

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL**



**Caracterización edáfica de diferentes
elementos de infraestructura verde en el
distrito de Benicalap (Valencia)**

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Alumna: María Campo Rodrigo

Tutor: Antonio Luis Lidón Cerezuela

Co-tutor: Francisco Galiana Galán

CURSO ACADÉMICO 2017/2018

Valencia – Julio de 2018

RESUMEN

La infraestructura verde incluye la red de zonas naturales, seminaturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos y de paisaje. Considerada en los espacios urbanos, su atractivo clave es su capacidad para realizar, además de ser un espacio público, las diferentes funciones ecosistémicas, como contribuir a la fijación del carbono, mejorar la calidad del aire, proporcionar una buena gestión de la escorrentía previniendo el riesgo de inundación y mejorando el uso eficiente del agua, mantenimiento de hábitats, y mejora de la salud y bienestar de la población. especialmente a través de la mejora del confort climático. El mantenimiento de la calidad de vida, de la biodiversidad y de los procesos ecológicos básicos, son fundamentales para una buena sostenibilidad de nuestro territorio a largo plazo.

La provisión de estos servicios ecosistémicos depende en gran medida de cómo sea diseñada y gestionada esta infraestructura verde, y su evaluación requiere conocer el estado base previo de la zona en la que vaya a ser implementada. En el caso de la contribución a la fijación de carbono y la mejora en el uso eficiente del agua en áreas verdes o parques urbanos, es fundamental conocer algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, puesto que dependiendo de éstas y de la gestión que se haga del suelo, éste va a condicionar los flujos de agua, va a comportarse como fuente o sumidero de carbono y podrá actuar como filtro de ciertos contaminantes.

En este trabajo fin de grado se centra en un estudio edáfico piloto del parque Benicalap (Valencia), caracterizando las principales propiedades del suelo, para varias de las estructuras de la cubierta de este parque, tales como textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbonatos y contenido de nitrógeno mineral. También se ha caracterizado, en un período de dos meses, el comportamiento térmico y de humedad del suelo en diferentes zonas del parque, y se ha medido periódicamente la respiración del suelo en dichas zonas. Por último, mediante un modelo matemático de simulación se intenta reproducir las emisiones de CO₂ desde el suelo en diferentes zonas del parque.

Palabras clave

Respiración del suelo, nivel de CO₂ en el suelo, caracterización del suelo, temperatura del suelo, humedad del suelo, infraestructura verde.

ABSTRACT

The green infrastructure normally included the net of natural, seminatural and other environmental elements, which has been planned strategically, designed and managed to provide a wide range of ecosystem and landscape services. Further the public use of green infrastructure on urban spaces, ability to perform different functions are their main key targets, such as contributing to carbon fixation, improving air quality, providing good run-off management by preventing flood risk and improving the efficient use of water, maintenance of habitats, and improvement of the health and well-being of the population through the improvement specially of climatic comfort. The maintenance of quality of life, biodiversity and basic ecological processes are fundamental issues for a good sustainability of our territory in the long term.

The provision of these ecosystem services rely in a large extent on how this green infrastructure is designed and managed. Furthermore, its evaluation requires knowing the previous base state of the area in which it will be implemented. I focus in this case the contribution to carbon fixation and the improvement in the efficient use of water in green areas or urban parks. So it is essential to know some of the physical, chemical and biological properties of the soil, because depending on these and the management of the soil, this will condition the water flows, it will behave as a source or carbon sink and it can act as a soil filter for certain pollutants.

To sum up the approach of the degree thesis, an edaphic pilot study of the Benicalap park area (Valencia) is carried out, characterizing the main soil properties, in some of the main vegetation covers of the park, such as texture, pH, electrical conductivity, organic matter, carbonates and mineral nitrogen content. In addition, the soil temperature and the soil water content has been characterized in a period of two months. The respiration of the soil has been measured periodically. Finally, a mathematical model is used to reproduce CO₂ emissions from the soil in different areas or the park.

Keywords

Soil respiration, CO₂, soil properties, soil temperature, soil moisture and green infrastructure.

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de mis familiares y amigos, por apoyarme, ayudarme y acompañarme durante esta etapa. Asimismo, no puedo olvidar la confianza que mis tutores han depositado en mí a la hora de formar parte de este gran trabajo y, especialmente a Antonio por toda la ayuda prestada y por todos los momentos vividos a lo largo de estos meses de estudio. También, agradecer a la técnica de laboratorio, Joana Oliver, por brindarme su ayuda en todo momento.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	ANTECEDENTES	1
1.2.	BENEFICIOS DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE	2
1.3.	LA IMPORTANCIA DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE EN EL BALANCE DEL CARBONO ..	3
2.	OBJETIVOS	5
3.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	6
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
3.1.1.	Localización	6
3.1.2.	Zonas de estudio seleccionadas.....	8
3.2.	INSTALACIÓN DE SENSORES Y MEDIDAS REALIZADAS.....	11
3.3.	MUESTREO DE SUELO Y DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....	17
3.3.1.	pH y conductividad eléctrica.....	18
3.3.2.	Textura	18
3.3.3.	Carbonatos	19
3.3.4.	Materia orgánica	19
3.3.5.	Factor de humedad	20
3.3.6.	Nitrógeno amoniacal y nítrico	20
3.4.	ESTIMACIÓN DEL CARBONO EN EL SUELO A CORTO PLAZO	21
4.	RESULTADOS	23
4.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO	23
4.1.1.	Textura	23
4.1.2.	Densidad aparente	25
4.1.3.	Curva característica de humedad	25
4.2.	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO	26
4.2.1.	pH	26
4.2.2.	Materia orgánica	28
4.2.3.	Conductividad eléctrica	28
4.2.4.	Carbonatos	29
4.3.	TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO	30
4.4.	RESPIRACIÓN DEL SUELO.....	35
4.5.	CONTENIDO DE NITROGENO MINERAL	40
4.6.	RESPIRACIÓN SIMULADA CON EL MODELO LEACHM	40
5.	CONCLUSIONES	43
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	45

ANEXO 1. RESULTADOS OBTENIDOS DE PROGRAMA RETFIT	I
ANEXO 2. MÉTODO $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$	I
ANEXO 3. MÉTODO NH_4^+	I
ANEXO 4. EJEMPLO ARCHIVO INPUT DE LEACHM	I

ÍNDICE FIGURAS

Figura 3.1. Distritos de la ciudad de Valencia.	7
Figura 3.2. Detalle de uno de los rincones del Parque de Benicalap (Valencia).	8
Figura 3.3. Plano de situación del parque de Benicalap, detallando la ubicación de las zonas donde se instalan los sensores de medición de temperatura y humedad del suelo.	9
Figura 3.4. Detalle de la zona 2, indicando los puntos donde se realizan las medidas de respiración y donde se instala el sensor de medida de temperatura y humedad del suelo.	10
Figura 3.5. Detalle de la zona 3 y ubicación de los puntos donde se realizan las medidas de respiración y donde se instala el sensor de medida de temperatura y humedad del suelo.	11
Figura 3.6. Caja del datalogger EM50 junto con un sensor de temperatura, humedad y CE del suelo.....	12
Figura 3.7. Caja del datalogger EM50 abierta, donde se visualizan las pilas y los diferentes puertos.....	12
Figura 3.8. Sonda RT-1 de Decagon Devices para medida de la temperatura del suelo.	12
Figura 3.9. Sonda 10HS de Decagon Devices para medida de humedad del suelo.....	12
Figura 3.10. Sondas de temperatura y humedad enterradas a las dos profundidades.	13
Figura 3.11. Sonda 5TE de Decagon Devices, para registro de temperatura, humedad y conductividad eléctrica del suelo.	13
Figura 3.12. Distribución de los puntos donde se han tomado medidas de respiración.	14
Figura 3.13. Punto 1.1 donde se toman datos de la respiración.	15
Figura 3.14. Punto 1.2, donde se toma medida de la respiración.	15
Figura 3.15. Ubicación del punto 1.3 donde se mide la respiración y donde se encuentra uno de los puntos de medida de la temperatura y la humedad del suelo.	16
Figura 3.16. Medidor HH2 junto con EGM-4 utilizados en la respiración del suelo.....	17
Figura 3.17. Tamizado por 500 μm	18
Figura 3.18. Material utilizado para el tamizado. Tamiz 2 mm, recipiente de porcelana y rodillo de madera.	18
Figura 3.19. Conductímetro GLP 31 Crison®.....	18
Figura 3.20. Micro-pHmetro 2001 Crison®.....	18
Figura 3.21. Equipo analizador FIAstar 5000 (modelo Foss Tecador), para la determinación de nitrato.	20
Figura 3.22. Equipo analizador FIAstar 5000 (modelo Foss Tecador), para la determinación de amonio.	21
Figura 4.1. Composición volumétrica porcentual de los componentes principales del suelo. ...	23
Figura 4.2. Densidad aparente en las diferentes profundidades de los puntos muestreados....	25
Figura 4.3. Valores de pH en la primera profundidad del suelo.	27
Figura 4.4. Valores de pH en la segunda profundidad del suelo.	27
Figura 4.5. Porcentaje de carbonatos en las muestras analizadas.	30
Figura 4.6. Evolución diaria de la temperatura media del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.	31

Figura 4.7. Evolución diaria de la temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de parterre.	32
Figura 4.8. Relación entre temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de parterre.	32
Figura 4.9. Evolución diaria de la temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de pinar.	33
Figura 4.10. Relación entre temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de pinar.	33
Figura 4.11. Evolución diaria de la temperatura máxima del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.	34
Figura 4.12. Evolución diaria de la temperatura mínima del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.	34
Figura 4.13. Evolución diaria de la humedad media del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.	35
Figura 4.14. Evolución diaria de la respiración del suelo simulada con LEACHM y medida en la zona 1.	41
Figura 4.15. Evolución diaria de la respiración del suelo simulada con LEACHM y medida en la zona 2.	41
Figura 4.16. Evolución diaria de la respiración del suelo simulada con LEACHM y medida en la zona 3.	41

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Beneficios proporcionados por la infraestructura verde (Comisión Europea, 2014).	2
Tabla 2. Tamaño de las partículas y características de las fracciones de arena, limo y arcilla en la clasificación USDA. Fuente: Prácticas de Edafología (Llorca, 1991).	24
Tabla 3. Clasificación de la clase textural (USDA) de las muestras analizadas.	24
Tabla 4. Parámetros hidráulicos de cada una de las muestras de suelo.	26
Tabla 5. Contenido de carbono orgánico y materia orgánica en cada una de las muestras.	28
Tabla 6. Clasificación de salinidad del suelo según su el valor de CE en el extracto de saturación y en el extracto 1:5, (Fuente: Cros, 1893).	29
Tabla 7. Valores de CE (dS/m) en el extracto 1:5, temperatura de la medida y el factor de corrección utilizado para expresar los valores de CE a 25°C.	29
Tabla 8. Valores obtenidos en el calcímetro de Bernard y porcentaje de carbonatos presente en las muestras analizadas.	30
Tabla 9. Concentración de CO ₂ y tasa de respiración en el punto 1.1 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.	36
Tabla 10. Concentración de CO ₂ y tasa de respiración en el punto 1.2 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.	37
Tabla 11. Concentración de CO ₂ y tasa de respiración en el punto 1.3 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.	37
Tabla 12. Concentración de CO ₂ y tasa de respiración en el punto 2.1 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.	38

Tabla 13. Concentración de CO ₂ y tasa de respiración en el punto 2.2 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.....	38
Tabla 14. Concentración de CO ₂ y tasa de respiración en el punto 3.1 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.....	39
Tabla 15. Concentración de CO ₂ y tasa de respiración en el punto 3.2 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.....	39
Tabla 16. Concentración de nitrato y amonio en las diferentes zonas muestreadas.	40

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la contaminación atmosférica y el denominado efecto *isla de calor*, consecuencia de la actividad desarrollada en las ciudades, afecta a diferentes aspectos relacionados con confort y calidad de vida de sus habitantes. En este sentido, la creación, el diseño y el sistema constructivo de las infraestructuras verdes es una buena forma de contribuir a reducir o mitigar dicho problema.

Estas infraestructuras ofrecen unos servicios ecosistémicos, que son las vías a través de las cuales se contribuye al bienestar de la sociedad, sosteniendo y abasteciendo sus necesidades. En las zonas urbanas, dichos servicios están claramente relacionados con el uso del suelo y la cobertura vegetal sobre el mismo (MEA¹, 2005). Por ello, para poder mantener los servicios ecosistémicos y los procesos naturales que se producen en estas infraestructuras verdes, se necesita una buena comprensión del uso del suelo y de la cubierta vegetal (Gill et al., 2008). La infraestructura verde se puede observar como una reivindicación de dichos servicios ecosistémicos.

En la ciudad, la infraestructura verde es una herramienta necesaria para la creación de ambientes saludables a la vez de contribuir una economía verde y sostenible. Actúa a diferentes escalas de intervención, pero en este trabajo se centra en la escala urbana, donde los elementos naturales, seminaturales y artificiales, permiten actuar sobre ellos para una mejora de los índices bióticos del suelo.

1.1. ANTECEDENTES

A partir del año 1999, el Servicio de Bosques de Estados Unidos y otras entidades conservacionistas y agencias federales regularizaron el término *Infraestructura Verde* con la finalidad de mejorar el sistema urbano, dando una visión de red interconectada de áreas naturales. Esta concepción inicial se ha amplificado hasta el punto de adquirir una gran aceptación en la sociedad, haciendo posible los procesos ecológicos y manteniendo los recursos.

En Europa se continúa poniendo en peligro nuestra sostenibilidad a falta una valoración adecuada de los servicios ecosistémicos. La Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020 incluye el compromiso del desarrollo de una infraestructura verde, con el objetivo de conseguir una Europa eficiente que aproveche los recursos al máximo (CE, 2013).

¹ Millenium Ecosystem Assessment.

Se establece la Red Natura 2000, principalmente para conservar y proteger especies y hábitats claves en toda la UE, además de todas sus aportaciones económicas, de hasta 200000 y 300000 millones de euros anuales, con la finalidad de revitalizar las zonas degradadas, supervisar en todo momento la biodiversidad y los ecosistemas existentes (Comisión Europea, 2014). Con ello se pretende asegurar una adecuada protección de la biodiversidad europea, revitalizando los medios degradados y catalizando el desarrollo de la infraestructura verde, lo que contribuye a la reducción de la fragmentación de los ecosistemas y cumpliendo así con los objetivos deseados.

1.2. BENEFICIOS DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE

La infraestructura verde proporciona múltiples beneficios tanto en zonas rurales como urbanas, mejorando la calidad ecológica y permeabilidad del paisaje, y manteniendo en buen estado los ecosistemas para que puedan seguir favoreciendo los servicios de la sociedad (tabla 1). En relación con los beneficios relacionados con el suelo destacan los relacionados con la mejora de la calidad del suelo, el aumento de la capacidad de infiltración y el aumento de la capacidad del suelo de actuar como sumidero de carbono.

Tabla 1. Beneficios proporcionados por la infraestructura verde (Comisión Europea, 2014).

Beneficios de la infraestructura verde	
Beneficios medio-ambientales	<ul style="list-style-type: none"> - Suministro de agua limpia. - Eliminación de contaminantes del agua y del aire. - Mejora de la polinización. - Retención de las aguas pluviales. - Incremento del control del suelo. - Mejora de la calidad del suelo. - Reducción de la ocupación del terreno y del sellado del suelo.
Beneficios sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la salud y del bienestar de las personas. - Creación de puestos de trabajo. - Diversificación de la economía local. - Ciudades más atractivas y más verdes. - Mayor valor de la propiedad y distinción local. - Soluciones de energía y transporte más integradas. - Mejora de las oportunidades de ocio y turismo.

Beneficios en relación con la mitigación del cambio climático y adaptación a este	<ul style="list-style-type: none"> - Mitigación de las inundaciones. - Fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas. - Almacenamiento y retención del carbono. - Mitigación de los efectos urbanos de isla térmica. - Prevención de catástrofes (tormentas, incendios, deslizamientos de tierra).
Beneficios para la biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de los hábitats para la vida silvestre. - Corredores ecológicos. - permeabilidad del paisaje.

1.3. LA IMPORTANCIA DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE EN EL BALANCE DEL CARBONO

Con la finalidad de conseguir una reducción de las emisiones de CO₂, un adecuado manejo de la materia orgánica e incrementar la calidad de los suelos, mejorando así la producción de las plantas, es necesario conocer el balance del carbono en el sistema suelo-planta. La materia orgánica del suelo tiene un papel fundamental tanto en el balance de carbono como el en proceso del calentamiento global (Brady y Weil, 2002), ya que es una fuente de carbono en el ecosistema.

En el suelo las entradas de carbono provienen principalmente de los restos de plantas y materiales orgánicos adicionales, mientras que la principal salida se debe a la respiración de las raíces (autótrofa) y a la respiración de los microorganismos (heterótrofa); otras salidas del sistema son debidas a las quemadas y a la erosión (Jaramillo, 2016). La infraestructura verde juega un papel importante en las zonas urbanas ya que el conjunto suelo-planta puede actuar como sumidero de carbono, contribuyendo a paliar las emisiones y secuestrando el carbono a través del papel de la vegetación (fotosíntesis) y del suelo (acumulación de materia orgánica), lo que contribuye a la reducción global de los gases de efecto invernadero.

