilizando para el estudio el suelo con un tamaño de partícula inferior a 2mm.

Se realizaron análisis de los siguientes parámetros según los Métodos oficiales para suelos:

**pH**

Para la obtención de pH se pesaron 10,00 gr de suelo en una balanza y se disolvieron en 25 ml de agua destilada. La disolución se agito mediante un agitador magnético durante 10 minutos y posteriormente se tomaron las medidas del pH utilizando un pH-metro previamente calibrado.

### **Conductividad eléctrica**

Para obtener la conductividad se pesaron 10,00 g de la muestra de suelo que se disolvieron en 50 ml de agua destilada y se agitaron con un agitador magnético durante 30 minutos. Posteriormente se filtró la disolución mediante un papel de filtro y se midió la conductividad utilizando un conductímetro calibrado previamente.

### **Textura**

Se pesan 40 g de suelo y se coloca en una capsula de porcelana, se añade 100 mL de solución hexametáfosfato sódico y se deja empapar durante 10 min. Poner la mezcla en una batidora durante 5 min por último pasar el contenido a una probeta de 1 L enrasando con agua destilada hasta la señal de 1000 mL.

Este procedimiento se aplica para todas las muestras de suelo. A continuación, se realiza la medición de la densidad con el densímetro ASTM n. 152 H, de la American Society Testing Material, con escala en g/L. las mediciones se realizarán cada 30 segundos, 60 segundos, después a los 3, 10, 30, 90 minutos, se realizará una última medición pasadas 8 horas. Por último, se hace uso del diagrama triangular para determinación de textura Clasificación U.S.D.A.

### **Color**

El color de un suelo se determina por comparación en una tabla de colores siendo la tabla de Munsell la más utilizada. Un color queda definido por tres variables: matiz, brillo y saturación. El matiz determinado por la longitud de onda dominante de la luz visible reflejada, el brillo es una medida de la intensidad del color por unidad de superficie, la saturación pureza relativa del color espectral dominante.

### **Materia orgánica**

La materia orgánica del suelo está compuesta por microorganismos, restos no descompuestos de plantas y animales y por materiales resultantes de la descomposición de estos restos, por la acción de microorganismos y del medio en general, dándose el nombre de humus a la fracción más estable resultante de dicha acción.

Para la determinación de la materia orgánica se utilizó el método de Walkey-Black donde el carbono orgánico del suelo se determina por un proceso de oxidación en medio ácido.

Se pesa 1 g de tierra fina y se lleva a un Matraz de Erlenmeyer de 250 ml, se añade 5 ml de dicromato potásico 1 N, se agita y se añade 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Mezclar los componentes agitando el matraz dejar enfriar. Añadir 50 ml de agua destilada, 4 o 5 gotas de indicador complejo ferroso, valorar con sulfato ferroso 0,5 N hasta que el color cambie de rojo a verde oscuro.

### **Carbonatos**

El carbón inorgánico se presenta en los suelos en forma de carbonatos y especialmente como carbonatos poco solubles de elementos alcalinotérreos, siendo el  $\text{CaCO}_3$  (calcita), con mucho el más abundante de todos. En importancia le sigue la dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  que aparece en suelos formados sobre dolomías. Mucho menos frecuente en suelos son el isómero de la calcita, llamado aragonito y el  $\text{MgCO}_3$  (magnesita), ambos minerales son más.

Se pesaron 0,5 g de suelo fino, se coloca en un Matraz de Erlenmeyer en éste se introduce un tubo de vidrio con 5 mL de HCl 1:1. Se inclina el Matraz agitando para que reaccione el ácido clorhídrico con el suelo, se mide el nivel de la columna manométrica pasados unos 30 segundos. Así conseguiremos saber el  $\text{CaCO}_3$  que tiene el suelo. Para esta medición se utilizó el Calcímetro de Bernard.

## 6. RESULTADOS

En este apartado se van a exponer los resultados de la recogida de datos obtenidos de las parcelas de lavanda, romero, suelo desnudo y de la interfaz romero-lavanda con relación a la humedad, se muestra el contenido volumétrico de agua en el suelo e indicando la Capacidad de Campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP ó PWP) del mismo. Del mismo modo también se mostrarán las mediciones relativas a los parámetros de conductividad eléctrica y temperatura del suelo de cada parcela, todo ello dentro del periodo de estudio, el cual está comprendido entre el 8 de noviembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017.

### 6.1. *Resultados de los datos de los sensores del suelo*

#### 6.1.1. LAVANDA

##### - Humedad

En la Figura 3 se representan los episodios de lluvia que han acontecido dentro del periodo comprendido entre el 8 de noviembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017 en la parcela de lavanda, junto con los datos de humedad volumétrica registrados por los sensores en dicho periodo.

En la Figura 3 se puede observar una situación generalizada de estrés hídrico o falta de agua en el suelo (valores inferiores al Punto de Marchitez Permanente (PMP) del suelo), con excepciones en los meses de diciembre y enero, que coincide con el periodo de lluvias más intensas. Esto se debe en gran parte a las temperaturas generalmente elevadas que han tenido lugar en el periodo de estudio, que ha producido una evapotranspiración elevada por el consumo de agua por parte las plantas. Por otra parte, también se puede apreciar que el sensor más superficial (GS3 a 5 cm) detecta una pérdida muy rápida de agua como consecuencia de la evaporación y a la percolación hacia capas más profundas. También se puede observar que el sensor que se encuentra a 10 cm (5TE) detecta también una pérdida de humedad en el suelo probablemente debido a la absorción por parte de las raíces de la lavanda. Finalmente, se puede observar que el sensor que se encuentra a una profundidad de 20 cm (GS3) retiene más la humedad que el sensor más profundo (5TE 40 cm). Esto puede deberse a que el suelo en donde se realizaron las mediciones a alrededor de 20-25 cm estaba compuesto de gravas (material con mayor capacidad de retención del agua que el resto de material que conforma el suelo de estudio).

