

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HÍDRICO DE UN JARDÍN VERTICAL DE INTERIOR

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DE SISTEMAS  
BIOLÓGICOS

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Autor:** Alberto Ayuso Hernández

**Tutor:** Jesús Ochoa Rego

**Cotutor:** José Miguel Molina Martínez

**Departamento:** Producción Vegetal

**Año:** 2016

**E-mail:** albertoayusohernandez@gmail.com



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
ÍNDICE FIGURAS .....	6
ÍNDICE CUADROS.....	7
ÍNDICE ILUSTRACIONES .....	9
1.- INTRODUCCIÓN.....	11
1.1.- ESTRUCTURA DEL TRABAJO .....	11
1.2.- ANTECEDENTES.....	12
1.2.1.- JARDINERÍA VERTICAL .....	12
1.2.1.1.- INTRODUCCIÓN.....	12
1.2.1.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS JARDINES VERTICALES .....	14
1.2.1.3.- FUNCIONES Y BENEFICIOS DE LOS JARDINES VERTICALES.....	21
1.2.1.4.- MUROS VIVOS PARA AMBIENTE DE INTERIOR .....	23
1.2.2.- LISIMETRÍA DE PESADA .....	25
1.2.2.1.- INTRODUCCIÓN.....	25
1.2.2.2.- TIPOS DE LISÍMETROS .....	27
1.2.2.3.- LISIMETRÍA DE PESADA. MÉTODO DE CÁLCULO .....	29
2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	33
2.1.- INTRODUCCIÓN.....	33
2.2.- ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE JARDINES VERTICALES DE INTERIOR .....	33
2.2.1.- CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN JARDÍN VERTICAL DE INTERIOR POR IES HELICHES .....	33
2.2.2.- COMPORTAMIENTO HÍDRICO DE MUROS VERDES INSTALADOS EN UNA CASETA BIOCLIMÁTICA EN CONDICIONES CLIMÁTICAS MEDITERRÁNEAS SEMIÁRIDAS .....	35
2.3.- ESTUDIOS PREVIOS SOBRE EL CÁLCULO DEL CONSUMO HÍDRICO DE MATERIAL VEGETAL MEDIANTE LISIMETRÍA DE PESADA .....	36
2.3.1.- DESARROLLO DE UN INNOVADOR LISÍMETRO DE PESADA DE BAJO COSTE PARA PLANTAS EN MACETA: APLICACIONES EN ESTACIONES LISIMÉTRICAS POR RUIZ-PEÑALVER, L. ....	36
3.- OBJETIVOS.....	40
4.- MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
4.1.- METODOLOGÍA GENERAL .....	41
4.2.- FASE 1: MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL.....	41



4.2.1.- MATERIALES UTILIZADOS PARA EL MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL.....	42
4.2.1.1.- MATERIALES DE SOPORTE.....	42
4.2.1.2.- MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DE RIEGO .....	42
4.2.1.3.- MATERIAL VEGETAL .....	43
4.2.2.- LISÍMETRO DE PESADA USADO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	44
4.2.3.- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL .....	47
4.2.3.1.- DISEÑO DEL PROCESAMIENTO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL .....	47
4.2.3.2.- PROCESO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL.....	49
4.2.3.3.- PROCESO DE MONTAJE DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO .....	52
4.2.3.4.- PROCESO DE IMPLANTACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL EN EL JARDÍN VERTICAL .....	54
4.2.4.- ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE LA MANTA DE RIEGO ....	57
4.2.5.- MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO .....	58
4.3.- FASE 2: ESTUDIO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENTORNO DEL JARDÍN VERTICAL .....	58
4.3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES.....	58
4.3.1.1.- HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	58
4.3.1.2.- ILUMINACIÓN.....	59
4.3.2.- CONDICIONES FÍSICAS.....	59
4.4.- FASE 3: SEGUIMIENTO Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL .....	60
4.4.1.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL .....	60
4.4.1.1.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL .....	60
4.4.1.2.- MANEJO Y TRATAMIENTO DE DATOS .....	61
4.4.1.3.- CÁLCULO DE LA DOSIS DE RIEGO .....	63
4.4.2.- SEGUIMIENTO DEL JARDÍN VERTICAL .....	64
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	65
5.1.- RESULTADOS FASE 1: MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL .....	65
5.1.2.- ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE LA MANTA DE RIEGO ....	65
5.1.3.- MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	66
5.2.- RESULTADOS FASE 2: ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ENTORNO DEL JARDÍN VERTICAL.....	67
5.2.1.- HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	67
5.2.1.1.- HUMEDAD RELATIVA .....	67



5.2.1.2.- TEMPERATURA.....	68
5.2.1.3.- CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	69
5.2.2.- ILUMINACIÓN.....	70
5.3.- RESULTADOS FASE 3: SEGUIMIENTO Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL.....	71
5.3.1.- EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL.....	71
5.3.2.- PROGRAMACIÓN DE RIEGO .....	73
5.3.2.1.- PRIMERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO .....	73
5.3.2.2.- SEGUNDA PROGRAMACIÓN DE RIEGO .....	76
5.3.2.3.- TERCERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO.....	79
5.3.2.4.- CUARTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO.....	82
5.3.2.5.- QUINTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO .....	85
5.3.2.- SEGUIMIENTO DEL JARDÍN VERTICAL .....	88
6.- CONCLUSIONES .....	90
6.1.- CONCLUSIONES FASE 1: MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL .....	90
6.3.- CONCLUSIONES FASE 2: CÁLCULO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENTORNO DEL JARDÍN VERTICAL.....	91
6.3.- CONCLUSIONES FASE 3: SEGUIMIENTO Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL.....	92
7.- FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO .....	93
ANEXO 1. EVOLUCIÓN DEL JARDÍN VERTICAL .....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	98



## AGRADECIMIENTOS

En primer, lugar quisiera agradecer a mi familia, por hacer de mí la persona que soy hoy, y apoyarme incondicionalmente durante todo este camino.

Agradecer a mi novia, por apoyarme tanto en los buenos como en los malos momentos.

Agradecer a las empresas Telenatura E.B.T. y Alijardín por ayudarme en la realización de este proyecto.

Agradecer a todo el personal de Telenatura E.B.T. por facilitar y ayudar en la realización de este trabajo.

Agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado y aportado conocimientos y/o materiales a lo largo del transcurso de este trabajo; mención especial a mi compañero David, por la ayuda prestada desde el inicio del estudio.

Por último, agradecer a mi tutor, Jesús Ochoa, y cotutor, José Miguel Molina, por la absoluta ayuda y entrega prestada durante todo el transcurso de este trabajo.



## ÍNDICE FIGURAS

<i>FIGURA 1: CURVA DE PESO DEL CULTIVO (COLOR AZUL) Y CURVA DE PESO DEL DRENAJE (COLOR LILA) LOS DÍAS 07/22/2013 Y 07/23/2013, RUIZ-PEÑALVER, L. ET AL. ....</i>	<i>38</i>
<i>FIGURA 2: DETALLE DE LAS CURVAS DE PESO DEL CULTIVO Y DE DRENAJE EL DÍA 07/22/2013 EN LA PRIMERA APORTACIÓN DEL RIEGO, RUIZ-PEÑALVER, L. ET AL. ....</i>	<i>38</i>
<i>FIGURA 3: RELACIÓN ENTRE PÉRDIDA DE PESO (G) Y TIEMPO TRANSCURRIDO (H). VALORES MEDIOS DE LAS DOS REPETICIONES. ....</i>	<i>66</i>
<i>FIGURA 4: COMPARACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA MEDIA EN PRESENCIA Y AUSENCIA DE JARDÍN VERTICAL, EN UN PERIODO DE DOS DÍAS CONSECUTIVOS. ....</i>	<i>68</i>
<i>FIGURA 5: COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA EN PRESENCIA Y AUSENCIA DE JARDÍN VERTICAL, EN UN PERIODO DE DOS DÍAS CONSECUTIVOS. ....</i>	<i>69</i>
<i>FIGURA 6: COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MEDIA DE CO<sub>2</sub> EN PRESENCIA Y AUSENCIA DE JARDÍN VERTICAL, EN UN PERIODO DE DOS DÍAS CONSECUTIVOS. ....</i>	<i>70</i>
<i>FIGURA 7: ILUMINACIÓN MEDIA INCIDENTE MEDIDA EN LA SUPERFICIE DEL JARDÍN VERTICAL; MEDIDA CON LUZ ARTIFICIAL Y CON LUZ NATURAL. ....</i>	<i>71</i>
<i>FIGURA 8: CURVA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DIARIA DURANTE EL PERIODO QUE DURA EL ENSAYO. ....</i>	<i>72</i>
<i>FIGURA 9: EVAPOTRANSPIRACIÓN HORARIA ESTÁNDAR DE UN JARDÍN VERTICAL DE CONDICIONES FÍSICAS Y AMBIENTALES CONOCIDAS. ....</i>	<i>72</i>
<i>FIGURA 10: VALORES OBTENIDOS EN RELACIÓN AL PESO DEL JARDÍN Y PESO DEL DRENAJE EN LA PRIMERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....</i>	<i>74</i>
<i>FIGURA 11: VALORES OBTENIDOS EN RELACIÓN AL PESO DEL JARDÍN Y PESO DEL DRENAJE EN LA SEGUNDA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....</i>	<i>77</i>
<i>FIGURA 12: VALORES OBTENIDOS EN RELACIÓN AL PESO DEL JARDÍN Y PESO DEL DRENAJE EN LA TERCERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....</i>	<i>80</i>
<i>FIGURA 13: VALORES OBTENIDOS EN RELACIÓN AL PESO DEL JARDÍN Y PESO DEL DRENAJE EN LA CUARTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....</i>	<i>83</i>
<i>FIGURA 14: VALORES OBTENIDOS EN RELACIÓN AL PESO DEL JARDÍN Y PESO DEL DRENAJE EN LA QUINTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....</i>	<i>86</i>



## ÍNDICE CUADROS

CUADRO 1: CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE AJARDINAMIENTOS VERTICALES EN RELACIÓN DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS PARA SU REALIZACIÓN (FUENTE: NTJ-11V). .....	21
CUADRO 2: CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MUROS VIVOS SEGÚN EL AMBIENTE EN EL CUAL SE DESARROLLAN Y LA FUNCIONALIDAD DEL MISMO (FUENTE: NTJ-11V). .....	21
CUADRO 3: PRESUPUESTO DEBIDO DE LA FABRICACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL. ....	65
CUADRO 4: RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE LA MANTA DE RIEGO. ....	65
CUADRO 5: MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO, CON Y SIN SOLUCIÓN NUTRITIVA. ....	66
CUADRO 6: MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE DRENAJE, CON Y SIN SOLUCIÓN NUTRITIVA. ....	66
CUADRO 7: PRIMERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	73
CUADRO 8: ANÁLISIS HORARIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL CON LA PRIMERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	75
CUADRO 9: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA APORTADA, EN LA PRIMERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	75
CUADRO 10: SEGUNDA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	77
CUADRO 11: ANÁLISIS HORARIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL CON LA SEGUNDA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	78
CUADRO 12: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA APORTADA, EN LA SEGUNDA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	78
CUADRO 13: TERCERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	79
CUADRO 14: ANÁLISIS HORARIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL CON LA TERCERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	81
CUADRO 15: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA APORTADA, EN LA TERCERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	81
CUADRO 16: CUARTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	82
CUADRO 17: ANÁLISIS HORARIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL CON LA CUARTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	84
CUADRO 18: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA APORTADA, EN LA CUARTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	84
CUADRO 19: QUINTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	85
CUADRO 20: ANÁLISIS HORARIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL CON LA QUINTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	87
CUADRO 21: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA APORTADA, EN LA QUINTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO. ....	87



*CUADRO 22: RESULTADOS OBTENIDOS EN CUANTO A PESO FRESCO Y PESO SECO, AL INICIO Y AL FINAL DEL ESTUDIO, ASÍ COMO DE LA GANANCIA DE PESO. ....89*



## ÍNDICE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: JARDÍN VERTICAL CAIXA FÓRUM, MADRID. ....	14
ILUSTRACIÓN 2: FACHADA VERTICAL TRADICIONAL, CUBIERTA DE HIEDRA. ....	15
ILUSTRACIÓN 3: JARDÍN VERTICAL SISTEMAS DE ENREJADOS MODULARES DE GSKY PLANT SYSTEMS, INC .....	15
ILUSTRACIÓN 4: JARDÍN VERTICAL SISTEMAS DE CABLES DE CARL STAHL DECORCABLE. ....	16
ILUSTRACIÓN 5: JARDÍN VERTICAL SISTEMAS DE MALLA DE CARL STAHL DECORCABLE. ....	16
ILUSTRACIÓN 6: JARDÍN VERTICAL SISTEMA DE PANELES MODULARES. GRINEA® VERT 75 F. ....	17
ILUSTRACIÓN 7: JARDÍN VERTICAL CON SISTEMA DE CULTIVO EN CONTENEDORES. ....	17
ILUSTRACIÓN 8: JARDÍN VERTICAL CON SISTEMA DE HIDROCULTIVO EN GEOPRODUCTO, ELABORACIÓN PROPIA. ....	17
ILUSTRACIÓN 9: JARDÍN VERTICAL CON SISTEMA ECO.BIN EN IBIZA. ALICANTE FORESTAL S.L. ....	18
ILUSTRACIÓN 10: JARDÍN VERTICAL CON SISTEMA LEAF BOX EN BARCELONA. ALICANTE FORESTAL S.L. ....	19
ILUSTRACIÓN 11: JARDÍN VERTICAL CON SISTEMA F+P EN EL HOTEL SHERATON, DENVER. ALICANTE FORESTAL S.L. ....	19
ILUSTRACIÓN 12: JARDÍN VERTICAL CON SISTEMA NÉBULA. ALICANTE FORESTAL S.L. ....	20
ILUSTRACIÓN 13: SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AIRE EN UN MURO VIVO PARA AMBIENTE DE INTERIOR ACTIVO. ....	24
ILUSTRACIÓN 14: ILUSTRACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS LISÍMETROS EN EL ENSAYO DE CAMPO, L. RUIZ-PEÑÁLVER ET AL. ....	37
ILUSTRACIÓN 15: REPRESENTACIÓN DEL LISÍMETRO EN 3D. ....	45
ILUSTRACIÓN 16: DETALLE INSTALACIÓN DE DRENAJE. ....	46
ILUSTRACIÓN 17: LISÍMETRO INSTALADO EN TALLER. ....	46
ILUSTRACIÓN 18: UBICACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL EN EL TALLER. ....	47
ILUSTRACIÓN 19: GRAPADO DE LA PRIMERA CAPA DE MANTA DE RIEGO A LA PLANCHA DE PVC. ....	50
ILUSTRACIÓN 20: UNIÓN FINALIZADA ENTRE LA MANTA DE RIEGO Y LA PLANCHA DE PVC. ....	51
ILUSTRACIÓN 21: MONTAJE FINALIZADO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE, INSTALACIÓN DE RIEGO, INSTALACIÓN DE DRENAJE E INCORPORACIÓN DEL CUADRO DONDE SE ENCUENTRA LA CENTRAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS. ....	51
ILUSTRACIÓN 22: MONTAJE DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO. ....	53
ILUSTRACIÓN 23: COMPROBACIÓN DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO. ....	53
ILUSTRACIÓN 24: CONEXIÓN DEL DRENAJE DEL JARDÍN VERTICAL A LA BASE DEL LISÍMETRO. ....	54
ILUSTRACIÓN 25: DESCARGA DEL DRENAJE DEL RECIPIENTE DEL LISÍMETRO A LA ESTRUCTURA DE DESAGÜE. ....	54
ILUSTRACIÓN 26: REALIZACIÓN DE LOS BOLSILLOS DE SIEMBRA. ....	55
ILUSTRACIÓN 27: DETALLE DE LOS BOLSILLOS DE SIEMBRA. ....	56



<i>ILUSTRACIÓN 28: IMPLANTACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL EN EL JARDÍN VERTICAL. ....</i>	<i>56</i>
<i>ILUSTRACIÓN 29: DETALLE DEL SUSTRATO DEJADO EN LA IMPLANTACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL. ESPECIE: PHILODENDRON SCANDENS.....</i>	<i>56</i>
<i>ILUSTRACIÓN 30: RESULTADO FINAL DEL MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL. ....</i>	<i>57</i>
<i>ILUSTRACIÓN 31: JARDÍN VERTICAL, 05/04/2016. ....</i>	<i>94</i>
<i>ILUSTRACIÓN 32: JARDÍN VERTICAL, 12/04/2016. ....</i>	<i>94</i>
<i>ILUSTRACIÓN 33: JARDÍN VERTICAL, 19/04/2016. ....</i>	<i>95</i>
<i>ILUSTRACIÓN 34: JARDÍN VERTICAL, 28/04/2016. ....</i>	<i>95</i>
<i>ILUSTRACIÓN 35: JARDÍN VERTICAL, 12/05/2016. ....</i>	<i>96</i>
<i>ILUSTRACIÓN 36: JARDÍN VERTICAL, 23/05/2016. ....</i>	<i>96</i>
<i>ILUSTRACIÓN 37: JARDÍN VERTICAL, 03/06/2016. ....</i>	<i>97</i>
<i>ILUSTRACIÓN 38: JARDÍN VERTICAL, 26/06/2016. ....</i>	<i>97</i>



## **1.- INTRODUCCIÓN**

### **1.1.- ESTRUCTURA DEL TRABAJO**

El presente Trabajo de Fin de Grado consta de 7 capítulos o apartados principales, incluyendo este primer apartado llamado Introducción.

En dicho primer capítulo, se pretende una explicación tanto del entorno que rodea al desarrollo de la jardinería vertical y su situación actual como al método de lisimetría de pesada como cálculo de la evapotranspiración de cultivos, así como, una presentación de la estructura del proyecto.

En el apartado 2, Revisión bibliográfica, se realiza un estudio de aquellos trabajos que sirven como apoyo al desarrollo del proyecto. Así pues, se analizan trabajos previos sobre el montaje de jardines vertical, así como el comportamiento hídrico de los mismos en exterior, y, también, se investigan estudios sobre el cálculo del consumo hídrico en diversos cultivos mediante lisimetría de pesada.

En el capítulo 3, Objetivos, se presentan los objetivos fundamentales que se pretenden conseguir con la realización del presente trabajo.

En el epígrafe 4, Materiales y métodos, se detalla la metodología a seguir, identificando las diferentes fases de las cuales se compone el trabajo, así como los materiales utilizados para la realización del mismo.

En el apartado 5, Resultados y discusión, se presentan y explican los resultados obtenidos en las diferentes fases del trabajo; representados en gráficos, para una mejor visualización y entendimiento de los mismos.

En el capítulo 6, Conclusiones, se razonan los resultados obtenidos, en relación a los objetivos planteados.

En el capítulo 7, Futuras líneas de trabajo, se presentan posibles futuros temas de investigación derivados del estudio realizado en este trabajo.

En el penúltimo apartado, se encuentran los anexos al trabajo, donde se recoge una galería de imágenes sobre la evolución del crecimiento del jardín vertical a lo largo del proyecto.

En último lugar, se localiza la bibliografía, donde se recopilan los estudios y trabajos utilizados para el desarrollo del trabajo.



## 1.2.- ANTEDECENTES

### 1.2.1.- JARDINERÍA VERTICAL

#### 1.2.1.1.- INTRODUCCIÓN

Numerosos investigadores afirman que las técnicas de fachadas vegetales, son realmente herencia de la arquitectura de antaño. Esta arquitectura en sus diversas formas y climas, desarrolló intuitivamente conceptos científicamente válidos, al utilizar materiales de construcción disponibles localmente y métodos de construcción adaptados de tal forma, que combinaban la comodidad y la belleza, con la funcionalidad social y física.

A pesar de sus carencias y no adaptarse a los estándares actuales de confort, la arquitectura dio respuestas a las necesidades de protección y abrigo del ser humano, junto con una alta adaptación, integración y respeto al medioambiente.

El uso de vegetación se puede encontrar principalmente en la arquitectura del norte de Europa y las islas Británicas. El uso de vegetación, como el césped o la turba, en estas zonas, fue la respuesta a unas condiciones climáticas adversas.

Estos materiales vegetales ofrecían un aislamiento superior, frente a las construcciones de edificios realizadas exclusivamente de madera o piedra, además de la relativa dificultad para obtención de estos últimos materiales en cantidades suficientes.

En Islandia por ejemplo, la estructura de madera que soportaba las casas, era cubierta totalmente por bloques de turba y además en las cubiertas, se plantaba césped para que creciera sobre la turba.

La utilización de la vegetación en la arquitectura, tiene una interesante influencia en esta por su capacidad para modificarla. Además de su función estética, está su intervención más funcional.

Esto es debido principalmente a sus excelentes cualidades aislantes, fruto de la combinación de plantas junto con su capa de tierra, ya que en los climas fríos, hace que se retenga el calor en el interior del habitáculo, en cambio en climas calurosos actúa de manera inversa dificultando la entrada de calor del exterior.

La utilización de cubiertas verdes y jardines verticales, como parte o complemento de la arquitectura, o como elemento de definición espacial, viene desde tiempos inmemorables.

Pasando desde los míticos jardines colgantes de babilonia (año 605 a.d.C.), hasta la llamada arquitectura orgánica, la vegetación ha servido a los proyectistas no solo para acentuar o aligerar la arquitectura, sino también, para crearla y transformarla.

En la cultura romana también es notable la arquitectura vegetal, como por ejemplo a través de la Villa dei Misteri en Pompeya, donde los edificios se integran en el paisaje mediante grandes pórticos y galerías que dan a jardines colgantes, incluso colocando arbolados en lo alto de edificios institucionales, así como en los mausoleos de sus emperadores.



Más ejemplo del uso de vegetación en la antigüedad, se puede encontrar durante el periodo gótico, donde multitud de muros de iglesias, palacios y patios, de la época se cubrían con vegetación con el fin de aligerar la contundencia de la mampostería de su arquitectura.

Durante la época del Renacimiento, el redescubrimiento por parte de los arquitectos de los clásicos romanos, inspiró el uso de la vegetación en la arquitectura.

A comienzos del siglo XX, el ajardinamiento de fachadas fue incorporado a las propuestas surgidas del movimiento conocido como “ciudad-Jardín”, que pretendía dar un giro a las tendencias del desarrollo urbano hacia modelos más humanizados que permitieran no perder el contacto con la naturaleza en las ciudades.

En definitiva, históricamente han existido los ajardinamientos verticales tradicionales de las paredes, muros y fachadas de edificios con plantas trepadoras y con plantas colgantes, las cuales han sido plantadas directamente en el suelo, desde donde trepan con sus estrategias de trepa y fijación o cuelgan desde las cimas de estas estructuras constructivas verticales.

Actualmente, existen y se están implantando toda una serie de nuevos sistemas constructivos que facilitan y posibilitan el poder incorporar muchos otros tipos de plantas a las fachadas de edificios, paredes y muros mediante unas estructuras tridimensionales verticales como son los paneles y también los geoproductos. Esta tipología de construcción está ayudando a evolucionar mucho conceptual y técnicamente el concepto de los ajardinamientos verticales, respecto de los sistemas más tradicionales.

Este crecimiento tecnológico en cuanto a la fabricación de jardines verticales viene motivado por la creciente consideración de la sociedad en cuanto a los espacios verdes y la calidad ambiental de las ciudades; animado a su vez por el creciente empeoramiento de las condiciones ambientales que rodean a las ciudades debido tanto a la ingente cantidad de contaminación antrópica existente como a la reducción de las áreas verdes de las ciudades.

Este hecho suscita a que numerosas empresas, se hayan especializado en la construcción de cubiertas y estructuras vegetales, y concretamente, en la fabricación de jardines verticales, ya sea tanto para interior como para exterior.

En España, existen numerosas manifestaciones de la construcción de jardines verticales, entre las cuales cabe destacar el primer y más grande jardín vertical presente en el edificio de Caixa Fórum en Madrid, diseñado y creado por Patrick Blanc, botánico francés e inventor de esta técnica, con la que ha creado jardines verticales por todo el mundo. Dicho jardín vertical cuenta con más de 15.000 plantas las cuales cubren el muro de 460 m<sup>2</sup>, con especies de plantas autóctonas y foráneas asentadas sobre un sistema hidropónico.



*Ilustración 1: jardín vertical Caixa Fórum, Madrid.*

#### **1.2.1.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS JARDINES VERTICALES**

Atendiendo a las Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo, de forma general, los jardines verticales se pueden clasificar en dos grandes tipologías o sistemas constructivos diferentes, en función de los componentes utilizados para su realización y de los condicionantes que inciden en su puesta en obra y mantenimiento; por un lado se encuentran las fachadas verticales y por otro los llamados muros vivos.

Las fachadas verticales son aquellas que cumplen con la característica de que el material vegetal se implanta directamente sobre el suelo. Dichas fachadas vegetales, se pueden dividir, a su vez, en dos grupos:

- Fachadas vegetales tradicionales, aquellas que crecen sobre la superficie del edificio donde se encuentra implantado.

- Fachadas verticales con sistema de apoyo externo, esto es, jardines verticales que utilizan estructuras especialmente diseñadas, a base de cables, enrejados o mallas de acero inoxidable. Estas estructuras son independientes a la envolvente del edificio, y sirven para que las plantas crezcan verticalmente y cubran los parámetros, pero sin asociarse a la superficie del mismo.