La respiración del suelo es pues uno de los mayores flujos de CO₂ en el ciclo del carbono, y cualquier variación que se produzca en este flujo puede incrementar las emisiones de CO₂ con un importante efecto sobre la temperatura del planeta (Schlesinger y Andrews, 2000). Por ello, es importante conocer a nivel urbano y, en concreto, en infraestructuras verdes ya establecidas, el orden de magnitud del flujo de CO₂ procedente

del suelo, así como los niveles de materia orgánica en el mismo, con el fin de valorar la capacidad del mismo de actuar como fuente o sumidero de carbono.

2. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización edáfica en diferentes zonas de una infraestructura verde ya establecida en la ciudad de Valencia. Para ello se procede a la determinación de las principales propiedades fisicoquímicas del suelo en la zona del distrito de Benicalap (Valencia), más concretamente en el Parque de Benicalap, donde en un futuro se van a realizar diferentes actuaciones relacionadas con la mejora de la infraestructura verde de dicho distrito. Se pretende con ello, evaluar el comportamiento y calidad del suelo en diferentes ambientes del parque, de forma que pudieran los resultados obtenidos servir de modelo de comportamiento del suelo ante futuras actuaciones. Los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Realizar un análisis de la capa superficial del suelo (0-24 cm) y, en concreto, evaluar su contenido de materia orgánica en función del tipo de cobertura vegetal.
- Caracterizar el comportamiento térmico y de humedad de suelo en diferentes zonas del parque durante el período de realización del presente TFG.
- Medir la respiración del suelo en diferentes zonas del parque en función de su cobertura vegetal, y evaluar la posibilidad de uso futuro de un modelo de simulación para contabilizar las emisiones de CO₂ del suelo.

Dado que el presente TFG se ha realizado en el período comprendido entre abril – junio, algunos de los resultados obtenidos se ciñen a dicho período de tiempo y será necesario en un futuro continuar con la caracterización de algunos de los parámetros medidos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El ayuntamiento de Valencia tiene previsto poner en marcha diferentes proyectos de infraestructura verde en diferentes barrios de la ciudad, para mejorar el bienestar de los ciudadanos y tener unas expectativas de vida muchos mejores que las actuales y, principalmente, potenciar la conservación de los hábitats, especies y elementos naturales claves para el mejor funcionamiento de los ecosistemas. Uno de los grandes proyectos a realizar, es la implantación de una infraestructura verde en el barrio de Benicalap, que intente conectar diferentes espacios verdes y mejorar la dotación de otros que en la actualidad no tienen un uso determinado. La Universitat Politècnica de València colabora con el ayuntamiento, en el marco del proyecto europeo GrowGreen y es la encargada de realizar un estudio básico del distrito. Aquí se enmarca la caracterización edáfica de algunas zonas del parque relacionadas con diferentes elementos de infraestructura verde.

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización

El área de estudio, indicada en la figura 3.1, corresponde al distrito número 16 de la ciudad de Valencia, compuesto por los barrios de Benicalap y Ciutat Fallera, ubicados al noreste de la ciudad de Valencia. El estudio se centra concretamente en Benicalap, donde se sitúa el Parque de Benicalap, considerado uno de los mayores parques de dicha ciudad, con una superficie total de 80000 m². Se trata de uno de los parques más visitados y utilizados de la ciudad de Valencia, lo que obliga a un continuo mantenimiento.



Figura 3.2. Detalle de uno de los rincones del Parque de Benicalap (Valencia).

La vegetación con mayor abundancia del parque, es el arbolado mediterráneo, con grandes ejemplares de *Olea europea* L., *Pinus* spp., *Populus* spp., *Cupressus sempervirens* L., *Quercus ilex* L., *Laurus nobilis*, *Chamaerops humilis* L., *Arbutus unedo* L. (1753), entre muchas otras. Aunque, también se aprecian ejemplares de palmeras canarias (*Phoenix canariensis* HORT. EX CHABAUD) o yuccas.

3.1.2. Zonas de estudio seleccionadas

En el interior del parque se han seleccionado tres ubicaciones diferentes para realizar el estudio. En el criterio de elección ha primado el que hubiera diferentes coberturas vegetales, coincidiendo con diferentes zonas del parque (paseo, zonas de estar, ...), con la idea de poder mostrar las posibles diferencias en el comportamiento de algunos parámetros del suelo entre cada una de ellas expuestas a las mismas condiciones. En las diferentes zonas se instalaron diferentes sensores para monitorizar el comportamiento térmico y de humedad del suelo (figura 3.3). Las zonas seleccionadas son las siguientes:

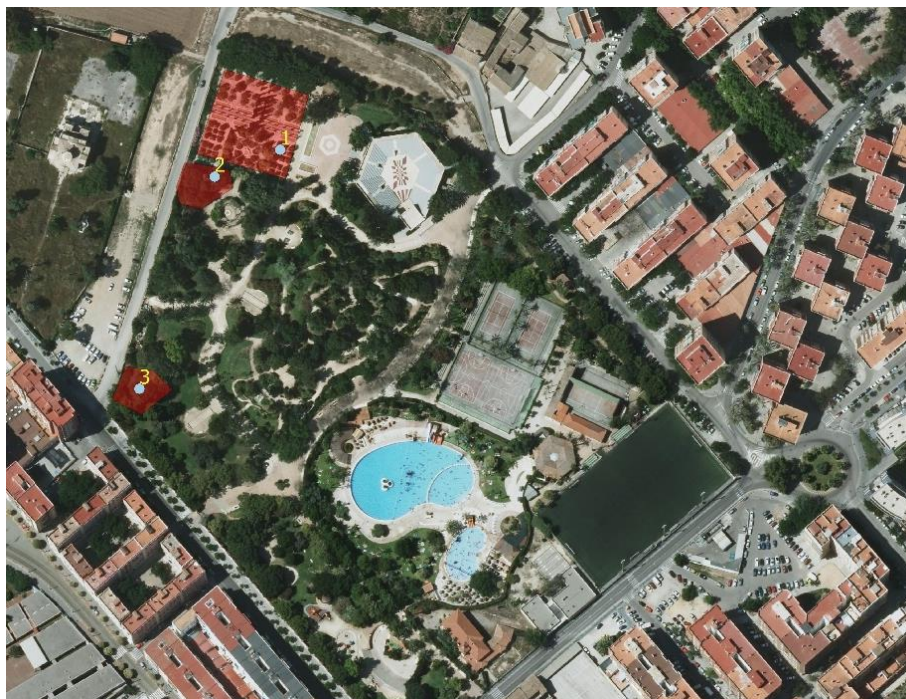


Figura 3.3. Plano de situación del parque de Benicalap, detallando la ubicación de las zonas donde se instalan los sensores de medición de temperatura y humedad del suelo.

Zona 1. Área con trazado reticular de inspiración hispano-árabe

El elemento central de la zona es una fuente de la que parten canales hacia el arbolado que se encuentra alrededor de la fuente, estando formado en su mayoría por cítricos (*Citrus aurantium* L., sobretudo) y pitósporos (*Pittosporum tobira* W.T AITON) formando pequeños parterres. En esta zona se instala una estación de medida de la temperatura y humedad del suelo, debajo de una cubierta inerte de restos de poda y en el entorno de la cubierta vegetal proporcionada por un ejemplar de *Citrus aurantium* L.

Zona 2. Bosquete

Esta zona presenta la mayor cobertura vegetal de las tres seleccionadas (figura 3.4), se trata de una zona de bosquete de encinas que proporciona durante el día una amplia sombra, lo que puede tener incidencia sobre la temperatura, la humedad y el material vegetal en el suelo. El suelo se encuentra cubierto de césped y en el entorno existen diferentes especies arbustivas de porte medio. En este caso, los sensores se encuentran enterrados justo en la zona donde la cubierta vegetal es elevada, suministrada por un ejemplar adulto de *Quercus ilex* L. de gran tamaño.



Figura 3.4. Detalle de la zona 2, indicando los puntos donde se realizan las medidas de respiración y donde se instala el sensor de medida de temperatura y humedad del suelo.

Zona 3. Área de pinar

Esta zona está constituida por diferentes ejemplares de *Pinus halepensis* MILL. (figura 3.5), separados varios metros entre ellos, y proporcionando una cubierta vegetal media donde la radiación solar incide desde primera hora de la mañana y al atardecer. El suelo se encuentra cubierto con césped. En el entorno destaca también un pequeño jardín con arbustos de porte medio proporcionando una cobertura media, siendo esta zona donde se instala el sensor de temperatura y humedad del suelo.

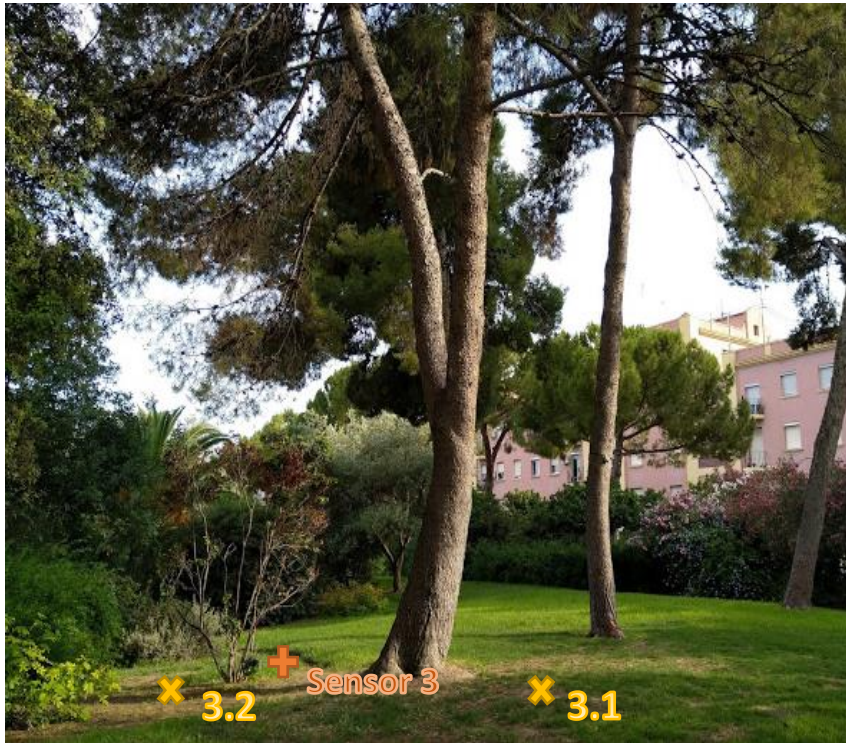


Figura 3.5. Detalle de la zona 3 y ubicación de los puntos donde se realizan las medidas de respiración y donde se instala el sensor de medida de temperatura y humedad del suelo.

3.2. INSTALACIÓN DE SENSORES Y MEDIDAS REALIZADAS

El 18 de abril del 2018 se seleccionan tres puntos representativos en cada una de las zonas (Z1, Z2, Z3), donde se instala una estación de medición de temperatura y humedad del suelo. Cada una dispone de un datalogger (EM50, Decagon Devices, Pullman, Washington, EEUU) programado para registrar datos a escala horaria, disponiendo de 5 canales de conexión y de 1 Mb de memoria. Dicho datalogger, incorporado a una caja de intemperie de pequeño tamaño (figura 3.6), funciona con pilas alcalinas o de litio (figura 3.7).



Figura 3.6. Caja del datalogger EM50 junto con un sensor de temperatura, humedad y CE del suelo.



Figura 3.7. Caja del datalogger EM50 abierta, donde se visualizan las pilas y los diferentes puertos.

En el caso de la zona 2 y 3, anteriormente descritas, se instalan dos sondas de temperatura del suelo (RT-1, Decagon Devices, Pullman, WA, EEUU) y dos sondas de humedad del suelo (10 HS, Decagon Devices, Pullman, WA, EEUU) colocadas a 5 y a 15 cm de profundidad respecto la superficie del terreno (figuras 3.8 y 3.9).



Figura 3.9. Sonda 10HS de Decagon Devices para medida de humedad del suelo.



Figura 3.8. Sonda RT-1 de Decagon Devices para medida de la temperatura del suelo.

La elección de la profundidad se basa en que la mayor actividad microbiana del suelo se produce en el horizonte más superficial, donde la respiración y la cantidad de materia orgánica es más alta, mientras que en el horizonte más profundo estos valores son menores (figura 3.10). El sensor de temperatura del suelo es robusto, de acero inoxidable, resistente al agua y diseñado para un uso en continuo permitiendo medir la temperatura del suelo o de medios porosos con precisión. La sonda de humedad detecta y mide la variación del agua en el suelo, presentando un gran volumen de medida.



Figura 3.10. Sondas de temperatura y humedad enterradas a las dos profundidades.

En la zona 1, se utilizan dos puertos del datalogger en el que se conectan dos sondas triples de temperatura, humedad y conductividad eléctrica del suelo (*sondas 5TE* Decagon Devices, Pullman, WA, EEUU) (figura 3.11), colocadas a la misma profundidad que las anteriormente mencionadas (5 cm y 15 cm).



Figura 3.11. Sonda 5TE de Decagon Devices, para registro de temperatura, humedad y conductividad eléctrica del suelo.

El periodo de datos empleado en este TFG es el comprendido entre el 18 de abril del 2018 y el 5 de junio del 2018, para el caso de las zonas 2 y 3, y del 24 de abril al 5 de

junio del 2018 para la zona 1. Durante el tiempo transcurrido en estos meses de estudio, también se han realizado diversas mediciones puntuales in situ de la respiración del suelo, con una periodicidad semanal, y en diferentes puntos correspondientes a cada una de las zonas descritas anteriormente (figura 3.12).



Figura 3.12. Distribución de los puntos donde se han tomado medidas de respiración.

Como se puede observar en la figura 3.12, en la zona 1 se ubican tres puntos de medida. El primero (1.1) en uno de los alcorques situado en una pérgola de pilares de ladrillo con la escasa cubierta vegetal que proporciona el ejemplar *Trachelospermum jasminoides* (LINDL.) LEM, presente en el pilar (figura 3.13).



Figura 3.13. Punto 1.1 donde se toman datos de la respiración.

El segundo punto (1.2) situado en otro alcorque, en este caso de un naranjo (*Citrus aurantium* L.) próximo a la fuente de agua (figura 3.14). Se encuentra rodeado de cipreses y más naranjos, proporcionando una red de olores y desarrollo vegetativo extraordinario.



Figura 3.14. Punto 1.2, donde se toma medida de la respiración.

El último de la zona (punto 1.3) se sitúa en otro naranjo, concretamente dentro del seto, localizado en la otra parte de la fuente (figura 3.15).



Figura 3.15. Ubicación del punto 1.3 donde se mide la respiración y donde se encuentra uno de los puntos de medida de la temperatura y la humedad del suelo.

En el caso de la zona 2, solamente se ubican dos puntos, como indica la figura 3.12 anteriormente mostrada; uno se sitúa bajo la cubierta de la encina (punto 2.1), donde la infiltración de los rayos del sol es mínima, y el otro (punto 2.2) está en el jardín situado junto a la encina, como se aprecia en la figura 3.4 mostrada anteriormente, donde la radiación solar es más elevada y perdura más tiempo. Por último, en la zona 3 se ubican otros dos puntos, uno situado al lado de uno de los individuos de *P. hapelensis* (punto 3.1) y otro en el jardín soleado localizado detrás del pinar (punto 3.2), como se muestra en la figura 3.5.

Todas las mediciones se realizan con una sonda de medida de la humedad del suelo y con un medidor de CO₂ (figura 3.16). El sensor que proporciona los valores de humedad, conductividad eléctrica y temperatura del suelo es un sensor SM150T de Delta-T Devices con cabezal registrados HH2 que muestra las lecturas en la pantalla LCD y la almacena en la memoria. Para la medida de la respiración del suelo se utiliza equipo portátil

EGM-4 de PPsystems, que proporciona la tasa de respiración y la concentración de CO₂. Es extremadamente fácil de instalar y con un innovador “Auto-Zero” que asegura la estabilidad a largo plazo, la precisión y la calibración.



Figura 3.16. Medidor HH2 junto con EGM-4 utilizados en la respiración del suelo.

3.3. MUESTREO DE SUELO Y DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Se tomaron muestras del suelo a diferentes profundidades (0–12 cm y 12–24 cm) de cada una de las zonas seleccionadas, con la finalidad de su caracterización edáfica. Se utilizó una sonda cilíndrica tipo Kopecki, que permite conocer el volumen de suelo muestreado y obtener así su densidad aparente. Las muestras se trasladaron al laboratorio de Edafología (situado en edificio 3I de la Universidad Politécnica de Valencia) donde se realizan los diferentes análisis de cada una de ellas.

Las muestras se pesan en balanza digital con precisión centesimal y se pasan a una bandeja de plástico donde se dejan secar a temperatura ambiente. Tras unos días de secado, las muestras se vuelven a pesar para obtener el peso de suelo seco al aire y se tamizan a través de un tamiz de 2 mm de diámetro (figura 3.17), lo que permite separar la fracción gruesa de la tierra fina. Una fracción del suelo se tamiza con tamiz de 500 µm (figura 3.18).



Figura 3.18. Material utilizado para el tamizado. Tamiz 2 mm, recipiente de porcelana y rodillo de madera.



Figura 3.17. Tamizado por 500 µm.

3.3.1. pH y conductividad eléctrica

A partir del suelo tamizado por 2 mm, se procede a obtener el pH y la conductividad eléctrica. El pH se mide con micro-pHmetro 2001 Crison® (figura 3.20) en extracto acuoso 1:2,5 (suelo:agua) y la conductividad se mide con conductímetro GLP 31 Crison® (figura 3.19) en extracto acuoso 1:5 (suelo:agua).