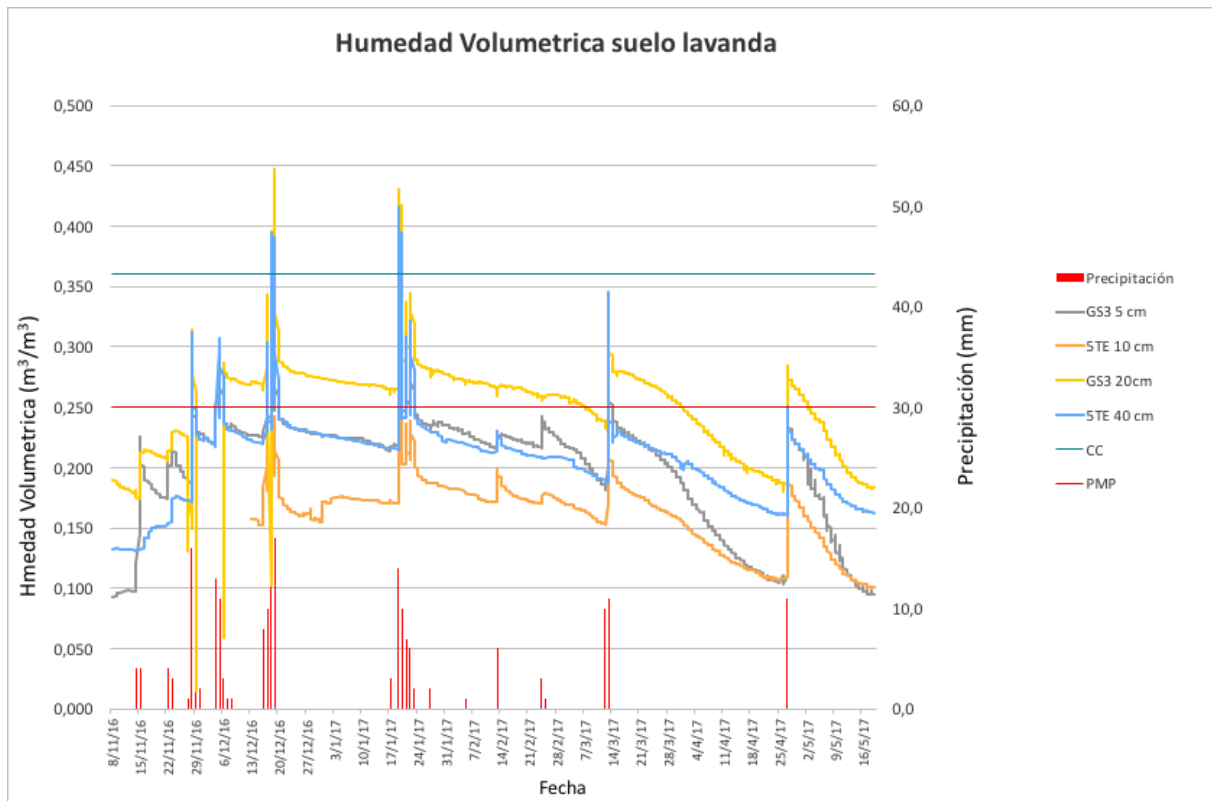


Figura 3. Comparativa de la humedad del suelo área *Lavandula angustifolia*.

#### - Conductividad eléctrica

En la siguiente figura se puede observar el comportamiento general de la conductividad eléctrica en la parcela de lavanda durante el periodo de tiempo estudiado (entre el 8 de noviembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017). En la Figura 4 se aprecia un aumento de la conductividad eléctrica en los episodios de precipitación debido a que el agua de lluvia disuelve las sales presentes en el suelo. Se puede observar que el sensor más superficial (GS3 a 5cm) registra datos de conductividad eléctrica menores debido al lavado de sales en la superficie por parte del agua de lluvia hacia capas más profundas. Finalmente, también se observa que las sales se acumulan en las capas más profundas (sensores GS3 20cm) debido al lavado de las capas más superficiales.

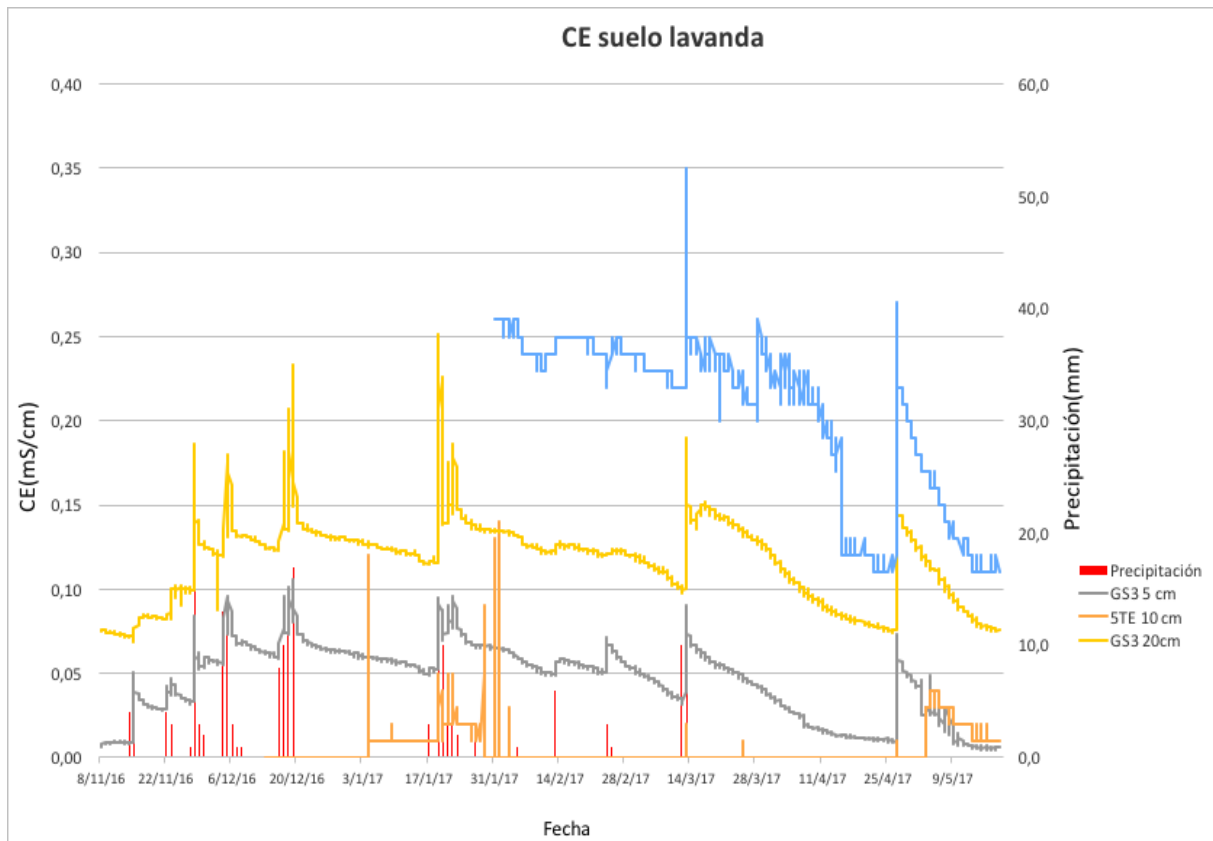


Figura 4. Comparativa de la conductividad eléctrica área *Lavandula angustifolia*.

#### - Temperatura

En la Figura 5 correspondiente a la temperatura en la parcela de lavanda durante todo el periodo de estudio (entre el 8 de noviembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017) se puede observar que, a medida que se profundiza en el perfil del suelo de estudio, la temperatura que se registra no presenta tantas oscilaciones, sino que se mantiene más estable. A una menor profundidad se detectan las oscilaciones tanto diurnas como estacionales. También se puede apreciar una disminución progresiva en el periodo de tiempo comprendido entre noviembre y enero (típico de la estación hibernal) y, posteriormente, un aumento progresivo de la temperatura desde enero hasta mayo, más acusado en el inicio de la primavera. Además, se puede observar que las temperaturas presentan valores muy próximos independientemente de la profundidad a la que se encuentren los sensores. Esto es debido al efecto que tiene la cobertura de lavanda sobre el suelo, la cual produce que el perfil térmico del suelo presente unas temperaturas próximas durante todo el periodo de estudio, en los sensores a 5, 10 y 20 cm de profundidad, excepto en el de 40 cm donde las oscilaciones son mínimas, afectándole las variaciones estacionales.