*Ilustración 2: fachada vertical tradicional, cubierta de hiedra.*



*Ilustración 3: jardín vertical sistemas de enrejados modulares de GSky Plant Systems, Inc*



*Ilustración 4: jardín vertical sistemas de cables de Carl Stahl Decorcable.*



*Ilustración 5: jardín vertical sistemas de malla de Carl Stahl Decorcable.*

Por otro lado, los muros vivos son aquellos que se componen de paneles prevegetados, módulos verticales o fieltros geotextiles plantados, fijados a las paredes mediante marcos estructurales; el sistema en este caso, forma parte de la envolvente del edificio, sustentando y conteniendo la vegetación, con las plantas realmente implantadas en el sistema. Así pues, los muros vivos pueden ser clasificados en tres grupos:

- Ajardinamientos verticales con cultivo en contenedores.
- Ajardinamientos verticales con cultivo en paneles.
- Ajardinamientos verticales con hidrocultivo en geoproductos.



*Ilustración 6: jardín vertical sistema de paneles modulares. Grinea® Vert 75 F.*



*Ilustración 7: jardín vertical con sistema de cultivo en contenedores.*



*Ilustración 8: jardín vertical con sistema de hidrocultivo en geoproducto, elaboración propia.*

Desde un punto de vista más comercial, las empresas especializadas en la construcción de sistemas vegetales verticales, como es el caso de Alijardin, han desarrollado otros sistemas de ajardinamientos verticales, derivados de los sistemas convencionales; dichos sistemas son:

- **Sistema Eco.Bin:** se trata de un sistema derivado del muro vivo con cultivo en contenedores. Consiste en la utilización de una fábrica de celdas cerámicas con una inclinación específica que permite el almacenamiento de agua durante un largo periodo de tiempo, lo que lo convierte en uno de los jardines verticales con menor consumo de agua. Este sistema puede ser instalado tanto en ambiente interior como exterior.



Ilustración 9: jardín vertical con sistema Eco.Bin en Ibiza. Alicante Forestal S.L.

- **Sistema Leaf Box:** derivado del sistema de cultivo en paneles modulares y del sistema de hidrocultivo en geoproducto; este sistema utiliza una construcción modular a medida con paneles realizados en material impermeable y musgo de *Sphagnum*. Estos paneles impermeables están especialmente tratados, con protección ultravioleta y son resistentes al ataque de hongos y bacterias, como también a los agentes químicos utilizados en jardinería, lo que impide su deterioro y corrosión. Al realizar los paneles a medida se puede adoptar y acoplar los jardines a cualquier estructura, forma o terminación.

El musgo de *Sphagnum* es antibacteriano, ideal contra la putrefacción, enfermedades y plagas de forma natural, todo ello gracias a la presencia de un poderoso conservante polisacárido y a un índice de pH 4,8 que evita el uso de reguladores químicos, haciendo a la planta resistente a enfermedades y parásitos; además, es 100% orgánico, retiene hasta 20 veces su peso en agua, condición que lo convierte en un excelente

administrador y distribuidor de humedad; también posee una textura ligera que permite la oxigenación de las raíces de las plantas.



*Ilustración 10: jardín vertical con sistema Leaf Box en Barcelona. Alicante forestal S.L.*

- **Sistema F+P:** derivado principalmente del sistema de hidrocultivo en geoproducto, este sistema destaca por su rapidez de montaje, su bajo peso y su facilidad de mantenimiento. Consiste en una estructura portante metálica sobre la que se dispone un trasdosado de paneles impermeables. En estos paneles se fija una combinación de fieltros de composición especialmente diseñada para el anclaje las raíces y por el que circula una solución de riego hidropónica. El peso total del sistema saturado y plantado es de alrededor de 35kg/m<sup>2</sup>.



*Ilustración 11: jardín vertical con sistema F+P en el hotel Sheraton, Denver. Alicante forestal S.L.*

- **Sistema nébula:** formado por una agrupación plantas aéreas: del género *Tillandsias*. Esta familia de plantas obtiene el agua y los nutrientes que necesita del aire por lo que no es necesario ningún tipo de instalación de riego por goteo. La principal ventaja de este sistema es el mínimo mantenimiento que se puede realizar mediante pulverizadores manuales o con nebulizadores, esta última opción crea alrededor del jardín vertical una pequeña nube de niebla. Se trata de un sistema recomendado para interiores o exteriores con un clima específico.



*Ilustración 12: jardín vertical con sistema nébula. Alicante forestal S.L.*

Dentro de los llamados muros vivos, se puede hacer otra clasificación dependiendo del ambiente donde vayan a estar ubicados, es decir, estos pueden ir en el interior o el exterior de un edificio, por lo que podemos diferenciar entre muros vivos para ambiente de interior y muros vivos para ambiente de exterior.

Por último, los muros vivos para ambiente de interior pueden ser divididos en 2 grupos en relación a la funcionalidad del jardín. Así, se pueden encontrar muros vivos para ambiente de interior activos, aquellos capaces de regular el microclima a través del flujo de aire pudiendo tener integrado algún dispositivo electromecánico como bombas recirculadoras o ventiladores, y muros vivos para ambiente de interior pasivos; ambos sistemas poseen la propiedad de captación de polvo y contaminantes gaseosos, tales como el CO<sub>2</sub>.

Dichas clasificaciones quedan recogidas en los siguientes cuadros:

Cuadro 1: clasificación de los distintos tipos de ajardinamientos verticales en relación de los componentes utilizados para su realización (Fuente: NTJ-11V).

SISTEMAS VEGETALES VERTICALES		
<b>Fachadas vegetales</b>	Fachadas vegetales tradicionales	
	Fachadas vegetales con apoyo externo	Enrejados moduladores multidimensionales
		Cables
		Mallas de acero inoxidable
<b>Muros vivos</b>	Muros vivos con cultivo en contenedores	
	Muros vivos con cultivo en paneles modulares	
	Muros vivos con hidrocultivo en geoproductos	

Cuadro 2: clasificación de los diferentes tipos de muros vivos según el ambiente en el cual se desarrollan y la funcionalidad del mismo (Fuente: NTJ-11V).

	Ambiente	Pasivo	Activo
<b>Muros vivos</b>	Muros vivos para ambiente de exterior	Cultivo en contenedores	
		Cultivo en paneles modulares	
		Hidrocultivo en geoproductos	
	Muros vivos para ambiente de interior	Cultivo en contenedores	Hidrocultivo en geoproductos
		Cultivo en paneles modulares	
		Hidrocultivo en geoproductos	

### 1.2.1.3.- FUNCIONES Y BENEFICIOS DE LOS JARDINES VERTICALES

Los ajardinamientos verticales forman un conjunto de tecnologías sostenibles y muy beneficiosas que desde los sectores de la construcción, la jardinería y el paisajismo pueden ser incorporadas como parte de las estructuras constructivas verticales, y en particular de las fachadas de los edificios.

De acuerdo con las Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo, apartado Ajardinamientos especiales y sub-apartado Ajardinamientos Verticales (NTJ 11V), los ajardinamientos verticales



pueden cumplir una serie de funciones o beneficios dentro de 3 ámbitos o escalas; dichas escalas son las siguientes:

- Edificación.
- Urbanístico.
- Ecológico.

Dentro del ámbito de la edificación, las funciones que pueden cumplir los ajardinamientos verticales son las siguientes:

- Regulación térmica de edificios, con el consiguiente ahorro energético.
  - Aislamiento térmico de los edificios.
  - Sombra. Interacción con la radiación solar.
  - Enfriamiento evaporativo.
- Variación del efecto que el viento produce sobre la edificación.
- Mejora del aislamiento acústico de los edificios.
- Reducción del estrés físico y químico en las superficies verticales por efecto de los rayos ultravioletas, las fluctuaciones de temperatura extremas, acciones de fuerzas mecánicas externas, tránsito de peatones, etc.
- Mejora los efectos de climatización de interiores con la biofiltración.
- Habitabilidad de los espacios abiertos, proporcionando valiosas experiencias desde el punto de vista estético y de recreo.
- Producción de alimentos en una agricultura para el autoconsumo.
- Mejora visual del edificio, especialmente en medianeras y fachadas posteriores.
- Imagen de ganancia para el propietario y el usuario del edificio.

Desde el punto de vista urbanístico, los beneficios que pueden cumplir los ajardinamientos verticales son los siguientes:

- Reducción de los niveles de polución, reteniendo el polvo y las partículas en suspensión de contaminantes que quedan absorbidos por el componente planta-sustrato.
- Reducción de la intensidad de la reflexión en áreas adyacentes.
- Retención del agua de lluvia, disminución de las escorrentías y, mediante la evapotranspiración, mejora el grado de humedad atmosférica.
- Reducción de la presión sobre el sistema de aguas residuales urbanas.
- Reducción del efecto de isla de calor en grandes ciudades. Fomenta las corrientes de aire a través de los llamados “pasillos verdes” que pueden conectar las zonas verdes interiores (parques y jardines) con las anillas verdes del exterior.
- Renovación de masas de aire a través de los pasillos verdes urbanos.
- Reducción del ruido.
- Creación de nuevos espacios verdes.
- Aumento de la biomasa y apoyo de la biodiversidad en la ciudad.
- Conservación o recuperación de hábitats para animales, insectos y plantas, oasis en donde pueden encontrar refugio en espacios antropizados.



- Mejora de la apariencia y del valor estético de las construcciones en el paisaje urbano y también rural.
- Beneficio para la salud mental de la población, por el efecto psicológico de la experiencia de la naturaleza, plantas y animales, en comparación con los espacios inanimados.

Atendiendo a la escala ecológica, los beneficios o funciones que pueden cumplir los ajardinamientos verticales son los siguientes:

- Cumplir con los requisitos de la planificación verde y la gestión del paisaje.
- Creación de áreas verdes como medida compensatoria en espacios afectados por la construcción de áreas duras.
- Disminución de la escorrentía de aguas pluviales, creación de embalses de retención e incorporación del agua de lluvia al ciclo natural de la evaporación y la transpiración.
- Fijación de CO<sub>2</sub>.
- Proporcionar áreas de especial conservación con flora y fauna amenazada en las zonas urbanizadas.
- Potenciar la biodiversidad, apoyando activamente a la fauna de la zona, por ejemplo, suministrando hábitat, comida, refugio, lugares de descanso para artrópodos, aves y pequeños invertebrados.

### **1.2.1.4.- MUROS VIVOS PARA AMBIENTE DE INTERIOR**

Debido al asunto que ocupa el presente Trabajo de Fin de Grado el conocimiento de los muros vivos para ambiente de interior rezuma de gran importancia.

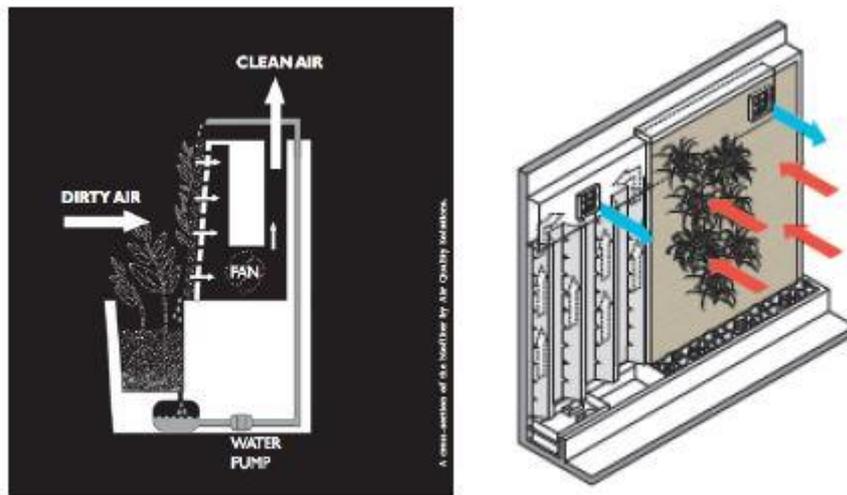
Como se comenta en el apartado 1.1.1.2.- Clasificación de los de los jardines verticales, los muros vivos para ambiente de interior son un tipo de ajardinamiento vertical que puede ejercer diversas funciones de acuerdo a si se trata de sistemas activos o pasivos.

Así pues, los muros vivos para ambiente de interior activos, son muros vivos que integran dispositivos electromecánicos que ayudan al paso y filtración del aire a través del jardín, actuando como biofiltros en la captación de contaminantes.

El sistema constructivo que se utiliza, principalmente, para la realización de dichos muros vivos es el sistema de hidrocultivo sobre bioproductos; esto puede ser debido a una mayor facilidad de filtración del aire a través del bioproducto (esteras, fieltros y geomembranas, entre otros), frente a los sistemas de cultivo en contenedores plásticos o cultivo en paneles modulares.

El principal modo de funcionamiento de los muros vivos para ambiente de interior activos se basa en la recirculación del aire a través del mismo. Así pues, el agua es bombeada a la parte superior del muro vivo y cae en forma de cascada entre las capas, mojando las raíces de las plantas, actuando como riego. Los ventiladores extraen el aire de la habitación haciéndolo pasar a través de la zona de las raíces de las plantas, que actúan como un filtro biológico donde los contaminantes son degradados por los microorganismos presentes en el agua y el

dióxido de carbono es retenido por las propias plantas. Una vez se filtra, el aire vuelve a la habitación libre de contaminantes.



*Ilustración 13: sistema de recirculación de aire en un muro vivo para ambiente de interior activo.*

Las principales ventajas e inconvenientes que pueden provenir del uso de muros vivos para ambientes de interior activos son las siguientes:

- Ventajas:
  - Actuación como biofiltro: el sistema es capaz de filtrar contaminantes, regularmente provenientes de los sistemas de ventilación convencionales, contaminantes atmosféricos, como el polvo y el polen, y gases y componentes orgánicos nocivos, procedentes de los elementos y materiales de construcción que forman el edificio.
  - Ahorro energético: efecto de aislamiento térmico en invierno; debido a la retención de calor dentro de la habitación.
  - No aumento excesivo de la humedad relativa del ambiente: debido a la recirculación del aire.
  - Factor estético: mejora de la estética y valioso espacio de esparcimiento.
- Inconvenientes:
  - Coste de instalación: debido a la introducción de los sistemas de recirculación de aire, aumenta tanto el coste económico como la complejidad en la fabricación del mismo.
  - Mantenimiento: el sistema de ventiladores exige un mantenimiento más complejo.
  - Coste energético: el sistema de ventiladores requiere una fuente de energía constante para su funcionamiento.

Por otro lado, los muros vivos para ambiente de interior pasivos, son ajardinamientos verticales que no incorporan ningún dispositivo electromecánico, por lo que carecen de



funciones adicionales, separadamente de las funciones que desempeña un jardín vertical por sí solo.

Así mismo, las ventajas e inconvenientes que puede acarrear el uso de muros vivos para ambiente de interior pasivos son las siguientes:

- Ventajas:
  - Actuación como biofiltro: el material vegetal implantado en el jardín posee la capacidad de captación de contaminantes gaseosos como el CO<sub>2</sub> y contaminantes atmosféricos como el polvo y el polen. Aunque con mucha menor eficacia que los muros vivos activos.
  - Ahorro energético: efecto de aislamiento térmico en invierno.
  - Factor estético: mejora la estética y valioso espacio de esparcimiento.
  - Coste de instalación y mantenimiento mínimos.
  - Coste energético mínimo: únicamente el consumo energético ejercido por la bomba de riego.
- Inconvenientes:
  - Aumento excesivo de la humedad relativa del ambiente: más aun en habitaciones cerradas.

### 1.2.2.- LISIMETRÍA DE PESADA

#### 1.2.2.1.- INTRODUCCIÓN

Entre todos los recursos naturales y los insumos utilizados en la agricultura, el agua es probablemente el factor más determinante en la productividad de los cultivos (Matson et al., 1997). En la agricultura mediterránea, con un clima semiárido, la cantidad de agua disponible en el suelo es también la principal limitación de una producción agrícola sostenible y económicamente viable. En este contexto, la programación de riego es el factor más importante que afecta a la calidad y cantidad de las cosechas obtenidas. Un mal manejo del riego puede tener graves efectos ambientales y socioeconómicos.

El primer paso para una gestión adecuada del agua es determinar los requerimientos hídricos de cada cultivo. Para tal fin se hace necesario el uso de técnicas que permiten cuantificar tanto las entradas de agua (lluvia o riego) como las salidas (transpiración, evaporación y drenaje) con el fin de estimar el balance hídrico.

Este equilibrio es, actualmente, un cálculo basado en sensores de suelo; tales como tensiómetros o sondas de succión, estaciones agroclimáticas y lisímetros (Allen et al., 1998).

Los sensores de humedad del suelo utilizados para determinar los balances de agua y para manejar el riego son, por lo general, más bien imprecisos, debido a que sólo exploran una pequeña área de suelo, la mayoría de ellos no son calibrados para el tipo de suelo sobre el cual deben ser utilizados y su aplicación está llena de problemas causados por las piedras, las cavidades subterráneas, etc., sus lecturas, por tanto, aunque bastante cerca de la realidad, no son del todo fiables.



Por otra parte, las estaciones agroclimáticas se pueden utilizar para calcular los valores de evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) de un cultivo, pero a la hora de determinar la evapotranspiración real de un cultivo dado; se hace necesario el uso de una serie de coeficientes de cultivo los cuales son específicos para cada variedad, estado fenológico, patrón utilizado, suelo, clima, etc., proporcionan, por tanto, una orientación basada en estimaciones matemáticas la cual no se ajusta de forma precisa a la información real sobre el consumo de agua de cada planta.

Las estaciones lisimétricas, por otro lado, pueden proporcionar valores exactos para el consumo de agua de cada cultivo, de hecho son considerados como el método estándar para la medición directa de la evapotranspiración real de un cultivo (Payero e Irmak, 2008).

En su definición más general, un lisímetro es un instrumento utilizado en agronomía para medir el volumen de agua entrante y saliente de un recipiente que contiene una masa aislada de suelo (Payero e Irmak, 2008), o de otro modo, un lisímetro es un gran recipiente que encierra una determinada porción de suelo con superficie desnuda o con cubierta vegetal, ubicado en campo para representar condiciones naturales y que se utiliza para determinar la evapotranspiración de un cultivo en crecimiento, de una cubierta vegetal de referencia, o la evaporación de un suelo desnudo (Aboukhaled et al., 1986).

El principal objetivo que se persigue con el uso de estaciones lisimétricas es la determinación de la demanda de agua de los cultivos con fines de la planificación de riego y más específicamente:

- Determinar la evapotranspiración real de los cultivos ( $E_{Tc}$ ) (Perrier, Gosse e Itier, 1980).
- Investigar la influencia de los factores climáticos y sus combinaciones, en el proceso evapotranspiratorio (Perrier et al., 1980).
- Obtener relaciones entre la evapotranspiración medida y la computada mediante fórmulas meteorológicas que involucren variables meteorológicas medidas in-situ (Rijtema, 1965).
- Medir la evapotranspiración real ( $E_{Tc}$ ) y sus relaciones con la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) en diferentes estados de cobertura y crecimiento, (estadios fenológicos del cultivo), así mismo medir la influencia de la disponibilidad de agua en el suelo y sus relaciones con la evapotranspiración (Blad y Rosenberg, 1974).

La gran problemática referente al uso de estaciones lisimétricas, es la elevada complejidad y alto coste de fabricación de las mismas, ya que requieren de obra civil para ser instalados. Afortunadamente, la creciente preocupación acerca de la optimización de recursos y escasez de insumos ha provocado una movilización en términos de investigación e innovación, desarrollando estaciones lisimétricas móviles y de bajo coste.

Uno de los ejemplos a nivel nacional, se encuentra en la empresa llamada Telenatura E.B.T., ubicada en la Región de Murcia, la cual ha desarrollado un lisímetro de bajo coste para el cálculo de la evapotranspiración de plantas en maceta; utilizado principalmente en el cultivo de la vid.



### 1.2.2.2.- TIPOS DE LISÍMETROS

Según Pulido (2014), existen los siguientes tipos fundamentales de lisímetros de acuerdo con su principio de acción:

- **Lisímetros de pesada:** desarrollados para realizar una serie exacta mediciones para el cálculo de la evapotranspiración para pastos y cultivos (Pruitt y Angus, (1960); Young, Wierenga y Mancino (1996)). En estos lisímetros se utiliza la correspondencia existente entre volúmenes y pesos de agua, para medir la evapotranspiración gravimétricamente en lugar de hacerlo volumétricamente. En este grupo cae un variado número de lisímetros:
  - De envases comunes: Consisten en emplear simples recipientes, que llenos de tierra y sembrados con cultivo se pesan cada cierto tiempo, por lo general diariamente, la pérdida de peso entre dos mediciones, corresponderá al agua perdida durante el periodo. Según González C. et al., (2015a) estos lisímetros se podrían catalogar como móviles.
  - Móviles: se sacan de sus lechos a mano o mediante dispositivos de elevación especiales (grúas) y se ponen sobre balanzas de plataforma para medir el peso; después, se vuelven a colocar en su lugar. Los lisímetros que funcionan de acuerdo con este principio de medición del peso, normalmente tienen dimensiones pequeñas.
  - Estacionarios: están puestos permanentemente en el dispositivo de medición del peso (la balanza). Normalmente son lisímetros de grandes dimensiones donde el peso del suelo y los demás accesorios del lisímetro mismo pesan varias toneladas; requieren de la realización de obra civil para su instalación. Se considera que los lisímetros de medición del peso facilitan datos precisos, pero la medición de pesos más grandes causa ciertas dificultades.

El uso de balanzas de plataforma y dispositivos de elevación para sacar los lisímetros de sus lechos y pesarlos, es posible sólo en caso de lisímetros de peso y dimensiones limitados. En todos los casos en que los lisímetros utilizados son de grandes dimensiones, los mismos deben ser estacionarios, colocados sobre balanzas, lo cual encarece su construcción.

- **Lisímetros flotantes:** estos tipos de lisímetros llamados, así mismo, hidráulicos, tienen el recipiente lleno de suelo (el monolito) que está flotando directamente o mediante un flotador en una piscina llena de agua u otra solución. La ley de Arquímedes sirve de base al principio de estos lisímetros. Al evaporarse la humedad del monolito de suelo flotante, el peso del mismo disminuye y, como consecuencia, emerge sobre la superficie del líquido. Por los cambios en la profundidad de sumersión se determina la evapotranspiración del monolito de suelo del lisímetro. El registro continuo de estos aparatos los hace muy útiles, en comparación con otros que efectúan medidas a



intervalos relativamente largos; pues así se puede estudiar el proceso de flujo de vapor a la atmósfera con mayor detenimiento.

En la instalación de lisímetros de este tipo, hay que evitar el cabeceo del tanque flotante, es decir, que la flotación debe realizarse en forma erecta. A tal fin, el centro de gravedad debe quedar por debajo del centro de flotación. Así mismo, ocasionalmente un lado del tanque puede quedar más pesado que otro, recostándose de las paredes externas. Para eliminar los problemas de drenaje en el fondo, debe colocarse una capa de arena o grava y una batería de dos o tres tanques colectores comunicados al exterior por una tubería vertical; al bajar el agua gravitacional, esta se extraerá mediante una bomba manual, introduciendo la manguera de succión por los tubos de drenaje (López, 1970).

- **Lisímetros de presión:** estos lisímetros permiten registrar las pérdidas de agua mediante cambios de presión. A tal fin se coloca el tanque sobre un grupo de mangueras flexibles llenas de un fluido, generalmente agua, comunicada a un manómetro. Para las mangueras, se han probado diferentes materiales; entre ellos vinil, goma, nylon-butyl, lona, etc., se han probado también tripas de caucho de automóvil o colchones inflables de aire.

Los errores debidos a fricción son despreciables y el equipo es relativamente barato. Al igual que los lisímetros flotantes estos tienen problemas por flujo de calor. En este caso, con incrementos de temperatura hay un aumento en la presión del líquido, el cual se registraría como ganancia de peso. Por tal motivo hay que efectuar las correcciones necesarias (Pulido, 2014).

- **Cajas lisimétricas:** consisten en una caja estanca que se rellena del material en cuestión, colocando en el fondo un lecho de gravas. En el fondo se instala un sistema de drenaje colector del agua infiltrada. La muestra de terreno resulta alterada por lo que la representatividad de la medida se ve afectada (Pulido, 2014).
- **Lisímetros monolito:** la cubeta se construye alrededor de un bloque de terreno in situ, o bien el bloque de terreno se introduce, lo menos afectado posible, dentro de la caja lisimétrica. Las dimensiones de estos tipos de lisímetros son muy variables, pueden ser de 1 a 625 m<sup>2</sup>, y tiene forma cuadrada o rectangular. Suelen tener de 1 a 3 m de profundidad. Se suelen construir baterías de estos lisímetros, cada una con una peculiaridad y se completa el registro con una estación meteorológica completa (Pulido, 2014).
- **Lisímetros Complejos:** con el fin de no alterar el terreno in situ, el lisímetro se coloca en una galería que parte de un pozo excavado. Se pueden colocar lisímetros, partiendo de un mismo pozo central, a diversas alturas y orientaciones; en general los valores que se miden son muy bajos, y no son representativos de la infiltración real. Todas



estas instalaciones se puede hacer con un drenaje total o manteniendo un plano constante de agua a una cierta profundidad, generalmente de 1m (Pulido, 2014).