Figura 3.20. Micro-pHmetro 2001 Crison®.



Figura 3.19. Conductímetro GLP 31 Crison®.

3.3.2. Textura

Para la determinación de la textura se utiliza el método del hidrómetro de Bouyoucos, basado en la ley de Stokes. Se pesan 40 g de suelo tamizado por 2 mm, y se añaden 100 mL de solución dispersante a base de hexametáfosfato sódico y carbonato sódico. La disolución se bate con batidora mecánica durante 10 min, y se transfiere a una probeta de

1 L pasándola previamente por tamiz de 50 μm para separar la fracción arena. La muestra se enrasa con agua. Seguidamente, se homogeniza la suspensión con émbolo agitador y se empiezan a realizar mediciones de densidad a los 30 segundos, 1 min, 3 min, 10 min, 30 min, 90 min y más de 8h de haber agitado la suspensión. También se realizan medidas de temperatura. A partir de las lecturas del densímetro se obtienen en hoja Excel los porcentajes de arena, limo y arcilla, y a partir de éstos se calcula la clase textural mediante el triángulo de texturas de la clasificación USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

3.3.3. Carbonatos

Se determina mediante el calcímetro de Bernard, expresando el resultado en porcentaje en peso de caliza en el suelo, utilizando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Caliza} = 100 \cdot \frac{L}{L'} \cdot \frac{P'}{P} \quad (1)$$

donde L corresponde a la lectura observada en el calcímetro para la muestra, L' a la lectura observada en el calcímetro para el CO_3Ca , P el peso seco en g de la muestra de suelo y P' peso en g de CO_3Ca , que es 0,2 g según el método.

3.3.4. Materia orgánica

Se utiliza el método de oxidación de Walkley-Black (1934), para calcular el porcentaje de carbono orgánico oxidable mediante la expresión:

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{(V_b - V_m) \cdot 0,5 \cdot f \cdot 0,003 \cdot 100 \cdot 1,3}{P} \quad (2)$$

$$\% \text{ Materia orgánica} = 2 \cdot \% \text{ Carbono orgánico} \quad (3)$$

donde V_m y V_b son los mL de FeSO_4 y $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, respectivamente, gastados en la valoración de las muestras y de los blancos; f es el factor de molalidad y P es el peso en g de la muestra.

3.3.5. Factor de humedad

El factor de humedad, necesario para expresar todos los resultados sobre suelo seco a 105°C, se determina colocando una submuestra de suelo seco al aire en estufa a 105°C durante un día, tras lo cual, se aplica la siguiente expresión:

$$f = \frac{P_{ss105}}{P_{ssaire}} \quad (4)$$

donde P_{ss105} es el peso del suelo seco a 105°C y P_{ssaire} es el peso del suelo seco al aire.

3.3.6. Nitrógeno amoniacal y nítrico

Para poder utilizar el modelo de carbono, es necesario disponer del contenido de nitrógeno amoniacal y nítrico en cada uno de los suelos utilizados en la simulación. El análisis del nitrógeno mineral, tanto en su forma nítrica ($N-NO_3^-$) como amónica ($N-NH_4^+$) se determina mediante el análisis de inyección de flujo (FIA), con el equipo FIAstar 5000 Analyzer (modelo Foss Tecator), software SoFIA y un intervalo de absorbancia entre 0-2,5 AU (figuras 3.21 y 3.22).

En primer lugar, se mide el contenido de nitrato, con un tamaño de muestra de 40 μ L. En dicha reacción el nitrato pasa por una columna de cadmio (Cd) donde se reduce a nitrito y se mide la cantidad presente en cada una las muestras.



Figura 3.21. Equipo analizador FIAstar 5000 (modelo Foss Tecator), para la determinación de nitrato.

En segundo lugar, se mide la absorbancia debida al contenido de amonio. Dicho proceso químico consta de la siguiente reacción: $NH_4^+ + NaOH \rightarrow NH_3$, donde el NH_3 gaseoso formado en la parte baja de la membrana porosa que presenta el equipo se

difunde a través de la misma hacia la corriente del indicador, en la parte superior. El pH de éste varía en función de la concentración de NH_3 mostrando un cambio de color que hace variar la absorbancia.



Figura 3.22. Equipo analizador FIAstar 5000 (modelo Foss Tecator), para la determinación de amonio.

3.4. ESTIMACIÓN DEL CARBONO EN EL SUELO A CORTO PLAZO

Se utiliza el modelo LEACHM (*Leaching Estimation and Chemistry Model*) (Wagenet y Hutson, 1989) capaz de simular el movimiento de agua y sales en el suelo y el transporte de solutos en suelos no saturados o parcialmente saturados. El módulo LEACHN de dicho modelo simula los diferentes procesos relacionados con el nitrógeno y carbono en el suelo. Por ello, el modelo es usado para simular el flujo de CO_2 emitido por el suelo en el período comprendido entre el 13 de abril 2018 y el 21 de junio del 2018, coincidiendo con el periodo en el que se toman medidas de la respiración del suelo. Para ello, se aprovechan los datos obtenidos del análisis del suelo de cada una de las muestras recogidas (textura, densidad aparente, Corg, humedad y contenido de N mineral en el día de comienzo de la simulación, así como los datos meteorológicos proporcionados por el SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío). El modelo utiliza la ecuación de Richard, que se trata de una combinación de la ecuación de continuidad y la ley de Darcy, para el cálculo del flujo de agua en el suelo:

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta z} \left[K(\theta) \frac{\delta H}{\delta z} \right] - U(z, t) \quad (5)$$

siendo θ el contenido volumétrico de agua ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), H el potencial hidráulico (mm), K la conductividad hidráulica ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), t el tiempo (días), z la profundidad (mm) y U que representa las pérdidas por transpiración de agua por unidad de tiempo (término sumidero), (días^{-1}).

Para poder resolver la ecuación se deben conocer las características hidráulicas del suelo, donde dichos parámetros ($K-\theta-h$) se encuentran directamente relacionados. Con la finalidad de conocer dicha relación, emplea la fórmula de Cambell (1974), aplicando las ecuaciones de retentividad y conductividad:

$$h = a \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-b}; \quad K = K_s \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{2b+2+p} \quad (6)$$

Dicha ecuación se define por dos parámetros de ajuste principales, a y b. Además, representa la humedad volumétrica saturada mediante la simbología θ_s , la conductividad hidráulica saturada K_s ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) y el parámetro de interacción del tamaño de poros p , adquiriendo el valor de 1. La caracterización hidráulica del suelo se realiza utilizando el modelo SPAW del USDA, el cual utiliza funciones de edafotransferencia para obtener la curva característica de humedad. Con el software auxiliar de LEACHM denominado RETFIT y partiendo de valores de humedad del suelo a diferentes valores de potencial matricial se obtienen los parámetros a y b necesarios para el uso de LEACHN. Los principales procesos de transformación del carbono y nitrógeno contemplados en el modelo son: mineralización, nitrificación, desnitrificación, volatilización y respiración. Respecto al carbono, el modelo contempla tres compartimentos: humus, biomasa microbiana y residuos añadidos. Las transformaciones son cinéticas de primer orden y requieren para su resolución de las tasas de mineralización. El modelo contempla además dos coeficientes que regulan la descomposición, el factor de eficiencia (f_e) y el factor de humificación (f_h), expresados como:

$$f_e = \frac{C_{humus} + C_{biomasa}}{C_{humus} + C_{biomasa} + CO_2} \quad f_h = \frac{C_{humus}}{C_{humus} + C_{biomasa}} \quad (7)$$

Dado el corto período de medidas realizadas, en estas simulaciones se han utilizado los valores de los coeficientes y constantes de mineralización obtenidos para zonas de la huerta de Valencia por Sánchez de Oleo (2016).

Partiendo de un fichero de datos ya construido y con el apoyo del editor de textos "Notepad+ +" se modifican los datos necesarios de suelo y clima para realizar la simulación deseada. Este fichero debe estar en formato ASCII. Una vez modificado y guardado con un nombre diferente, se ejecuta el modelo LEACHN generando un fichero con extensión .OUT que recoge el resultado de la simulación. Este fichero se exporta a la hoja de cálculo Excel (.xlsx), para realizar las diferentes representaciones gráficas y poder comprobar la relación existente entre los resultados simulados por LEACHN y medidos en el parque.

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO

Físicamente, el suelo es un medio poroso que se encuentra constituido por aire, agua, elementos minerales y materia orgánica (figura 4.1). Las características físicas del suelo han de ser tales que permitan una buena circulación del agua, del aire y el regular desarrollo de las raíces, para un adecuado crecimiento de las plantas. La humedad óptima que debe de presentar el suelo se corresponde con un volumen de aire y de agua aproximadamente igual, ocupando ambos los poros presentes en el suelo.

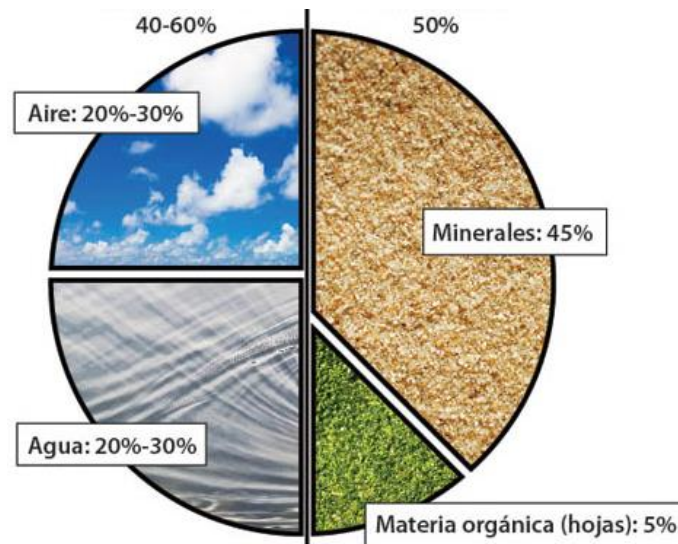


Figura 4.1. Composición volumétrica porcentual de los componentes principales del suelo.

De acuerdo con Bartolini (1989) “*el agua regula la evapotranspiración, influye en la temperatura del aire y del suelo mediante el proceso de evaporación y es la solución del suelo de donde las plantas toman los elementos nutritivos que necesitan*”.

4.1.1. Textura

La textura de un suelo se refiere a las proporciones de arena, limo y arcilla de las partículas inorgánicas que contiene. La fracción arcillosa, constituida en gran parte por silicatos de aluminio hidratados, frecuentemente coloreados en pardo o rojo por la presencia en el suelo de óxidos de hierro libres, juega un papel fundamental en la absorción de los elementos minerales nutritivos del suelo, así como su capacidad de retención.

Para la clasificación de las muestras de suelo analizadas, se utiliza la clasificación correspondiente al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) cuyos tamaños para la arena, limo y arcilla se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Tamaño de las partículas y características de las fracciones de arena, limo y arcilla en la clasificación USDA. Fuente: Prácticas de Edafología (Llorca, 1991).

Fracción	Diámetro (mm)	Características de la fracción
Arena	2,0 – 0,05	Áspera al tacto. Ni plástica ni pegajosa al humedecerse.
Limo	0,05 – 0,002	Suave al tacto. Ni plástica ni pegajosa al humedecerse.
Arcilla	< 0,002	Suave al tacto. Plástica y pegajosa cuando se humedece.

Tras el análisis de las muestras se obtienen los siguientes porcentajes de arena, limo y arcillas correspondiente a ambas profundidades. En la tabla 3 se puede observar dichos valores.

Tabla 3. Clasificación de la clase textural (USDA) de las muestras analizadas.

Muestra	Prof (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural (USDA)
1.1	0-12	84,4	15,6	0,0	Areno Franca
1.1	12-24	83,3	13,5	3,2	Areno Franca
1.2	0-12	62,6	28,4	9,0	Franca arenosa
1.2	12-24	56,3	31,6	12,0	Franco arenosa
1.3	0-12	49,2	30,1	20,6	Franca
1.3	12-24	43,9	34,6	21,5	Franca
2.1	0-12	42,6	35,9	21,5	Franca
2.1	12-24	49,9	31,5	18,6	Franca
3.1	0-12	49,0	33,2	17,8	Franca
3.1	12-24	50,8	33,7	15,5	Franca

Observando los resultados, el tipo de suelo predominante es el de textura franca, característico por presentar una estructura granular, tener una consistencia blanda y sensación ni suave ni áspera que se vuelve arenosa a mediante la fricción. Se trata de una textura óptima para el crecimiento de las plantas. En dos de las muestras de la zona 1, aumenta el porcentaje de arena, especialmente en la zona de la pérgola, la cual presenta una textura areno franca, como muestra su mayor aspereza y con una tonalidad más oscura, diferenciándose claramente de las otras muestras. En ningún caso hay grandes diferencias entre las dos profundidades consideradas.

4.1.2. Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre la masa de suelo seco y el volumen que éste ocupa. Mediante el método gravimétrico y medida del volumen ocupado por la muestra se obtuvo la densidad aparente. Los diferentes resultados para las diversas profundidades se muestran en la figura 4.2. Los valores oscilan entre 0,9 – 1,3 g cm⁻³, que son valores que no indican ningún problema de compactación y que son óptimos para el buen desarrollo de las plantas.

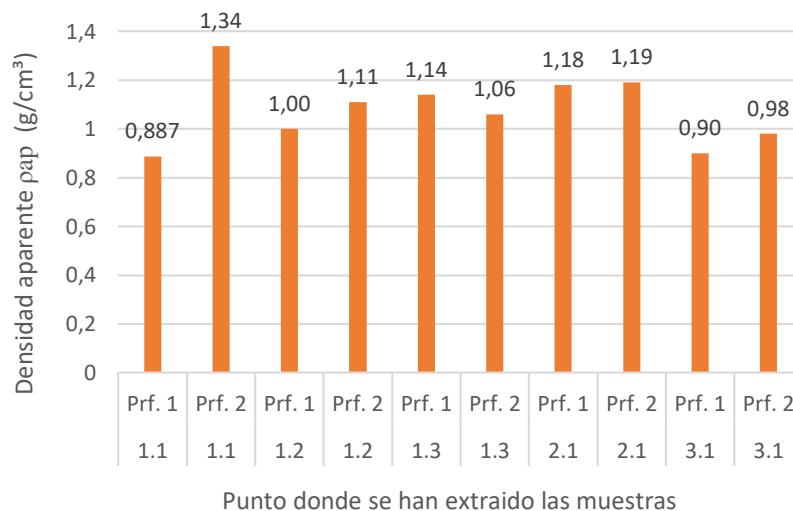


Figura 4.2. Densidad aparente en las diferentes profundidades de los puntos muestreados.

4.1.3. Curva característica de humedad

Representa la relación existente entre el potencial matricial del agua en el suelo (Ψ_m) y la humedad volumétrica del suelo (θ_v). En la tabla 4, se muestran las características hidráulicas en cada uno de los suelos representadas por los coeficientes de Cambell (a y b) junto con la conductividad hidráulica saturada que representa a la permeabilidad del suelo, dependiendo de la porosidad del suelo, la distribución, el tamaño y la geometría del poro.

Tabla 4. Parámetros hidráulicos de cada una de las muestras de suelo.

Muestra	Prof (cm)	Coef. a (kPa)	Coef. b	K _{HSAT} (mm/d)
1.1	0-12	-2,570	3,620	2433
1.1	12-24	-4,890	1,940	3426
1.2	0-12	-4,890	2,690	1957
1.2	12-24	-4,890	3,058	1439
1.3	0-12	-4,890	4,195	702
1.3	12-24	-4,770	4,350	627
2.1	0-12	-4,890	4,435	622
2.1	12-24	-4,890	3,980	819
3.1	0-12	-4,890	3,863	870
3.1	12-24	-4,890	3,540	1023

El coeficiente a de la ecuación de Campbell, que representa el potencial de entrada de aire en los poros del suelo, presenta un valor similar en todos los suelos, excepto en el del horizonte más superficial de la pégola, que presentaba una densidad aparente también menor que la de los demás suelos. El coeficiente b, sin sentido físico, oscila entre 1,9 – 4,4. Por su parte la conductividad hidráulica saturada es muy elevada en los suelos de textura más arenosa, y disminuye conforme aumenta el porcentaje de arcilla.

4.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO

4.2.1. pH

El pH es la cantidad de iones H⁺ libres en la solución del suelo. Su rango se encuentra comprendido entre los valores 0 – 14, siendo suelos ácidos aquellos cuyo pH es inferior a 6,5, suelos neutros cuando el pH está comprendido entre 6,6 – 7,5, y suelos básicos cuando el pH es superior a 7,5.

Mediante electrometría, como se ha indicado en el apartado 3.3.1. se obtiene el pH de las muestras, que dan un valor promedio de 7,96 (básico), y con rango que oscila entre 7,8 – 8,1 en la capa 0.12 cm, y entre 7,7 – 8,1 en la capa de 12-24 cm. Las pequeñas modificaciones del pH del suelo como consecuencia del aporte de residuos orgánicos pueden ser debidas a dos procesos principalmente: liberación del CO₂ como consecuencia de la descomposición del carbono orgánico del residuo, que tiende a acidificar el suelo y la liberación de cationes básicos procedentes del residuo que dan lugar a la alcalización del suelo.