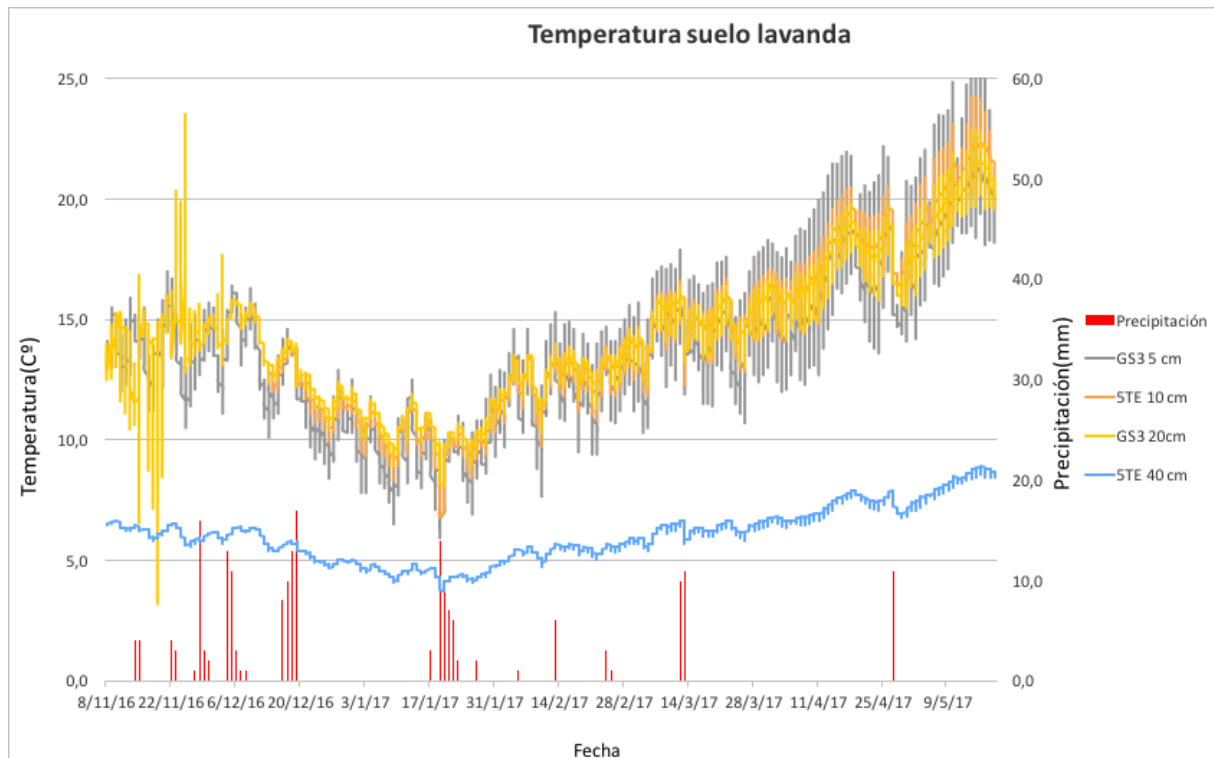


Figura 5. Comparativa de la temperatura área *Lavandula angustifolia*.

### 6.1.2. SUELO DESNUDO

#### - Humedad

En la siguiente figura se representan los episodios de lluvia que han acontecido dentro del periodo general comprendido entre el 13 de diciembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017 en la parcela de suelo desnudo, junto con los datos de humedad volumétrica registrados por los sensores en dicho periodo. Cabe destacar que en la siguiente figura los sensores no han tomado los datos correspondientes al intervalo de tiempo entre el 8 de noviembre y el 13 de diciembre de 2016 debido a causas ajenas al estudio.

En la siguiente figura correspondiente al periodo general de estudio en la parcela de suelo desnudo se puede observar una mayor disponibilidad de agua en el suelo (valores de humedad volumétrica entre la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP)) respecto a los datos registrados en las otras parcelas de estudio. Esto puede deberse a que no se consume agua por parte de las plantas. Por otra parte, también se puede apreciar que el sensor más superficial (10HS a 15 cm) detecta una pérdida muy rápida el agua debido a la ausencia de vegetación (recibir una mayor radiación solar) que produce una mayor evaporación. Finalmente, se puede observar que el sensor que se encuentra a una profundidad de 25 cm (10 HS) detecta más la humedad que el sensor más profundo (5TM 30 cm). Esto puede deberse a que el suelo en donde se realizaron las mediciones a alrededor de 20-25 cm estaba compuesto por un suelo más gravoso, donde percola más rápidamente.



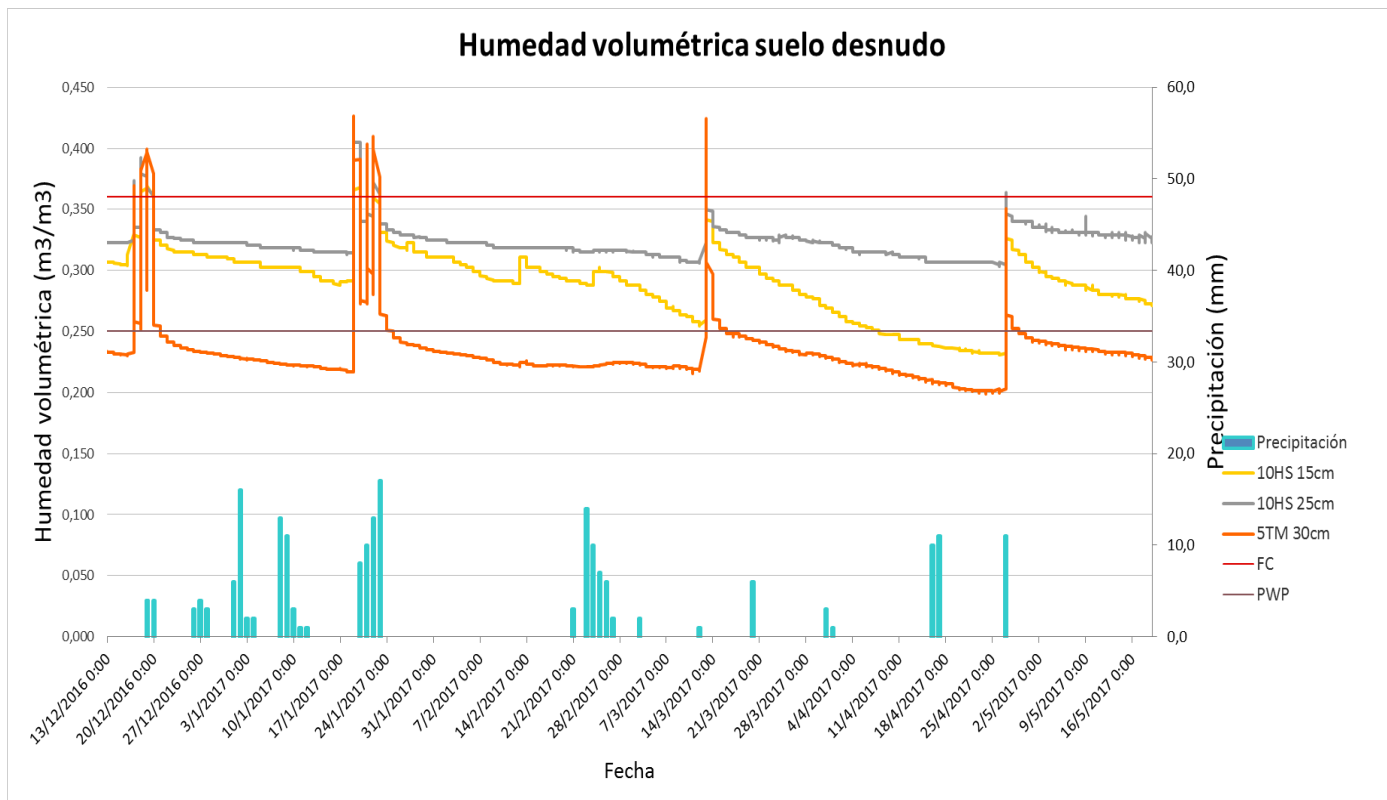


Figura 6. Comparativa de la humedad suelo desnudo.

### - Potencial

El potencial del agua en el suelo nos indica la calidad del agua en dicho suelo o, dicho de otra forma, la disponibilidad del agua presente en el suelo para las plantas. Así, valores de potencial próximos a 0 indicarán que en el suelo habrá más agua disponible para las plantas, mientras que valores más negativos indicarán que en el suelo no habrá tanta agua disponible para las plantas (el valor del potencial del agua en el suelo disminuye cuanto más seco esté dicho suelo).