### **1.2.2.3.- LISIMETRÍA DE PESADA. MÉTODO DE CÁLCULO**

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa de fase líquida a fase de vapor, desde la superficie a la atmósfera. El agua puede evaporarse desde una gran variedad de superficies tales como suelos, lagos, ríos, y vegetación húmeda. Este cambio de fase requiere un aporte de energía, proporcionado fundamentalmente por la radiación solar y, en menor grado, por el aire que circunda la superficie evaporante.

La transpiración consiste en la vaporización de agua líquida contenida en los tejidos de las plantas y en el transporte del vapor de agua a la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas y, en menor medida, a través de la cutícula. Los estomas son pequeñas aberturas en las hojas a través de las cuales circulan el vapor de agua y otros gases como el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$ . Es de resaltar que casi toda el agua absorbida por la planta es transferida a la atmósfera mediante este proceso, manteniéndose en su interior sólo una fracción mínima. La transpiración depende, al igual que la evaporación, del suministro de energía para el cambio de fase, junto con el gradiente de presión de vapor entre el aire húmedo saturado del espacio intercelular y la atmósfera circundante, que es la fuerza impulsora para el transporte de vapor a través de los estomas. Influye además la interacción del viento con la superficie, para el transporte del aire húmedo de la cubierta a la atmósfera libre.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay forma sencilla de separar ambos procesos, por lo que al flujo de vapor de agua desde una cubierta vegetal se le denomina de forma general evapotranspiración (ET). La proporción de evaporación y transpiración en un cultivo cambia según las diferentes fases de desarrollo y crecimiento. Así, cuando el cultivo está en las primeras fases de desarrollo predomina el suelo desnudo, y el principal proceso es el de evaporación. Al desarrollarse el cultivo va cubriendo progresivamente el suelo hasta alcanzar la cobertura máxima. Cuando el cultivo llega a cubrir totalmente el suelo, la transferencia de agua a la atmósfera se deberá fundamentalmente a la transpiración.

La evapotranspiración real es la tasa de transferencia de agua a la atmósfera que tiene el cultivo en un momento determinado. Para conocer su valor son necesarios una serie de conceptos de gran importancia que a continuación se exponen.

- **Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$  o  $ET_r$ ):** referida a la que tiene una superficie en óptimas condiciones de crecimiento y bajo un adecuado suministro de agua. La superficie de referencia es un cultivo herbáceo ideal, pudiendo ser una pradera de gramíneas, como es el caso de la festuca ( $ET_0$ ) o una pradera de alfalfa ( $ET_r$ ), más comúnmente usada como referencia en Estados Unidos. Al considerar un buen suministro de agua en el suelo, el agua disponible en él y las características del suelo no afectan al ritmo de evapotranspiración.



Este concepto se introduce para estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo, de su estado de desarrollo y de su manejo. Dada su definición, los factores que afectan a la evapotranspiración de referencia son los factores climáticos, pudiendo ser calculada con parámetros climatológicos (temperatura, humedad relativa de la atmósfera, velocidad del viento, etc.).

La evapotranspiración de referencia que utiliza una pradera de gramíneas como cultivo de referencia ( $ET_0$ ) y recomendada por el Manual FAO nº 56 (Allen et al., 1998), es la más utilizada en nuestro ámbito de estudio. La ecuación que permite su cálculo es la denominada FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

- **Coefficiente de cultivo ( $K_c$ ):** El coeficiente de cultivo se define como el cociente entre la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar y la evapotranspiración de referencia:

$$K_c = \frac{ET_c (mm)}{ET_0 (mm)}$$

Este coeficiente refleja las diferencias entre el cultivo y la superficie de referencia. Como las características de un cultivo cambian con las distintas fases de fenológicas, los valores del coeficiente de cultivo describen una curva a lo largo del ciclo del cultivo cuya forma refleja los cambios en la vegetación y en la cobertura vegetal debidos al crecimiento y maduración durante el ciclo del cultivo. Conociendo el coeficiente de cultivo en un determinado instante se puede obtener la evapotranspiración real del cultivo, utilizando la evapotranspiración de referencia, calculada anteriormente con parámetros climáticos.

Existen diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración de un cultivo. Dichos procedimientos requieren el control continuo de un gran número de parámetros físicos, meteorológicos y de la cubierta vegetal. Según el principio en que se basan los equipos de medida, se distinguen los siguientes métodos:

- **Método del balance de la energía:** la evapotranspiración es uno de los principales flujos de energía en el intercambio energético entre la superficie terrestre y la atmósfera. El cambio de fase requiere una gran cantidad de energía, por lo que está limitada a la cantidad de energía disponible. Debido a esta limitación, es posible predecir la cantidad de evapotranspiración aplicando el principio de conservación de la energía según el cual, la energía que llega a la superficie debe ser igual a la energía que sale de la misma, dentro de un periodo determinado.

La ecuación del balance de energía de una superficie, considerando sólo los flujos verticales es la siguiente:

$$R_n = G + \lambda ET + H$$

Dónde:



- $R_n$  = Radiación neta en la superficie ( $W m^2$ ); es la energía intercambiada por radiación.
  - $G$  = Flujo de energía en forma de calor intercambiado por conducción entre la superficie del cultivo y el suelo ( $W m^2$ ).
  - $\lambda ET$  = Calor latente, es el flujo de energía en forma de calor asociado al flujo de vapor de agua ( $W m^{-2}$ ). Esta es la energía que se requiere para el proceso de evaporación. Así  $\lambda$  es el calor latente de vaporización, es decir, la energía necesaria para evaporar la unidad de masa.
  - $H$  = Calor sensible, es el flujo de energía en forma de calor intercambiado por convección entre la superficie y la atmósfera ( $W m^2$ ), es decir debido a la diferencia de temperaturas entre la superficie y la atmósfera.
- **Método basado en el balance hídrico del suelo:** consiste en determinar las entradas y salidas del flujo de agua en la zona del suelo ocupada por las raíces en un determinado intervalo temporal.

Los aportes de agua vienen dados por el riego ( $R$ ) y la lluvia ( $P$ ), mientras que las pérdidas pueden ser por escorrentía superficial ( $E_s$ ) y percolación profunda ( $D$ ). Además, si el nivel freático se encuentra a escasa profundidad de las raíces, también aportará agua el ascenso capilar, mientras que en caso de pendientes en el terreno habría que considerar entradas y salidas de flujos subsuperficiales ( $F_s$ ).

Si todos estos flujos son medidos, la evapotranspiración puede deducirse, teniendo también en cuenta el cambio en el almacenamiento de agua en el suelo ( $\Delta w$ ), para cuya determinación se pueden emplear técnicas de gravimetría.

La ecuación del balance hídrico (en mm), presenta la siguiente forma:

$$ET = R + P - E_s - D - F_s \pm \Delta w$$

Este balance hídrico del suelo suele emplearse para estimar la evapotranspiración en períodos semanales o superiores (Allen et al., 1998).

- **Métodos numéricos de estimación de la evapotranspiración de los cultivos:** la complejidad que presentan los métodos directos de estimación de la evapotranspiración real ( $ET$ ) ha llevado al desarrollo de una metodología basada en la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ), utilizando parámetros climáticos y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ).

La ecuación utilizada para la estimación numérica de la evapotranspiración en la siguiente:

$$ET (mm) = K_c \times ET_0 (mm)$$



La lisimetría de pesada se fundamenta en el principio del balance hídrico del suelo para el cálculo de la evapotranspiración, esto es, medición de las entradas y salidas de agua del sistema suelo-planta.

Como se ha comentado, un lisímetro es un gran recipiente que encierra una determinada porción de suelo con superficie desnuda o con cubierta vegetal, ubicado en campo para representar condiciones naturales y que se utiliza para determinar la evapotranspiración de un cultivo en crecimiento, de una cubierta vegetal de referencia, o la evaporación de un suelo desnudo (Aboukhaled et al., 1986).

Por tanto, al aislarse la zona del suelo en que se asientan las raíces, de su entorno, tanto los flujos laterales ( $E_s$ ) como los de percolación o ascenso capilar ( $F_s$ ) son nulos. De esta forma los restantes términos del balance hídrico pueden ser determinados con precisión.

En los lisímetros de pesada el incremento o pérdida de agua ( $\Delta w$ ) se mide por el cambio en la masa obtenido pesando el recipiente en el que se encuentra el suelo.

La precipitación ( $P$ ) y el riego ( $R$ ) son medidos utilizando pluviómetros o métodos volumétricos convencionales. Al tratarse de un recipiente con paredes laterales, la escorrentía sub-superficial ( $E_s$ ) puede considerarse nula. Para drenar y medir el agua que percola a través de la masa de suelo ( $D$ ) se utiliza una cámara de drenaje y un recipiente de volumen conocido.

Así pues, se obtiene una ecuación de entradas y salidas, de la siguiente forma:

$$P + R = ET + D \pm \Delta w$$

De la cual, se deriva el cálculo de la evapotranspiración; quedando la siguiente ecuación:

$$ET = P + R - D \pm \Delta w$$

De esta forma el lisímetro proporciona una medida directa de la evapotranspiración en el período considerado, siendo el procedimiento que proporciona valores más precisos de ET.



## 2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1.- INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se analizan estudios previos acerca, tanto del montaje de jardines verticales de interior como de cálculo de la evapotranspiración de cultivos mediante lisimetría de pesada.

Dichos estudios sirven de base para la realización del presente proyecto, así como de modelo comparativo con los cuales contrastar los resultados obtenidos.

En primera instancia, se analiza la información referente a la construcción de jardines verticales, tanto el proceso de montaje como los materiales utilizados para llevarlo a cabo.

A continuación, se investigan estudios y ensayos acerca del cálculo del consumo hídrico de diversos cultivos haciendo uso de lisimetría de pesada.

### 2.2.- ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE JARDINES VERTICALES DE INTERIOR

#### 2.2.1.- CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN JARDÍN VERTICAL DE INTERIOR POR IES HELICHES

El Instituto de Enseñanza Secundaria Heliches, Sevilla, realizó en el curso 2013/2014 una experiencia de construcción y mantenimiento de un jardín vertical de interior.

Las condiciones constructivas, así como el material vegetal empleado, fueron los siguientes:

- Tipo de ajardinamiento vertical:
  - Se trata de un jardín vertical de interior pasivo con hidrocultivo en geoproducto.
  - El geoproducto utilizado fue un geotextil, conocido como manta de riego.
  - Como material de soporte de la manta de riego se utilizó un panel de PVC espumado.
  - El método de riego utilizado es riego por goteo integrado en el jardín vertical.
- Material vegetal:
  - La elección de las plantas se realizó en función de sus requerimientos térmicos, capacidad de cobertura, necesidades hídricas, tamaño, iluminación, rusticidad, belleza y disponibilidad en el mercado en ese momento. Así pues, en una primera instancia el material vegetal usado fue:
    - *Codiaeum variegatum*.
    - *Syngonium podophyllum*.
    - *Nephrolepis exaltata*.
    - *Asparagus plumosus*.
    - *Peperomia oblusifolia* 'Variegata'.
    - *Dracaena deremensis Compacta*.



- *Dieffenbachia bowmanii*.
- *Maranta leuconeura*.
- En cuanto a la posición de cada especie dentro del panel, se tuvo en cuenta las necesidades hídricas de las mismas o la sensibilidad a un exceso de humedad en sus raíces. Ello llevó a poner las plantas con menores necesidades de agua en la parte superior. *Codiaeum variegatum*, *Asparagus plumosus*, *Peperomia obtusifolia* y *Dracaena deremensis* pasaron a formar parte del diseño superior. En la zona media se optó en parte por *Nephorlepis exaltata*, *Mantara leuconera* y *Syngonium podophyllum* y en zona baja por *Nephrrolepis exaltata*, *Maranta leuconera*, *Syngonium podophyllum* y *Dieffenbachia bowmanii*.

Los resultados obtenidos, una vez transcurrido un año de la implantación del jardín vertical, fueron los siguientes:

- Las especies *Codiaeum variegatum*, *Nephrrolepis exaltata* y *Asparagus plumosus* obtuvieron una adaptación espectacular.
- Las especies *Peperomia obtusifolia* y *Dracaena deremensis* obtuvieron una adaptación normal, con un crecimiento acorde a cada especie, ajustándose a la hipótesis de partida.
- Las especies *Maranta leuconera*, *Syngonium podophyllum* y *Dieffenbachia bowmanii* experimentaron una mala adaptación al jardín, llegando incluso a secarse.

Una vez analizados los resultados obtenidos, pudieron obtener las siguientes conclusiones:

- La especie *Maranta leuconera* presentaba peor aspecto cuanto más alto se encontraba, por lo que se puede deducir una falta de humedad. Además, al ser una especie de hojas grandes y tallos medianamente largos sufría roces con el trasiego del alumnado provocando la rotura de hojas y tallos; se decidió entonces su sustitución por la especie *Soleirolia soleirolii* la cual presentó una adaptación muy buena al jardín.
- En el caso de las *Dieffenbachia bowmanii*, sufrieron roturas en sus tallos por el paso del alumnado y el resto quedaron muy despobladas de hojas en su base por lo que se decidió reemplazarlas por *Epipremnum aureum* y *Philodendron scandens*; plantas muy comunes y de gran cobertura y rusticidad, las cuales experimentaron una buena adaptación al jardín.
- Por último, los *Syngonium podophyllum* no dieron el resultado que se esperaba. Manifestaron una debilidad que se fue agravando con el tiempo. Las subespecies de color rosa fueron las más afectadas y al localizarse justo debajo de especie *Codiaeum variegatum* que habían dado tan buen resultado se decidió sustituirlos por los mismos.

De la presente experiencia realizada por IES Heliches, se puede obtener la siguiente conclusión útil para la realización de este Trabajo de Fin de Grado:

- En un jardín vertical para ambiente de interior pasivo con hidrocultivo en un geotextil con riego por goteo, las especies vegetales que podrían presentar una buena adaptación son las siguientes:
  - *Codiaeum variegatum*.



- *Nephrolepis exaltata*.
- *Asparagus plumosus*.
- *Peperomia obtusifolia*.
- *Dracaena deremensis*.
- *Soleirolia soleirolii*.
- *Philodendron scandens*.
- *Epipremnum aureum*.

### **2.2.2.- COMPORTAMIENTO HÍDRICO DE MUROS VERDES INSTALADOS EN UNA CASETA BIOCLIMÁTICA EN CONDICIONES CLIMÁTICAS MEDITERRÁNEAS SEMIÁRIDAS**

El objeto de este estudio de investigación es evaluar el comportamiento hídrico de muros con jardinería vertical instalados en todas las caras de una caseta de obra en el sudeste español (Almería), pudiendo realizar la comparación en función de la orientación de las mismas.

Para ello se ha procedido a recubrir la totalidad de la caseta con jardines verticales de exterior con sistema de paneles autoportantes, excepto en el hueco de la puerta de la caseta.

Los módulos fueron plantados a una densidad de 50 plantas  $m^2$ , con diferentes especies adaptadas a las condiciones climáticas de la zona y a las distintas orientaciones de las paredes, en función de las necesidades hídricas de las especies y su tolerancia a la exposición directa o no al sol y al viento.

La dotación de riego es la misma para todos los módulos independientemente de su orientación y está constituida por una única línea de goteros autocompensantes y antidrenantes (caudal por gotero de 3 L h<sup>-1</sup>) colocados en la zona más alta de los módulos con un caudal de riego de 12 L h<sup>-1</sup> por cada módulo de dimensiones 210x40 cm (alto x ancho). La frecuencia de riego se establece en un riego cada 30 minutos, salvo por la noche (20-8 h) que no tendrá riegos, y la duración de cada riego varía a lo largo del experimento en función de los requerimientos hídricos de las plantas garantizando un mínimo de 20% de drenaje diario.

Para cuantificar el consumo hídrico de cada cara del jardín vertical se colocaron 3 depósitos en la base de 3 módulos en cada una de las caras. El consumo se calculó mediante la diferencia entre el volumen de riego de un gotero de control y de los drenajes de los depósitos. Se cuantificó el consumo por la mañana (8-14 h) y por la tarde (14-20 h) durante 8 días de los meses de mayor demanda climática, agosto y septiembre y sin viento para evitar la influencia del mismo en los resultados

Los resultados obtenidos reflejan que el consumo hídrico durante el día presenta diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) según la orientación del jardín vertical. Los mayores consumos se cuantifican en las caras sur y este, alcanzando valores ligeramente superiores a los 8 L/ $m^2$  día, la cara oeste consume algo más de 6 L/ $m^2$  día, y la cara con menor consumo es la norte con algo menos de 3 L/ $m^2$  día.



## **2.3.- ESTUDIOS PREVIOS SOBRE EL CÁLCULO DEL CONSUMO HÍDRICO DE MATERIAL VEGETAL MEDIANTE LISIMETRÍA DE PESADA**

### **2.3.1.- DESARROLLO DE UN INNOVADOR LISÍMETRO DE PESADA DE BAJO COSTE PARA PLANTAS EN MACETA: APLICACIONES EN ESTACIONES LISIMÉTRICAS POR RUIZ-PEÑALVER, L.**

En el año 2014, investigadores de la Universidad Politécnica de Cartagena e investigadores de la Universidad Miguel Hernández de Elche realizaron esta experiencia con la cual se pretendía la fabricación de un lisímetro de pesada de bajo coste y la evaluación del mismo sobre el cultivo de vid en maceta, así como la verificación de las diferencias existentes en la eficiencia del uso del agua en relación a la inclinación de la espaldera que soporta la parte aérea del cultivo de la vid.

Como hipótesis de partida se estableció que en plantaciones de viñedos y árboles frutales en espaldera con una orientación Norte-Sur de las filas, la inclinación de la vegetación a Occidente podría aumentar la eficiencia en el uso del agua, ya que disminuye la cantidad de radiación interceptada por la planta en las primeras horas de la tarde, cuando la demanda de evaporación es superior a las primeras horas de la mañana.

Para ello, diseñaron un lisímetro de pequeñas dimensiones, comparado con los lisímetros de pesada convencionales, de bajo coste y con un soporte metálico que actúa como espaldera para la fijación de la parte aérea del cultivo.

Para la fabricación de dicho lisímetro se estudiaron varios prototipos en los que variaba la geometría de la plataforma del lisímetro así como la distribución de las células de carga, encargadas de la medida de peso del cultivo. Finalmente, se optó por la fabricación de un lisímetro con forma de triángulo equilátero, con lo cual se solventa los posibles errores en la medida debido al crecimiento irregular del cultivo. De modo que se colocó una célula de carga en cada vértice de la plataforma, además de colocar una célula de carga en el recipiente de drenaje con la finalidad de medir el agua percolada; obteniéndose un total de cuatro células de carga.

El trabajo para la validación del prototipo se llevó a cabo en una de las parcelas experimentales de la Escuela Politécnica de Orihuela, una parte de la Universidad Miguel Hernández. La parcela tenía una superficie de 396 m<sup>2</sup> y con una orientación norte-sur. En su distribución, cada una de las ocho filas tenía doce macetas de capacidad 50 litros, plantadas de vid de la variedad Bobal (*Vitis vinifera* L. cv Bobal) a través de un rizoma 110-R, frente al noroeste-suroeste.

Para evitar el efecto de borde, las dos filas en los extremos Este y Oeste y las dos filas centrales actuaron como barreras y no tienen lisímetros. Estos fueron colocados en cuatro filas: la segunda, tercera, sexta y séptima filas a lo largo del eje Este-Oeste. De las 12 macetas en cada fila, las 4 medias fueron colocadas sobre un lisímetro, con los 8 restantes distribuidos cuatro por cuatro en calidad de guardianes. Por lo tanto, había 16 lisímetros en la trama.

En cuanto al proceso de instalación, primero las bases fueron ancladas al suelo, y luego se colocaron las macetas en sus lisímetros correspondientes. Una vez que las vides comenzaron a brotar, con el consiguiente aumento de tamaño de la planta, se adjuntan los enrejados inclinados, 2 de las filas restantes en 90° y las otras dos en 45°.

L. Ruiz-Peñalver et al. / Agricultural Water Management xxx (2014) xxx-xxx

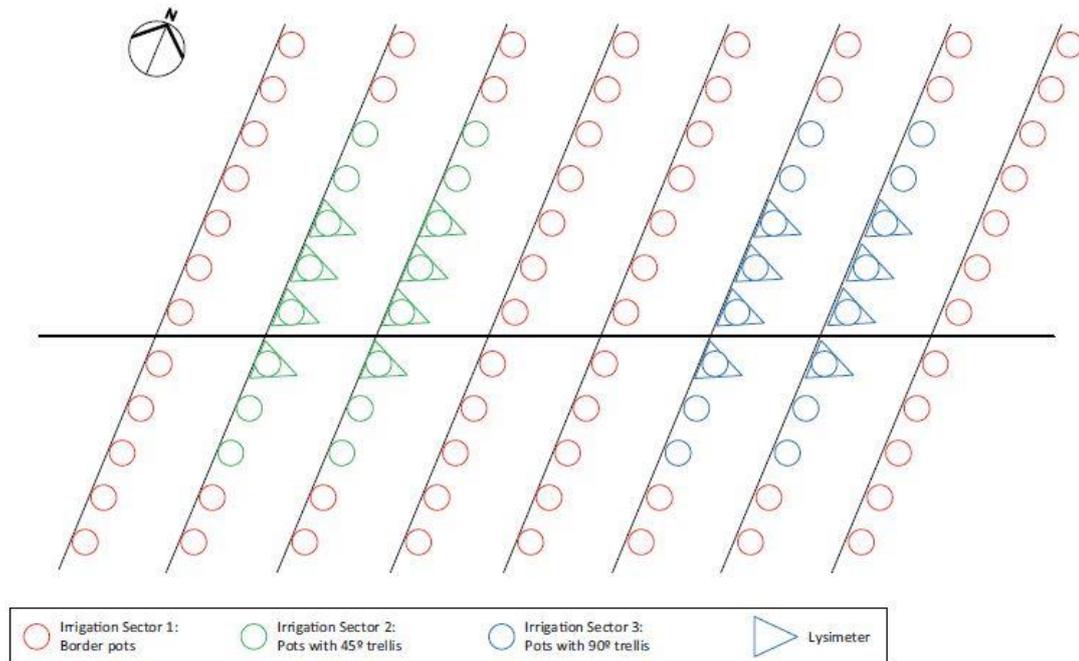


Ilustración 14: ilustración de la distribución de los lisímetros en el ensayo de campo, L. Ruiz-Peñalver et al.

Los resultados obtenidos en relación a la evaluación de la viabilidad del lisímetro fabricado son los siguientes:

- Durante el periodo experimental, los lisímetros han estado expuestos a diversas condiciones climáticas, tales como lluvia, viento y temperaturas elevadas, y han soportado todos ellos sin ningún tipo de daño estructural significativo. Su diseño modular hace que sea fácil de transportar e instalar en el campo, para reemplazar las piezas dañadas o para volver a calibrar el equipo.
- Durante dos años después de la instalación de los lisímetros, ha sido verificado que el diseño de la estructura de soporte es adecuado. Además, un ahorro en el material estructural se ha obtenido debido a su forma triangular.
- Las pruebas llevadas a cabo en el campo permitieron determinar con fiabilidad el comportamiento agronómico de las vides en diferentes condiciones de crecimiento y de riego.
- Una vez realizadas y verificadas las rectas de calibración, los errores en la medición de todas las células de carga están dentro de un rango de  $\pm 4$  gramos. Esto puede ser considerado como razonable para el grado de exactitud de los instrumentos utilizados.

Respecto a los resultados obtenidos en la determinación de la evapotranspiración del cultivo, quedan recogidos en las siguientes figuras.

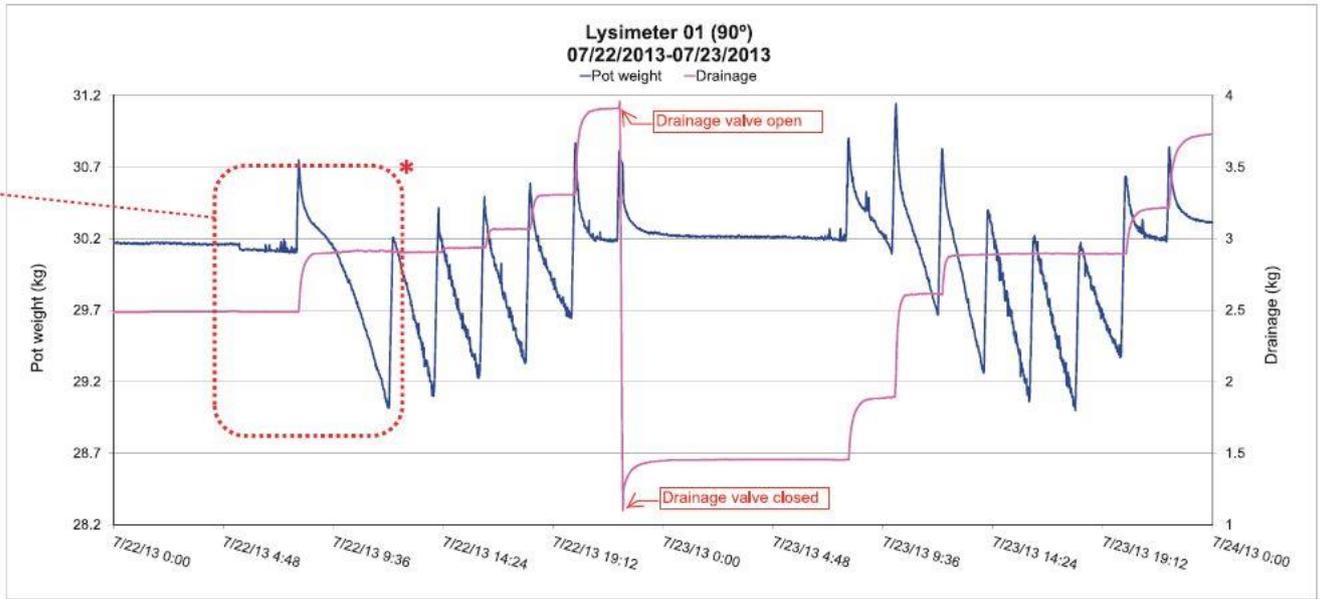


Figura 1: curva de peso del cultivo (color azul) y curva de peso del drenaje (color lila) los días 07/22/2013 y 07/23/2013, Ruiz-Peñalver, L. et al.