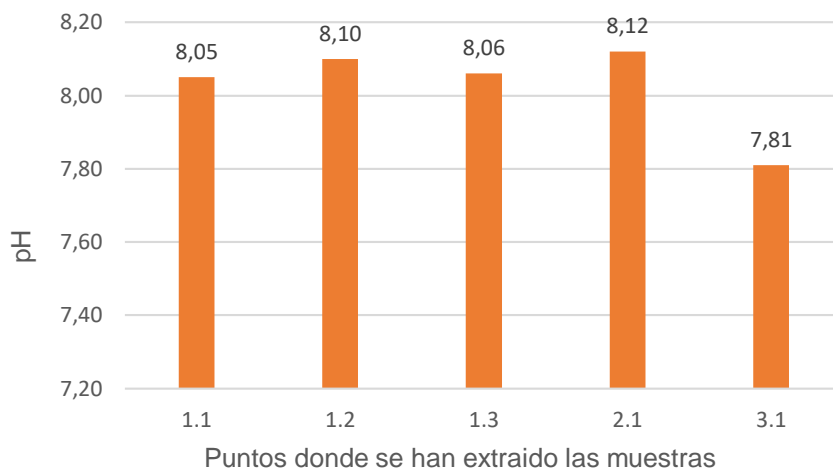


Figura 4.3. Valores de pH en la primera profundidad del suelo.

Centrándonos en los resultados de las muestras extraídas de la capa de 0 a 12 cm de profundidad (figura 4.3), se observa que el pH varía muy poco entre las dos primeras zonas, a diferencia de la tercera zona donde el pH es menor, probablemente debido a una disminución de actividad microbiana y menor descomposición en esa zona. Aun así, todos los suelos son básicos.

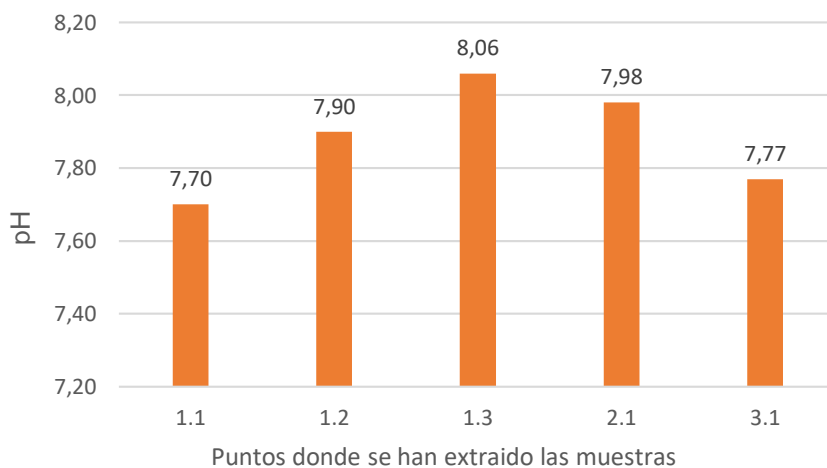


Figura 4.4. Valores de pH en la segunda profundidad del suelo.

En la segunda profundidad (figura 4.4) se encuentran mayores diferencias entre ellas, destacando la zona 1, con valores que oscilan entre 7,70 y 8,06, correspondiendo el mayor valor al punto 3. Ello podría ser debido al aumento de superficie del parterre en esta zona, además de presentar una actividad de microorganismos mayor y mayor efecto de las raíces del naranjo.

4.2.2. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo es el resultado de la transformación de los tejidos vegetales y animales por la acción de los microorganismos presentes en el suelo, a lo largo de un periodo de tiempo. Es esencial la presencia de la materia orgánica en el suelo, ya que favorece la protección frente a la erosión, aporta nutrientes e intercambio catiónico asegurando una nutrición buena de la planta, mejora la retención de agua y permite el desarrollo de una buena estructura del suelo facilitando la correcta distribución de las raíces y su crecimiento. El porcentaje de carbono orgánico oxidable se ha obtenido por oxidación en medio ácido (método de Walkey-Black). El contenido de materia orgánica se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Contenido de carbono orgánico y materia orgánica en cada una de las muestras.

Muestra	Prof (cm)	C orgánico (%)	M.O. (%)
1.1	0-12	4,24	8,50
1.1	12-24	4,87	9,74
1.2	0-12	3,07	6,15
1.2	12-24	3,04	6,08
1.3	0-12	4,61	9,22
1.3	12-24	3,43	6,86
2.1	0-12	4,62	9,25
2.1	12-24	1,67	3,34
3.1	0-12	6,98	14,00
3.1	12-24	5,45	10,91

El contenido de materia orgánica es elevado comparado con los niveles de materia orgánica de suelos próximos y textura similar pero cuyo uso es agrícola. No hay grandes diferencias en los niveles de MO a las dos profundidades consideradas, y el rango de valores observados es de 3,34 – 14,0%. Los valores más altos corresponden con la zona de los pinos. El suelo de la zona de la pérgola, pese a ser un suelo muy arenoso, contiene un elevado porcentaje de materia orgánica ($\approx 9\%$), indicando que éstos alcorques se debieron rellenar con algún sustrato a base de arena y turba cuando se trasplantaron las enredaderas actuales.

4.2.3. Conductividad eléctrica

Mediante el método de electrometría, se obtiene el valor de CE en el extracto 1:5 de cada una de las muestras lo que permite determinar la salinidad presente en el suelo.

Se considera que el suelo es salino cuando presenta un exceso de sales solubles que impide el correcto desarrollo de la vegetación. Es posible evaluar la salinidad de las muestras obtenidas comparándolas con la clasificación del suelo mostrada en la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de salinidad del suelo según su el valor de CE en el extracto de saturación y en el extracto 1:5, (Fuente: Cros, 1893).

CE_{es} (dS / m a 25 °C)	CE_{1:5} (dS / m a 25 °C)	Clasificación
< 2	< 0.35	No salino
2 - 4	0.35 – 0.65	Ligeramente salino
4 - 8	0.65 – 1.15	Salino
8 - 16	> 1.15	Muy salino
> 16	> 16	Excesivamente salino

Los resultados obtenidos en las muestras de Benicalap se muestran en la tabla 7. Como se puede observar, el suelo más salino es el de la capa más superficial de la zona 3, con un valor de 1,49 dS/m que indica que el crecimiento de la vegetación se puede ver afectado por estos niveles de sales. Le sigue la zona 2 y finalmente, la menos afectada es la zona 1, donde los valores son bajos y no condicionarían el desarrollo de la vegetación allí presente.

Tabla 7. Valores de CE (dS/m) en el extracto 1:5, temperatura de la medida y el factor de corrección utilizado para expresar los valores de CE a 25°C.

Muestra	Prof (cm)	CE (dS/m)	Tª (°C)	f_{CE}
1.1	0-12	0,265	21,75	1,069
1.1	12-24	0,347	23,70	1,027
1.2	0-12	0,217	21,80	1,069
1.2	12-24	0,286	23,80	1,025
1.3	0-12	0,400	23,75	1,026
1.3	12-24	0,386	23,80	1,025
2.1	0-12	0,559	22,25	1,059
2.1	12-24	0,752	23,80	1,025
3.1	0-12	1,493	22,70	1,049
3.1	12-24	0,656	23,75	1,027

4.2.4. Carbonatos

En la tabla 8 se recogen los valores obtenidos en el calcímetro de Bernard así como los contenidos de carbonatos de cada una de las muestras analizadas, y en la figura 4.5 se muestran gráficamente los porcentajes de carbonatos de cada muestra.

Tabla 8. Valores obtenidos en el calcímetro de Bernard y porcentaje de carbonatos presente en las muestras analizadas.

Muestra	Prof (cm)	L _o	L _L	Carbonato (%)
1.1	0-12	3,0	28,2	20,3
1.1	12-24	1,7	19,0	13,6
1.2	0-12	0,3	53,3	38,3
1.2	12-24	2,2	47,4	34,0
1.3	0-12	2,1	45,3	32,5
1.3	12-24	2,9	46,7	33,4
2.1	0-12	3,4	39,1	28,0
2.1	12-24	3,7	42,3	30,2
3.1	0-12	2,6	38,2	27,5
3.1	12-24	1,8	37,1	26,6

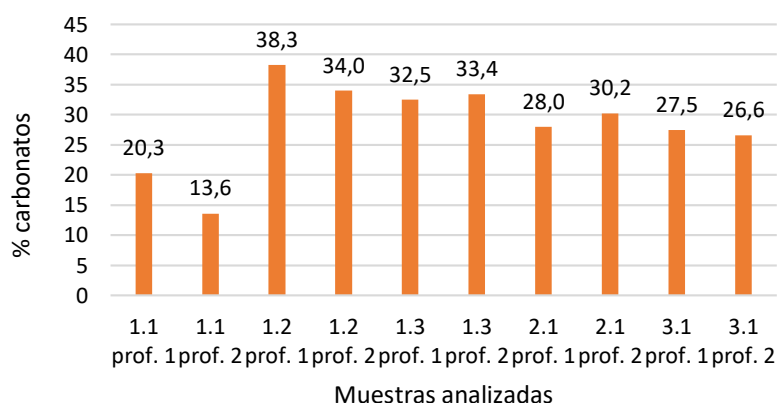


Figura 4.5. Porcentaje de carbonatos en las muestras analizadas.

Las dos zonas con naranjos (1.2 y 1.3) son las que presentan valores más altos con un promedio de 36 y 33% de carbonatos en el perfil, valores que pueden considerarse como normales en los suelos de la zona de Valencia. En la zona 2 y 3 apenas hay diferencia en los contenidos de carbonatos de las dos profundidades, y los valores oscilan entre 27-30%. La zona 1.1 vuelve a diferenciarse claramente del resto, con valores bajos de carbonatos, que tienden a disminuir con la profundidad; en este caso los valores oscilan entre 14-20%, correspondiendo los valores más altos a la capa superior.

4.3. TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO

Durante los meses de abril, mayo y primero de junio de 2018 se registraron datos horarios de temperatura y humedad del suelo en las tres zonas descritas anteriormente del parque de Benicalap. A partir de estos registros horarios, se obtienen los datos diarios que

permiten realizar una comparación entre las zonas monitorizadas y poder identificar las posibles diferencias entre ellas.

4.3.1. Temperatura media diaria del suelo

En la figura 4.6 se muestra la evolución diaria de la temperatura media del suelo a 5 y 15 cm en las tres zonas del parque consideradas. Se observa como los valores más altos corresponden, en ambas profundidades, a la zona del naranjo, donde la cubierta vegetal es más escasa y la radiación solar incide durante gran parte del día. En el conjunto del período de medida, esta zona promedia 21,9°C a 5 cm y 20,6°C a 15 cm de profundidad. En las zonas 2 y 3 los valores de temperatura media en el suelo son menores que en la zona de naranjo, poniendo de manifiesto la importancia de la cubierta vegetal sobre este parámetro del suelo. La media del período en la zona de pinar fue de 11,0°C a 5 cm de profundidad, mientras que a 15 cm la temperatura promedió 19,5°C. En la zona de encina la temperatura promedió 10,7°C a 5cm y 11,8°C a 15 cm. Cabe destacar la importante diferencia de temperatura en la capa más superficial entre estas zonas y la del naranjo, que podría ser debido, además de a la diferencia de cobertura arbórea, a la presencia de la cubierta cespitosa existente en las zonas de encinar y pinar, que además es regado por aspersion con cierta frecuencia. A mayor profundidad las diferencias se atenúan, si bien la zona de encinar sigue promediando valores más bajos que los de las otras dos zonas. Los sensores S1 y S3 presentan comportamientos similares, aunque la mayoría de los días las temperaturas registradas en el naranjo son ligeramente superiores a las registradas en el pinar. Dado el corto período de tiempo de monitorización contemplado en el presente TFG, y que el mes de mayo de 2018 se ha comportado como atípico, con temperaturas más bajas de lo habitual, no se pueden sacar conclusiones sobre las diferencias encontradas, y será necesario seguir registrando estos valores para ver su evolución en los meses de mayor calor.

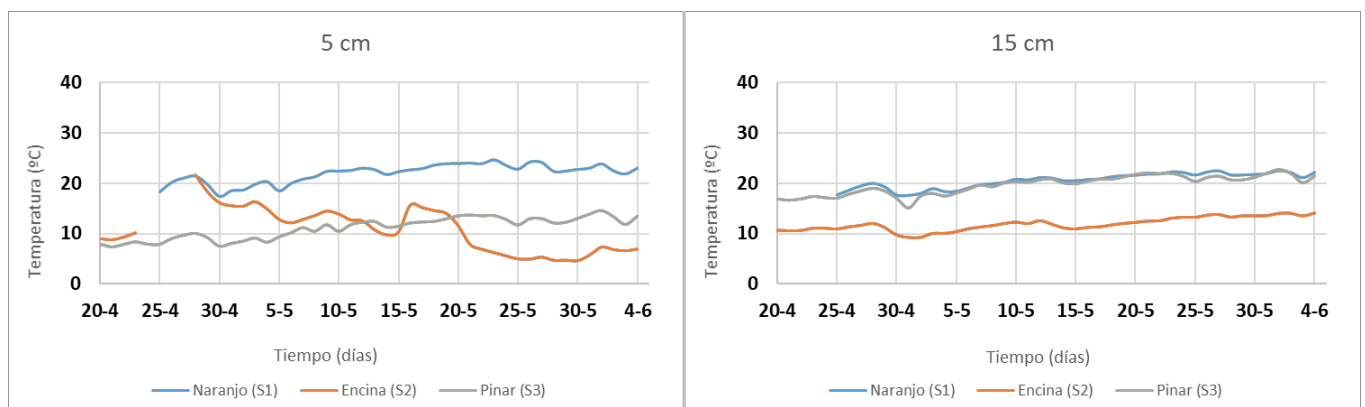


Figura 4.6. Evolución diaria de la temperatura media del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.

Un aspecto de interés es comprobar la relación existente entre la temperatura del aire y la del suelo en las diferentes zonas seleccionadas. Para ello se ha tomado la información existente de temperatura del aire en esta misma zona (Carcaño, 2018) y se ha representado junto a la temperatura del suelo a las dos profundidades. En la figura 4.7 se muestra la evolución de las temperaturas medias diarias del aire y suelo en la zona del parterre (naranja). Se puede observar como a lo largo del período de 36 días transcurrido desde finales de abril hasta primero de junio, la temperatura del suelo es mayor que la del aire. De acuerdo con la recta de regresión lineal obtenida con ambas temperaturas (figura 4.8), la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad es unos 2,2°C mayor que la del aire y el coeficiente de determinación es de 0,64, mientras que a 15 cm la pendiente es menor que 1 y el punto de corte con el eje es de 5,0, con un R^2 mayor (0,70).

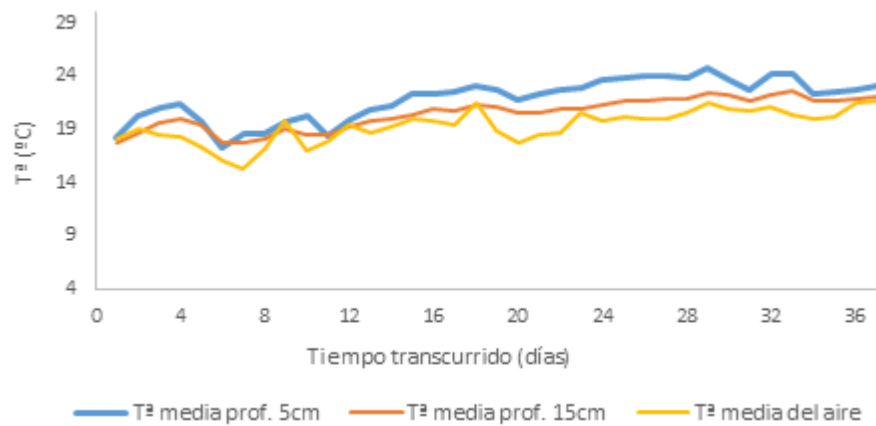


Figura 4.7. Evolución diaria de la temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de parterre.

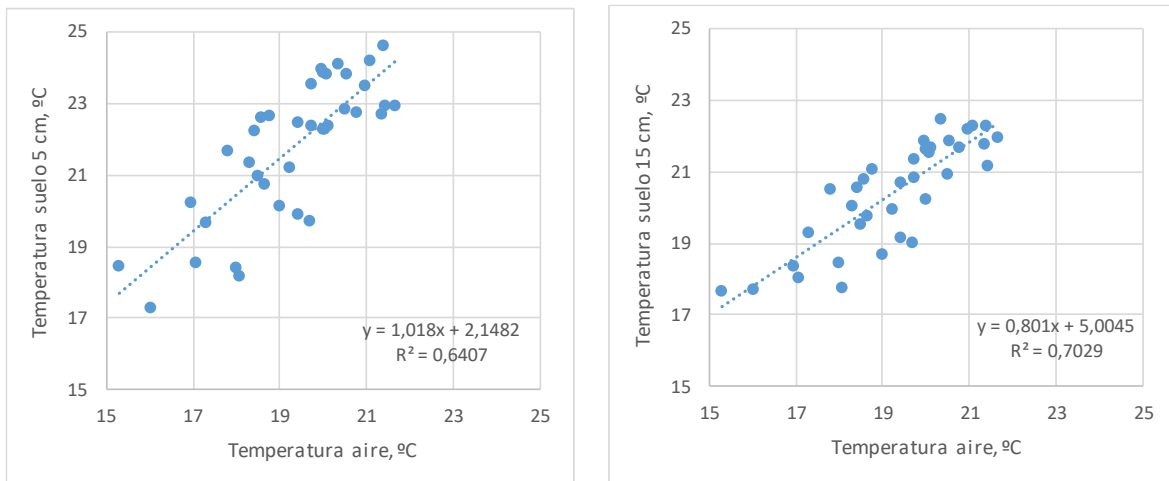


Figura 4.8. Relación entre temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de parterre.