En la Figura 7 correspondiente al potencial del agua en el suelo medido durante el periodo de estudio (entre el 13 de diciembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017) en la parcela de suelo desnudo se puede observar que dicho potencial asciende bruscamente (valores más próximos a 0 kPa) en los episodios de lluvias intensas y desciende exponencialmente (valores más negativos) a medida que el suelo se va secando. Este efecto es más visible y pronunciado en las capas más superficiales según los datos detectados por el sensor MPS-6 situado a 15 cm de profundidad. Por otra parte, este efecto es menos visible y pronunciado a medida que se profundiza en el suelo, según los datos detectados por el otro sensor MPS-6 que se encuentra a 25 cm de profundidad.

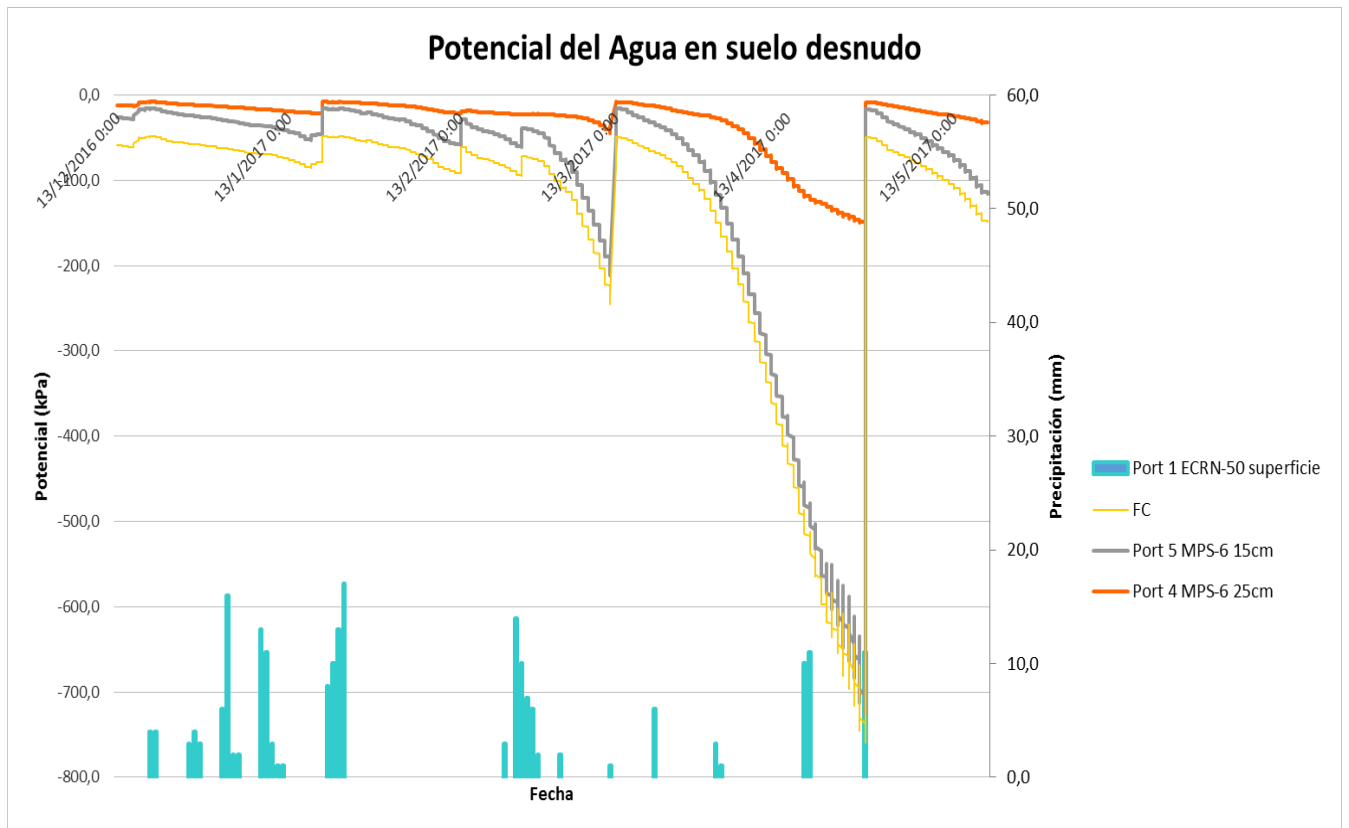


Figura 7. Comparativa del potencial del agua en suelo desnudo.

## - Temperatura

En la Figura 8 correspondiente a la temperatura general durante el periodo de estudio (entre el 13 de diciembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017) en la parcela de suelo desnudo se puede observar que la temperatura en las capas más profundas es inferior a la temperatura de las capas más superficiales debido a que las capas más superficiales están más expuestas al efecto térmico de la radiación solar (cosa que no ocurre tan pronunciado en las otras parcelas a causa de la presencia de vegetación que aportan sombra al suelo situado en la superficie, es decir, un efecto amortiguador, y, por tanto, disminuyen su temperatura). También se puede apreciar una disminución progresiva en el periodo de tiempo comprendido entre noviembre y enero y, posteriormente, un aumento progresivo de la temperatura desde enero hasta mayo con el comienzo de la primavera.

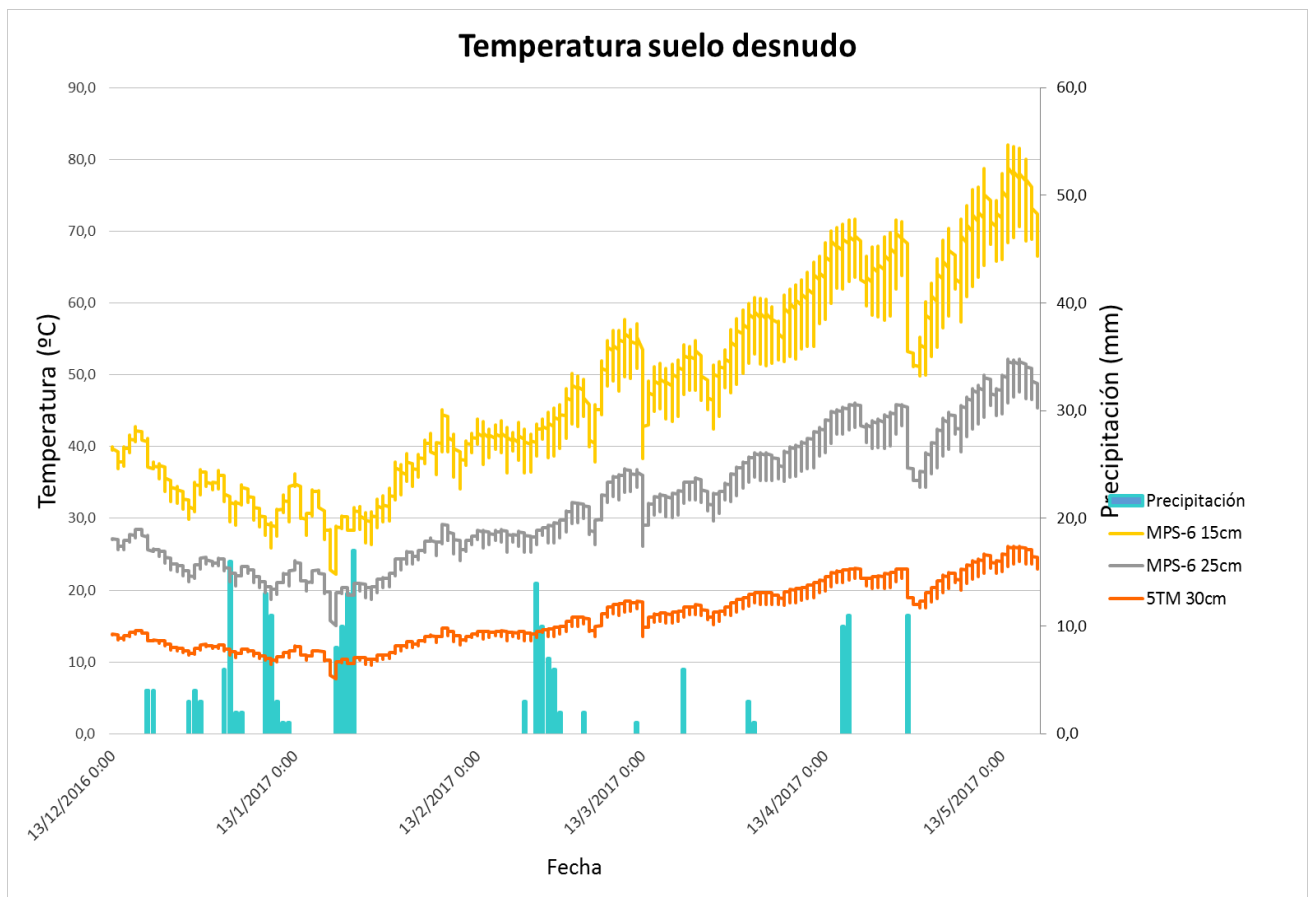


Figura 8. Comparativa de la temperatura suelo desnudo.