La figura 1 ilustra el funcionamiento de un lisímetro el 22 y 23 de julio de 2013. La línea de color azul muestra el peso de la maceta, después de restar el peso de la plataforma y el enrejado, mientras que la línea de color lila muestra la variación de peso experimentada por el recipiente de drenaje. El día 22 recibió 7 riegos de diez minutos y 8 riegos de diez el día 23, entre el 8:00 y las 22:00.

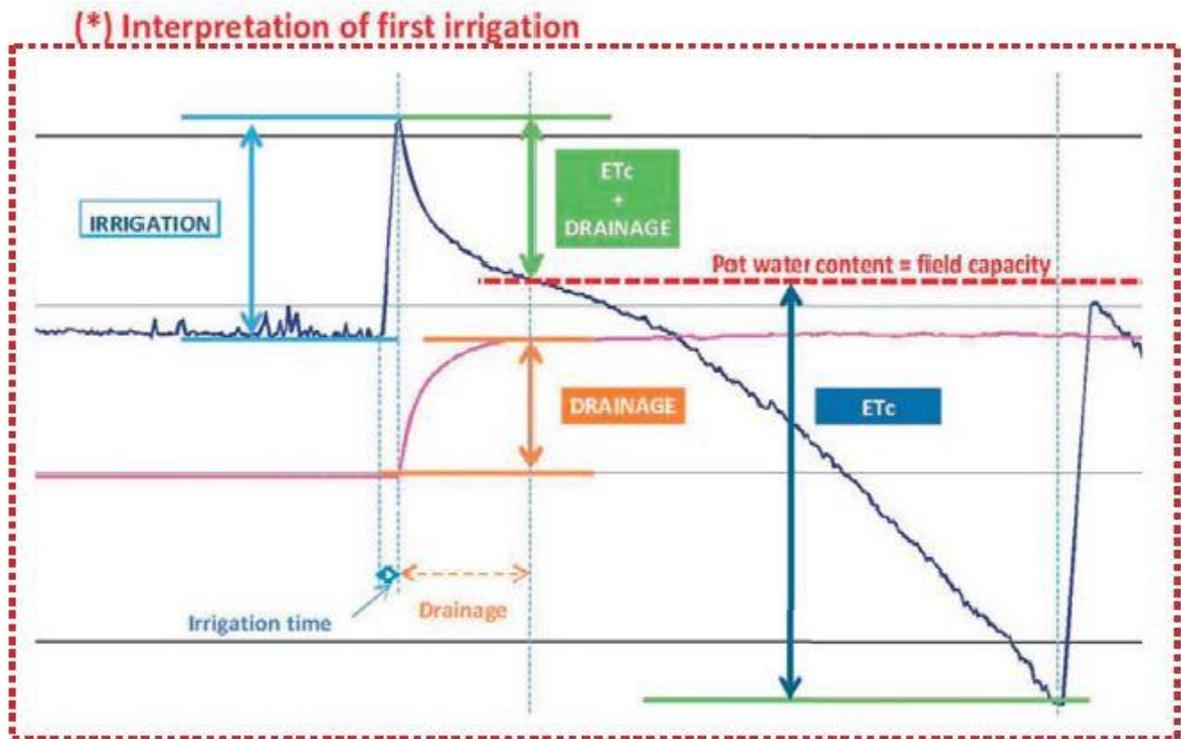


Figura 2: detalle de las curvas de peso del cultivo y de drenaje el día 07/22/2013 en la primera aportación del riego, Ruiz-Peñalver, L. et al.



La figura 2 muestra de forma detallada la evolución del peso de la maceta, curva de color azul, y del drenaje, curva de color lila, en el primer riego realizado el día 22 de julio de 2013.

Como se puede observar la curva de peso de la maceta experimenta un incremento repentino debido a la incorporación del riego (etiquetado como "IRRIGATION"), después de terminar el tiempo de riego ("Irrigation time") se produce un descenso en el peso de la maceta debido a la combinación del drenaje del agua de riego que acaba de ser aportada y a la evapotranspiración ejercida por el cultivo (marcado como "ETc + DRAINAGE"). En la curva de peso de la maceta, se llega a un punto en el cual el descenso en el peso es debido únicamente la evapotranspiración del cultivo (etiquetado como "ETc"), esto es corroborado por la curva de drenaje ya que en ese punto se experimenta un cese en el aumento del drenaje (marcado como "DRAINAGE"). Respecto a las oscilaciones en la curva de peso de la maceta experimentada en las primeras horas de la mañana previo a la aportación del primer riego, los investigadores, determinaron que se debía a la llegada de pequeños pájaros que se posaban en el cultivo para beberse el rocío, provocando la consecuente distorsión en la curva.

Las conclusiones obtenidas por los investigadores, de dicha experiencia fueron las siguientes:

- El lisímetro de pesada presentado en dicho estudio ha sido probado y validado en sus diferentes fases (desarrollo, instalación y operación con macetas de vid). Gracias a la precisión de las células de carga utilizadas y el sistema de control para el agua percolado por medio de electroválvulas, es posible grabar con precisión toda la información sobre los cambios de peso para calcular la evapotranspiración, el consumo de agua y el crecimiento de la planta. Por ello, ha demostrado ser un instrumento muy útil para llevar a cabo investigaciones científicas en numerosas especies vegetales.
- Una serie de mejoras estructurales están siendo actualmente desarrolladas para hacer las patas de la plataforma de soporte articulado, lo que hará más fácil el transporte y reducirá el espacio necesario para la estructura cuando está plegada.



### **3.- OBJETIVOS**

El objetivo primordial del presente Trabajo de Fin de Grado, es el cálculo del consumo hídrico diario de un jardín vertical de características conocidas y en un ambiente conocido; haciendo uso de lisimetría de pesada. Para ello, se emplea un lisímetro diseñado para cultivos en maceta.

De forma adicional, también se valora el proceso de construcción del jardín, tanto en la fabricación del propio jardín vertical como en la instalación de riego; exponiendo los costes derivados de la fabricación del mismo y, haciendo una reflexión final acerca de los resultados reunidos durante el transcurso del trabajo.



## 4.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1.- METODOLOGÍA GENERAL

La metodología genérica llevada a cabo para la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se divide en tres fases diferenciadas; dichas fases son las siguientes:

- Fase 1: montaje del jardín vertical.
- Fase 2: estudio de las condiciones ambientales del entorno del jardín vertical.
- Fase 3: seguimiento y cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical.

En la primera fase, se procede al diseño y fabricación del jardín vertical, esto es, construcción de la estructura de soporte del material vegetal, construcción de la instalación de riego y drenaje e implantación de las especies vegetales en el jardín.

A continuación, en la segunda fase, se realiza la caracterización de las condiciones físicas: descripción física del entorno del jardín, superficie del taller, afluencia de personal y tareas que se desempeñan y, ambientales: medición de los niveles de humedad relativa, temperatura, concentración de CO<sub>2</sub> e iluminación incidente al jardín vertical, del entorno que rodea al mismo.

Por último, en la tercera fase del proyecto, se lleva a cabo la recopilación y el tratamiento de los datos obtenidos, esto es, se procede al cálculo de la evapotranspiración o consumo hídrico del jardín vertical y, en función de los resultados obtenidos, se establece una programación de riego. Así mismo, de forma paralela se procede al seguimiento del crecimiento del jardín vertical.

### 4.2.- FASE 1: MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL

Comprende la primera fase del desarrollo del proyecto y consta de las siguientes sub-fases:

- Diseño del procedimiento de montaje del jardín vertical.
- Elección de los materiales más adecuados para el montaje del jardín vertical.
- Elección y diseño del material vegetal más adecuado a implantar en el jardín vertical.

Para el proceso de montaje del jardín vertical se cuenta con la orientación y ayuda de la empresa especializada en el desarrollo de estructuras vegetales, Alijardín.

Previo al montaje, propiamente dicho, del jardín vertical, se consensua la localización del mismo; de manera que se encuentre en una posición cómoda para los trabajadores del taller en el que está situado.

Del mismo modo se añade un presupuesto dividido en las diferentes instalaciones, ofreciendo un precio total para el jardín vertical fabricado en el presente trabajo.



## **4.2.1.- MATERIALES UTILIZADOS PARA EL MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL**

### **4.2.1.1.- MATERIALES DE SOPORTE**

De acuerdo a los conocimientos obtenidos en la bibliografía citada y a la experiencia de la empresa especializada en estructuras vegetales, Alijardin, el montaje del jardín vertical se sustenta bajo dos elementos: una plancha de PVC espumado, el cual es el principal elemento de sostén de todo el jardín, y una manta de riego o fieltro el cual es el encargado de dar soporte del material vegetal, así como del flujo y retención de agua, actuando como un sustrato inerte.

Además, como elemento de soporte, se utiliza una estructura vertical cuadrada, que actúa de forma similar a una espaldera, ya presente en el lisímetro, de modo que, el conjunto formado por la plancha de PVC y el fieltro queda anclado sobre dicha estructura vertical.

Para la unión entre la plancha de PVC y la espaldera del lisímetro se utiliza poliuretano a modo de masilla sellante; se decide la utilización de este elemento debido a la experiencia reunida por la empresa especializada en estructuras vegetales, ya que asegura una fuerte fijación, en un periodo de tiempo no muy amplio (10-12 horas), resistente a la humedad y de bajo coste.

Del mismo modo para la unión del fieltro a la plancha de PVC se hace uso de una grapadora manual para tapizados.

Por último, para la fijación del conjunto espaldera-plancha PVC-manta de riego al lisímetro se hace uso de bridas.

A modo de recopilación, los materiales utilizados para el soporte del jardín vertical son:

- Estructura vertical o espaldera, ya presente en el lisímetro.
- Plancha de PVC. Tamaño: 1,5 m x 1,5 m.
- Manta de riego o fieltro.
- Masilla sellante de poliuretano.
- Grapadora manual para tapizados y grapas de 8 mm de ancho.
- Bridas.
- Sargentos.
- Cutter.

### **4.2.1.2.- MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DE RIEGO**

La elección de los materiales para la instalación de riego se realiza en función de una instalación de riego básica; teniendo en cuenta la altura a la cual tiene que llegar el agua y la calidad del agua de riego.

La instalación de riego se sustenta sobre un soporte diseñado y construido a tal efecto. Dicho soporte es una estructura metálica y cuadrada; la cual consta de tres barras ajustables que rodean al jardín vertical a modo de arco cuadrangular; dicho arco se apoya sobre dos pies, uno de ellos con una pequeña plataforma en la cual se coloca el cubo de riego.



Los materiales utilizados para la instalación de riego son los siguientes:

- Motobomba de aguas claras VC250ECL, potencia: 250 W, caudal máximo: 6.500 L/h y altura máxima: 6 m.
- Tubería de polietileno de 40 mm de diámetro.
- Válvula aliviadora o by-pass.
- Válvula anti-retorno.
- Llave de paso.
- Filtro de malla de 130 MESH sin válvula  $\frac{3}{4}$ ".
- Enlaces y racores.
- Manguera de riego de 16 mm.
- Goteros auto-compensantes, caudal: 4 L/h.
- Cubo de 100 L de capacidad.
- Bridas.
- Programador de riego de jardinería, Coati (14 riegos). Sustituido por programador de riego de jardinería, Garza (8 riegos), debido a la posibilidad de programar también los segundos.
- Soporte metálico.

Del mismo modo, dentro de la instalación de riego se engloba la instalación de drenaje; dicha instalación consta de los materiales utilizados para la unión entre el agua drenada por el jardín y el orificio de entrada de drenaje del lisímetro, y la unión entre el orificio de salida de drenaje del lisímetro y el desagüe de la instalación de agua del edificio.

Los materiales utilizados para la instalación de drenaje son los siguientes:

- Canaleta abierta de PVC, 10 cm de diámetro.
- Colador doméstico.
- Filtro de papel.
- Embudos.
- Manguera confort Geolia, 15 mm de diámetro.
- Codo 90º con rosca hembra de 16 mm de diámetro.
- Botella de plástico.
- Taco de madera.
- Pletinas.
- Plancha de madera de 18 x 19 cm<sup>2</sup>, 2 cm de grosor.
- Cinta aislante y teflón.
- Bridas.

### **4.2.1.3.- MATERIAL VEGETAL**

La elección del material vegetal se realiza en función de los siguientes criterios:

- Idoneidad de la especie para el desarrollo en ambiente de interior:
  - Bajos requerimientos de lumínicos.



- Poca exigencia en cuanto a necesidades hídricas y nutricionales.
- Idoneidad de la especie para el crecimiento en jardines verticales:
  - Adaptación de la planta al espacio reducido.
  - Aclimatación a la competencia con otras especies.
  - Capacidad de absorción de agua.
- Otros criterios adicionales:
  - Estética.
  - Disponibilidad según época.
  - Coste.
  - Rusticidad de la especie.

Así pues, siguiendo dichos criterios junto con la orientación y experiencia de la empresa especializada en estructuras vegetales, se elige el siguiente material vegetal:

- *Chlorophytum comosum*.
- *Peperomia obtusifolia*.
- *Codiaeum variegatum*.
- *Spathiphyllum spp.*
- *Nephrolepis cordifolia*.
- *Ficus pumila*.
- *Philodendron scanden*.
- *Soleirolia soleirolii*.

#### 4.2.2.- LISÍMETRO DE PESADA USADO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

La técnica de lisimetría usada para la realización del presente Trabajo de Fin de Grado es la lisimetría de pesada. Para ello se hace uso de un lisímetro de pesada desarrollado para el estudio de cultivos en maceta o similares.

El lisímetro usado en este estudio ha sido diseñado y desarrollado por la empresa Telenatura E.B.T., la cual ha aportado su ayuda tanto en el diseño del ensayo como en su puesta en escena.

Dicho lisímetro posee las siguientes características:

- El material de fabricación es aluminio.
- Posee una plataforma triangular, sobre la que se posa el cultivo; a una distancia aproximada de 1,4 metros del suelo.
- La altura máxima la cual es capaz de soportar es de 3 metros medidos desde el suelo. Esto es debido a la incorporación de una estructura metálica diseñada para la sujeción de la parte aérea del cultivo, otorgando un amplio rango de crecimiento.
- La plataforma triangular posee tres células de carga, una por vértice, las cuales son las encargadas de medir las variaciones de peso.
- Así mismo, lleva incorporado la instalación de drenaje; la cual consta de un conducto que conecta la el centro de la plataforma con un recipiente de almacenamiento de

drenaje de forma esférica, el cual lleva incorporado una célula de carga para medir las variaciones en la entrada de agua.

- El recipiente de almacenamiento de drenaje lleva conectado dos electroválvulas, una de ellas a la entrada, la cual es del tipo “normalmente abierta”, permitiendo la entrada de agua, y otra a la salida, la cual es del tipo “normalmente cerrada”, actuando como cierre del recipiente hasta que se llega a un valor máximo establecido por el usuario, momento en el cual se abre permitiendo el vaciado del mismo.
- Las tres células de carga presentes en la plataforma están diseñadas para soportar un peso máximo de 30 kg cada una, haciendo un total de 90 kg de masa máxima permitida. Del mismo modo, la célula de carga establecida en el drenaje está diseñada para soportar una masa máxima de 10 kg.
- La precisión de dichas células de carga es de  $\pm 4$  gramos en todas ellas.

Con la finalidad de una mejor comprensión, a continuación se muestran imágenes de dicho lisímetro.



*Ilustración 15: representación del lisímetro en 3D.*



*Ilustración 16: detalle instalación de drenaje.*



*Ilustración 17: lisímetro instalado en taller.*

### 4.2.3.- PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL

#### 4.2.3.1.- DISEÑO DEL PROCESAMIENTO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL

Previo al proceso de montaje del jardín vertical se realiza un estudio sobre la mejor localización posible para el mismo; para ello hay que tener en cuenta los siguientes criterios:

- Comodidad de trabajo para los trabajadores del lugar donde está situado el jardín.
- Irradiación del flujo lumínico suficiente acorde al material vegetal seleccionado.
- Cercanía al punto de desagüe del edificio.
- Espacio suficiente para el manejo del jardín.

Así mismo, se decide la colocación del jardín en el fondo de la habitación de espaldas a la ventana, de modo que se cumplen los criterios seleccionados.



*Ilustración 18: ubicación del jardín vertical en el taller.*

Una vez establecida la localización del jardín vertical, se procede al diseño de la distribución de especies dentro del jardín, así como de la instalación de riego.



Para el diseño de la distribución de especies dentro del jardín vertical, se siguen los siguientes criterios:

- El soporte de sujeción del lisímetro tiene unas dimensiones de 1,5 m x 1,5 m, por lo que el jardín vertical será de las mismas dimensiones o en todo caso menor que estas.
- La superficie total del jardín es de 2,25 m<sup>2</sup> (1,5 m x 1,5 m); pero debido a cuestiones de seguridad: posibles fugas de agua o de raíces, mejor sellado del jardín y mayor comodidad de trabajo, se decide dejar un margen de 10 cm en cada lado del jardín, por lo que la superficie efectiva del jardín vertical será de 1,69 m<sup>2</sup> (1,3 m x 1,3 m).
- Para obtener un tamaño de cuadro semejante en toda la superficie del jardín, se decide colocar 64 cuadrículas (8 filas x 8 columnas), correspondientes a 64 plantas. En caso de no conseguir planta de pequeño tamaño, estas se obtendrán de plantas madre de mayor tamaño que serán divididas en partes más pequeñas que se plantarán en el jardín.
- Para una mayor comodidad de trabajo, se realizan franjas horizontales completas por cada una de las especies a implantar, lo que supondrá el uso de 8 franjas con 8 plantas cada una. Esto da una superficie por planta (celdas cuadradas) de 16,25 x 16,25 cm<sup>2</sup>.
- Necesidades hídricas; aquellas especies cuyas necesidades hídricas sean mayores se sitúan en la parte inferior del jardín, ya que, por acción de la gravedad, habrá un mayor contenido en humedad en la parte baja del jardín. Del mismo modo, aquellas especies que requieran un menor grado de humedad se sitúan en la parte alta del jardín.
- Necesidad de espacio; se debe buscar una organización en la cual la competencia por la luz sea la mínima posible. Por ello se aconseja la distribución de especies con porte colgante en la parte más baja del jardín, así como, no situar en filas consecutivas una especie de porte colgante y una especie de porte más erguido. Siempre en concordancia con el criterio de las necesidades hídricas.
- Necesidades lumínicas; se deben distribuir las especies según sus requerimientos de luz, así pues las plantas con mayores requerimientos de luz se colocaran en las filas superiores, donde hay mayor luminosidad debido a la cercanía de los focos. En el caso en el que no se satisfagan las necesidades lumínicas, se puede colocar un foco frente al jardín.
- Así pues, la distribución del material vegetal elegido en el jardín vertical, en orden decreciente en altura, es la siguiente:
  1. *Codiaeum variegatum*.
  2. *Peperomia obtusifolia*.
  3. *Soleirolia soleirolii*.
  4. *Spathiphyllum spp.*
  5. *Ficus pumila*.
  6. *Philodendron scandens*.
  7. *Chlorophytum comosum*.
  8. *Nephrolepis cordifolia*.



Del mismo modo para el diseño de la instalación de riego, se tienen en cuenta los siguientes puntos:

- El riego se aporta desde la parte superior del jardín, de forma que se debe elegir la potencia de la bomba en función de la altura a la cual se quiere subir el agua para el riego. En este caso se obtiene una altura de 3,03 m (1,5 m pertenecientes al jardín vertical y 1,53 m pertenecientes a la altura del lisímetro), por tanto se elige una bomba de 250 W de potencia capaz de elevar el agua a una altura de 6 metros.
- Para la instalación de riego se debe tener en cuenta la calidad del agua. Debido al elevado contenido en carbonato cálcico presente en el agua de riego se decide la utilización de un filtro de malla de 130 MESH.
- A modo de regulación de la presión generada por la bomba se decide la colocación de dos válvulas o llaves de paso; una de ellas actuando como aliviadero y devolviendo parte del agua absorbida, al cubo y la otra actuando como llave de paso propiamente dicha. De este modo asegura el control de la presión del sistema en el caso de que se rompa una de las llaves de paso.
- A modo de protección de la bomba se decide la colocación de una válvula anti-retorno a la salida del agua, de manera que no pueda entrar el agua por el orificio de salida de la bomba, cuando esta deje de regar.
- En cuanto a la manguera de riego, se opta por la utilización de una manguera de polietileno de 16 mm de diámetro con goteros auto-compensantes de capacidad 4L/h. Se colocan 7 goteros separados 20 cm de modo que el riego sea lo más uniforme posible.
- Se dilucida la adición de un elemento mojante al cubo de riego, con lo que se pretende una mejor humectación del geotextil.
- Del mismo modo, se decide el grapado adicional de la manta de riego en varios puntos del jardín vertical, haciendo mayor hincapié en el área circundante al sistema radicular, con la finalidad de obtener un mejor contacto entre las raíces de las plantas y el fieltro.
- Se realizan limpiezas periódicas del cubo de riego así como el cambio de goteros, evitando así posibles obstrucciones de la instalación de riego que podrían provocar un humedecimiento ineficaz del jardín vertical.
- Por último la tubería de riego va sujeta a una estructura metálica ajena al jardín con la finalidad de no transmitir vibraciones al conjunto jardín vertical-lisímetro, lo que provocaría una distorsión en la toma de datos.

### ***4.2.3.2.- PROCESO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL***

Una vez resueltas las cuestiones referidas a la localización y diseño del proyecto, se procede a la construcción del mismo.

Primero se procede a la unión de la plancha de PVC a la estructura vertical que posee el lisímetro; la unión se realiza con masilla sellante de poliuretano. Para un sellado eficaz se colocan tres sargentos en cada lado, en caso que los sargentos sean de pequeño tamaño se pueden mantener durante toda la vida útil del jardín, asegurando así su fijación a la espaldera.

A continuación se procede a la colocación de la manta de riego, la fijación de la manta al panel se realiza mediante grapas de 8 mm de ancho, haciendo uso de una grapadora manual para tapizados. Se procede a la colocación de dos capas de manta de riego. Para la fijación de la primera capa de la manta se procede a la colocación de grapas por todo el perímetro de la misma así como en el interior procurando que quede lo más ajustado posible. Para la colocación de la segunda capa de manta se procede a la colocación de grapas en la parte superior y en un lado del mismo, dejando el lado contrario y la parte inferior libres en una primera instancia; esto es debido a que para la introducción del material vegetal en el jardín se necesita un poco de holgura; una vez que se introduzca el material vegetal se terminarán de grapar las partes que faltan.

Después de la fijación de la manta de riego y panel a la espaldera se procede a su colocación en el lisímetro, en el espacio diseñado por el fabricante a tal efecto. Para su fijación se procede a la utilización de bridas, obteniendo una estructura sólida y fija.



*Ilustración 19: grapado de la primera capa de manta de riego a la plancha de PVC.*



*Ilustración 20: unión finalizada entre la manta de riego y la plancha de PVC.*



*Ilustración 21: montaje finalizado de la estructura de soporte, instalación de riego, instalación de drenaje e incorporación del cuadro donde se encuentra la central de adquisición de datos.*



#### **4.2.3.3.- PROCESO DE MONTAJE DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO**

Una vez construida la estructura de sostén del jardín vertical y, previamente, a la instauración del material vegetal, se procede a la construcción de la instalación de riego. De esta forma se asegura el correcto funcionamiento tanto de la instalación de riego como de la manta de riego, y se evita un posible estrés hídrico, en el caso de que se hiciera con las plantas en el jardín vertical y la instalación no funcione correctamente.

Para la instalación de riego se hace uso de dos tuberías diferentes: una manguera de riego de 16 mm de diámetro, donde se colocan los goteros y una tubería de PVC de 25 mm de diámetro, que se utiliza para la conexión entre la bomba y la manguera de riego.

Para la construcción de la instalación de riego, primero se mide la cantidad de tubería de 25 mm necesaria entre la bomba (introducida en el cubo y este sobre la plataforma del pie del arco metálico) y la parte superior de dicho arco metálico, lugar donde se instaura la manguera de riego.

Una vez obtenida la tubería necesaria se procede a la utilización de un secador de fontanería para una mejor maniobrabilidad de la tubería.

Una vez obtenida la cantidad necesaria de tubería de 25 mm, se procede a su corte y la instalación de los elementos de control y protección, de acuerdo a la siguiente estructura, en orden creciente en altura: primero se coloca la válvula anti-retorno, a continuación se instala el aliviadero, que consta a su vez de una llave de paso conectado a un codo de 90° orientado hacia abajo, después se coloca la llave de paso y, por último, antes de instalar el codo con el enlace para la manguera de riego de 16 mm, se instala el filtro de malla, evitando así la entrada en la manguera de riego, de partículas que podrían provocar la obturación de los goteros o de la propia manguera. Dicho conjunto de elementos se fijan a la estructura metálica mediante bridas.