En la zona de pinar, con mayor cobertura arbórea y cubierta cespitosa en el suelo, la relación es diferente (figura 4.9). La temperatura del aire se comporta de forma similar a la del suelo, pero es superior en casi 9°C a la que se registra en la capa superficial del suelo, y es inferior en 0,9°C a la de la profundidad de 15 cm. La pendiente de la recta de la regresión lineal es próxima a 1 en los dos casos (figura 4.10), con un coeficiente de determinación de 0,59 y 0,64 para 5cm y 15 cm, respectivamente. Estas relaciones deberán ser contrastadas para el rango de temperaturas que se produce durante el año, de forma que se pueda evaluar su capacidad predictiva de la temperatura del suelo a partir de la del aire, de más fácil medida.

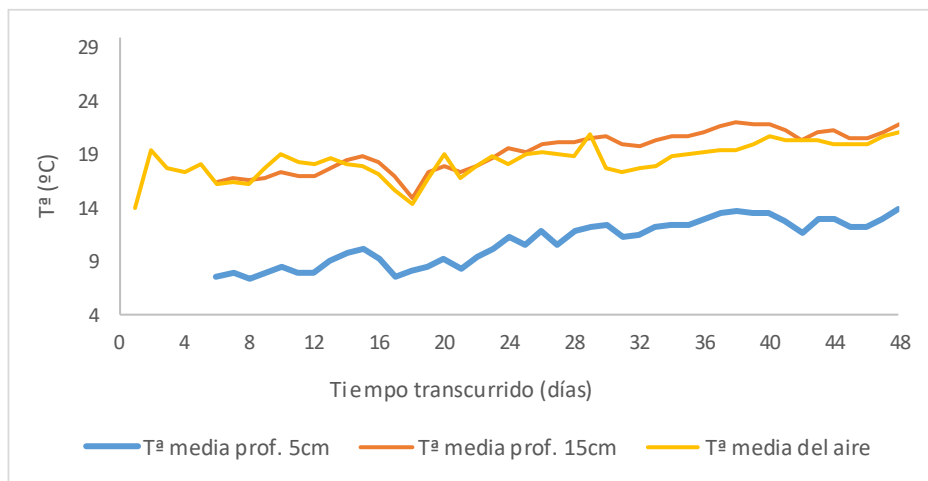


Figura 4.9. Evolución diaria de la temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de pinar.

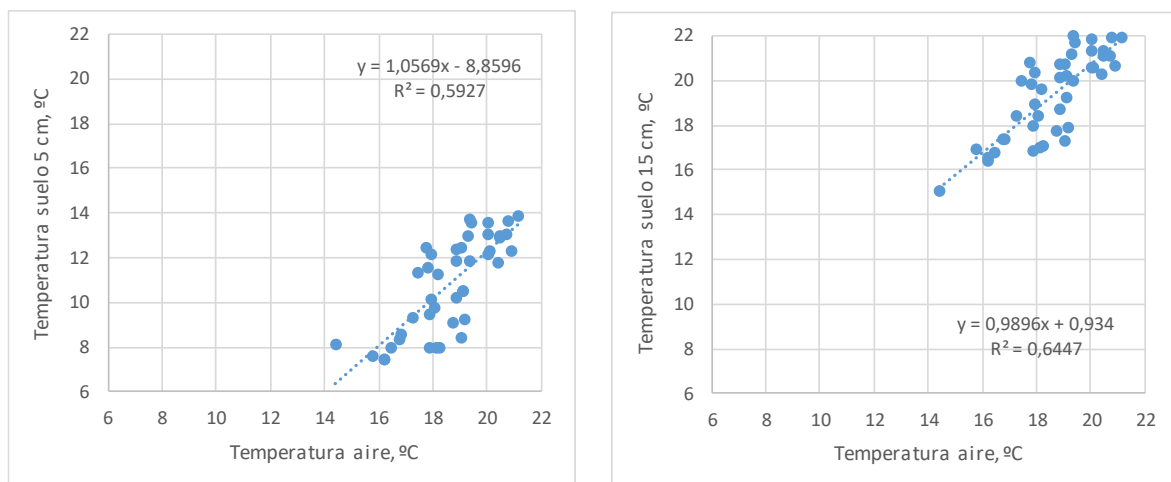


Figura 4.10. Relación entre temperatura media del aire y del suelo a dos profundidades en la zona de pinar.

4.3.2. Temperatura máxima y mínima diaria del suelo

De la misma forma que se calcula la temperatura media diaria del suelo, se procede a calcular las temperaturas máximas y mínimas de cada uno de los sensores instalados en el parque.

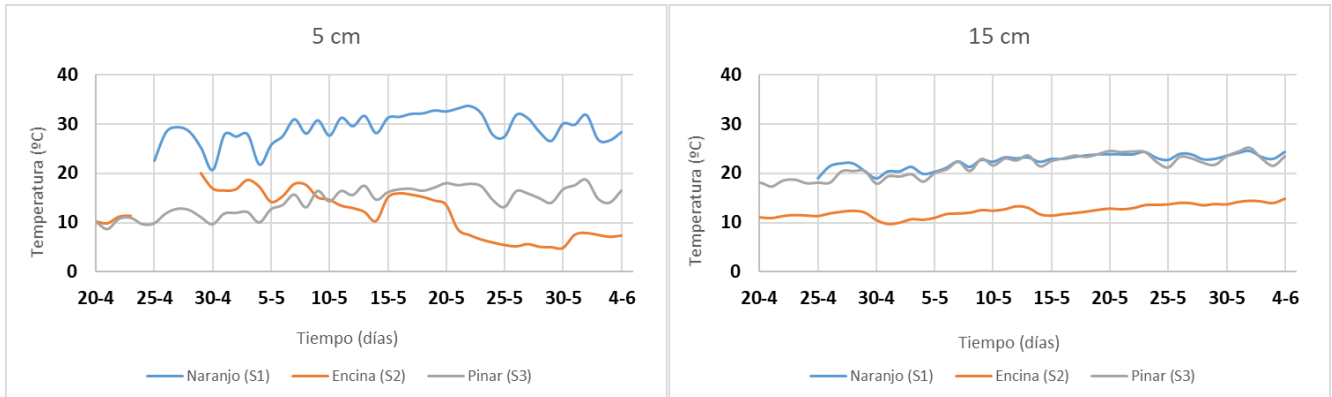


Figura 4.11. Evolución diaria de la temperatura máxima del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.

En la figura 4.11 se muestra la evolución diaria de los valores de temperatura máxima en el suelo a 5 y 15 cm de profundidad en cada una de las zonas monitorizadas. La tendencia es similar que la observada para la temperatura media. La zona donde se registran mayores temperaturas es la del naranjo, con un valor promedio para el período considerado de 28,9°C a 5cm y 22.5°C a 15 cm; le sigue la zona del pinar, que promedia 14,2°C y 21,4°C, respectivamente, y la de encina 11,4°C y 12,4°C a esas mismas profundidades. De nuevo, la variación es menos pronunciada en la capa más profunda, pero incluso en esta capa, la zona de encinar cubierta de césped presenta valores más bajos que las otras dos zonas.

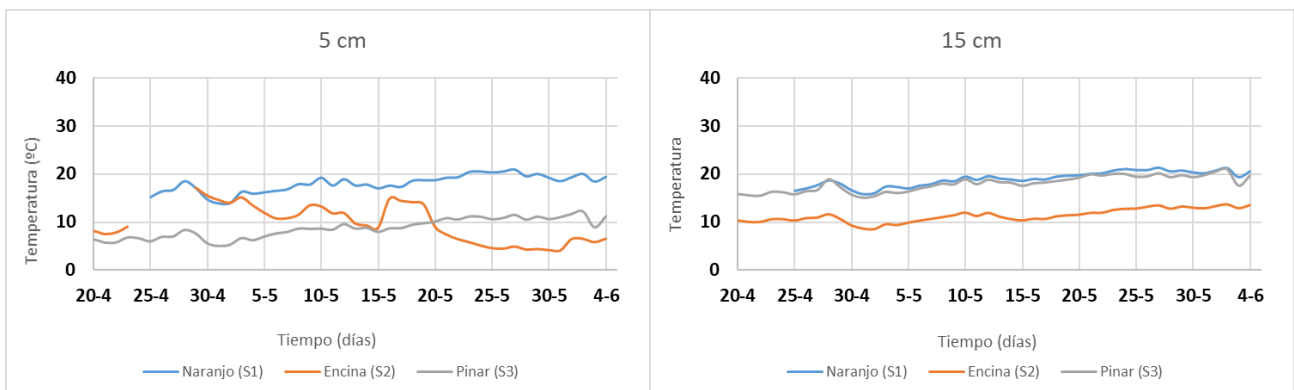


Figura 4.12. Evolución diaria de la temperatura mínima del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.

En la figura 4.12 se muestran los datos diarios de las temperaturas mínimas del suelo registradas en el periodo considerado. Al igual que ocurre con los otros parámetros térmicos, en los primeros centímetros de profundidad se observan muchas mayores variaciones que en la segunda capa, donde se observa un comportamiento más

homogéneo. La zona de parterres promedia una temperatura mínima para el conjunto del período de 18,0°C a 5 cm de profundidad y 19,1°C a 15 cm, mientras que la zona de pinar promedia 8,6°C y 17,8°C, respectivamente y la de encinar 9,9°C y 11,3°C a esas mismas profundidades. En este caso las diferencias son menores entre zonas, lo que indicaría un mayor efecto de la cubierta vegetal sobre las temperaturas máximas que sobre las mínimas.

4.3.3. Humedad media diaria del suelo

La figura 4.13 muestra la evolución diaria de la humedad volumétrica del suelo en las dos profundidades y en las tres zonas consideradas.

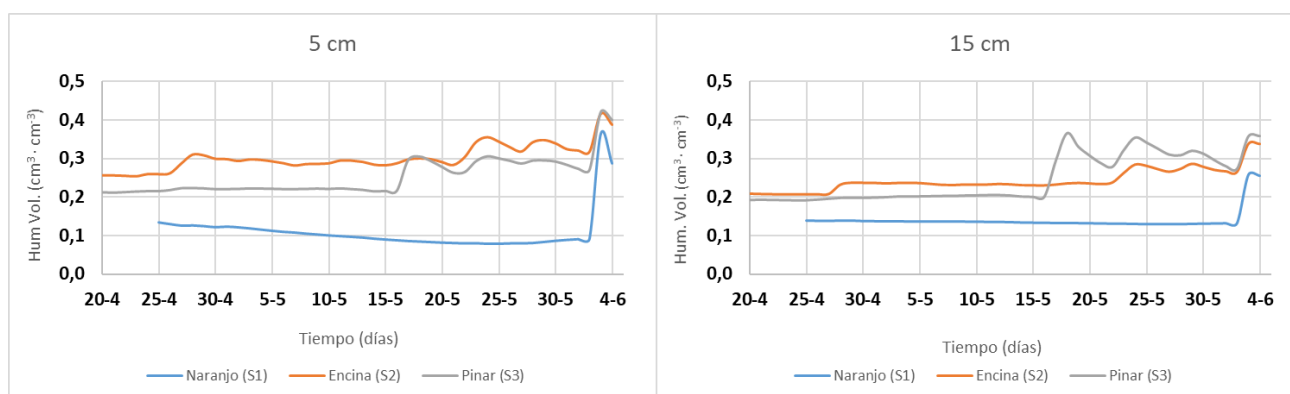


Figura 4.13. Evolución diaria de la humedad media del suelo a dos profundidades en las tres zonas consideradas.

Se puede observar como las zonas de mayor cobertura presentaban humedades más altas en las dos profundidades. La humedad promedio en el período evaluado osciló entre 0,107 – 0,296 cm³ cm⁻³ a 5 cm de profundidad y entre 0,140 – 0,246 cm³ cm⁻³ a 15 cm. Las diferencias vienen marcadas fundamentalmente por la existencia de riego por aspersión de la cubierta cespitosa existente en las zonas de encinar y pinar, mientras que la zona del parterre al parecer se regaba con mucha menor frecuencia. El aumento de humedad que se observa a primeros de junio fue debida a una precipitación importante acaecida en Valencia y produjo un cambio mayor en la zona del parterre que en las de encina y pinar debido a que en dicha zona el suelo estaba más seco.

4.4. RESPIRACIÓN DEL SUELO

La respiración del suelo se define como la producción total de dióxido de carbono (CO₂) por unidad de área y de tiempo, como resultado de la actividad biológica realizada por los organismos biológicos presentes en el suelo, hifas micorrícicas, raíces, y en menor extensión, a la oxidación de los compuestos de carbono (Taylor, 1994). El dióxido de

carbono emitido desde el suelo es un gas incoloro e inoloro que entra en la atmósfera y supera la cantidad anual emitida por todas las actividades humanas (Volk, 1994). Las tasas de descomposición dependen directamente de la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, que a su vez depende del contenido de nutrientes y de constituyentes orgánicos. La calidad del carbono presente en el material vegetal es la energía disponible para los organismos descomponedores, los cuales también necesitan de nutrientes como el nitrógeno para llevar a cabo la descomposición (Sánchez *et al.*, 2008). La respiración se encuentra estrechamente afectada por las condiciones de humedad y temperatura, por lo que los datos pueden ser altamente variables a lo largo del tiempo. Al objeto de caracterizar dicha variabilidad se han realizado mediciones puntuales a lo largo de once semanas en las que se ha prolongado el periodo de medida.

En la tabla 9 se muestra la tasa respiratoria en el punto 1.1, en la que se registraron tasas elevadas y que oscilaron entre 1,28 – 4,97 g CO₂ m⁻² h⁻¹, con una tasa media en el período de 3,18 ± 1,51 g CO₂ m⁻² h⁻¹.

Tabla 9. Concentración de CO₂ y tasa de respiración en el punto 1.1 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.

Día	Punto 1.1				
	[CO ₂] (ppm)	Tasa resp. (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	T ^a (°C)	H vol (%)	CE (mS·m ⁻¹)
13/04/2018	494	1,28	14,8	8,1	-
18/04/2018	489	3,52	22,0	14,4	28,7
24/04/2018	499	4,82	18,1	17,4	129,0
08/05/2018	492	2,27	23,3	19,3	146,0
17/05/2018	529	4,97	18,3	6,7	-
24/05/2018	521	4,36	19,8	12,0	181,0
01/06/2018	468	1,98	20,8	5,4	-
05/06/2018	507	4,97	22,6	6,9	-
15/06/2018	577	2,19	21,9	3,6	-
21/06/2018*	481	1,44	23,3	13,4	169,0

En la tabla 10 se muestra la tasa respiratoria en el punto 1.2, en la que se registraron tasas algo menos elevadas y que oscilaron entre 0,56 – 4,00 g CO₂ m⁻² h⁻¹. La tasa media del período en este punto fue de 1,38 ± 1,03 g CO₂ m⁻² h⁻¹.

Tabla 10. Concentración de CO₂ y tasa de respiración en el punto 1.2 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.

Día	Punto 1.2				
	[CO ₂] (ppm)	Tasa resp. (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	T ^a (°C)	H vol (%)	CE (mS·m ⁻¹)
13/04/2018	710	0,82	18,2	20,5	1,4
18/04/2018	478	2,06	32,9	13,7	20,4
24/04/2018	470	0,92	18,6	11,0	135
08/05/2018	471	0,64	23,6	8,7	12
17/05/2018	480	0,56	19,2	3,3	-
24/05/2018	465	0,92	20,2	9,4	192
01/06/2018	472	1,43	21,4	14,2	106
05/06/2018	463	1,55	22,3	20,7	92
15/06/2018	489	0,93	21,9	10,2	114
21/06/2018	494	4,00	22,1	19,4	134

En el punto 3 de la zona 1, se empezó a medir la respiración unas semanas más tarde, concretamente el 24 de abril del 2018 (tabla 11). En dicho período los valores oscilaron entre 0,47 – 2,50 g CO₂ m⁻² h⁻¹. La tasa media del período en este punto fue de 1,04 ± 0,71 g CO₂ m⁻² h⁻¹, similar al del otro punto (alcorque con naranja).

Tabla 11. Concentración de CO₂ y tasa de respiración en el punto 1.3 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.

Día	Punto 1.3				
	[CO ₂] (ppm)	Tasa resp. (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	T ^a (°C)	H vol (%)	CE (mS·m ⁻¹)
13/04/2018	-	-	-	-	-
18/04/2018	-	-	-	-	-
24/04/2018	477	0,90	17,7	16,7	139
08/05/2018	469	0,47	25,6	10,3	121
17/05/2018	480	0,49	19,6	8,3	-
24/05/2018	474	0,56	21,0	7,5	-
01/06/2018	469	0,60	21,6	6,5	-
05/06/2018	479	2,50	22,8	28,6	155
15/06/2018	483	1,14	21,7	20,0	157
21/06/2018	535	1,62	23,4	22,1	180

En el punto 1 de la zona 2, los valores oscilaron entre 0,69 – 1,42 g CO₂ m⁻² h⁻¹ (tabla 12). La tasa media del período en este punto fue de 0,96 ± 0,20 g CO₂ m⁻² h⁻¹, mostrando una baja variabilidad respecto de los otros puntos de la zona 1.