### 6.1.3. ROMERO

#### - Humedad

En la siguiente figura se representan los episodios de lluvia que han acontecido dentro del periodo general comprendido entre el 8 de noviembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017 en la parcela de romero, junto con los datos de humedad volumétrica registrados por los sensores en dicho periodo.

En la Figura 9 correspondiente al contenido de humedad volumétrica del suelo del periodo de estudio en la parcela de romero se puede observar una situación generalizada de estrés hídrico o falta de agua en el suelo (valores inferiores al Punto de Marchitez Permanente (PMP) del suelo), con excepciones en los meses de diciembre y enero coincidiendo con el periodo de lluvias más intensas. Esto se debe en gran parte a las temperaturas generalmente altas que han tenido lugar en el periodo estudiado, que produce pérdidas de agua tanto por evaporación como por transpiración. Por otra parte, también se puede apreciar que el sensor más superficial (GS3 en superficie) detecta un mayor contenido de agua debido a la posición que se encuentra en el suelo, que con episodios de lluvia cortos o escasos es suficiente para detectarlo. También se puede observar que el sensor que se encuentra a 20 cm (5TM) detecta un mayor contenido de humedad que respecto al sensor más profundo (5TE 30 cm) como consecuencia, como hemos comentado en las anteriores parcelas, que ha esta profundidad de suelo existe un gran contenido de grava, que produce un drenaje rápido hacia capas más profundas.

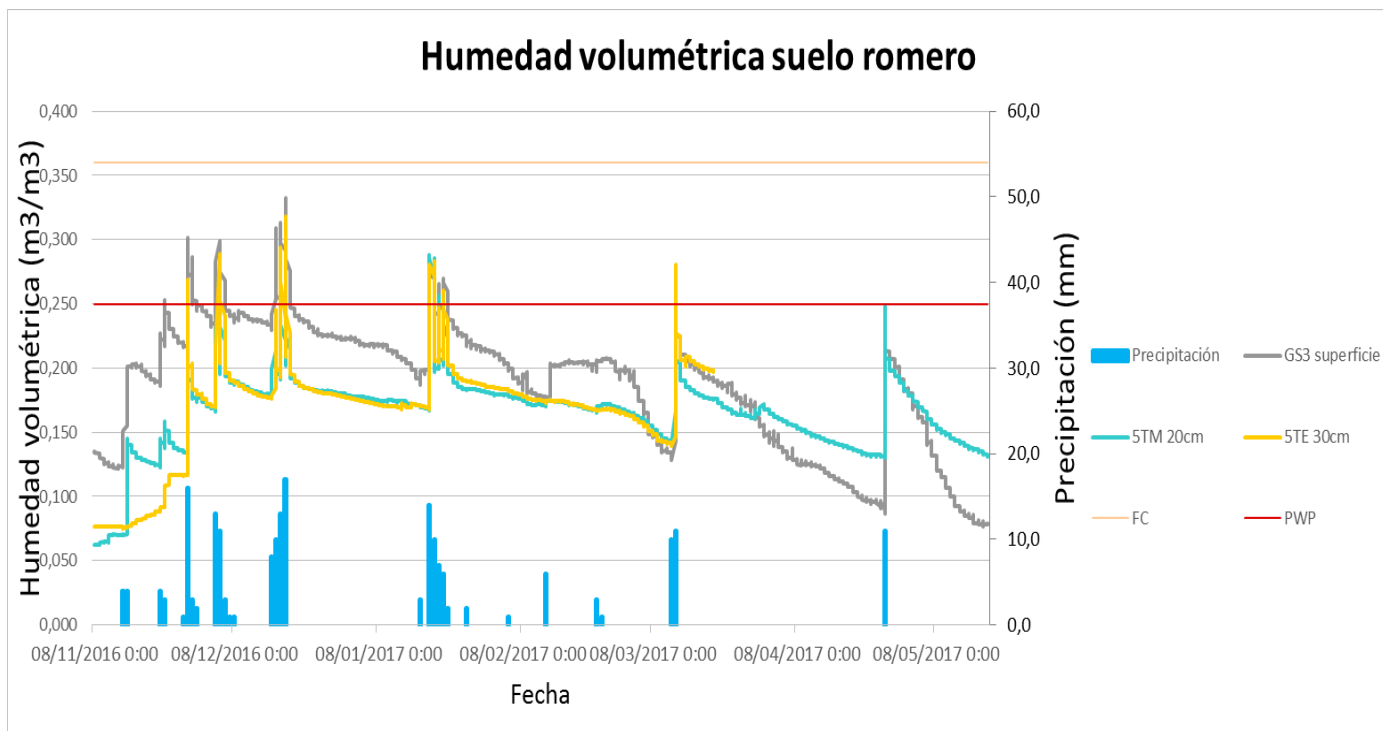


Figura 9. Comparativa humedad área *Rosmarinus officinalis*.

## - Conductividad eléctrica

En la siguiente Figura 10 se presenta el comportamiento de la conductividad eléctrica en la parcela romero durante el periodo de tiempo estudiado (entre el 8 de noviembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017). En la presente figura 10 se aprecia un incremento de la conductividad eléctrica en los episodios de precipitación debido a que el agua de lluvia también aporta un contenido de sales y una disolución de las sales contenidas en el suelo. También se puede observar que el sensor que se encuentra a 30 cm de profundidad (5TE) detecta valores superiores de conductividad eléctrica respecto al sensor superficial GS3 en los episodios de lluvia debido al lavado y posterior acumulación de las sales en esta capa.