Después de la instalación de la tubería de 25 mm, se procede a la colocación de la manguera de riego sobre la barra superior de la estructura metálica. Sobre la manguera de riego se instalan 7 goteros, haciendo uso de una herramienta diseñada a tal efecto, comúnmente conocida como “sacabocados”, separados 20 cm entre sí con la finalidad de obtener un riego lo más uniforme posible.

A continuación se procede a la construcción de la instalación de drenaje. Para la instalación de drenaje a la entrada del lisímetro se colocan dos canaletas de PVC bajo el jardín, en forma de “V”, las cuales convergen en un embudo, conectado a su vez al orificio de entrada de agua del lisímetro a través de una tubería de 16 mm y sellado con silicona caliente. La sujeción de las canaletas al lisímetro así como la sujeción del embudo se realiza mediante bridas. Se decide colocar un colador en el embudo a modo de filtro, así como un filtro de papel, con la finalidad de evitar obstrucciones de las electroválvulas presentes en el lisímetro.

Para la instalación de drenaje a la salida del lisímetro se construye una estructura especialmente diseñada, debido a que si se conecta la tubería de desagüe directamente al recipiente de drenaje del lisímetro se encontraría una distorsión en las medidas del drenaje.

Así pues se decide la construcción de una estructura adicional, con materiales presentes en el taller, la cual consta de un embudo el cual se sostiene sobre una botella de agua de un litro cortada por la mitad, a su vez sostenida por un taco de madera, sujetado por unas pletinas que se sustentan sobre una plancha de madera de pequeño tamaño. Por un lado se conecta una tubería de drenaje al embudo a través de un codo, y por otro lado al punto de desagüe del edificio.

A continuación se realiza un agujero en la tapa del cubo por el cual sale la tubería de 25 mm y la conexión de la bomba al programador de riego. Además se recorta un trozo de la tubería de drenaje sobrante y se conecta a la toma de agua del fregador con la finalidad del llenado del cubo cuando sea necesario.

Por último se realiza una prueba de riego y se verifica que todo funciona correctamente.



*Ilustración 22: montaje de la instalación de riego.*



*Ilustración 23: comprobación del correcto funcionamiento de la instalación de riego.*



*Ilustración 24: conexión del drenaje del jardín vertical a la base del lisímetro.*



*Ilustración 25: descarga del drenaje del recipiente del lisímetro a la estructura de desagüe.*

#### **4.2.3.4.- PROCESO DE IMPLANTACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL EN EL JARDÍN VERTICAL**

Una vez realizada y verificada la instalación de riego se procede a la implantación del material vegetal en el jardín vertical.

La implantación del material vegetal en el jardín vertical se realiza en bolsillos de siembra; para ello se hace uso de una cartulina y un cutter.

Primero se realiza, sobre la cartulina, un patrón que sirva como modelo para realizar los bolsillos de siembra; con la finalidad realizar los bolsillos de siembra sobre la misma línea.

A continuación, haciendo uso del cutter se realizan las aperturas de los bolsillos siguiendo el patrón de siembra. Se procura cortar la primera capa de la manta de riego, para evitar posibles fugas de agua.

Una vez realizadas todas las aperturas se procede a la implantación del material vegetal, según el diseño previo. El material vegetal se introduce prácticamente a raíz desnuda, dejando un poco del cepellón debido tanto a la imposibilidad de separar completamente el cepellón sin propiciar daño a la planta como para asegurar el arraigo inicial de la plántula. Una vez introducida la planta en el bolsillo de siembra, se procede a su cerrado colocando tantas grapas como el volumen del sistema radicular de la planta en cuestión lo requiera; de forma genérica se colocan 1 o 2 grapas en la parte inferior de la raíz y una grapa a cada lado del tallo, procurando que quede bien prensado con la finalidad de que conseguir un buen contacto entre la manta de riego y el sistema radicular. Es recomendable que el material vegetal introducido sea de pequeño tamaño para observar la evolución desde los estadios más jóvenes; en el caso de que se posea planta de mayor tamaño se puede realizar un pinzado de algunas hojas.

Inmediatamente después de la implantación del material vegetal se realiza un primer riego en abundancia, con la finalidad de estimular la interacción entre el sistema radicular con la manta de riego.

Una vez pasada una semana se considera que el material vegetal está asentado en el jardín, por lo que se procede a la adición de una solución nutritiva vegetativa completa, a razón de 240 ml de solución por 80 litros de agua en el cubo. Dicha aportación se realiza con una periodicidad de dos semanas.



*Ilustración 26: realización de los bolsillos de siembra.*



*Ilustración 27: detalle de los bolsillos de siembra.*



*Ilustración 28: implantación del material vegetal en el jardín vertical.*



*Ilustración 29: detalle del sustrato dejado en la implantación del material vegetal. Especie: Philodendron scandens.*



*Ilustración 30: resultado final del montaje del jardín vertical.*

#### **4.2.4.- ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE LA MANTA DE RIEGO**

Con la aplicación del riego, una pequeña fracción del agua aplicada queda retenida por la manta de riego, así pues con la finalidad de optimizar el uso del agua y calcular con mayor exactitud la dosis de riego, se realiza un estudio del comportamiento hídrico que posee la manta de riego.

Para ello, se realiza un ensayo de 2 repeticiones, haciendo uso una muestra de la manta de riego o geotextil.

El principio básico de dicho experimento consiste en la saturación en agua de la muestra y la comprobación de la pérdida de agua de la misma, representada por la pérdida de peso de la muestra. De esta manera se puede comprobar la relevancia de la manta de riego en el proceso de evapotranspiración del jardín vertical.

Así mismo, se utilizan cuatro porciones de la manta de riego, de superficie aproximada 300 cm<sup>2</sup> cada porción, colocadas superpuestas en parejas de dos con la finalidad de imitar la situación de la manta colocada en el jardín vertical.

El procedimiento del ensayo consta de los siguientes pasos consecutivos:

- En una primera instancia, se mide el peso en seco de cada muestra (entendiéndose por muestra la pareja superpuesta de porciones de manta). De este modo se puede verificar el cese de pérdida de humedad de cada muestra.
- A continuación se deja empapar cada muestra, por separado, durante 2 minutos en un litro de agua, cerciorándose de que cada muestra quede bien impregnada.
- Una vez pasados los 2 minutos, se saca la muestra y se deja drenar por gravedad hasta su cese, aproximadamente 12 minutos.
- Después de escurrir el agua sobrante en cada muestra, se procede al pesado de la misma; de esta manera se obtiene la cantidad máxima de agua que puede retener.



- Por último, se deja sobre una gradilla y se pesa periódicamente comprobando la pérdida de agua reflejada en la pérdida de peso, dicho pesaje se realiza hasta que el peso de la muestra se iguala al peso seco comprobado al principio.

#### **4.2.5.- MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO**

Con la finalidad de caracterizar las condiciones del experimento y controlar el correcto funcionamiento del jardín vertical se procede a la medida de la conductividad eléctrica tanto del agua de riego como del agua drenada en dos situaciones: con la aportación de la solución nutritiva en el riego y sin la aportación de la misma. Se realizan dos medidas por cada situación posible; cada medida de cada situación se realiza en fechas diferentes.

Para ello se hace uso de un instrumento llamado conductímetro, el cual proporciona medidas directas de conductividad eléctrica en microSiemens, así como la temperatura de medida.

Para la realización de la medida primero se debe realizar una medida a modo de calibración en un recipiente con agua destilada, a continuación se realizan las medidas de conductividad del agua de riego, con y sin solución nutritiva y, de igual manera para el agua de drenaje.

#### **4.3.- FASE 2: ESTUDIO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENTORNO DEL JARDÍN VERTICAL**

Con la finalidad de proporcionar la máxima información posible acerca de las características del entorno que rodea al jardín vertical se procede a la caracterización de las variables ambientales así como la descripción física de la zona de estudio del mismo.

En cuanto a las variables climáticas, se procede a la determinación de: humedad relativa, temperatura, concentración de CO<sub>2</sub> e iluminación.

En lo referente a la descripción física del entorno del jardín, se realiza una descripción de la zona, orientación, tareas que se desempeñan y, trasiego y afluencia de personal.

##### **4.3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES**

###### **4.3.1.1.- HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub>**

Para la determinación de las variables humedad relativa, temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> se hace uso de una central de adquisición de datos, HOBO MX 1102 CO<sub>2</sub> Logger, durante un periodo de tiempo de 20 días.

Para una mayor precisión en la caracterización ambiental del entorno del jardín vertical se procura la colocación de la central de adquisición de datos en un lugar cercano al mismo.

Se configura la central de adquisición de datos para una toma de datos cada 15 minutos, esto es, el promedio de las medidas de los últimos 15 minutos. Así mismo la humedad relativa se toma en porcentaje (%), la temperatura en grados centígrados (°C) y la concentración de CO<sub>2</sub> en partes por millón (ppm).



Del mismo modo, para una toma de datos de la concentración de CO<sub>2</sub> fiable, se procede a la calibración de la central de adquisición de datos, utilizando el modo calibración del propio datalogger y realizándolo en el exterior.

Se decide utilizar los datos de aquellos días en los que no hubo afluencia de personal.

De forma adicional, para realizar una observación de los efectos del jardín vertical sobre las variables ambientales en un ambiente de interior se coloca otra central de adquisición de datos, o en caso de no disponer de ella se realiza una vez terminado el proyecto, en otra sala de características similares, pero sin afluencia de gente.

### **4.3.1.2.- ILUMINACIÓN**

Se procede a la determinación de la iluminación en las inmediaciones del jardín vertical, tanto para la caracterización ambiental de la zona como para asegurar que se cumplen los requerimientos en iluminación para las distintas especies. Para ello se hace uso de un sensor llamado luxómetro.

Debido a las características naturales del clima predominante en la Región de Murcia, las medidas se realizan en un día despejado con la finalidad de caracterizar la situación más común en la cual se encontrará el jardín vertical.

Para el proceso de toma de datos se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las medidas se realizan en el mismo día y durante todo el día, con un intervalo de tiempo entre medidas entre 1 hora y 1,5 horas. La primera medida se realiza a las 9:00 y la última toma de datos a las 20:00 horas.
- La toma de datos se distribuye, sobre la superficie del jardín vertical, en 9 puntos; repartidos de 3 en 3 a lo largo de la parte alta, zona media y parte baja del jardín vertical, respectivamente.
- En cada punto de toma de datos se toman a su vez dos medidas; una de ellas en la superficie inmediata del jardín y la otra en el mismo punto pero con una separación de aproximadamente 1 metro, sobre la perpendicular del jardín.
- Por último, dicha toma de datos se realiza por duplicado, esto es, una de ellas con la luz de la sala encendida y la otra con la luz de la sala apagada, únicamente con la luz natural penetrante; obteniendo un total de 36 medidas por cada toma de datos.

### **4.3.2.- CONDICIONES FÍSICAS**

El jardín vertical se encuentra situado en el taller de trabajo de la empresa Telenatura E.B.T., sito en la calle Ángel, en el edificio de investigación (ELDI) de la Universidad Politécnica de Cartagena.

El taller consta de una superficie aproximada de 62,5 m<sup>2</sup> con una orientación sur/norte y con dos zonas diferenciadas; una dedicada al trabajo de ordenador y la otra dedicada al trabajo de montaje. Cuenta con una gran ventana y sistema de calefacción y aire acondicionado.



Entre los trabajos que se desempeñan se encuentran el montaje de cuadros eléctricos, estructura de lisímetro, calibración de las células de carga así como trabajos de ordenador entre otros.

El trasiego de personal durante el periodo de tiempo que dura el proyecto varia de 2 a 9 personas.

#### **4.4.- FASE 3: SEGUIMIENTO Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL**

La tercera fase del proyecto consiste en el manejo del jardín vertical, el cual, básicamente, consta de dos sub-fases: tratamiento de datos y cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical, y ajuste de la dosis de riego en función de los resultados obtenidos, y el seguimiento del jardín, con el que se pretende observar el crecimiento del mismo calculando la ganancia de peso y el aumento de cobertura vegetal mediante fotografía.

##### **4.4.1.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL**

###### **4.4.1.1.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL**

La etapa de tratamiento de datos consiste, particularmente, en la determinación de la evapotranspiración o consumo hídrico por parte del jardín vertical.

A pesar de que la toma de datos por parte de la central de adquisición conectada al lisímetro se realiza de forma minutal, se decide realizar el cálculo de la evapotranspiración del jardín de modo horario, tanto por una mayor practicidad en el trabajo como para solventar posibles errores puntuales en la medida, debido al trasiego del personal u otras causas ajenas.

El principal concepto a tener en cuenta a la hora de calcular la evapotranspiración (ET g/h) horaria del jardín vertical es que se realiza por diferencia de pesada, esto es, el consumo de agua del jardín será la diferencia entre la cantidad de agua que se ha perdido, que se conoce como la diferencia de peso del jardín en valor absoluto ( $|\Delta P|$  (g/h)), y la cantidad de agua perdida por drenaje (D (g/h)); obteniendo una ecuación del siguiente tipo:

$$ET \left( \frac{g}{h} \right) = |\Delta P| \left( \frac{g}{h} \right) - D \left( \frac{g}{h} \right)$$

Puede darse la situación en la que la pérdida de agua por drenaje sea ligeramente superior a la pérdida de agua del jardín vertical, obteniendo un valor de evapotranspiración negativo, esto es puede ser debido tanto a retrasos de la salida del agua en la instalación de drenaje como a posibles variaciones en la medida debido a la precisión de las células de carga del lisímetro; en este caso se considera una evapotranspiración nula en esa hora, entendiéndose que en esa hora no ha habido prácticamente consumo de agua.

Así mismo se decide el cálculo del consumo hídrico del jardín en relación a la aportación de agua, con la finalidad de observar que fracción de agua está siendo absorbida por el jardín y que fracción de agua se pierde por drenaje, cada vez que se realiza un riego.



En este caso, el concepto de cálculo continúa siendo el mismo, con las únicas nuevas premisas que hay que tener en cuenta la aportación de agua realizada por el riego (R) y que el cálculo de la pérdida de peso del jardín ( $\Delta P$ ) y la diferencia de drenaje (D) se realiza en el intervalo entre riegos consecutivos.

Para el cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en relación a la dosis de riego se debe tener en consideración que se pueden presentar dos situaciones:

- Entre dos riegos la diferencia de peso del jardín sea negativa, es decir, que la manta de riego no haya sido capaz de absorber agua. En este caso la suma del drenaje y la evapotranspiración es superior a la cantidad de agua aportada. Encontrando una ecuación de entradas y salidas del siguiente tipo:

$$R (g) + \Delta P (g) = D (g) + ET (g)$$

De donde despejamos la evapotranspiración del jardín, encontrándose:

$$ET (g) = R (g) + \Delta P (g) - D (g)$$

- Entre dos riegos la diferencia de peso del jardín sea positiva, es decir, la manta de riego haya absorbido agua. En este caso la cantidad de agua aportada por el riego es superior a la perdida por drenaje y evapotranspiración. Encontrado una ecuación de entradas y salidas del siguiente tipo:

$$R (g) = D (g) + ET (g) + \Delta P (g)$$

De donde despejamos la evapotranspiración del jardín, encontrándose:

$$ET (g) = R (g) - D (g) - \Delta P (g)$$

Obteniendo en ambos casos la fracción de agua absorbida por el jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada en el riego.

#### **4.4.1.2.- MANEJO Y TRATAMIENTO DE DATOS**

El manejo y tratamiento de los datos obtenidos se realiza mediante el software Microsoft Excel; elaborando tablas de manejo de datos lo más genéricas posible de modo que únicamente haya que exportar los datos de la central de adquisición conectada al lisímetro.

Así mismo se elaboran tres tablas principales de tratamiento de datos: recopilación de los datos obtenidos de la central de adquisición conectada al lisímetro, cálculo de la evapotranspiración horaria del jardín vertical y cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada por el riego.

En la tabla de recopilación de datos obtenidos de la central de adquisición conectada al lisímetro se recogen los valores medidos por las células de carga del lisímetro; dicha tabla se exporta directamente a Excel y se decide añadir dos columnas adicionales llamadas variación de peso y variación de drenaje, mediante las cuales se puede comprobar el momento de



ganancia o pérdida de peso de un solo vistazo. Así mismo, los epígrafes que contiene dicha tabla son los siguientes:

- **Fecha.**
- **Hora.**
- **Peso (g):** medida del peso del jardín en el minuto en cuestión.
- **Drenaje (g):** medida del peso del recipiente de drenaje en el minuto en cuestión.
- **Estado del lisímetro:** recopila el estado en el que se encuentra las electroválvulas de drenaje en cada minuto. La pareja de electroválvulas de drenaje se puede encontrar en cuatro estados diferentes según estén cerradas, abiertas o cada una en una posición. Esta columna sirve para verificar que no hay errores en el funcionamiento de las electroválvulas.
- **Variación de peso (g):** columna que mide la diferencia de peso del jardín vertical, entre el minuto actual y el inmediatamente anterior, esto es, mide la variación, ganancia o pérdida, de peso entre dos minutos consecutivos.
- **Variación de drenaje (g):** del mismo modo que el epígrafe anterior, sirve para comprobar la ganancia o pérdida de agua, traducida en ganancia o pérdida de peso en minutos consecutivos, en el recipiente de drenaje.

La tabla de cálculo de evapotranspiración horaria del jardín vertical sintetiza los datos utilizados para el cálculo del consumo hídrico horario así como, el propio consumo horario por parte del jardín vertical. Dicha tabla posee los siguientes epígrafes:

- **Hora:** compila el intervalo de horas en el que se está calculando la evapotranspiración. El cálculo de la evapotranspiración comienza en el intervalo horario, 00:00-01:00 y termina en el intervalo, 23:00-00:00.
- **Diferencia de peso ( $\Delta P$  (g/h)):** reúne la variación de peso, ganancia o pérdida, del jardín vertical en el intervalo horario correspondiente.
- **Drenaje (D (g/h)):** recopila la variación de drenaje, es decir, la ganancia de peso en el recipiente de drenaje debido a la pérdida de agua, en el intervalo correspondiente.
- **Evapotranspiración (ET (g/h)):** recoge el cálculo del consumo hídrico horario del jardín vertical.
- **Evapotranspiración diaria (ET (g/día)):** celda que recoge la suma de la evapotranspiración horaria.

Por último, la tabla de cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en relación a la cantidad de agua aportada por el riego recoge los siguientes epígrafes:

- **Hora:** marca la hora de inicio y final de cada riego.
- **Cantidad de agua aportada (g):** recoge la suma de agua aportada en cada minuto de riego en el riego correspondiente.
- **Diferencia de peso entre riegos ( $\Delta P$  (g)):** reúne la variación de peso, ganancia o pérdida, del jardín vertical entre dos riegos consecutivos.



- **Drenaje (D (g)):** compila la ganancia de peso en el recipiente de drenaje debido a la pérdida de agua del jardín vertical, en relación al agua aportada por el riego en cuestión.
- **Drenaje (D (%)):** mide en porcentaje el drenaje obtenido, en función de la cantidad de agua total aportada en el riego en cuestión.
- **Evapotranspiración (ET (g)):** recopila el cálculo del consumo hídrico del jardín en función de la cantidad de agua aportada en el riego en cuestión.
- **Evapotranspiración (ET (%)):** del mismo modo que para el drenaje, mide en porcentaje la evapotranspiración calculada, en función del agua de riego aportada.

### **4.4.1.3.- CÁLCULO DE LA DOSIS DE RIEGO**

La determinación de la programación de riego se realiza en función de los valores obtenidos de evapotranspiración del jardín y drenaje; en un ajuste continuo adaptando cada vez con mayor precisión la dosis de riego a las necesidades hídricas del jardín vertical.

En una primera instancia, se decide realizar una programación de riego en abundancia tratando de sobrepasar las necesidades del jardín, para asegurar que se cumplen los requerimientos hídricos del jardín, evitando provocar estrés hídrico en los primeros estadios.

Tras el transcurso de un periodo de tiempo de alrededor de dos semanas se recogen y tratan los datos, obteniendo los valores de consumo hídrico del jardín vertical así como de la cantidad de agua sobrante.

En cuanto a los valores de riego aportado, se observa que existe una falta de uniformidad, debido tanto a un desfase horario de décimas de segundo entre la hora marcada por el programador de riego y la hora de la estación lisimétrica como a una falta de uniformidad en los propios goteros. Así pues se determina como valor aportado de agua por minuto el menor registrado, siendo este de 250 g agua/minuto de riego.

Una vez realizado el tratamiento de los datos se procede a realizar la segunda programación de riego; para la cual se tiene en cuenta el consumo horario del jardín en el periodo que dura la primera programación de riego. De modo que se aporta la cantidad de agua que requiere el jardín en intervalos de tres horas, esto es, una vez calculada la evapotranspiración horaria del jardín se procura la aportación de agua de forma que satisfaga las necesidades hídricas del jardín en un periodo de tres horas.

En la siguiente programación de riego se procura un ajuste más preciso de la dosis. Así mismo, se tiene en cuenta la capacidad de absorción de agua de la manta de riego, siendo satisfecha la totalidad de esta en el primer riego, se mantiene un riego abundante (3 minutos) con la finalidad de “recargar” de agua la manta de riego, y la consecución de un drenaje en torno al 15-25% del agua aportada con la finalidad de asegurar el completo suministro de los requerimientos hídricos del jardín, debido a la variación en el consumo diario, y dejar una fracción de agua para el lavado de sales.



A continuación, se realiza la programación de riego la cual se considera óptima y definitiva en relación a las necesidades del jardín y las condiciones ambientales de crecimiento. Siguiendo las mismas premisas de satisfacción total de los requerimientos hídricos y drenaje mínimo.

Por último se decide la realización de una programación de riego deficitario respecto a las necesidades del jardín con la finalidad de observar y evaluar la respuesta del mismo.

### **4.4.2.- SEGUIMIENTO DEL JARDÍN VERTICAL**

El seguimiento del jardín vertical consiste en la medición del crecimiento a lo largo del ensayo. Para ello se calculan los gramos de materia seca producida, esto es, la diferencia entre el peso seco inicial de las especies vegetales y el peso seco final de las mismas; así como, un seguimiento fotográfico de la evolución de la cobertura vegetal debida al crecimiento de las plantas.

Para el cálculo de la materia seca producida, se procede al pesaje de tres plantas de cada especie al inicio y al final del estudio.

Primero se mide el peso fresco, entendiéndose este, como el peso natural de la planta, sin alteración de ningún tipo, y después se procede a medir el peso seco, entendiéndose como el peso de la planta una vez se ha extraído la humedad mediante el secado en horno, quedando la materia seca.

Para la obtención del peso seco se introduce la planta en un horno de laboratorio a 65 °C hasta que el peso se vuelve constante.

Por último, la diferencia entre el peso seco obtenido al inicio del ensayo y el que se obtiene al final del mismo será la ganancia de materia seca debido al crecimiento de la planta.

Respecto al seguimiento de la evolución de la cobertura vegetal, se realiza un seguimiento fotográfico con una cámara digital de 16 megapixel de resolución.

En el Anexo 1. Evolución del crecimiento del jardín vertical, se muestran las fotografías realizadas, observando el cubrimiento del panel debido al crecimiento de las plantas. Así como, la bajada de vigor debida a la situación de déficit hídrico producida con la última programación de riego.

## 5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1.- RESULTADOS FASE 1: MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL

Respecto a la fabricación del jardín vertical se obtiene como resultado la rapidez y la comodidad en el manejo del sistema implantado; hidrocultivo en geoproducto, así como en la instauración del material vegetal en el jardín.

En relación a la instalación de riego se logra obtener una buena humectación de la manta de riego, salvando la preocupación primordial en la fabricación del jardín.

En lo referente a la instalación de drenaje, se procede al uso de varios filtros con la finalidad de evitar la obturación de la misma. El resultado es aceptable, encontrando el agua de drenaje con un nivel bajo de suciedad.

Respecto al presupuesto derivado de la fabricación del jardín vertical fabricado en el presente estudio, se muestra en el siguiente cuadro:

*Cuadro 3: presupuesto debido de la fabricación del jardín vertical.*

CAPÍTULO	PRECIO (€)
MATERIALES DE SOPORTE	19,40 €
INSTALACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE	197,37 €
MATERIAL VEGETAL	236,61 €
TOTAL	453,38 €

Como se puede apreciar en el cuadro 3, el coste para la fabricación de un jardín vertical de 2,25 m<sup>2</sup> es de 453,38€ (201,5 €/m<sup>2</sup>).