Tabla 12. Concentración de CO₂ y tasa de respiración en el punto 2.1 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.

Día	Punto 2.1				
	[CO ₂] (ppm)	Tasa resp. (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	T ^a (°C)	H vol (%)	CE (mS·m ⁻¹)
13/04/2018	508	0,69	13,0	26,9	2,05
18/04/2018	486	0,80	20,9	27,2	218
24/04/2018	492	1,03	16,1	37,1	253
08/05/2018	474	1,10	18,8	31,9	230
17/05/2018	482	1,01	16,0	36,4	230
24/05/2018	479	0,91	17,8	43,8	228
01/06/2018	495	1,42	19,6	34,6	196
05/06/2018	458	0,97	19,6	32,2	172
15/06/2018	495	0,88	18,3	38,3	180
21/06/2018	480	0,79	20,1	40,1	181

En el punto 2 de la zona 2, los valores oscilaron entre 0,48 – 3,70 g CO₂ m⁻² h⁻¹ (tabla 13). La tasa media del período en este punto fue de 1,42 ± 0,95 g CO₂ m⁻² h⁻¹, mostrando valores más altos que los del punto 1 de esta misma zona.

Tabla 13. Concentración de CO₂ y tasa de respiración en el punto 2.2 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.

Día	Punto 2.2				
	[CO ₂] (ppm)	Tasa resp. (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	T ^a (°C)	H vol (%)	CE (mS·m ⁻¹)
13/04/2018	505	0,48	13,8	18,8	2,1
18/04/2018	479	0,96	20,9	18,4	196
24/04/2018	479	0,55	16,5	17,8	206
08/05/2018	490	2,16	19,5	27,4	325
17/05/2018	472	1,19	16,5	30,0	328
24/05/2018	468	1,32	18,6	38,7	174
01/06/2018	494	1,64	20,0	22,3	203
05/06/2018	481	1,38	20,0	23,4	124
15/06/2018	512	3,70	19,7	36,6	166
21/06/2018	484	0,77	21,2	33,9	197

En el punto 1 de la zona 3, los valores oscilaron entre 0,49 – 1,15 g CO₂ m⁻² h⁻¹ (tabla 14). La tasa media del período en este punto fue de 0,88 ± 0,33 g CO₂ m⁻² h⁻¹, mostrando valores similares a los del punto 1 de la zona 2, estando ambas zonas cubiertas de césped.

Tabla 14. Concentración de CO₂ y tasa de respiración en el punto 3.1 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.

Días	Punto 3.1				
	[CO ₂] (ppm)	Tasa resp. (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	T ^a (°C)	H vol (%)	CE (mS·m ⁻¹)
13/04/2018	463	0,83	17,3	18,0	1,39
18/04/2018	491	0,98	21,8	29,8	336
24/04/2018	478	0,71	16,3	38,9	263
08/05/2018	470	0,95	19,7	31,2	274
17/05/2018	487	1,02	15,7	41,3	330
24/05/2018	500	0,59	18,0	48,7	299
01/06/2018	478	1,15	19,4	43,1	369
05/06/2018	473	1,57	20,2	22,1	143
15/06/2018	490	0,51	18,9	39,0	179
21/06/2018	476	0,49	20,6	39,4	209

En el punto 2 de la zona 3, los días de medición son menores dado que se empezó a realizar la medición el día 8 de mayo. Los valores oscilaron entre 0,65 – 6,04 g CO₂ m⁻² h⁻¹ (tabla 15). La tasa media del período en este punto fue de 2,04 ± 1,82 g CO₂ m⁻² h⁻¹, mostrando una mayor variabilidad que la del punto 1 de esta misma zona.

Tabla 15. Concentración de CO₂ y tasa de respiración en el punto 3.2 en las diferentes fechas de medida. Se acompañan los valores de temperatura, humedad volumétrica y conductividad eléctrica medidos con sonda WET en dicho punto.

Día	Punto 3.2				
	[CO ₂] (ppm)	Tasa resp. (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	T ^a (°C)	H vol (%)	CE (mS·m ⁻¹)
13/04/2018	-	-	-	-	-
18/04/2018	-	-	-	-	-
24/04/2018	-	-	-	-	-
08/05/2018	463	0,65	28,6	18,6	199
17/05/2018	496	1,33	18,0	6,9	-
24/05/2018	485	1,07	18,0	38,9	319
01/06/2018	472	1,50	20,8	21,4	261
05/06/2018	522	6,04	20,8	24,2	215
15/06/2018	491	1,68	19,0	30,8	216
21/06/2018	489	2,00	21,2	36,0	227

Las altas tasas de emisión de CO₂, refleja una buena calidad del suelo en cuanto a su actividad biológica, y la presencia de carbono de disponibilidad inmediata para los microorganismos en los suelos del parque, quizás proveniente de compuestos fácilmente degradables (Santibáñez et al., 200&).

4.5. CONTENIDO DE NITROGENO MINERAL

Para poder realizar las simulaciones con el modelo LEACHN es necesario conocer el contenido inicial de nitrógeno mineral en el suelo (Nmin). En la tabla 16 se muestran las concentraciones de nitrato y de amonio, expresadas como mg N kg⁻¹, en las diferentes zonas y en las dos profundidades muestreadas. Se observan importantes diferencias entre zonas, que podrían ser debidas tanto a diferente mineralización en el suelo como a diferentes abonados realizados antes del comienzo del presente trabajo. El nitrógeno mineral se encuentra mayoritariamente en forma nítrica, y sólo en la zona de la pérgola y en el alcorque con naranjo, los niveles de amonio son similares a los de nitrato. Destaca la zona de pinar, con niveles de Nmin en el perfil del orden de 250 mg N/kg.

Tabla 16. Concentración de nitrato y amonio en las diferentes zonas muestreadas.

Muestra	Profundidad (cm)	N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)
1.1	0-12	8,57	6,02
1.1	12-24	12,39	9,46
1.2	0-12	8,95	7,97
1.2	12-24	14,49	5,18
1.3	0-12	57,84	5,52
1.3	12-24	40,28	8,95
2.1	0-12	122,23	11,10
2.1	12-24	68,99	2,63
3.1	0-12	235,72	13,24
3.1	12-24	200,27	5,61

4.6. RESPIRACIÓN SIMULADA CON EL MODELO LEACHM

En las figuras 4.14, 4.15 y 4.16 se muestra la emisión de CO₂ simulada por el modelo LEACHM para las zonas de parterre, encinar y pinar, junto con las medidas de respiración del suelo tomadas periódicamente en dichas zonas. Se observa como el modelo LEACHM reproduce relativamente bien la dinámica de la emisión, pero infraestima los valores de respiración del suelo medidos en las tres zonas. Esta menor estimación de la tasa respiratoria del suelo podría estar relacionada con la humedad del suelo ya que, al no disponer de los datos de riego aportado en cada zona, las simulaciones se han realizado sin considerar dicho aporte, lo que repercutiría en una menor humedad del suelo en las simulaciones y, por tanto, en una disminución de la tasa respiratoria. Para el conjunto del período simulado las emisiones de CO₂ a la atmósfera procedentes del suelo han sido de 1320 kg CO₂ ha⁻¹ en la zona del parterre, de 1267 kg CO₂ ha⁻¹ en la zona de encina y de

1593 kg CO₂ ha⁻¹ en la zona de pinar. Esto supone una emisión media diaria de entre 18 y 23 kg CO₂ ha⁻¹ día⁻¹.

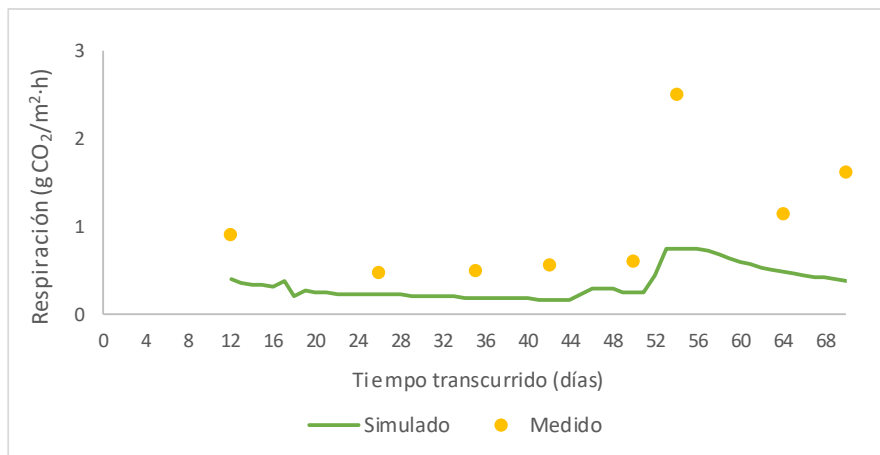


Figura 4.14. Evolución diaria de la respiración del suelo simulada con LEACHM y medida en la zona 1.

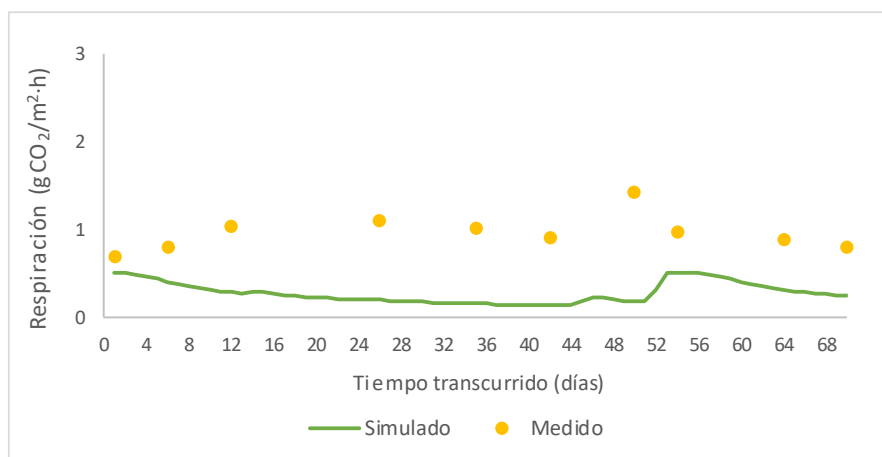


Figura 4.15. Evolución diaria de la respiración del suelo simulada con LEACHM y medida en la zona 2.

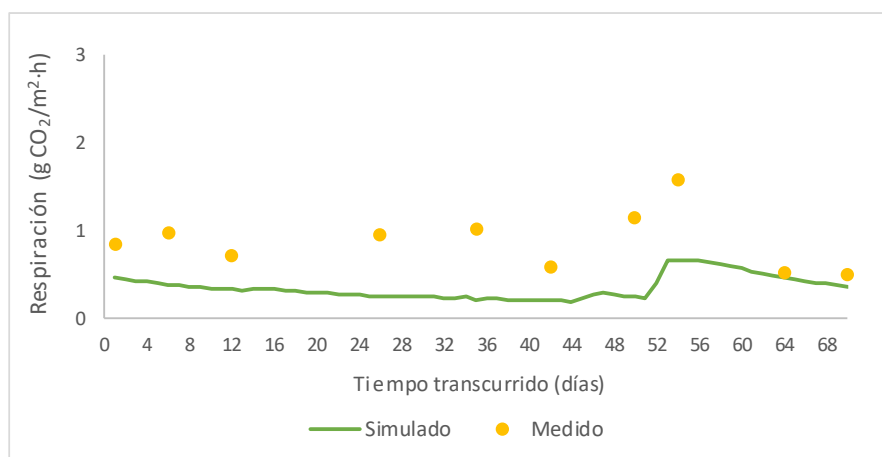


Figura 4.16. Evolución diaria de la respiración del suelo simulada con LEACHM y medida en la zona 3.

Expresados estos valores como tasa media horaria, la zona 1 promedia $0,34 \pm 0,18$ g $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ según el modelo frente a un valor promedio de las medidas de $1,04 \pm 0,71$ g $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. En la zona 2 (encinar), la tasa horaria obtenida con LEACHM es de $0,25 \pm 0,11$ g $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ mientras que los valores medidos promedian $0,96 \pm 0,20$ g $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Por último, en la zona 3 (pinar) el modelo simula una tasa horaria promedio de $0,34 \pm 0,14$ g $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y los valores medidos promedian $0,88 \pm 0,33$ g $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Estas discrepancias entre los valores simulados y observados indican la necesidad de abordar una calibración de los parámetros del modelo cuando se disponga de un mayor número de medidas de campo, así como de considerar en el input del modelo los riegos esporádicos que se dan en las distintas zonas del parque y que, por falta de información, no han podido ser considerados en este trabajo.

5. CONCLUSIONES

En este TFG se caracterizan los suelos de diferentes ubicaciones de una zona verde establecida como es la del parque de Benicalap, y se monitoriza, durante un periodo de aproximadamente dos meses, la temperatura, la humedad y la respiración del suelo con medidas tomadas in situ. Los resultados obtenidos en este corto período de tiempo no permiten sacar unas conclusiones generales del comportamiento de estas variables y será necesario en un futuro seguir registrando medidas durante el resto del año para poder completar un ciclo anual, y poder concluir con más detalle la influencia del tipo de infraestructura verde sobre estas variables. En cualquier caso, las conclusiones del presente TFG son las siguientes:

- Los suelos muestreados se pueden considerar de buena calidad. Tienen una de textura franca, con densidades aparentes bajas, elevados contenidos de materia orgánica y pH básicos. Solo en una zona, la de la pérgola, el suelo mostraba diferencias en la mayoría de las propiedades con respecto a los de las otras zonas. No existían grandes diferencias en el comportamiento hidráulico de los suelos en las diferentes ubicaciones y los valores de los coeficientes de Campbell obtenidos indicaban que presentaban una adecuada estructura.
- Si se encuentran diferencias en el comportamiento de la temperatura del suelo. En las zonas de encina y pino, los valores de temperatura media en el suelo son menores que en la zona de naranjo, poniendo de manifiesto la importancia de la cubierta vegetal sobre este parámetro del suelo. A mayor profundidad las diferencias se atenúan, si bien la zona de encinar sigue promediando valores más bajos que los de las otras dos zonas.
- La relación entre la temperatura del aire y la del suelo es diferente según zonas. Así, mientras que en la zona del parterre (naranjo) la temperatura del suelo es mayor que la del aire, en la zona de pinar, con mayor cobertura arbórea y cubierta cespitosa en el suelo, la temperatura del aire es superior en casi 9°C a la que se registra en la capa superficial del suelo, y es inferior en 0,9°C en la capa de 15 cm.
- En general las tasas de respiración de suelo han sido altas en todas las zonas, en comparación con las obtenidas en suelos agrícolas de la zona. Los valores más altos corresponden a la zona de la pérgola cuyo suelo parece que se corresponde con un sustrato orgánico con arena.

- El modelo LEACHM reproduce relativamente bien la dinámica de la emisión de dióxido de carbono del suelo, pero infraestima los valores de respiración del suelo medidos en las tres zonas. Esta menor estimación de la tasa respiratoria del suelo podría estar relacionada con los inputs de agua introducidos en el modelo. Sería necesario, cuando se disponga de mayor información de campo, abordar una calibración de los parámetros del relacionados con el ciclo del carbono.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Ayuntamiento de Valencia. *Parque de Benicalap*. <http://www.valencia.es/ayuntamiento/infocidad_accesible.nsf/vDocumentosWebLi stado/59223FF1F1818CC2C12572C20023FE89?OpenDocument&bdOrigen=ayunt amiento/rinternacionales_accesible.nsf&idapoyo=&nivel=4_4&lang=1> [Consulta: 12 de junio 2018].
- ❖ Bartolini, R. (1989). *La fertilidad de los suelos: terreno, planta, fertilizantes* (No. 631.45 B37Y 1986).
- ❖ Brady, N.C., Weil, R.R. (2002). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- ❖ Campbell G. (1974). A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.* 117: 311-314.
- ❖ Cantó López, M. T. (2014). *La ordenación de la infraestructura verde en el sudeste Ibérico* (Comunidad Valenciana, España).
- ❖ Carcaño M. (2018). Caracterización climática de diferentes elementos de infraestructura verde en el distrito de Benicalap (Valencia). Trabajo Final de Grado. ETSIAMN, Universitat Politècnica de València.
- ❖ CE (2013). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones Infraestructura verde: mejor del capital natural de Europa. COM/2013/0249 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52013DC0249&from=EN> [Consulta: 13 de junio 2018].
- ❖ Comisión Europea (2014). *Construir una infraestructura verde para Europa*. Comisión Europea. Bruselas. <<http://bit.ly/2D4UxQO>> [Consulta: 18 de junio 2018].
- ❖ Delta-T Devices. *Soil Moisture Sensors*. <<https://www.delta-t.co.uk/>> [Consulta: 20 de junio 2018].
- ❖ Gill, S.E.; Handley, J.F.; Roland Ennos, A.; Pauleit, E.; Theuraya, N. Lindleya, S.J. (2008). *Characterising the urban environment of UK cities and towns: A template for landscape planning*. Elsevier, 87: 210-222.
- ❖ Green Infrastructure functions and benefits. <<http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Table%201%20GI.pdf>> [Consulta: 16 de junio 2018].
- ❖ Jaramillo C. (2016). *Mineralización de la gallinaza y de los restos de cosecha en el suelo. Aplicación al cultivo de la coliflor en la Huerta de Valencia*. Tesis Doctoral. Departamento de producción vegetal. Valencia: Universitat Politècnica de València. <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/62862/-JARAMILLO%20->

[%20Mineralización%20de%20la%20gallinaza%20y%20de%20los%20restos%20de%20cosecha%20en%20el%20suelo.%20%20Aplicación%20al....pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)> [Consulta: 1 de julio 2018].