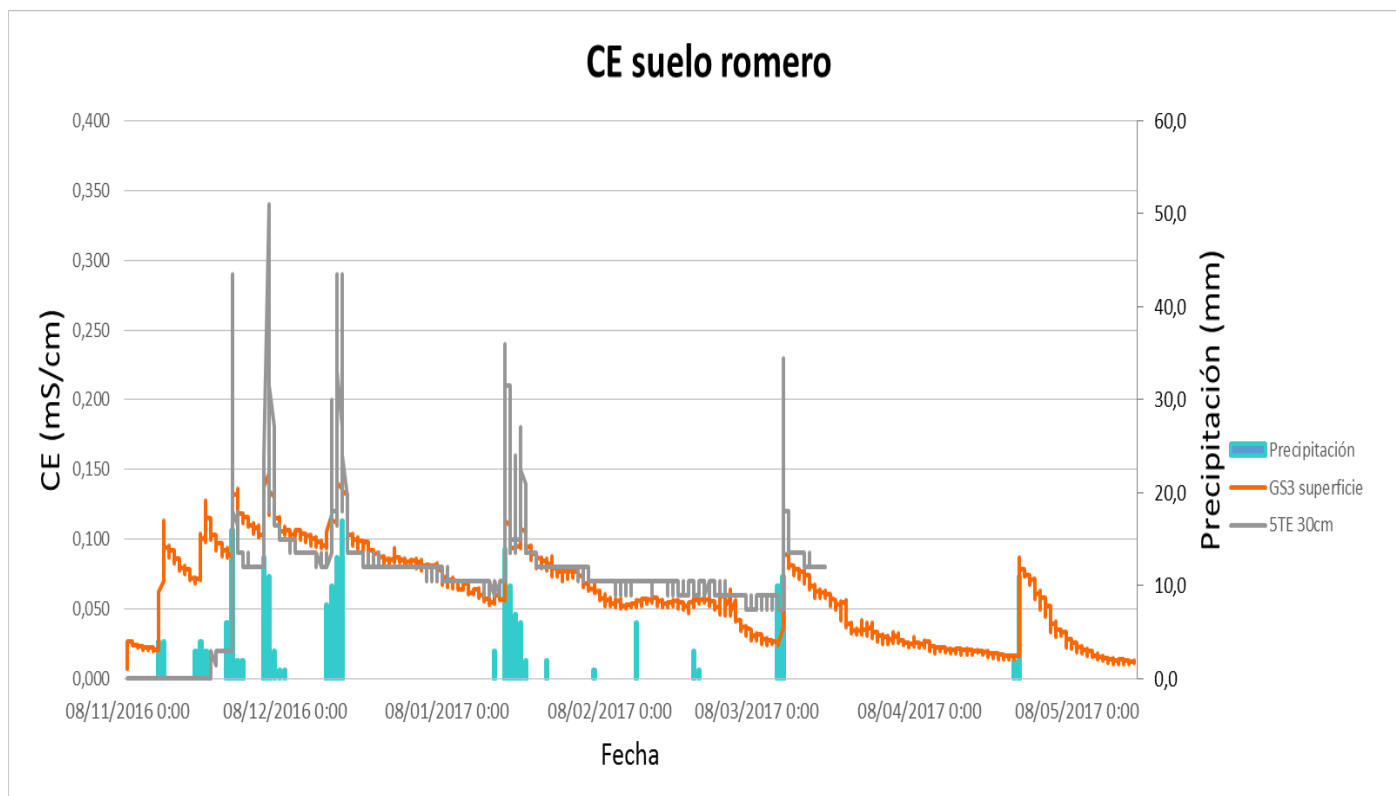


Figura 10. Comparativa conductividad eléctrica área *Rosmarinus officinalis*.

## - Temperatura

En la Figura 11 correspondiente a la temperatura en la parcela romero durante todo el periodo de estudio (entre el 8 de noviembre de 2016 hasta el 19 de mayo de 2017) se puede observar que, a medida que se profundiza en el perfil del suelo, la temperatura que se registra no presenta tantas variaciones, sino que se mantiene más estable, todo lo contrario a los de superficie donde está más afectado por las oscilaciones diarias y estacionales. También se puede apreciar una disminución progresiva en el periodo de tiempo comprendido entre noviembre y enero y, posteriormente, un aumento progresivo de la temperatura desde enero hasta mayo. Además, se puede observar que las temperaturas presentan valores muy próximos. Esto es debido al efecto que tiene la cobertura de romero, producen que el perfil edáfico presente unas temperaturas semejantes durante todo el periodo de estudio.

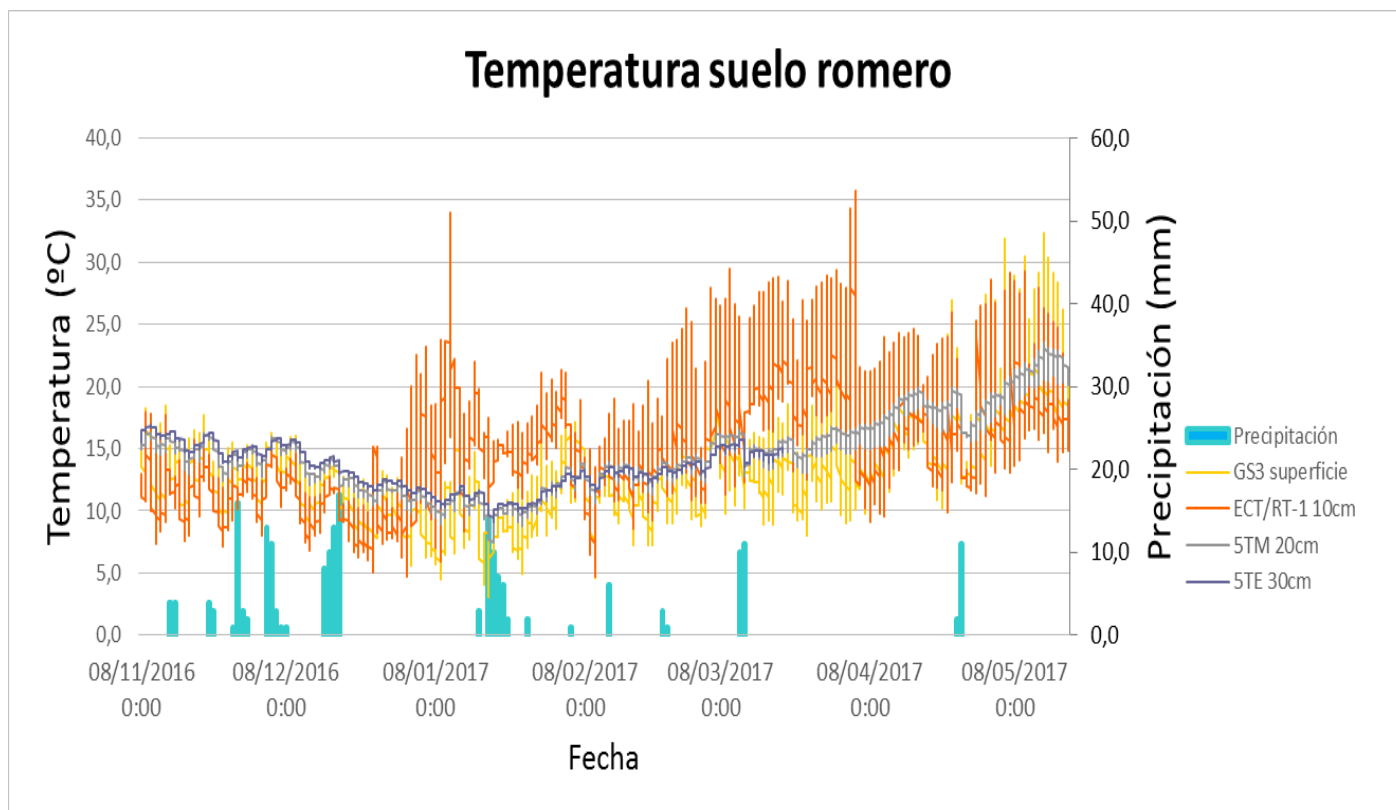


Figura 11. Comparativa de la temperatura área *Rosmarinus officinalis*.

## 6.2. Datos de la caracterización de suelo

En la siguiente tabla se muestran los datos analíticos realizados del suelo.

Tabla 2. Datos de la caracterización del suelo

	<b>Romero</b>	<b>Lavanda</b>	<b>Desnudo</b>
pH	8,24	8,26	8,29
CONDUCTIVIDAD (dS/m)	0,1583	0,0954	0,0908
% ARENA	50	50	50
% LIMO	14	14	14
% ARCILLA	36	36	36
CLASE TEXTURAL	Arcillo-arenosa	Arcillo-arenosa	Arcillo-arenosa
COLOR - seco	Marrón oliva claro	Marrón oliva claro	Marrón oliva claro
COLOR - húmedo	Marrón grisáceo muy oscuro	Marrón grisáceo muy oscuro	Marrón oliva oscuro
MATERIA ORGÁNICA	2,20%	2,34%	2,23%
CARBONATOS TOTALES	24,08%	23,43%	23,64%

Como podemos observar en la Tabla 2 de los resultados obtenidos de la analítica del suelo, presenta un pH ligeramente básico como era de esperar con el contenido de carbonatos totales presentes, típico del área en la que nos encontramos. Y así como un contenido de sales bajo con el valor de conductividad bajo que presenta. La textura presenta unos valores equilibrados, aunque ligeramente arenoso y unos valores adecuados de contenido de materia orgánica.