#### 5.1.2.- ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DE LA MANTA DE RIEGO

Los resultados obtenidos en cuanto al estudio de la capacidad de retención de agua de la manta de riego son los siguientes:

*Cuadro 4: resultados del estudio de capacidad de retención de agua de la manta de riego.*

TIEMPO TRANSCURRIDO (h)	PESO (g)		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO
0	84,2	67,9	76,05
2	78,7	62,8	70,75
18,5	42,6	25,1	33,85
24,5	30,8	18	24,4
48	19,2	17,9	18,55

De este modo, se obtiene una relación entre la pérdida de peso y el tiempo transcurrido. Dicha relación queda representada en la siguiente figura:

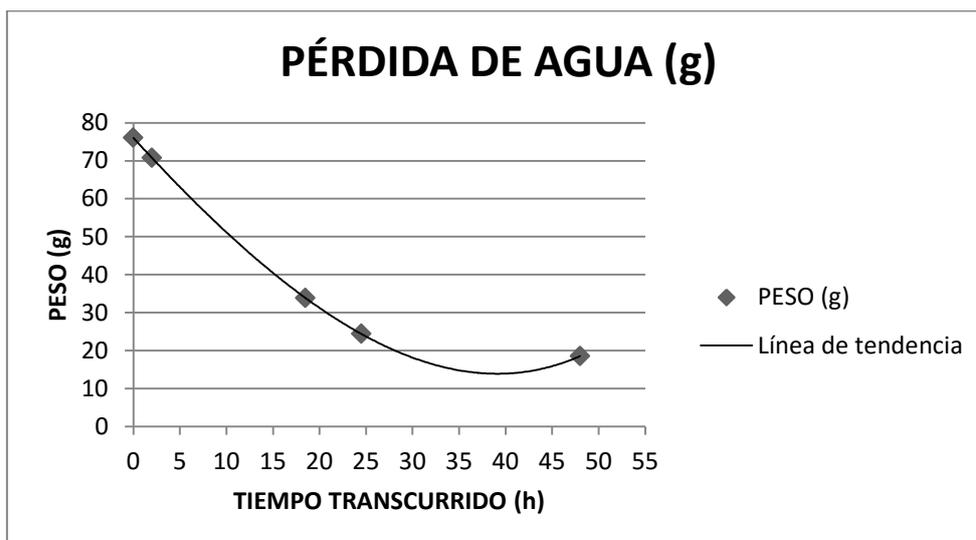


Figura 3: relación entre pérdida de peso (g) y tiempo transcurrido (h). Valores medios de las dos repeticiones.

Como se puede apreciar, la manta pierde alrededor de 65 gramos de agua transcurridas 48 horas. Siendo un valor bastante bajo de evaporación.

### 5.1.3.- MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Los resultados obtenidos en cuanto a la medición de la conductividad eléctrica tanto en al agua de riego como en el agua de drenaje, con y sin solución nutritiva, se muestran en los siguientes cuadros.

Cuadro 5: medida de la conductividad eléctrica del agua de riego, con y sin solución nutritiva.

AGUA DE RIEGO			
SIN SOLUCIÓN NUTRITIVA		CON SOLUCIÓN NUTRITIVA	
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
500	20,1	1950	21
480	21,8	1920	22,6

Cuadro 6: medida de la conductividad eléctrica del agua de drenaje, con y sin solución nutritiva.

AGUA DE DRENAJE			
SIN SOLUCIÓN NUTRITIVA		CON SOLUCIÓN NUTRITIVA	
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
560	24	1490	22,3
580	23,4	1560	23,8

La medida de la conductividad eléctrica en agua destilada, medida a  $24^{\circ}\text{C}$ , es de  $60\ \mu\text{S}$ .

Como se puede apreciar en los cuadros 5 y 6, la conductividad eléctrica del agua de drenaje sin solución nutritiva es mayor que la conductividad medida del agua de riego sin solución nutritiva.



Por el contrario, la conductividad eléctrica del agua de drenaje con solución nutritiva es menor que la conductividad encontrada en el agua de riego con solución nutritiva; esto puede ser debido, tanto a la absorción de nutrientes por parte de las plantas, como a una mayor concentración de la solución nutritiva en el agua de riego presente en el cubo.

## **5.2.- RESULTADOS FASE 2: ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ENTORNO DEL JARDÍN VERTICAL**

### **5.2.1.- HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub>**

Respecto a la toma de datos de humedad relativa, temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> en presencia del jardín vertical, se estableció la central de adquisición de datos en un lugar cercano al mismo por un periodo de 20 días, encontrándose a principios del periodo estival.

Para la toma de datos de humedad relativa, temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> en ausencia del jardín vertical, se mantuvo la central de adquisición de datos durante un periodo de 26 días consecutivos, en una sala de características físicas similares a la sala donde se encuentra ubicado el jardín vertical objeto de estudio.

Los resultados de los valores medios obtenidos por la central de adquisición de datos para cada una de las variables en las dos situaciones posibles, presencia y ausencia de jardín vertical, se representan por parejas en la misma figura. Para una mejor observación de la evolución de los datos se representan los valores obtenidos en 2 días consecutivos.

#### **5.2.1.1.- HUMEDAD RELATIVA**

Atendiendo a los datos obtenidos de humedad relativa media en presencia de jardín vertical, se registraron valores de humedad relativa entre 61,82% y 64,57%, obteniendo un valor medio de 63,27%.

Respecto a la humedad relativa en ausencia de jardín vertical se encontraron valores situados entre 46,69% y 64,44%, obteniendo un valor medio de humedad relativa para el periodo estudiado de 58,52%.

Los valores de humedad relativa obtenidos durante el periodo de estudio se muestran en la siguiente figura:

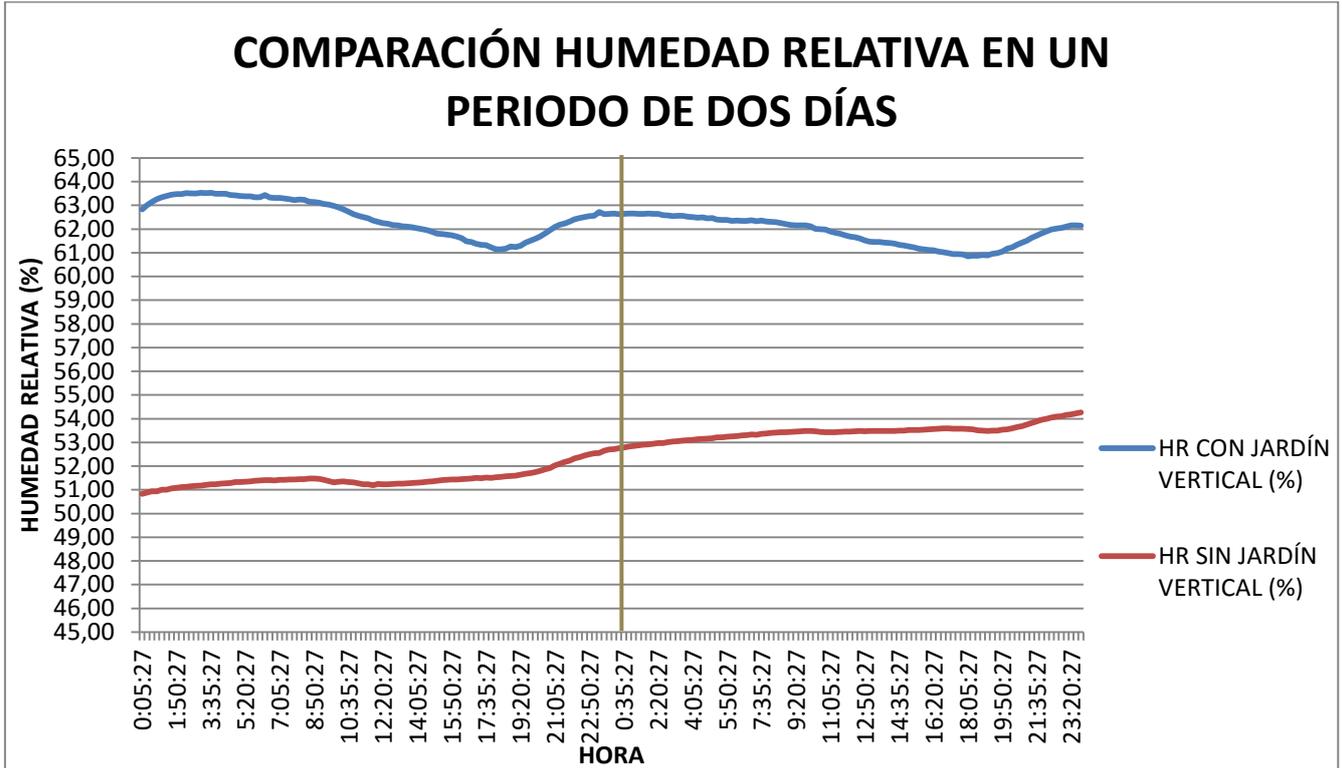


Figura 4: comparación de la humedad relativa media en presencia y ausencia de jardín vertical, en un periodo de dos días consecutivos.

Como se puede observar en la figura 4, de forma general, la humedad relativa media de la habitación sin la presencia del jardín vertical posee menores valores, llegando a una diferencia máxima de 12%, en relación a la humedad relativa media registrada en la sala donde se encuentra ubicado el jardín vertical.

#### 5.2.1.2.- TEMPERATURA

Atendiendo a los resultados obtenidos de temperatura media de la sala en presencia del jardín vertical, se recogen valores que oscilan entre los 27,64°C y 29,83°C, obteniendo un valor medio de temperatura de 28,75°C.

Respecto a la temperatura media en ausencia de jardín vertical, se encontraron valores situados entre 29,16°C y 30,27°C, obteniendo un valor medio de temperatura para el periodo estudiado de 29,80°C.

Los valores de temperatura media obtenidos durante el periodo de estudio se muestran en la siguiente figura:

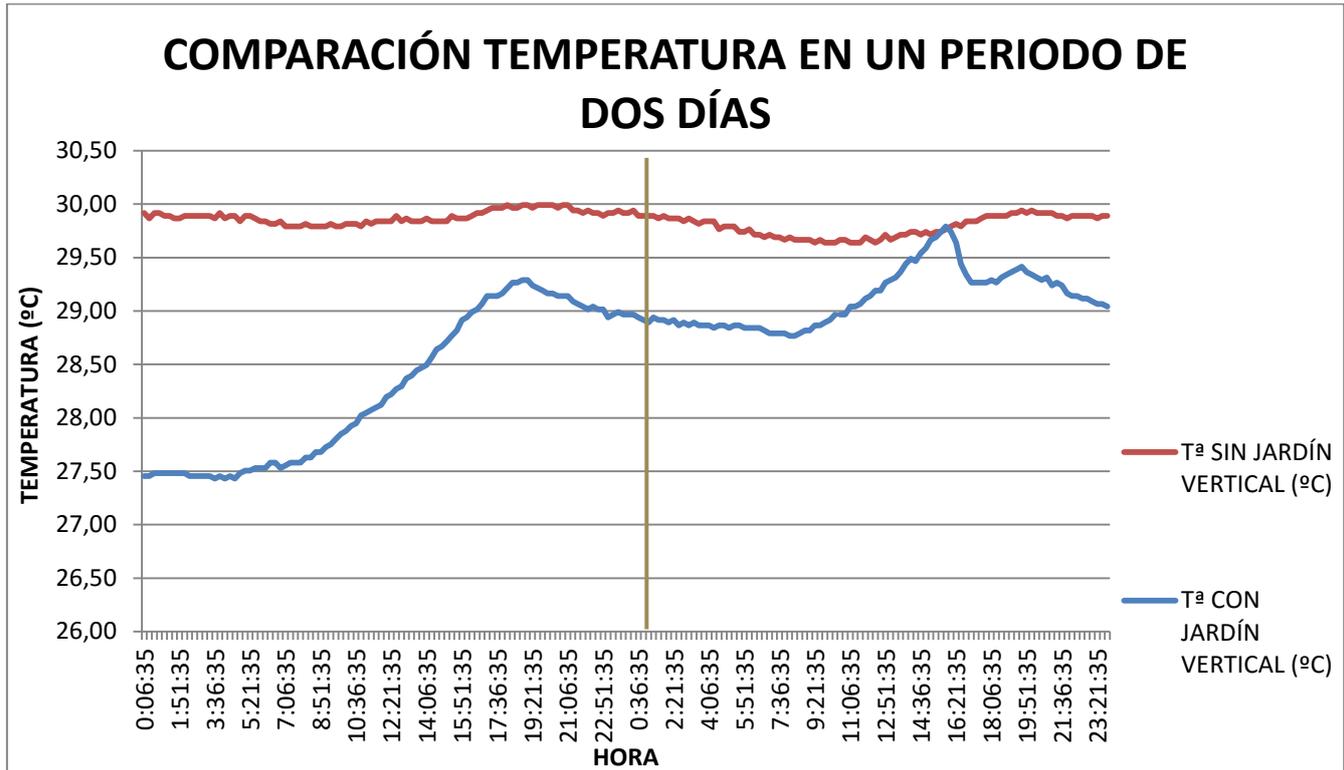


Figura 5: comparación de la temperatura media en presencia y ausencia de jardín vertical, en un periodo de dos días consecutivos.

De forma general, la temperatura media de la sala sin la presencia del jardín vertical es mayor, manteniéndose constante en torno a 30°C, que la temperatura media en la habitación donde se encuentra ubicado el jardín vertical.

En la figura 5, se pueden apreciar dos curvas estándar de la evolución de la temperatura media en ausencia y presencia del jardín vertical. Como se puede observar los datos de temperatura en ausencia de un jardín vertical son más elevados, que los datos de temperatura que se registran en ausencia del mismo, encontrando una diferencia máxima de 2,5°C.

#### 5.2.1.3.- CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub>

Atendiendo a los valores obtenidos en concentración media de CO<sub>2</sub> en la habitación donde se encuentra el jardín vertical, se registran valores que oscilan entre 345 ppm y 667,65 ppm, registrando un valor medio de 432,60 ppm.

Respecto a la concentración media de CO<sub>2</sub> en ausencia de jardín vertical se encontraron valores situados entre 467 ppm y 314 ppm, obteniendo un valor medio de humedad relativa para el periodo estudiado de 378,82 ppm.

Los valores de concentración de CO<sub>2</sub> obtenidos durante el periodo de estudio se muestran en la siguiente figura:

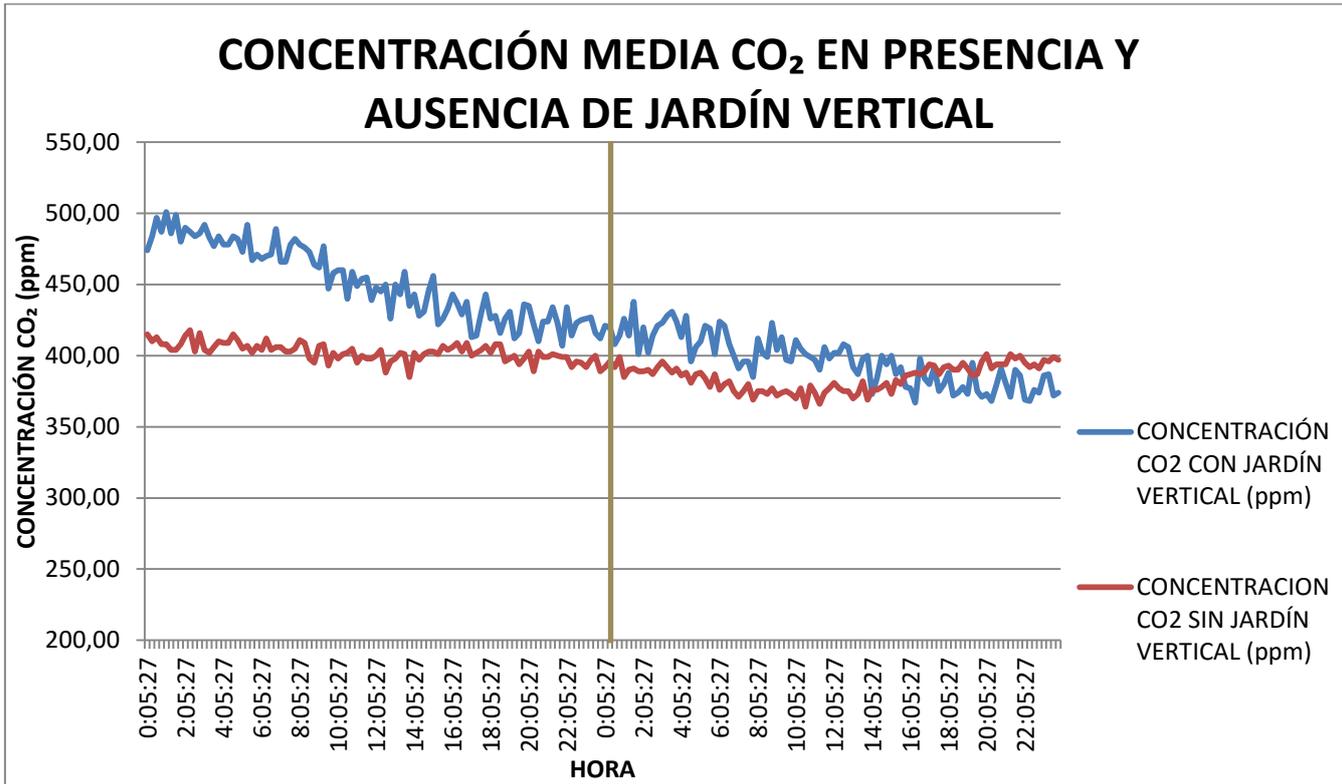


Figura 6: comparación de la concentración media de CO<sub>2</sub> en presencia y ausencia de jardín vertical, en un periodo de dos días consecutivos.

De forma general, la concentración media de CO<sub>2</sub> de la habitación sin la presencia del jardín vertical posee, ligeramente, menores valores, llegando a una diferencia máxima de apenas 70 ppm, en relación a la concentración media de CO<sub>2</sub> registrada en la sala donde se encuentra ubicado el jardín vertical.

En la figura 6, se pueden apreciar dos curvas estándar de la evolución de la concentración media de CO<sub>2</sub> en ausencia y presencia del jardín vertical. Como se puede observar ambas curvas presentan valores bastante similares, siendo ligeramente superiores los datos obtenidos en presencia del jardín vertical.

### 5.2.2.- ILUMINACIÓN

En cuanto a la iluminación del jardín vertical, existen variaciones debidas al alumbrado artificial durante el horario laboral del taller, por este motivo se decide la toma de medidas de iluminación tanto con el alumbrado del taller encendido como apagado con el fin de caracterizar la cantidad de luz incidente al jardín en ambas situaciones.

Se debe tener en cuenta tanto la orientación de la sala en la que se encuentra como la propia orientación del jardín vertical dentro del taller, ya que este se encuentra orientado de espaldas a la ventana, por lo que la luz natural incidente llega de forma difusa.

En las siguientes graficas queda expuesto un resumen de la toma de datos; concretamente se representa la variación de iluminación media incidente al jardín vertical a lo largo de un día, medido en la superficie del mismo, tanto con iluminación artificial como sin ella.

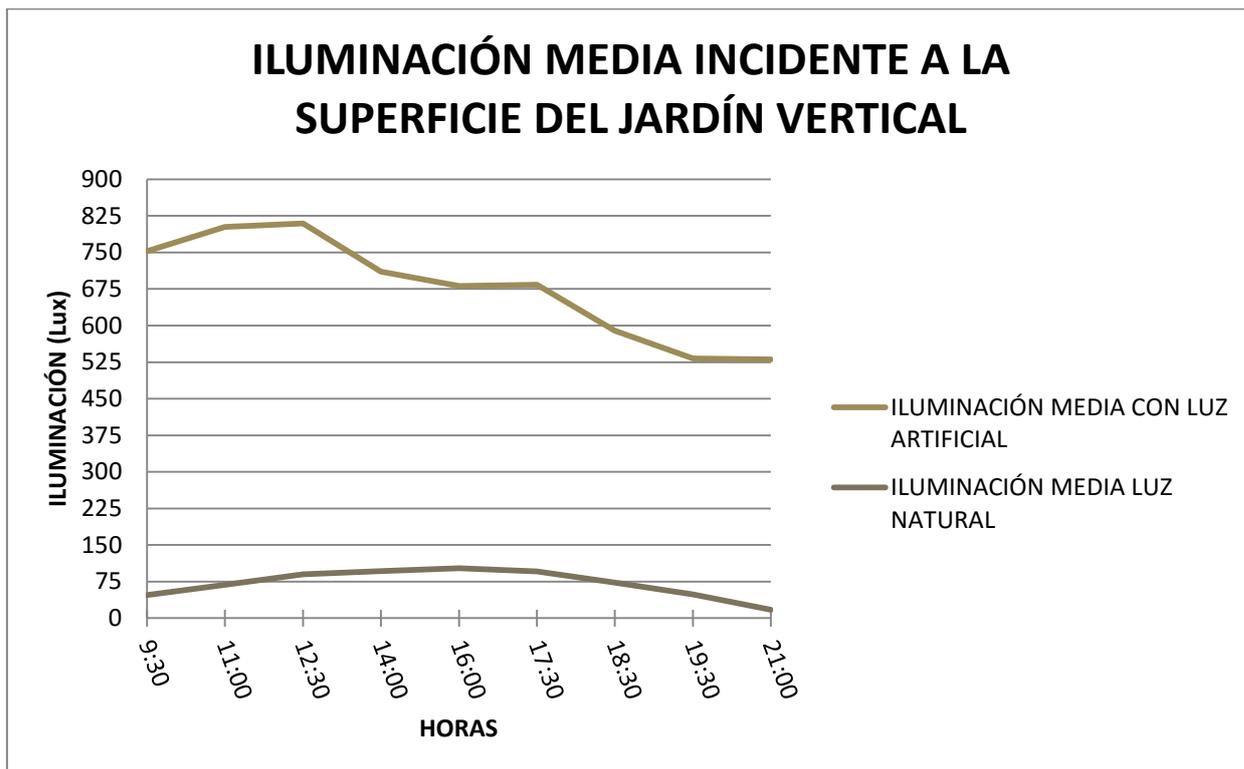


Figura 7: iluminación media incidente medida en la superficie del jardín vertical; medida con luz artificial y con luz natural.

Como se aprecia en la Figura 7, existe una gran diferencia entre la iluminación artificial y la iluminación única de la luz natural. A pesar de ello, se registra una buena evolución del jardín vertical a lo largo de todo el ensayo, por lo que se puede asegurar que, en este caso, se cumplen los requerimientos lumínicos del jardín vertical, esto es, la luminosidad incidente no es un factor limitante para el crecimiento del jardín.

### 5.3.- RESULTADOS FASE 3: SEGUIMIENTO Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en cuanto a consumo hídrico por parte del jardín vertical, así como las distintas programaciones de riego establecidas a lo largo del experimento. Así mismo, se exponen los resultados referentes al seguimiento del crecimiento del jardín vertical.

#### 5.3.1.- EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL

En cuanto a los resultados obtenidos de la evapotranspiración diaria del jardín vertical, se encuentra una gran variabilidad de valores dependientes de las diferentes condiciones ambientales en un momento dado.

De modo que se obtiene un rango de valores de evapotranspiración de un jardín vertical con el sistema de cultivo, material vegetal y condiciones ambientales aquí nombradas, el cual oscila entre 894,18 g agua/día y 2969,41 g agua/día, encontrando un valor medio de 1714,94 g agua/día (762,2 g agua/ m<sup>2</sup> día).

Así mismo, la curva de evapotranspiración diaria durante el periodo de estudio, queda representada en la siguiente figura:

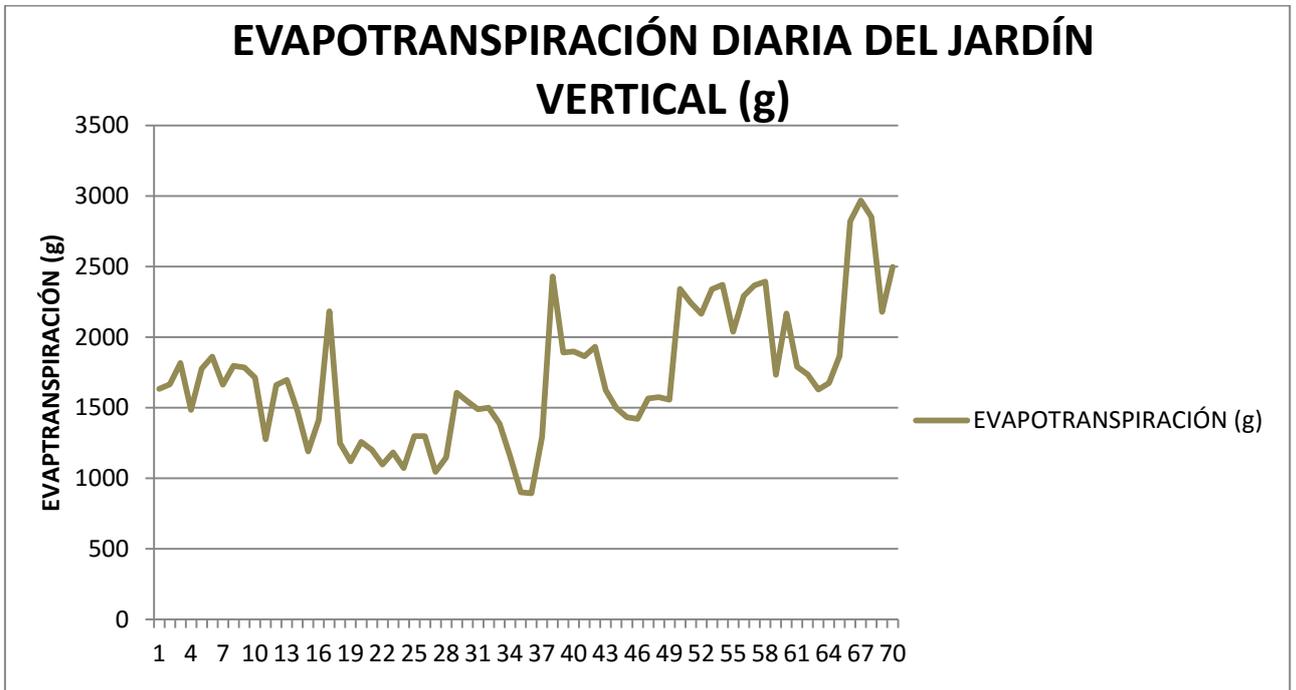


Figura 8: curva de evapotranspiración diaria durante el periodo que dura el ensayo.