- ❖ Llorca, R. (1991). *Prácticas de edafología*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia.
- ❖ Marañón, B. (2001). El anillo verde de Vitoria-Gasteiz. *Informes de la Construcción*, 53(475), 73-76.
- ❖ McLaren, R.G., Cameron, K.C. (2002). *Soil Science. Sustainable production and environmental protection*. Oxford University Press. South Melbourne, Victoria, Australia.
- ❖ Millenium Ecosystem Assessment. *Evaluación de los ecosistemas del milenio*. < <http://www.millenniumassessment.org/es/About.html>> [Consulta: 29 de junio 2018].
- ❖ Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Interpretacion de análisis de suelos*. <http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf> [Consulta: 28 de junio 2018].
- ❖ Oficina de Estadística del Ayuntamiento de Valencia (2016). Estadística por territorio: Distritos 2017. <<http://bit.ly/2D6jzjo>> [Consulta: 18 de junio 2018].
- ❖ Piles, A. M. (Ed.) (2009). *Guía de jardines históricos y parques urbanos de la ciudad de València*. Ajuntament de València, Delegación de Urbanismo, Vivienda y Calidad Urbana. <[http://www.ayto-valencia.es/ayuntamiento/laciudad.nsf/0/0784EC37DB0E1281C12576EF00478ED8/\\$FILE/guiaPARQUES_02.pdf?OpenElement&lang=2](http://www.ayto-valencia.es/ayuntamiento/laciudad.nsf/0/0784EC37DB0E1281C12576EF00478ED8/$FILE/guiaPARQUES_02.pdf?OpenElement&lang=2)> [Consulta: 15 de junio 2018].
- ❖ PPSystems. *EGM-4 de PPSystems*. <<http://ppsystems.com>> [Consulta: 23 de junio 2018].
- ❖ Sánchez de Oleo C. (2016). Estimación de parámetros en modelos de transporte de agua y nitrógeno en el suelo. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.
- ❖ Schlesinger, W. H., Andrews, J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48 (1), 7-20.
- ❖ USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.
- ❖ Wagenet R.J., Hutson, J.L. (1989). Leaching Estimation and Chemistry Model: A process based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Ver. 2. Water Resources Institute, Cornell University, New York.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS OBTENIDOS DE PROGRAMA RETFIT

z1p1p1.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.257E+01 kPa B= 3.620 R-Square :0.9342

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.6653	0.6653	0.00000	0.243E+04	0.243E+04	0.243E+04	0.243E+04
-10.0	0.4910	0.4571	0.03387	0.759E+02	0.522E+02	0.358E+02	0.246E+02
-20.0	0.3860	0.3775	0.00853	0.129E+02	0.734E+01	0.417E+01	0.236E+01
-30.0	0.2820	0.3375	-0.05547	0.460E+01	0.233E+01	0.118E+01	0.600E+00
-101.0	0.2090	0.2413	-0.03232	0.207E+00	0.752E-01	0.273E-01	0.990E-02
-346.0	0.1770	0.1717	0.00526	0.895E-02	0.231E-02	0.596E-03	0.154E-03
-962.0	0.1550	0.1295	0.02552	0.658E-03	0.128E-03	0.249E-04	0.485E-05
-1500.0	0.1460	0.1145	0.03147	0.212E-03	0.365E-04	0.628E-05	0.108E-05

z1p1p2.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 1.940 R-Square :0.9602

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4943	0.4943	0.00000	0.343E+04	0.343E+04	0.343E+04	0.343E+04
-10.0	0.3770	0.3420	0.03502	0.392E+03	0.272E+03	0.188E+03	0.130E+03
-20.0	0.2640	0.2392	0.02476	0.480E+02	0.232E+02	0.112E+02	0.544E+01
-30.0	0.1500	0.1941	-0.04412	0.141E+02	0.552E+01	0.217E+01	0.851E+00
-119.0	0.0770	0.0954	-0.01841	0.216E+00	0.416E-01	0.804E-02	0.155E-02
-321.0	0.0590	0.0572	0.00179	0.107E-01	0.123E-02	0.143E-03	0.165E-04
-852.0	0.0450	0.0346	0.01041	0.553E-03	0.387E-04	0.271E-05	0.189E-06
-1500.0	0.0390	0.0258	0.01316	0.996E-04	0.521E-05	0.272E-06	0.142E-07

z1p2p1.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 2.690 R-Square :0.9711

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5057	0.5057	0.00000	0.196E+04	0.196E+04	0.196E+04	0.196E+04
-10.0	0.4140	0.3877	0.02634	0.275E+03	0.211E+03	0.162E+03	0.124E+03
-20.0	0.3180	0.2996	0.01840	0.411E+02	0.244E+02	0.144E+02	0.855E+01
-30.0	0.2230	0.2577	-0.03468	0.135E+02	0.689E+01	0.351E+01	0.179E+01
-100.0	0.1450	0.1647	-0.01970	0.497E+00	0.162E+00	0.527E-01	0.172E-01
-325.0	0.1090	0.1063	0.00273	0.196E-01	0.412E-02	0.865E-03	0.182E-03
-849.0	0.0860	0.0744	0.01163	0.141E-02	0.207E-03	0.304E-04	0.447E-05
-1500.0	0.0750	0.0602	0.01481	0.295E-03	0.351E-04	0.418E-05	0.497E-06

z1p2p2.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 3.058 R-Square :0.9742

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5057	0.5057	0.00000	0.144E+04	0.144E+04	0.144E+04	0.144E+04
-10.0	0.4230	0.4002	0.02276	0.216E+03	0.171E+03	0.135E+03	0.107E+03
-20.0	0.3320	0.3191	0.01295	0.343E+02	0.216E+02	0.136E+02	0.861E+01
-30.0	0.2450	0.2794	-0.03443	0.117E+02	0.646E+01	0.357E+01	0.197E+01
-109.0	0.1680	0.1832	-0.01524	0.381E+00	0.138E+00	0.500E-01	0.181E-01
-317.0	0.1320	0.1292	0.00277	0.224E-01	0.572E-02	0.146E-02	0.374E-03
-876.0	0.1050	0.0927	0.01232	0.151E-02	0.276E-03	0.507E-04	0.929E-05
-1500.0	0.0920	0.0777	0.01427	0.362E-03	0.556E-04	0.855E-05	0.131E-05

zlp3p1.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 4.195 R-Square :0.9783

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5057	0.5057	0.00000	0.702E+03	0.702E+03	0.702E+03	0.702E+03
-10.0	0.4410	0.4264	0.01456	0.120E+03	0.101E+03	0.850E+02	0.717E+02
-20.0	0.3730	0.3615	0.01151	0.215E+02	0.153E+02	0.110E+02	0.784E+01
-30.0	0.3000	0.3282	-0.02818	0.787E+01	0.510E+01	0.331E+01	0.215E+01
-105.0	0.2270	0.2435	-0.01646	0.353E+00	0.170E+00	0.819E-01	0.394E-01
-326.0	0.1860	0.1858	0.00016	0.214E-01	0.785E-02	0.288E-02	0.106E-02
-954.0	0.1550	0.1439	0.01113	0.149E-02	0.425E-03	0.121E-03	0.344E-04
-1500.0	0.1430	0.1292	0.01384	0.487E-03	0.124E-03	0.318E-04	0.812E-05

zlp3p2.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.477E+01 kPa B= 4.350 R-Square :0.9839

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5094	0.5094	0.00000	0.627E+03	0.627E+03	0.627E+03	0.627E+03
-10.0	0.4480	0.4297	0.01827	0.102E+03	0.856E+02	0.722E+02	0.609E+02
-20.0	0.3640	0.3664	-0.00243	0.185E+02	0.133E+02	0.955E+01	0.687E+01
-31.0	0.3090	0.3313	-0.02231	0.628E+01	0.408E+01	0.266E+01	0.173E+01
-108.0	0.2360	0.2487	-0.01267	0.291E+00	0.142E+00	0.694E-01	0.339E-01
-360.0	0.1910	0.1885	0.00245	0.151E-01	0.558E-02	0.207E-02	0.765E-03
-858.0	0.1640	0.1544	0.00958	0.178E-02	0.540E-03	0.164E-03	0.496E-04
-1500.0	0.1480	0.1358	0.01219	0.451E-03	0.120E-03	0.320E-04	0.854E-05

z2p1p1.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 4.435 R-Square :0.9842

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5094	0.5094	0.00000	0.622E+03	0.622E+03	0.622E+03	0.622E+03
-10.0	0.4580	0.4336	0.02440	0.108E+03	0.918E+02	0.781E+02	0.665E+02
-20.0	0.3820	0.3709	0.01114	0.197E+02	0.144E+02	0.105E+02	0.761E+01
-30.0	0.3180	0.3385	-0.02046	0.730E+01	0.485E+01	0.322E+01	0.214E+01
-100.0	0.2410	0.2580	-0.01699	0.382E+00	0.193E+00	0.979E-01	0.496E-01
-320.0	0.1950	0.1985	-0.00348	0.221E-01	0.860E-02	0.335E-02	0.131E-02
-821.0	0.1640	0.1605	0.00351	0.219E-02	0.691E-03	0.218E-03	0.685E-04
-1184.0	0.1550	0.1478	0.00723	0.894E-03	0.259E-03	0.752E-04	0.218E-04
-1500.0	0.1480	0.1401	0.00790	0.500E-03	0.138E-03	0.378E-04	0.104E-04

z2p1p2.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 3.980 R-Square :0.9799

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5057	0.5057	0.00000	0.819E+03	0.819E+03	0.819E+03	0.819E+03
-10.0	0.4410	0.4225	0.01847	0.137E+03	0.114E+03	0.956E+02	0.799E+02
-20.0	0.3640	0.3550	0.00901	0.242E+02	0.170E+02	0.119E+02	0.836E+01
-30.0	0.2910	0.3206	-0.02961	0.876E+01	0.555E+01	0.352E+01	0.223E+01
-109.0	0.2140	0.2318	-0.01784	0.347E+00	0.159E+00	0.729E-01	0.334E-01
-346.0	0.1730	0.1734	-0.00044	0.193E-01	0.661E-02	0.227E-02	0.778E-03
-876.0	0.1450	0.1373	0.00766	0.188E-02	0.512E-03	0.139E-03	0.378E-04
-1040.0	0.1410	0.1315	0.00946	0.123E-02	0.319E-03	0.830E-04	0.216E-04
-1500.0	0.1320	0.1200	0.01202	0.491E-03	0.116E-03	0.276E-04	0.655E-05

z3p1p1.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 3.863 R-Square :0.9784

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5057	0.5057	0.00000	0.870E+03	0.870E+03	0.870E+03	0.870E+03
-10.0	0.4410	0.4202	0.02077	0.144E+03	0.120E+03	0.993E+02	0.826E+02
-20.0	0.3640	0.3512	0.01281	0.251E+02	0.174E+02	0.121E+02	0.841E+01
-30.0	0.2860	0.3162	-0.03020	0.905E+01	0.566E+01	0.354E+01	0.221E+01
-98.0	0.2140	0.2327	-0.01873	0.459E+00	0.211E+00	0.973E-01	0.448E-01
-339.0	0.1680	0.1688	-0.00078	0.202E-01	0.674E-02	0.225E-02	0.751E-03
-846.0	0.1410	0.1332	0.00781	0.202E-02	0.532E-03	0.140E-03	0.369E-04
-1002.0	0.1360	0.1275	0.00851	0.132E-02	0.332E-03	0.838E-04	0.211E-04
-1500.0	0.1260	0.1148	0.01116	0.477E-03	0.108E-03	0.246E-04	0.559E-05

z3p1p2.txt

(In LEACHM the pore interaction parameter (P) must be specified for each segment. In older versions it was set at 1.0)

Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 3.540 R-Square :0.9795

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5094	0.5094	0.00000	0.102E+04	0.102E+04	0.102E+04	0.102E+04
-10.0	0.4320	0.4163	0.01572	0.164E+03	0.134E+03	0.109E+03	0.892E+02
-20.0	0.3550	0.3423	0.01274	0.276E+02	0.186E+02	0.125E+02	0.838E+01
-30.0	0.2770	0.3052	-0.02822	0.977E+01	0.585E+01	0.351E+01	0.210E+01
-99.0	0.2000	0.2178	-0.01784	0.457E+00	0.195E+00	0.835E-01	0.357E-01
-352.0	0.1550	0.1522	0.00277	0.176E-01	0.527E-02	0.158E-02	0.471E-03
-912.0	0.1270	0.1163	0.01066	0.154E-02	0.351E-03	0.801E-04	0.183E-04
-1500.0	0.1150	0.1011	0.01392	0.429E-03	0.850E-04	0.169E-04	0.335E-05

ANEXO 2. MÉTODO NO⁻²/NO⁻³

Especificaciones

- Filtro de medida: 540 nm ²
- Filtro de referencia: 720 nm
- Volumen loop: 40 µL
- Tiempo de inyección: 10 seg.
- Tiempo de medida: 50 seg.
- Velocidad de bomba: 40 rpm.
- Evaluación: altura de pico.
- Patrones de calibración: 0, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10 ppm. ³

Reactivos

- KCl 2M: disolver 149.1 g en 1L de agua destilada.
- NH₄Cl 0.1M: disolver 5.35 g en 1L de agua destilada.
- Sulfanilamida (4-aminobenzenosulfonamida): disolver 5 g en 250 mL de agua destilada. Añadir 25 mL de HCl concentrado, mezclar y enrasar a 500 mL con agua destilada.
- (NED), N-(1-naftil)-etilendiaminadihidrocloruro: disolver 0.5 g de NED en 500 mL de agua destilada.

Activación de la columna de Cd

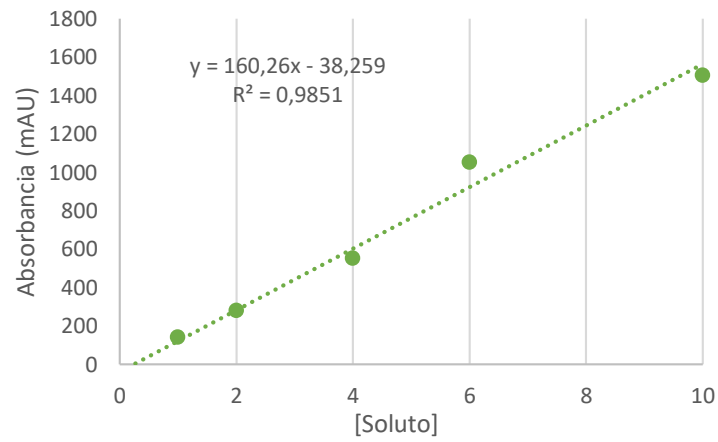
Para poder activar el receptor después de un largo periodo sin actividad, se realiza varias inyecciones de HCl 1M seguidas de un patrón 200 ppm de N-NO₃ y realizar varias inyecciones de un patrón de la curva de calibrado hasta alcanzar la lectura estable.

² Nm: nanómetros

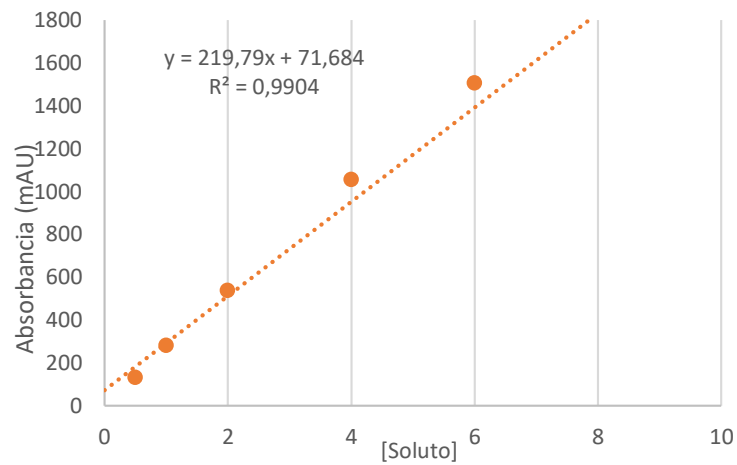
³ ppm: partes por millón o mg/l

Rectas de calibrado obtenidas

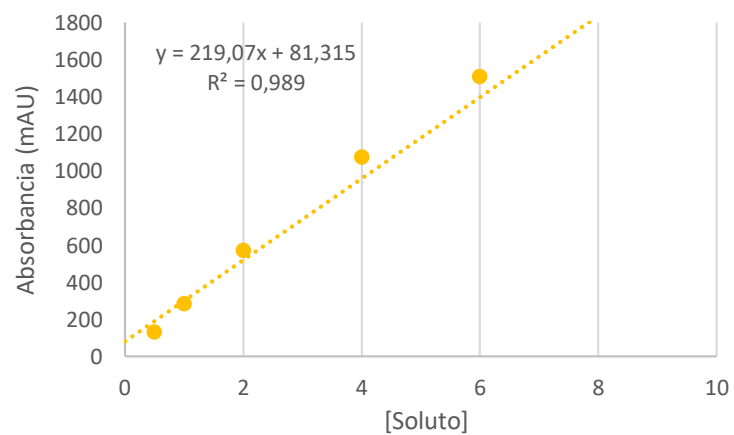
De las 9 primeras muestras:



De las 8 siguientes muestras:



Para las últimas muestras, la recta de calibrado obtenida es la siguiente:



ANEXO 3. MÉTODO NH₄⁺

Especificaciones

- Volumen loop: 100 µL
- Patrones de calibración: 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2 ppm.