## 7. CONCLUSIONES

Como hemos comentado en el presente trabajo podemos obtener las siguientes conclusiones:

### SUELO

El suelo que nos encontramos en la zona estudiada es un suelo no natural o Tecnosol, que es un suelo creado artificialmente, que anteriormente era un suelo de marjal antes de construirse la EPSG.

### CONSERVACIÓN DE LA HUMEDAD

Respecto a la conservación de la humedad se puede observar que en las tres parcelas se produce una situación generalizada de estrés hídrico en el suelo puesto, que las medidas realizadas con los sensores muestran generalmente valores que se encuentran por debajo del Punto de Marchitez Permanente (PMP ó PWP) del suelo estudiado. Sin embargo, este efecto es menos notable en la parcela de suelo desnudo debido a que en dicha parcela no presenta vegetación, por lo que el consumo de agua será menor, pero existe una evaporación más elevada.

Por otra parte, también se puede observar que, en los horizontes más superficiales de las parcelas, los sensores no detectan apenas contenido hídrico, debido a rápida percolación del agua tras los episodios de lluvias y a la evapotranspiración que tiene lugar en estos horizontes. Por el contrario, se puede observar que a profundidades entre 20 - 25 cm se produce un aumento de la humedad respecto a los otros horizontes del suelo estudiado, lo cual, puede deberse a la existencia a esas profundidades de componentes más equilibrados con tendencia arcillosa con mayor capacidad de retención del agua y también menores variaciones térmicas; el suelo más profundo presenta un mayor contenido de gravas, por lo que drena más rápidamente.

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Con relación a la conductividad eléctrica (CE) presenta unos valores más elevados cuando se produce precipitación, por la disolución de las sales que contiene el suelo y las que pueda aportar el agua de lluvia. Pero cabe destacar que estos valores de CE son variables en el tiempo, al presentar un movimiento lento, debido a que pueden ser retenidas parcialmente por el suelo según la carga que presenten, las positivas son retenidas y las negativas son lavadas a capas más profundas del suelo.



## TEMPERATURA

Con respecto a las temperaturas registradas por los sensores se puede observar un efecto estacional, menores valores en invierno y se incrementan paulatinamente según se avanza la primavera. Pero en los sensores más superficiales se destaca el efecto día-noche, no así en los más profundos. Estas variaciones se magnifican en la parcela de suelo desnudo, tanto diario como estacional.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Ali, M.H. (2010). *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management, First ed. Springer publication*, 560p.
- Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A. (1989) La cubierta vegetal en las regiones áridas y semiáridas: consecuencias de la interceptación de la lluvia en la protección del suelo y los recursos hídricos. *Departamento de Geografía Física. Universidad de Murcia*.
- Benson, C.H., Bosscher, P.J. (1999). Time-domain reflectometry (TDR) in geotechnics: a review. *ASTM Spec. Tech. Publ.* 1350, 113–136.
- Bergkamp, G. (1996): Mediterranean ecosystems. Hierarchical organisation and degradation. *Cip-Gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag*. 238 pp.
- Bulut, R., Leong, E.C. (2008). Indirect measurement of suction. *J. Geotech. Geol. Eng.* 26 (6), 633–644.
- Casermeiro, M.A.; Molina B, j.A.; De La Cruz Caravaca, M.T.; Hernando Costa, J.; Hernando Massanet, M.I.; Moreno, P.S. (2003). Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena* 57, 91 – 107.
- Chanasyk, D.S., Naeth, M.A. (1996). Field measurement of soil moisture using neutron probe. *Can. J. Soil Sci.* 76, 317–323.
- Chandler, D.G., Seyfried, M., Murdock, M., McNamara, J.P. (2004). Field calibration of water content reflectometers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1501–1507.
- Chanzy, A., Tarussov, A., Judge, A., Bonn, F. (1996). Soil water content determination using a digital ground-penetrating radar. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1318–1326.
- Cook, A; Valdes, G and Lee, Howard. (2005). Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil and Tillage Research* 91 (2006) 227-235.
- Dahiya, R; Ingersen, J and Streck, T. (2007). The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling. *Soil and Tillage Research* 96 52-63.
- Dane, J.H., Toppe, G.C. eds., 2002. *Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods*, Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Dasberg, S., Dalton, F.N. (1985): Time Domain Reflectometry measurements of soil water content and electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49. pp. 293-297.
- Dingman, S.L. (1994). *Physical Hydrology. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ*.
- Doolittle, J.A., Collins, M.E. (1995). Use of soil information to determine application of ground-penetrating radar. *J. Appl. Geophys.* 33, 101–108.
- Du, S., Rummel, P. (1994). Reconnaissance studies of moisture in the subsurface with GPR. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Ground Penetrating Radar, Kitchener*. 12–16 June, 1994, pp. 1241–1248.
- Engman, E.T., Gurney, R.J. (1991). *Remote Sensing in Hydrology Remote Sensing Applications*. Chapman & Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, *xiv-t*-, 225p.
- Erlingsson, S., Baltzer, S., Baena, J., Bjarnason, G. (2009). Measurement techniques for water flow. In: *Dawson, A. (Ed.), Water in Road Structures. Springer, UK*.
- Evelt, S.R. (2003). Soil water measurement by time domain reflectometry. In: Stewart, B.A., Howell, T. (Eds.), *Encyclopedia of Water Science*. Marcel Dekker, New York, pp. 894–898.
- Falloon, P., Jones, C.D., Ades, M., Paul, K. (2011). Direct soil moisture controls of future global soil carbon changes: an important source of uncertainty. *Glob. Biogeochem. Cycles* 25, GB3010.
- Ferrara, G., Flore, J.A. (2003). Comparison between different methods for measuring transpiration in potted apple trees. *Biol. Plantarum*. 46 (1), 41–47.
- Ferre, P.A., Knight, J.H., Rudolph, D.L., Kachanoski, R.G. (1998). The sample areas of conventional and alternative time domain reflectometry probes. *Water Resour. Res.* 34 (11), 2971–2979.