Del mismo se representa la curva de evapotranspiración horaria tipo, en el periodo que dura el ensayo:



Figura 9: evapotranspiración horaria estándar de un jardín vertical de condiciones físicas y ambientales conocidas.

Como se observa en la figura 9, la evapotranspiración se ve reducida durante la noche, experimentando un incremento entre las 6:00 y las 7:00 hasta llegar a su máximo entre las 10:00 y las 11:00. Se aprecia una disminución puntual entre las 11:00 y las 12:00, la cual podría ser debida al apagado de la iluminación artificial debida a la salida del personal a la hora del



almuerzo, ya que en ese mismo periodo de tiempo comienza a apreciarse un aumento de la evapotranspiración hasta las 15:00, hora de cierre de la empresa. A partir de las 18:00 la evapotranspiración del jardín comienza a decrecer, posiblemente, debido a la reducción de la luminosidad natural entrante por la ventana hasta llegar a su valor mínimo en torno a las 22:00.

### 5.3.2.- PROGRAMACIÓN DE RIEGO

#### 5.3.2.1.- PRIMERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Debido a que no se conocen las necesidades hídricas del jardín, la primera programación de riego se realiza con el objetivo de satisfacer completamente los requerimientos hídricos por lo que se programa un riego en abundancia.

De modo que se programa un total de 33 minutos de riego distribuidos en intervalos de 1 hora y 45 minutos, obteniendo un total de 11 riegos; dando el primer riego a las 6:00 y finalizando los mismos a las 23:15.

La primera programación de riego queda de la siguiente manera:

Cuadro 7: primera programación de riego.

1º PROGRAMACION DE RIEGO											
INICIO	6:00	7:45	9:30	11:15	13:00	14:45	16:30	18:15	19:45	21:30	23:15
FIN	6:03	7:48	9:33	11:18	13:03	14:48	16:33	18:18	19:48	21:33	23:18

Atendiendo a la primera programación de riego, se obtienen unos valores en cuanto al peso de jardín, lo cual refleja las aportaciones y pérdida de agua, y en cuanto al peso del drenaje, el cual refleja la pérdida de agua; desaprovechada por el jardín. Dichos valores quedan representados en la siguiente figura:

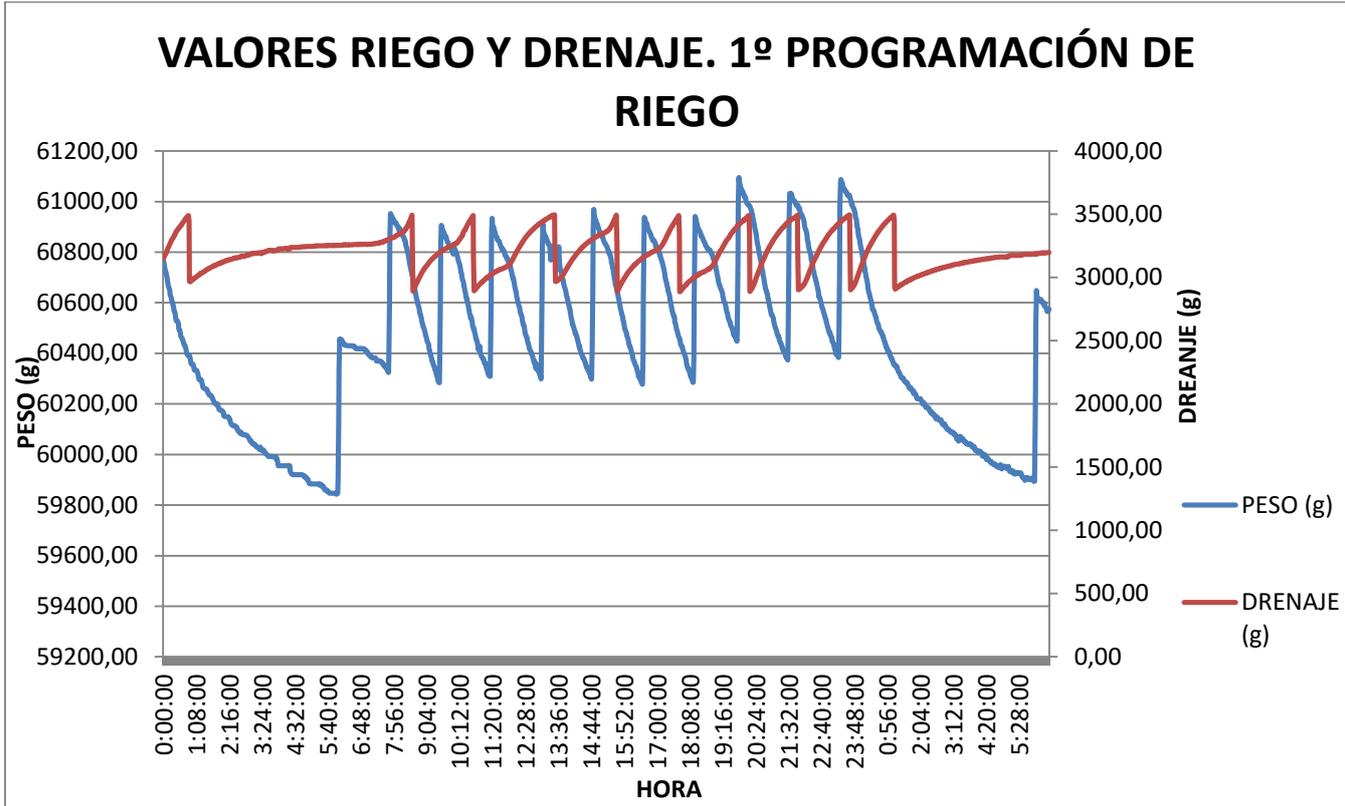


Figura 10: valores obtenidos en relación al peso del jardín y peso del drenaje en la primera programación de riego.

Así pues, el análisis de datos para el cálculo de la evapotranspiración, de forma horaria y en función del riego se presenta en los siguientes cuadros:

*Cuadro 8: análisis horario de la evapotranspiración del jardín vertical con la primera programación de riego.*

ANÁLISIS POR HORAS			
HORA	ΔP ENTRE HORAS (g/h)	DRENAJE (g/h)	EVAPOTRASNPIRACION (g/h)
00:00-1:00	-411,75	358,29	53,46
1:00-2:00	-183,21	135,36	47,85
2:00-3:00	-122,40	64,76	57,64
3:00-4:00	-95,64	43,26	52,38
4:00-5:00	-61,60	19,90	41,69
5:00-6:00	-47,76	7,96	39,80
6:00-7:00	-48,67	7,96	40,71
7:00-8:00	-119,52	64,49	55,03
8:00-9:00	-428,48	349,80	78,68
9:00-10:00	-280,25	185,25	95,00
10:00-11:00	-449,01	305,74	143,27
11:00-12:00	-290,09	163,75	126,34
12:00-13:00	-417,04	300,96	116,08
13:00-14:00	-334,52	206,69	127,83
14:00-15:00	-359,36	221,12	138,24
15:00-16:00	-428,61	307,35	121,26
16:00-17:00	-303,34	183,92	119,42
17:00-18:00	-444,19	325,65	118,54
18:00-19:00	-276,99	184,98	92,01
19:00-20:00	-378,16	327,77	50,39
20:00-21:00	-483,62	436,85	46,77
21:00-22:00	-253,53	227,18	26,35
22:00-23:00	-477,36	436,05	41,31
23:00-00:00	-326,67	293,88	32,79
TOTAL ET (g) =			1862,85

*Cuadro 9: cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada, en la primera programación de riego.*

ANÁLISIS POR RIEGO						
HORA	AGUA APORTADA (g)	ΔP ENTRE RIEGOS (g)	DRENAJE (g)	DRENAJE (%)	EVAPOTRANSPIRACION (g)	EVAPOTRANSPIRACION (%)
6:00	609,64	477,46	48,83	8,01%	83,35	13,67%
7:45	629	-40,33	495,24	78,73%	174,09	27,68%
9:30	621,91	25,23	416,41	66,96%	180,27	28,99%
11:15	625,22	-9,65	411,90	65,88%	222,97	35,66%
13:00	610,79	-2,35	390,35	63,91%	222,79	36,48%
14:45	671,74	-19,95	455,48	67,81%	236,21	35,16%
16:30	660,93	7,34	443,48	67,10%	210,11	31,79%
18:15	656,79	163,04	403,41	61,42%	90,34	13,76%
19:45	647,56	-73,49	624,22	96,40%	96,83	14,95%
21:30	662,95	8,92	579,90	87,47%	74,13	11,18%
23:15	703,66	-488,10	933,20	132,62%	258,57	36,75%
	7100,19		5202,42	73,27%	1849,65	26,05%

En el cuadro 9, se muestra el cálculo del consumo hídrico del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada al mismo, esto es, el riego, de acuerdo a la primera programación realizada.



Como se puede apreciar el porcentaje que representa la evapotranspiración en función del riego es bastante bajo, siendo el valor máximo 36,75%, esto quiere decir que únicamente un 36,75% del agua que se aporta al jardín es utilizada por el mismo, por lo que hay un gran desperdicio de agua.

Este hecho es corroborado por la columna de cálculo del drenaje. Como se puede apreciar, el porcentaje de agua desaprovechada, esto es, drenada, supera en todos los casos, a excepción del primer riego, el 60%; llegando incluso a percolar el 100% del agua aportada en el último riego realizado.

Por último, la columna de variación de peso del jardín ( $\Delta P$  entre riegos (g)) refleja la capacidad de absorción de la manta de riego. De modo que los valores que se encuentran en positivo reflejan una absorción de agua por parte del geotextil.

Como se puede observar, en el primer riego la cantidad absorbida por la manta es del 78,32%, debido a que desde las 23:18 del día anterior no ha habido ninguna aportación de agua. A partir de ese momento la evolución de absorción de agua por parte de la manta se vuelve negativa debido a que no posee mayor capacidad de absorción. No obstante, a las 18:15 se produce otra absorción de agua significativa por parte de la manta; esto es debido a una disminución de la evapotranspiración del jardín vertical en el intervalo comprendido entre el riego de las 18:15 y el riego de las 19:45 horas.

Los valores finales presentes en las columnas de “Agua aportada (g)”, “Drenaje (g)” y “Evapotranspiración (g)” corresponden al cálculo de la suma de los valores recogidos. Como se puede observar el jardín consume un 26,05% del total del agua aportada, mientras que se pierde por drenaje alrededor de un 73,27%. Dichos valores reflejan una muy baja eficiencia en el uso del agua por parte del jardín en relación al agua aportada con esta programación de riego.

#### **5.3.2.2.- SEGUNDA PROGRAMACIÓN DE RIEGO**

Una vez recogidos los datos obtenidos en la primera programación de riego, se analizan y se obtiene la evapotranspiración del jardín tanto de forma horaria como en relación al agua aportada al mismo. Una vez hecho dicho análisis, se está en disposición de realizar una programación de riego más precisa.

El objetivo primordial de esta programación de riego es aportar la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades del jardín, procurando disminuir el drenaje. Para ello se tienen en cuenta los valores de evapotranspiración horaria y los valores de agua aportada por minuto en el riego (250 g agua/minuto de riego).

Se realiza la programación con el objetivo de satisfacer la evapotranspiración de tres horas en tres horas, procurando así minimizar el drenaje. Así mismo se obtiene la siguiente programación de riego:

Cuadro 10: segunda programación de riego.

2º PROGRAMACION DE RIEGO							
INICIO	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	0:00
FIN	6:03	9:02	12:02	15:02	18:02	21:02	0:03

Atendiendo a la segunda programación de riego, se obtienen unos valores en cuanto al peso de jardín, lo cual refleja las aportaciones y pérdida de agua, y en cuanto al peso del drenaje, el cual refleja la perdida de agua; desaprovechada por el jardín. Dichos valores quedan representados en la siguiente figura:

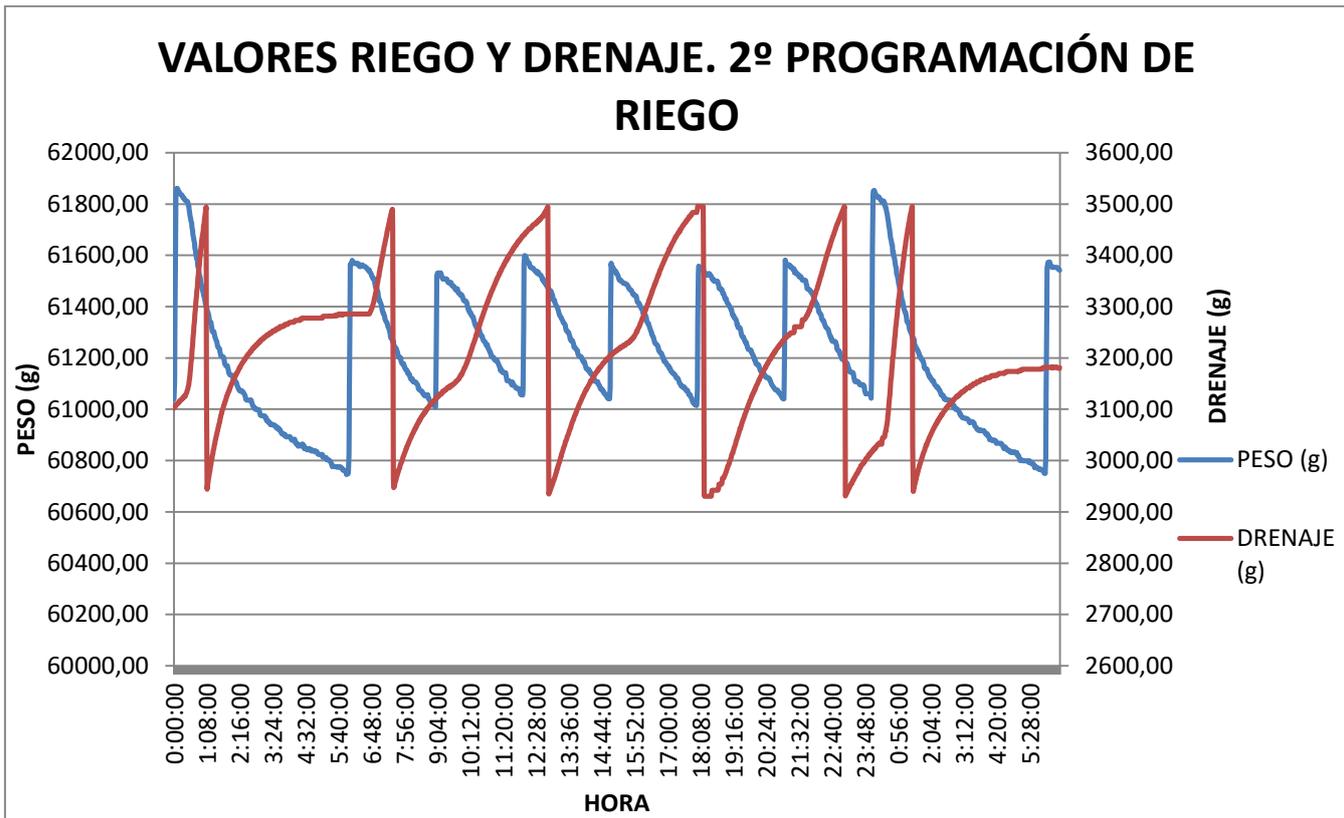


Figura 11: valores obtenidos en relación al peso del jardín y peso del drenaje en la segunda programación de riego.

Así mismo, el análisis de datos para el cálculo de la evapotranspiración, de forma horaria y en función del riego se presenta en los siguientes cuadros:

*Cuadro 11: análisis horario de la evapotranspiración del jardín vertical con la segunda programación de riego.*

ANÁLISIS POR HORAS			
HORA	ΔP ENTRE HORAS (g/h)	DRENAJE (g/h)	EVAPOTRASNPIRACION (g/h)
00:00-1:00	-407,64	345,50	62,14
1:00-2:00	-320,03	255,01	65,02
2:00-3:00	-157,13	81,47	75,66
3:00-4:00	-85,44	35,49	49,95
4:00-5:00	-65,91	8,16	57,75
5:00-6:00	-73,23	7,99	65,24
6:00-7:00	-120,84	59,05	61,79
7:00-8:00	-305,58	221,61	83,97
8:00-9:00	-146,14	95,53	50,61
9:00-10:00	-108,75	61,58	47,17
10:00-11:00	-220,23	157,14	63,09
11:00-12:00	-146,19	98,67	47,52
12:00-13:00	-144,22	73,06	71,16
13:00-14:00	-249,29	165,79	83,50
14:00-15:00	-164,71	88,09	76,62
15:00-16:00	-154,35	56,26	98,09
16:00-17:00	-243,26	144,05	99,21
17:00-18:00	-154,66	79,59	75,07
18:00-19:00	-130,48	55,72	74,76
19:00-20:00	-234,78	161,85	72,93
20:00-21:00	-151,90	97,52	54,38
21:00-22:00	-138,02	74,99	63,03
22:00-23:00	-247,74	173,15	74,59
23:00-00:00	-153,04	95,34	57,70
TOTAL ET (g) =			1630,97

*Cuadro 12: cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada, en la segunda programación de riego.*

ANÁLISIS POR RIEGO						
HORA	AGUA APORTADA (g)	ΔP ENTRE RIEGOS (g)	DRENAJE (g)	DRENAJE (%)	EVAPOTRANSPIRACION (g)	EVAPOTRANSPIRACION (%)
6:00	816,50	256,40	376,19	46,07%	183,91	22,52%
9:00	523,45	48,28	317,38	60,63%	157,79	30,14%
12:00	543,06	-15,16	326,94	60,20%	231,28	42,59%
15:00	527,93	-25,97	279,91	53,02%	273,99	51,90%
18:00	541,35	25,80	317,20	58,59%	198,35	36,64%
21:00	541,09	2,31	343,48	63,48%	195,30	36,09%
0:00	807,10	-292,46	722,68	89,54%	376,88	46,70%
	4300,48		2683,78	62,41%	1617,50	37,61%

En el cuadro 12, se muestra el cálculo del consumo hídrico del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada al mismo, esto es, el riego, de acuerdo a la segunda programación realizada.

Como se puede apreciar el porcentaje que representa la evapotranspiración en función del riego es como máximo un 51,90%, esto quiere decir que un 51,90% del agua que se aporta al jardín es utilizada por el mismo, por lo que hay un gran desperdicio de agua. Con esta segunda programación de riego, se ha conseguido aumentar el porcentaje de agua utilizada por el



jardín, por tanto se desaprovecha menos agua en el drenaje. Así mismo se consigue el ahorro de 2799,71 g agua respecto a la primera programación.

Este hecho es corroborado por la columna de cálculo del drenaje. Como se puede apreciar, el porcentaje de agua desaprovechada, esto es, drenada, ha sido disminuida respecto a la primera programación de riego (>60%; aun así sigue desaprovechándose un elevado porcentaje de agua en torno a un 50-60%, objetivo a solucionar con la siguiente programación de riego.

Respecto a los valores finales presentes en las columnas de “Agua aportada (g)”, “Drenaje (g)” y “Evapotranspiración (g)”, se puede observar el jardín consume un 37,61% del total del agua aportada, mientras que se pierde por drenaje alrededor de un 62,41%. Dichos valores reflejan un aumento en la eficiencia del uso del agua por parte del jardín en relación al agua aportada, siendo aun así demasiado baja.

### 5.3.2.3.- TERCERA PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Una vez analizados los datos procedentes de la segunda programación de riego se procede al cálculo de la tercera programación de riego; para la cual se tiene en cuenta que la manta de riego absorbe casi el 100% de su capacidad en el primer riego y permitiendo un drenaje entre el 15% y el 25%.

Así pues, la tercera programación de riego es la siguiente:

Cuadro 13: tercera programación de riego.

3º PROGRAMACION DE RIEGO							
INICIO	6:00:00	9:00:00	12:00:00	15:00:00	18:00:00	21:00:00	0:00:00
FIN	6:03:00	9:02:30	12:01:30	15:01:30	18:01:30	21:01:30	0:02:30

Atendiendo a la tercera programación de riego, se obtienen unos valores en cuanto al peso de jardín, lo cual refleja las aportaciones y pérdida de agua, y en cuanto al peso del drenaje, el cual refleja la pérdida de agua desaprovechada por el jardín. Dichos valores quedan representados en la siguiente figura:

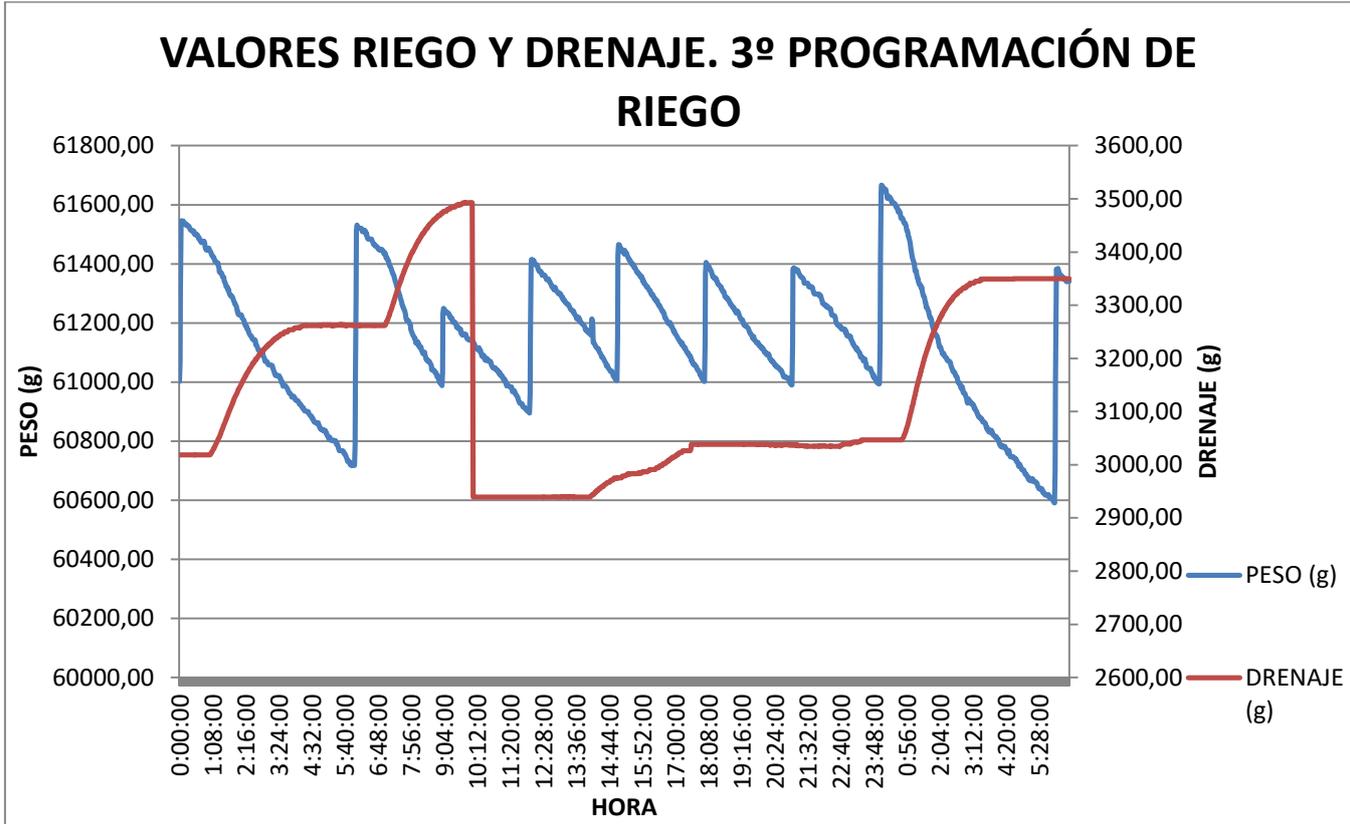


Figura 12: valores obtenidos en relación al peso del jardín y peso del drenaje en la tercera programación de riego.



Así mismo, el análisis de datos para el cálculo de la evapotranspiración, de forma horaria y en función del riego se presenta en los siguientes cuadros:

Cuadro 14: análisis horario de la evapotranspiración del jardín vertical con la tercera programación de riego.

ANÁLISIS POR HORAS			
HORA	ΔP ENTRE HORAS (g/h)	DRENAJE (g/h)	EVAPOTRANSPIRACION (g/h)
00:00-1:00	-92,21	0,07	92,14
1:00-2:00	-214,37	119,73	94,64
2:00-3:00	-169,76	83,89	85,87
3:00-4:00	-132,38	35,32	97,06
4:00-5:00	-100,36	4,52	95,84
5:00-6:00	-118,25	0,01	118,24
6:00-7:00	-95,49	0,00	95,49
7:00-8:00	-277,98	139,34	138,64
8:00-9:00	-170,29	71,66	98,63
9:00-10:00	-106,14	19,90	86,23
10:00-11:00	-120,94	0,00	120,94
11:00-12:00	-127,29	0,00	127,29
12:00-13:00	-112,83	0,00	112,83
13:00-14:00	-127,94	0,00	127,94
14:00-15:00	-169,55	35,83	133,72
15:00-16:00	-139,61	11,92	127,69
16:00-17:00	-155,92	28,77	127,15
17:00-18:00	-160,68	22,55	138,13
18:00-19:00	-152,13	0,00	152,13
19:00-20:00	-129,16	0,00	129,16
20:00-21:00	-123,53	0,06	123,47
21:00-22:00	-101,12	0,00	101,12
22:00-23:00	-131,38	3,83	127,55
23:00-00:00	-158,44	7,71	150,73
TOTAL ET (g) =			2802,64

Cuadro 15: cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada, en la tercera programación de riego.