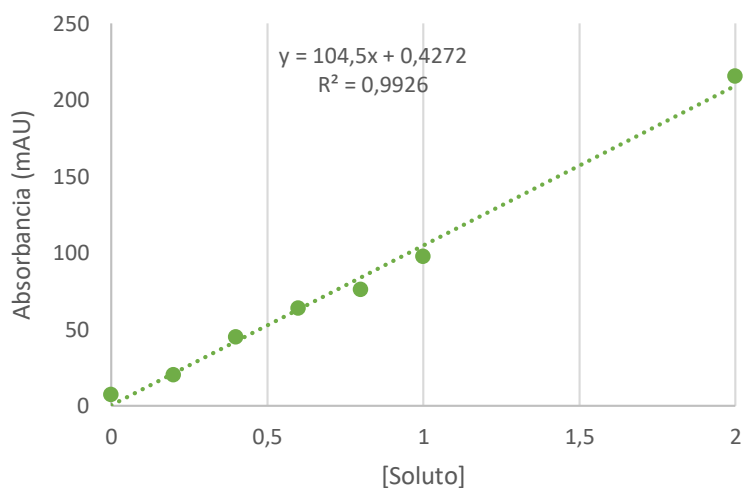
Reactivos

- KCl 2M: disolver 149.1 g en 1L de agua destilada.
- NaOH 0.5M: disolver 20 g en 1L de agua destilada.
- Disolución indicadora: 1 g de mezcla de indicador de amonio a 5 mL de NaOH y diluir 200 mL con agua destilada.

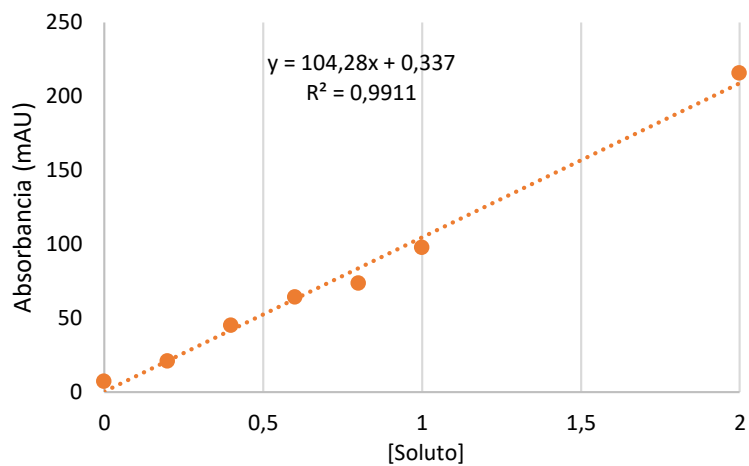
Pipetear 10 mL de disolución y diluir 500 mL con KCl 2M. Ajustar el pH aproximadamente a un valor de 5.5 y medir la absorbancia, frente a agua como referencia, comprendida entre 450 y 600 mAU, si el valor es inferior añadir gotas de NaOH 0.01M. Se ha de preparar el día de antes al análisis.

Rectas de calibrado obtenidas

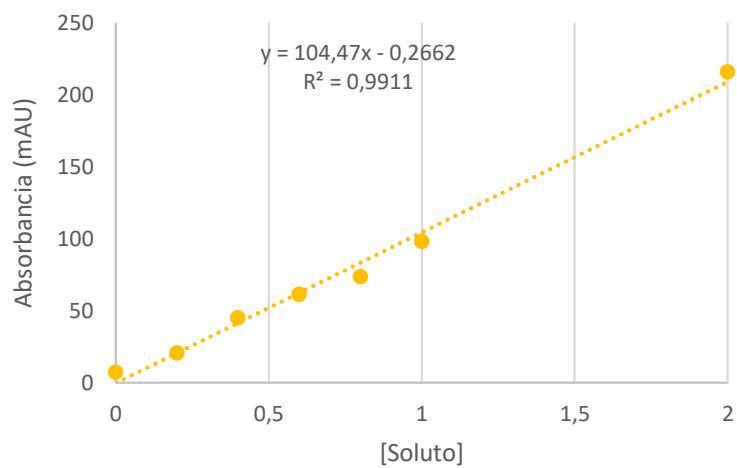
De las 10 primeras muestras:



De las 7 siguientes muestras:



Para las últimas muestras, la recta de calibrado obtenida es la siguiente:



ANEXO 4. EJEMPLO ARCHIVO INPUT DE LEACHM

Z2P1 < DOS Filename, 8 characters with no extension. Used in batch runs (started as LEACHF<filename).

LEACHN NITROGEN AND PHOSPHORUS DATA FILE.

A value must be present for each item, although it may not be used in the simulation. The file is read free format with blank delimiters. Preserve division and heading records. The number of depth segments may be changed.

2 <Date format (1: month/day/year; 2: day/month/year). Dates must be 6 digits, 2 each for day, mo, yr.

130418 <Starting date. No date in the input data should precede this date.

210618 <Ending date or day number. The starting date is day 1. (A value <010101 is treated as a day number).

0.05 <Largest time interval within a day (0.1 day or less).

1 <Number of repetitions of rainfall, crop and chemical application data.

300 <Profile depth (mm), preferably a multiple of the segment thickness.

50 <Segment thickness (mm). (The number of segments should be between about 8 and 30.

2 <Lower boundary condition: 1:fixed depth water table; 2:free drainage, 3:zero flux 4:lysimeter.

1300 <If the lower boundary is 1 or 4: initial water table depth (mm).

The steady-state flow option uses constant water fluxes during the application periods specified in the rainfall data table, and a uniform water content specified here. Steady-state flow implies a lab column, and crop and evaporation data are ignored.

1 < Water flow: 1: Richards; 2: Addiscott tipping bucket; 3: steady-state.

0.4 < Steady-state flow water content (volume fraction); 999: saturated column.

1 <Number of output files: 1: OUT only; 2: OUT + SUM; 3: OUT + SUM + BTC

--- For the *.OUT file :

4 <Units for depth data: 1: mg/kg, 2: mg/m2 per segment, 3: g/m2, 4: kg/ha

1 <Node print frequency (print data for every node (1), alternate nodes (2)).

1 <Print option: Select one of the following two (enter 1 or 2)

1 <Option 1: Print at fixed time intervals (days between prints). 999 for monthly print.

1 <Option 2: No. of prints (the times for which are specified below)

2 <Tables printed: 1: mass balance; 2: + depth data; 3: + crop data
 0 <Reset cumulative values in .OUT after each print? 0: No, 1: Yes

--- For the *.SUM file :

1 <Summary print interval (d) (for calendar months use 999)
 300 <Surface to [depth 1?] mm (Three depth segments for the
 600 <Depth 1 to [depth 2?] mm summary file. Zero defaults to nodes
 900 <Depth 2 to [depth 3?] mm closest to thirds of the profile)
 3 <4th segment: Root zone (1); profile (2); Depth 3 to lower boundary (3); Surface
 to shallowest of lower boundary or water table (4)

--- For the *.BTC (breakthrough) file :

10.0 <Incremental depth of drainage water per output (mm)

-- List here the times at which the *.OUT file is desired for print option 2.

-- The number of records must match the 'No. of prints' under option 2 above.

Date or Time of day (At least one must be specified,
 Day no. (to nearest tenth) even if print option is 1)

221086 .2 (These dates can be past the last day)

SOIL PHYSICAL PROPERTIES

-- Retentivity model 0 uses listed Campbell's retention parameters, otherwise

-- the desired particle size-based regression model is used.

Soil layer no.	Clay %	Silt %	Organic carbon %	Retention model	Starting theta or (one is used) kPa	Starting pot1 (for no growth) (relative)	Roots (relative)	Starting temperature (C) (not read in LEACHC)
1	21.5	35.9	4.62	0	.269 -20.0	.20	13.00	
2	21.5	35.9	4.62	0	.269 -20.0	.20	13.00	
3	21.5	35.9	4.62	0	.269 -20.0	.15	13.00	
4	18.6	31.5	1.67	0	.269 -20.0	.15	13.00	
5	18.6	31.5	1.67	0	.269 -20.0	.10	13.00	
6	18.6	31.5	1.67	0	.269 -20.0	.10	13.00	

1 < Use water contents (1), potentials (2)

Particle density: Clay Silt and sand Organic matter

2.65 2.65 1.10

For a uniform profile: Any non-zero value here will override those in the table below.

0.0 0.0 <Soil bulk density and particle density (kg/dm3) .

-0.0 <'Air-entry value' (AEV) (kPa).

0.0 <Exponent (BCAM) in Campbell's water retention equation.

0.0 -0.0 <Conductivity (mm/day) and corresponding matric potential (kPa) (for potential-based version of eq. 2.5).

0.0 <Pore interaction parameter (P) in Campbell's conductivity equation.

0.0 <Dispersivity (mm).

0.0 <For Addiscott flow: Matric potential (kPa) at field capacity

0.0 < : Division between mobile and immobile water (kPa)

Soil segment	Soil retentivity parameters	Bulk density	Match K(h) curve at:	Dispersivity	For Addiscott flow option:	Field capacity		
no.	AEV	BCAM	K	Matric potl	P	capacity		
threshold	kPa		mm/d	kPa		kPa		
kPa		kg/dm3			mm			
1	-4.890	4.435	1.18	621.84	0.0	1.0	100.0	-10.0
-200.0								
2	-4.890	4.435	1.18	621.84	0.0	1.0	100.0	-10.0
-200.0								
3	-4.890	4.435	1.18	621.84	0.0	1.0	100.0	-10.0
-200.0								
4	-4.890	3.980	1.19	819.00	0.0	1.0	100.0	-10.0
-200.0								
5	-4.890	3.980	1.19	819.00	0.0	1.0	100.0	-10.0
-200.0								
6	-4.890	3.980	1.19	819.00	0.0	1.0	100.0	-10.0
-200.0								

Runoff according to the SCS curve number approach. Curve number listed here will be adjusted by slope. During periods of crop growth, CN2 replaced by value for crop. (Procedure according to J.R. Williams (1991). Runoff and Water Erosion. Chap 18, Modeling Plant and Soil Systems, Agronomy 31.)

75 <Curve number (CN2). In LEACHM, water content use to adjust CN2 based on top 20 cm.

0 <Slope, %. Used to adjust CN2 according to equation of Williams (1991).

** (Set slope to 0 to bypass the runoff routine. Runoff owing to profile saturation will still be accumulated)

CROP DATA

Data for at least one crop must be specified, even if no crop desired.

For fallow soil, set flag below to 0, or germination past the simulation end date.

0 <Plants present: 1 yes, 0 no.

1 <No. of crops (>0)

-1500 <Wilting point (soil) kPa.

-3000 <Min.root water potl(kpa).

1.1 <Maximum ratio of actual to potential T.

1.00 <Root resistance.

Growth Crop	Perennial Min	N uptake Harvested	Date or day of				Rel. root	Crop cover	Pan factor	
1: No uptake	1: Yes N	1:to fraction	Maturity							
2: Yes N	2: No P	2:to fixed	Germ.	Emerg.	Root	Cover	Harv. depth	fraction		
2	2	2	160913	160913	301113	301113	150214	.9	1.0	1.50
250.	80.	0.	0.8	A1						

-----kg/ha-----

INITIAL NITROGEN, PHOSPHORUS AND CARBON POOLS (excluding soil humus)

| NITROGEN POOLS | CARBON POOLS | PHOSPHORUS POOLS | (Humus
C, N, & P calculated from org.C)

SOIL | C1 NH4 NO3 Residue Manure | Residue Manure | Labile Residue Manure |
(Fertilizer P absent at start)

LAYER | ---mg N/kg dry soil--- | -- mg C/kg -- | mg P/kg dry soil | (Bound
P pool in equilibrium with labile P.

1	24.9	9.82	236.74	0.	0.0	0.	0.	000.	0.	000.
2	24.9	16.65	234.70	0.	0.0	0.	0.	000.	0.	000.
3	24.9	11.18	122.62	0.	0.0	0.	0.	000.	0.	000.

4	29.9	11.01	121.84	0.	0.0	0.	0.	000.	0.	000.
5	29.9	8.09	008.39	0.	0.0	0.	0.	000.	0.	000.
6	29.9	7.85	009.50	0.	0.0	0.	0.	000.	0.	000.

Concentration (mg/l) below profile, used with lower boundary 1.

0 0 0 (NH4, NO3 and P)

0 < Depth (mm) of water in mixing cell. Enter 0 for no mixing cell.

CHEMICAL PROPERTIES

Name	Kd	L/kg	
' Cl'	0		
' NH4-N'	4.99		
' NO3-N'	0		
'Residue-N'			(Plant 'residues' and 'manure' pools representing
' Humus-N'			added organic sources of N, P and C. They
' Manure-N'			differ in that the plant residue pool is supplied
'Residue-C'			by the non-harvested portion of annual crops,
' Humus-C'			and the non-harvested, non-perennial portion of
' Manure-C'			perennial crops)
' CO2-C'			
' Fert-P'	10000	.693	<Solubility; Dissolution rate (d**-1)
' Labile-P'	1	100	.6 <1: Freundlich or 2: Langmuir; [Freundlich Kd;
Exponent OR	Langmuir	Qm; k]	
'Residue-P'			
' Humus-P'			
' Manure-P'			
' Bound-P'	300	0.4	.05 .50 <Freundlich sorption: Kd; Exponent; Phase
			transfer: Dissolution rate, precipitation rate, (days^-1)

Diffusion

91.50 <Molecular diffusion coefficient

NITROGEN TRANSFORMATIONS

0.52 <Synthesis efficiency factor.

0.33 <Humification fraction.

10.0 <C/N ratio:biomass and humus.

50.0 <C/P ratio:biomass and humus.

-----Temperature and water content adjustments-----

1 <Temperature subroutine? yes(1), no(0). If no, base temperature used.

20 <Base temperature, degrees C

2.3 <Q10: rate constant adjustment factor per 10C temperature change.

.08 <High end of optimum water content range, air-filled porosity.

-300 <Lower end of optimum water content, kPa

-2500 <Minimum matric potential for transformation, kPa

0.6 <Relative transformation rate at saturation (except denitrification), days⁽⁻¹⁾

RATE CONSTANTS [days⁽⁻¹⁾]

Layer	Urea NH4->NO3 NO3->N			Mineralization		
	hydrolysis			Residue	Manure	Humus
1	.0000e-0	7.768e-1	6.0e-2	8.816e-2	8.000e-3	7.169e-4
2	.0000e-0	7.768e-1	6.0e-2	8.816e-2	8.000e-3	7.169e-4
3	.0000e-0	7.768e-1	6.0e-2	8.816e-2	8.000e-3	7.169e-4
4	.0000e-0	.100E-0	.10e-2	8.250e-2	.00010e-0	9.250e-5
5	.0000e-0	.100E-0	.10e-2	8.250e-2	.00010e-0	9.250e-5
6	.0000e-0	.100E-0	.10e-2	8.250e-2	.00010e-0	9.250e-5

Additional rates and constants used for calculating N transformations:

0.6 <Ammonia volatilization from the surface, days⁽⁻¹⁾

10 <Denitrification half-saturation constant (mg/l).

8 <Limiting NO3/NH4 ratio in solution for nitrification

NITROGEN, PHOSPHORUS AND CARBON APPLICATIONS (kg/ha)

1 < No. of nutrient applications

Date or PHOSPHORUS	Incorp n segments	NITROGEN			CARBON			Fertilizer		
		Cl	NH4	NO3	Residue	Manure	Residue			
day no. Residue	Manure									
040313 00	3	00	00	00	000	0	0000	0	00	0

*

*

CULTIVATIONS

1 < Number of cultivations. At least one must be specified. Can be past last day.

Date or Depth of cultivation

day no. mm

040312 150

*

*

RAIN AND RAIN WATER COMPOSITION (Include irrigation here, or specify

----- in a separate file.)

12 < Number of water applications. Some or all can be past last day. (See manual on setting automated irrigation thresholds)

0 < For a separate irrigation file, set to 1 and edit and rename NITRTEST.SCH.

Start	Amount	Surface flux	Dissolved in water (can be 0)			
Date/day	Time	density	Cl	NH4-N	NO3-N	P
-----	--day-	--mm--	---mm/d---	-----	mg/l	-----
130418	.5	0.20	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
260418	.5	1.40	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
270418	.5	1.40	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
280418	.5	0.20	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
080518	.5	0.40	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
270518	.5	4.20	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
280518	.5	2.00	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
290518	.5	2.00	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
020618	.5	0.60	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
030618	.5	42.20	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
060618	.5	13.00	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00
120618	.5	0.20	100.0	20.20	00.00	2.00 00.00

POTENTIAL ET (WEEKLY TOTALS, mm), DEPTH TO WATER TABLE (mm)

MEAN WEEKLY TEMPERATURES AND MEAN WEEKLY AMPLITUDE (degrees C)

Week	ET	Water table	Mean temp	Amplitude
-----	----	-----	-----	-----

130418	28.35	2000	16.13	06.30
200418	25.96	2000	17.44	06.60
270418	32.43	2000	16.23	07.00
040518	28.12	2000	17.76	07.79
110518	35.72	2000	17.50	07.83
180518	33.28	2000	19.30	07.13
250518	28.55	2000	19.56	06.31
010618	34.26	2000	20.37	06.60
080618	39.01	2000	22.16	07.20
150618	41.33	2000	23.10	07.30
220618	40.21	2000	24.53	07.50