- Fitzjohn, C., Ternan, J.L., Willians, A.G. (1998): Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. *Catena*. 32. pp. 55-70.
- García Petillo, Mario (2008): Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio en riego deficitario. Tesis Doctoral. Departamento de Suelo y aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Goit, J.B., Groenevelt, P.H., Kay, B.D., Loch, J.G.P. (1976). The applicability of dual gamma scanning to freezing soils and the problems of stratification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42, 858–863.
- Gómez Plaza, A. (2000): Variabilidad espacio-temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida. Efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica. Tesis Doctoral. ETSI de Montes. Madrid. 185 pp.
- Huisman, J.A., Sperl, C., Bouten, W., Verstraten, J.M. (2001). Soil water content measurements at different scales: accuracy of time domain reflectometry and ground-penetrating radar. *J. Hydrol.* 245, 48–58.
- International Atomic Energy Agency. (2008). Field Estimation of Soil Water Content a Practical Guide to Methods, Instrumentation and Sensor Technology. *International atomic energy agency*, Vienna, 141p.
- Ji, S., Unger, P.W., (2001). Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 442–448.
- Lunt, I.A., Hubbard, S.S., Rubin, Y. (2005). Soil moisture content estimation using ground-penetrating radar reflection data. *J. Hydrol.* 307, 254–269.
- Martínez Fernández, J. y López Bermúdez, F. (1996): Métodos para el estudio de las propiedades hídricas de suelos y formaciones superficiales. *Cuadernos Técnicos de la S.E.G. nº 9*. Geoforma Ediciones. 30 pp.
- Martínez Fernández, J., Ceballos Barbancho, A: Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo. Departamento de Geografía, Universidad de Salamanca. *Eds. J. J. López, M. Quemada*.
- Muñoz-Carpena, R. (2012). Field devices for monitoring soil water content. *Agricultural and Biological Engineering Department*, University of Florida. BUL343. <<http://edis.ifas.ufl.edu>>.
- Muñoz-Carpena, R., Shukla, S., Morgan, K. (2004). Field Devices for Monitoring Soil Water Content. Extension Bulletin, vol. 343. *Dept. of Agricultural and Biological Engineering*, University of Florida.
- Muñoz-Carpena, R., Ritter, A., Bosch, D.D. (2005). Field methods for monitoring soil water status. In: Alvarez-Benedi, J., Muñoz-Carpena, R. (Eds.), *Soil–Water– Solute Process Characterization*. CRC Press, Boca Raton, Fla, pp. 67–195.
- Nagaya Mulumba, L. , Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 98 106-111.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration), 1999. Soil moisture. Updated, 30th December 1999. Downloaded on 9th May 2012. <<http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/landprocess/lp-home.html>>.
- Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., Malorgio, F., Battista, P., Bacci, L., Rapi, B., Marzietti, P., Hemming, J., Balendonck, J. (2009). Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors* 9, 2809–2835.
- Pinamonti, F. (1997). Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 239 - 248.
- Pires, L., Bacchi, O.S., Reichardt, K. (2005). Soil water retention curve determined by gamma ray beam attenuation. *Soil Till. Res.* 82 (1), 89–97.
- Porta Casanellas, J. Lopez-Acevedo Reguerin, M y Roquero de laduru, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: *Editorial Mundi-Prensa Libros, S.A.*
- Prichett, W.L. (1986): Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. *Editorial Limusa, México*. 518 pp.

- Prince, S.D., Wessels, K.J., Tucker, C.J., Nicholson, S.E. (2007). Desertification in the Sahel: a reinterpretation of a reinterpretation. *Global Change Bio.* 13, 1308–1313.
- Puma, M.J., Celia, M.A., Rodriguez-Iturbe, R., Guswa, A.J. (2005). Functional relationship to describe temporal statistics of soil moisture averaged over different depths. *Adv. Water Resour.* 28, 553–566.
- Rao, V.P., Suneetha, K.B., Hemalatha (2010). Irrigation water management. *Department of Agronomy, College of Agriculture, Rajendranagar, Hyderabad*, 148p.
- Reynolds, J.M. (1997). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, Chichester.
- Richardson, M.D., Meisner, C.A., Hoveland, C.S., Karnok, K.J. (1992). Time domain reflectometry in closed container studies. *Agron. J.* 84, 1061–1063.
- Robock, A., Vinnikov, K.Y., Srinivasan, G., Entin, J.K., Hollinger, S.E., Speranskaya, N.A., Namkhai, A. (2000). The global soil moisture data bank. *Bullet. Am. Meteorol. Soc.*, 1281–1299.
- Sakaki, T., Sugihara, K., Adachi, T., Nishida, K., Lin, W. (1998). Application of time domain reflectometry for determination of volumetric water content in rock. *Water Resour. Res.* 24 (10), 2623–2631.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J. (2006). "Soil Water Characterization Equations by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions", Published in the Soil Science Society of America Journal. 70:1569-1578.
- Schmugge, T., Jackson, T.J., McKim, H.L. (1980). Survey of methods for soil moisture determination. *Water Resour. Res.* 16 (6), 961–979.
- Sivakumar, M.V.K. (2007). Interactions between climate and desertification. *Forest Meteorol.* 142, 143–155.
- Thomsen, A., Schelde, K., Droscher, P., Steffensen, F. (2007). Mobile TDR for georeferenced measurement of soil water content and electrical conductivity. *Precis. Agric.* 8, 213–223.
- Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16, 574-582.
- Topp, G.C., Davis, J.L. (1985): Measurement of soil water content using time-domain reflectometry (TDR): A field evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49. pp. 19-24.
- Tu, C; Ristaino, J, Hu, S. (2005). Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 247-255.
- Wallan, E.F. (1939). Use of tensiometers for soil moisture measurements in ecological research. *Ecology* 20, 403–412.
- Ward, R.C., Robinson, M. (2000): Principles of Hydrology. McGraw-Hill Pub. Maidenhead. 450 pp.
- Wei, M.Y., (Ed.) (1995). Soil Moisture: Report of a Workshop Held in Tiburon, California, 25–27 January, 1994. *NASA Conference Publication* 3319, 80p.
- Werner, H. (2002). Measuring Soil Moisture for Irrigation Water Management. Accessed Electronically on 9th May, 2012, from the SDSU College of Agriculture and Biological Sciences Publications Page. <<http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/FS876.pdf>>.
- Western, W.A., Grayson, R.B., Blöschl, G. (2002). Scaling of soil moisture: a hydrologic perspective. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 30, 149–180.
- Worsching, H., Becker, R., Schlaeger, S., Bieberstein, A., Kudella, P. (2006). Spatial-TDR moisture measurement in a large scale Levee Model made of loamy soil material. In: Proc. TDR 2006, Purdue University, West Lafayette, USA, September 2006, Paper ID 33, 15p. <<http://engineering.purdue.edu/TDR/Papers>>.
- Yu, X., Drnevich, V.P. (2004). Soil water content and dry density by time domain reflectometry. *J. Geo. Geoenviron. Eng.* 130 (9), 922–934.
- Zazueta, F.S., Xin, J. (1994). Soil Moisture Sensors. Bulletin, vol. 292. Florida Cooperative Extension Science, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

#### Fuentes de imágenes:

- Imagen 1. Método gravimétrico. <https://es.slideshare.net/LabFerrer/medida-del-contenido-de-humedad-del-suelo>.

- Imagen 2. Sonda de neutrones. [http://www.infoagro.com/frutas/riego\\_deficitario\\_en\\_melocotonero.htm](http://www.infoagro.com/frutas/riego_deficitario_en_melocotonero.htm).
- Imagen 3. Principio del sistema TDR. <http://www.kanageotech.com/instrumentation/>.
- Imagen 4. Principio del sistema FDR. <https://es.slideshare.net/samoquiroz/sondas-de-capacitancia-fdr>.
- Imagen 5. Tensiómetro. <http://www.efesaro.com/sensor-de-humedad-del-suelo-irrometer/>.
- Imagen 6. Bloque de yeso. <https://es.slideshare.net/LabFerrer/sensores-aplicables-al-riego-de-apoyo-en-via>.
- Imagen 7. Georradar NG-SC. <http://www.directindustry.es/prod/mae-srl/product-104001-1651523.html>.
- Imagen 8. Localización de la zona de estudio. Google Earth.
- Imagen 10. Sensor modelo 5ET. <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/5te-vwc-temp-ec/>.
- Imagen 11. Sensor modelo 10HS. <http://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/10hs-large-volume-vwc/>.
- Imagen 12: Sensor modelo GS3. <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/gs3-vwc-temp-ec/>.
- Imagen 13. Sensor modelo 5TM. <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/5tm-vwc-temp/>.
- Imagen 14. Sensor modelo MPS-6. <https://www.decagon.com/en/soils/water-potential/mps-6-calibrated-water-potential-sensor/>.
- Imagen 15. Sensor de temperatura del suelo RT-1. <https://www.decagon.com/en/soils/volumetric-water-content-sensors/rt-1-rugged-soil-temperature-sensor/>.