ANÁLISIS POR RIEGO						
HORA	AGUA APORTADA (g)	ΔP ENTRE RIEGOS (g)	DRENAJE (g)	DRENAJE (%)	EVAPOTRANSPIRACION (g)	EVAPOTRANSPIRACION (%)
6:00	813,51	269,75	210,20	25,84%	333,56	41,00%
9:00	261,86	-92,51	19,64	7,50%	334,73	127,83%
12:00	519,57	109,25	35,83	6,90%	374,49	72,08%
15:00	461,28	-3,30	63,51	13,77%	401,07	86,95%
18:00	403,75	-11,73	0,00	0,00%	415,48	102,91%
21:00	398,04	4,14	9,15	2,30%	384,75	96,66%
0:00	670,78	-402,43	303,12	45,19%	770,09	114,80%
3528,79			641,45	18,18%	3014,17	85,42%

En el cuadro 15, se muestra el cálculo del consumo hídrico del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada al mismo, esto es, el riego, de acuerdo a la tercera programación realizada.

Como se puede apreciar el porcentaje que representa la evapotranspiración en función del riego ronda valores superiores al 70%, por lo que hay una gran eficiencia en el uso del agua en relación al agua aportada; obteniendo un ahorro de agua de 772,19 gramos respecto a la anterior programación.



Si bien es cierto, que en algunos riegos no se llegan a satisfacer las necesidades hídricas del jardín, como es el caso de aquellos en los cuales el porcentaje de evapotranspiración supera el 100%, por lo que habrá que aumentar la cantidad de agua aportada en la próxima programación para solventar este problema.

Respecto al drenaje, se puede apreciar, que ronda en torno al 10%, por lo que se consigue un desaprovechamiento mínimo del agua aportada.

Respecto a los valores finales presentes en las columnas de “Agua aportada (g)”, “Drenaje (g)” y “Evapotranspiración (g)”, se puede observar el jardín consume un 85,42% del total del agua aportada, mientras que se pierde por drenaje alrededor de un 18,18%. Dichos valores reflejan un aumento notable en la eficiencia del uso del agua por parte del jardín en relación al agua aportada en esta programación de riego.

#### 5.3.2.4.- CUARTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Una vez analizada la programación de riego anterior, se procede al ajuste de la dosis de riego en función de los valores de evapotranspiración obtenidos. En esta programación se pretende un ligero aumento de la dosis de riego para asegurar la completa aportación en todas las horas del día. Se obtiene entonces, la programación de riego ideal para el jardín vertical en esas circunstancias.

Así mismo, la cuarta programación de riego queda recogida en el siguiente cuadro.

Cuadro 16: cuarta programación de riego.

4º PROGRAMACION DE RIEGO							
INICIO	6:00:00	9:00:00	13:00:00	16:00:00	19:00:00	21:00:00	0:00:00
FIN	6:03:00	9:01:45	13:01:45	16:01:45	19:01:45	21:01:45	0:03:00

Atendiendo a dicha programación de riego, se obtienen unos valores en cuanto al peso de jardín, lo cual refleja las aportaciones y pérdida de agua, y en cuanto al peso del drenaje, el cual refleja la pérdida de agua desaprovechada por el jardín. Dichos valores quedan representados en la siguiente figura:

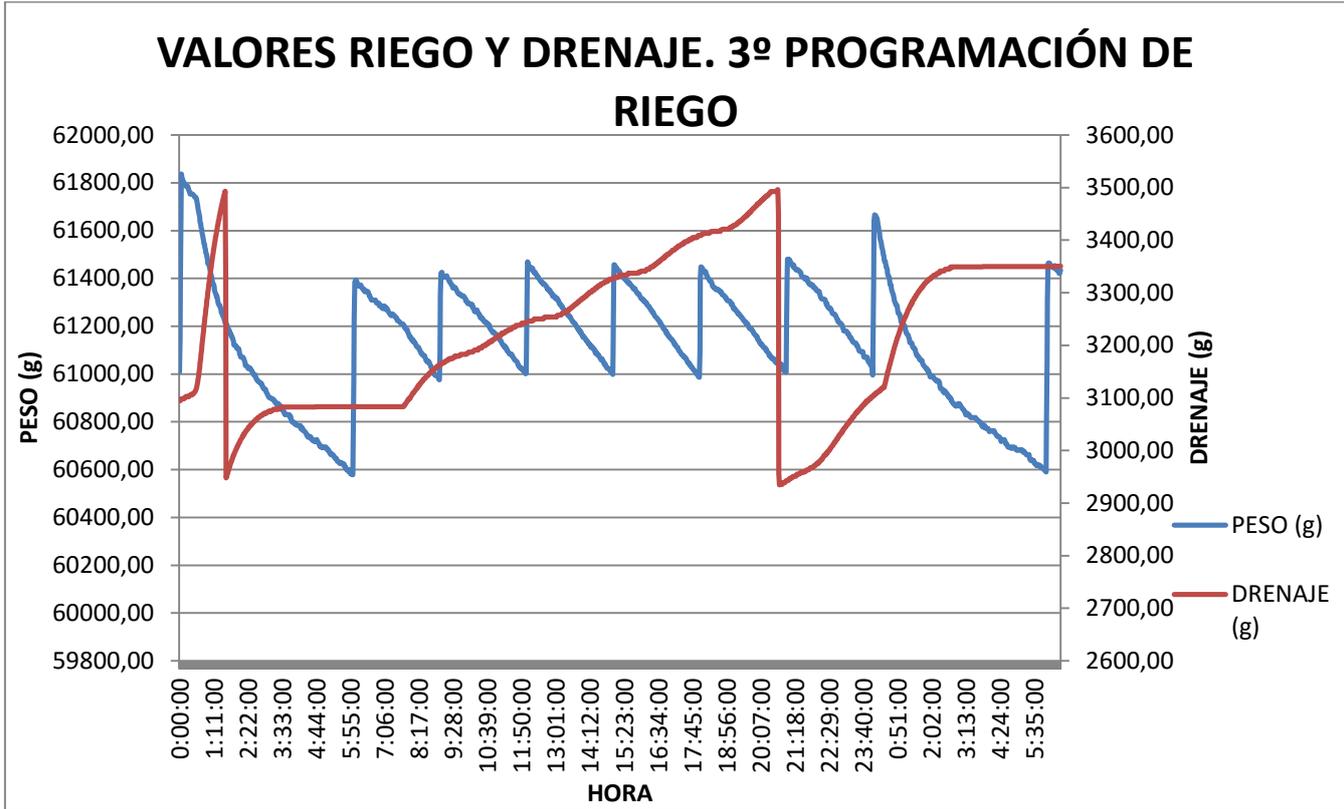


Figura 13: valores obtenidos en relación al peso del jardín y peso del drenaje en la cuarta programación de riego.

Así mismo, el análisis de datos para el cálculo de la evapotranspiración, de forma horaria y en función del riego se presenta en los siguientes cuadros:

*Cuadro 17: análisis horario de la evapotranspiración del jardín vertical con la cuarta programación de riego.*

ANÁLISIS POR HORAS			
HORA	ΔP ENTRE HORAS (g/h)	DRENAJE (g/h)	EVAPOTRASNPIRACION (g/h)
00:00-1:00	-377,74	213,38	164,36
1:00-2:00	-352,35	244,70	107,65
2:00-3:00	-180,61	63,70	116,91
3:00-4:00	-136,64	12,25	124,39
4:00-5:00	-95,75	0,33	95,42
5:00-6:00	-115,29	0,33	114,96
6:00-7:00	-115,69	0,07	115,62
7:00-8:00	-122,38	17,52	104,86
8:00-9:00	-179,67	61,88	117,79
9:00-10:00	-128,06	23,10	104,96
10:00-11:00	-133,86	28,85	105,01
11:00-12:00	-160,51	27,93	132,58
12:00-13:00	-151,26	10,92	140,34
13:00-14:00	-165,43	36,05	129,38
14:00-15:00	-153,84	36,09	117,74
15:00-16:00	-143,03	15,13	127,90
16:00-17:00	-165,27	36,09	129,18
17:00-18:00	-163,77	31,84	131,93
18:00-19:00	-141,36	11,67	129,69
19:00-20:00	-152,73	48,05	104,68
20:00-21:00	-145,87	35,57	110,31
21:00-22:00	-119,28	28,66	90,62
22:00-23:00	-181,53	68,74	112,79
23:00-00:00	-146,67	62,37	84,30
TOTAL ET (g) =			2813,37

*Cuadro 18: cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada, en la cuarta programación de riego.*

ANÁLISIS POR RIEGO						
HORA	AGUA APORTADA (g)	ΔP ENTRE RIEGOS (g)	DRENAJE (g)	DRENAJE (%)	EVAPOTRANSPIRACION (g)	EVAPOTRANSPIRACION (%)
6:00	814,93	397,19	79,46	9,75%	338,28	41,51%
9:00	449,52	25,54	79,61	17,71%	344,37	76,61%
12:00	467,85	-2,68	80,95	17,30%	389,58	83,27%
15:00	459,06	-13,01	81,21	17,69%	390,86	85,14%
18:00	462,14	22,18	95,28	20,62%	344,68	74,58%
21:00	472,46	24,98	111,32	23,56%	336,16	71,15%
0:00	810,56	-371,03	532,54	65,70%	649,05	80,07%
3936,52			1060,37	26,94%	2792,98	70,95%

Como se puede apreciar en el cuadro 18, el porcentaje que representa la evapotranspiración en función del riego, en la mayoría de riegos, ronda valores en torno al 75-85%, por lo que hay una gran eficiencia en el uso del agua en relación al agua aportada; a excepción del primer riego, principalmente destinado a la “recarga” de la manta de riego. Se observa un aumento del agua aportada de 408,23 gramos debido a que en la programación anterior no se cubrían los requerimientos hídricos del jardín en su totalidad. Así mismo, si se observa una reducción del a cantidad de agua aportada, de unos 363,96 gramos, respecto a la segunda programación.



En cuanto al drenaje se observan valores en torno al 15-25%, cumpliendo uno de los objetivos de la programación. En cuanto al drenaje experimentado en el último riego, el cual es de 65,70%, se permite debido a la gran variación evapotranspirativa del jardín vertical, asegurando así la completa satisfacción hídrica en cualquier situación observada durante el ensayo.

Respecto a los valores finales presentes en las columnas de “Agua aportada (g)”, “Drenaje (g)” y “Evapotranspiración (g)”, se puede observar que el jardín consume un 70,95% del total del agua aportada, mientras que se pierde por drenaje alrededor de un 26,94%; considerando ambos valores bastante razonables, en relación a los valores obtenidos durante todo el estudio.

Se establece así, la presente programación de riego, como la programación más óptima para el correcto crecimiento del jardín optimizando en la mayor medida de lo posible el agua de riego.

### 5.3.2.5.- QUINTA PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Por último, una vez fijada la programación de riego óptima para el jardín, se procede al establecimiento de una quinta programación de riego, con la cual se propicie una situación de déficit hídrico; con la finalidad de observar el comportamiento del jardín frente a esta situación de escasez de agua.

Así pues, se decide establecer una programación de riego, con un total de 11 minutos de riego, repartidos en 5 riegos, desde las 6:00 hasta las 19:00. La quinta programación de riego es la que se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 19: quinta programación de riego.

5º PROGRAMACION DE RIEGO					
INICIO	6:00	9:00	13:00	16:00	19:00
FIN	6:03	9:02	13:02	16:02	19:02

Atendiendo a dicha programación de riego, se obtienen unos valores en cuanto al peso de jardín, lo cual refleja las aportaciones y pérdida de agua, y en cuanto al peso del drenaje, el cual refleja la pérdida de agua desaprovechada por el jardín. Dichos valores quedan representados en la siguiente figura:

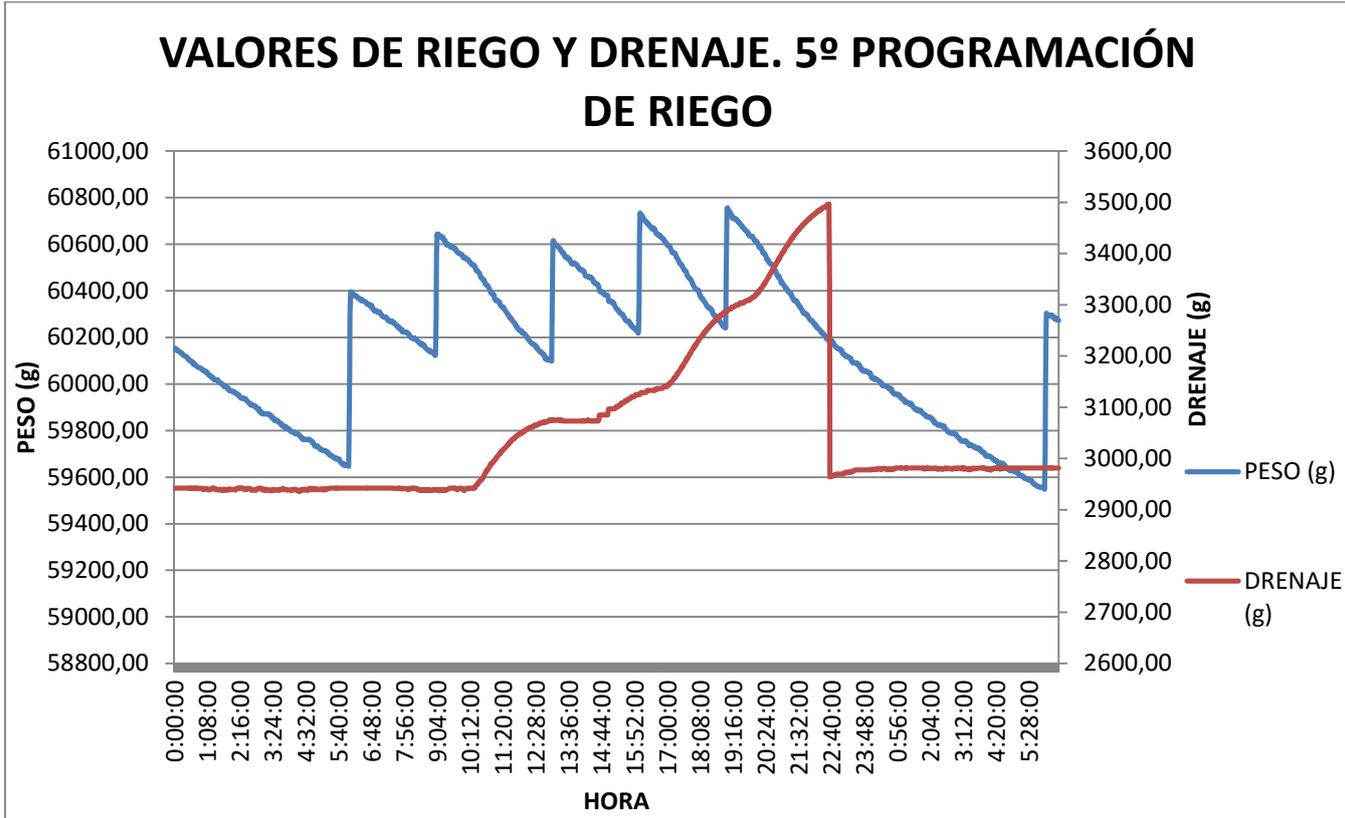


Figura 14: valores obtenidos en relación al peso del jardín y peso del drenaje en la quinta programación de riego.

Así mismo, el análisis de datos para el cálculo de la evapotranspiración, de forma horaria y en función del riego se presenta en los siguientes cuadros:

*Cuadro 20: análisis horario de la evapotranspiración del jardín vertical con la quinta programación de riego.*

ANÁLISIS POR HORAS			
HORA	$\Delta P$ ENTRE HORAS (g/h)	DRENAJE (g/h)	EVAPOTRASNPIRACION (g/h)
00:00-1:00	-92,03	0,00	92,03
1:00-2:00	-89,34	0,21	89,13
2:00-3:00	-90,39	2,47	87,92
3:00-4:00	-78,89	0,00	78,89
4:00-5:00	-76,32	0,75	75,57
5:00-6:00	-76,31	3,10	73,21
6:00-7:00	-85,42	0,00	85,42
7:00-8:00	-89,98	0,00	89,98
8:00-9:00	-98,88	0,00	98,88
9:00-10:00	-100,89	0,00	100,89
10:00-11:00	-160,80	55,70	105,10
11:00-12:00	-163,63	55,55	108,08
12:00-13:00	-120,93	25,60	95,33
13:00-14:00	-124,50	0,00	124,50
14:00-15:00	-134,07	23,63	110,44
15:00-16:00	-138,97	27,83	111,15
16:00-17:00	-137,24	15,92	121,32
17:00-18:00	-191,14	83,03	108,11
18:00-19:00	-164,38	63,40	100,98
19:00-20:00	-136,24	28,65	107,59
20:00-21:00	-188,61	87,80	100,81
21:00-22:00	-157,79	69,23	88,56
22:00-23:00	-127,12	29,44	97,68
23:00-00:00	-98,01	7,96	90,05
<b>TOTAL ET (g) =</b>			<b>2341,63</b>

*Cuadro 21: cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada, en la quinta programación de riego.*

ANÁLISIS POR RIEGO						
HORA	AGUA APORTADA (g)	$\Delta P$ ENTRE RIEGOS (g)	DRENAJE (g)	DRENAJE (%)	EVAPOTRANSPIRACION (g)	EVAPOTRANSPIRACION (%)
6:00	746,85	472,57	0,00	0,00%	274,28	36,72%
9:00	522,96	-23,29	135,78	25,96%	410,48	78,49%
13:00	517,50	119,96	49,41	9,55%	348,13	67,27%
16:00	515,54	22,78	162,60	31,54%	330,16	64,04%
19:00	513,85	-688,88	226,53	44,09%	976,20	189,98%
	<b>2816,7</b>		<b>574,32</b>	<b>20,39%</b>	<b>2339,24</b>	<b>83,05%</b>

En el cuadro 21, se muestra el cálculo del consumo hídrico del jardín vertical en función de la cantidad de agua aportada al mismo, esto es, el riego, de acuerdo a la quinta programación realizada.

Como se puede apreciar el porcentaje que representa la evapotranspiración en función del riego, en la mayoría de riegos, ronda valores en torno al 65-70%, por lo que hay una gran eficiencia en el uso del agua en relación al agua aportada; a excepción del primer riego, principalmente destinado a la “recarga” de la manta de riego, y del último. Así mismo se



aprecia una reducción en la cantidad de agua aportada, 119,82 gramos, respecto a la cuarta programación.

No obstante, como se puede apreciar en el último riego las necesidades hídricas del jardín no son satisfechas, llegando a necesitar un 89,98% más de la cantidad aportada. Esta reducción del riego se manifiesta en una bajada del vigor del jardín siendo más notable en aquellas plantas de hoja pequeña como: *Soleirolia soleirolii*, la especie más afectada, y *Ficus pumila*.

Respecto a los valores finales presentes en las columnas de “Agua aportada (g)”, “Drenaje (g)” y “Evapotranspiración (g)”, se puede observar que el jardín consume un 83,05% del total del agua aportada, mientras que se pierde por drenaje alrededor de un 20,39%.

### 5.3.2.- SEGUIMIENTO DEL JARDÍN VERTICAL

Los resultados obtenidos en cuanto al cálculo de la ganancia de peso de cada especie se muestran en el siguiente cuadro (los valores sombreados en las columnas de peso fresco y peso seco corresponden a los valores medios de las tres medidas tomadas para cada parámetro):

Cuadro 22: resultados obtenidos en cuanto a peso fresco y peso seco, al inicio y al final del estudio, así como de la ganancia de peso.

ESPECIE	INICIAL		FINAL		GANANCIA DE PESO (g)
	PESO FRESCO (g)	PESO SECO (g)	PESO FRESCO (g)	PESO SECO (g)	
<i>Codiaeum variegatum</i>	9,6	1,4	10,4	1,9	
	15,8	2,6	11,2	2,1	
	5,8	1,0	12,4	3,8	
	10,4	1,7	11,3	2,6	0,9
<i>Chlorophytum comosum</i>	13,1	0,5	11,7	0,9	
	12,8	0,5	17,3	1,5	
	14,4	0,7	15,8	1,3	
	13,4	0,6	14,9	1,2	0,7
<i>Spathiphyllum spp</i>	30,9	2,2	29,5	2,2	
	29,2	1,9	33,6	2,8	
	26,7	2,0	34,1	3,6	
	28,9	2,0	32,4	2,9	0,8
<i>Peperomia obtusifolia</i>	19,8	0,9	28,2	1,9	
	25,1	1,4	22,0	1,2	
	20,6	0,9	23,4	1,6	
	21,8	1,1	24,5	1,6	0,5
<i>Ficus Pumila</i>	4,3	0,6	4,6	0,9	
	5,3	0,7	5,8	1,6	
	5,1	0,8	6,3	2,2	
	4,9	0,7	5,6	1,6	0,9
<i>Philodendron scandens</i>	10,3	1,2	24,0	5,3	
	13,9	1,5	33,8	11,4	
	9,2	1,0	22,1	4,8	
	11,1	1,2	26,6	7,2	6,0
<i>Soleirolia soleirolii</i>	55,1	6,8	47,8	6,4	
	24,5	2,8	64,6	7,5	
	49,3	6,2	68,3	8,1	
	43,0	5,3	60,2	7,3	2,1
<i>Nephrolepis cordifolia</i>	16,2	1,8	24,7	3,4	
	14,5	1,2	23,3	2,9	
	18,9	2,1	28,0	4,2	
	16,5	1,7	25,3	3,5	1,8

Como se puede apreciar en el cuadro 22, la especie que experimento una mayor ganancia de materia seca es el *Philodendron scandens* (6 g), mientras que aquella especie que experimento una menor ganancia de peso es la *Peperomia obtusifolia* (0,5 g).

Respecto a la evolución de la cobertura vegetal, mostrada en el Anexo1. Evolución del crecimiento del jardín vertical, se observa un notable crecimiento de las especies siendo este más notable en las especies: *Soleirolia soleirolii*, *Nephrolepis cordifolia* y *Philodendron scandens*.



## 6.- CONCLUSIONES

### 6.1.- CONCLUSIONES FASE 1: MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL

Debido a la experiencia reunida durante la realización del ensayo, se obtienen ciertas consideraciones a tener en cuenta para una mayor comodidad y eficacia tanto en el montaje del jardín vertical como para el correcto funcionamiento del mismo.

La principal materia susceptible de mejora, tanto por ser el asunto protagonista que concierne al presente trabajo como por ser el tema que reúne mayor complejidad, es la instalación de riego y la correcta humectación del jardín vertical.

En primer lugar, la preocupación primordial se centra en el correcto humedecimiento del jardín vertical, así pues se obtienen las siguientes conclusiones:

- En un primer momento se decide el uso de una manguera exudante como método de aplicación del riego, no obstante debido a una falta de humectación del jardín y a la rápida obturación de los microporos presentes en ella se decide su sustitución por una manguera de riego con goteros auto-compensantes de caudal 4 L/h. De este modo, se consigue una mayor humectación de la manta de riego y por tanto del jardín vertical.
- Se determina el grapado adicional en ciertos puntos del jardín vertical, sobre todo en el área próxima al sistema radicular de cada planta. De esta manera se logra un mejor contacto entre las dos capas de la manta de riego y una mayor retención y confluencia de agua.

Respecto a la manta de riego, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se observa que a mayor grosor mejor será la humectación del jardín y el desarrollo radicular, debido tanto a una mayor capacidad de absorción de agua como a una mayor superficie para el desarrollo radicular.
- Del estudio acerca de la capacidad de retención de la manta de riego, se concluye que la capacidad de retención es bastante baja, desprendiendo 65 gramos de agua en 48 horas, lo cual se considera insignificante en relación al cálculo de la evapotranspiración del jardín vertical.
- Por otro lado, la capacidad de absorción de la manta es bastante reducida ya que absorbe en el primer riego casi el 100% de su capacidad; siendo esta de unos 400 gramos de agua en las primeras fases del experimento y reduciéndose a 300 gramos en los estadios finales.

En relación al material vegetal implantado en el jardín vertical, se hallan las siguientes conclusiones:

- La especie *Soleirolia soleirolii* es la especie que mayor sensibilidad presenta ante un déficit hídrico, manifestándolo varios días antes que el resto de plantas, por otro lado,



también es la que más rápido experimenta un crecimiento en condiciones óptimas del jardín.

- La especie *Ficus pumila*, presentó algunos problemas de adaptación en el comienzo del estudio, siendo necesaria la sustitución de algunas de plantas.
- La especie *Philodendron scandens*, es la especie que mayor tolerancia presentó ante un déficit hídrico, llegando incluso a recuperarse tras dos semanas sin aportación de riego.
- Por último, se recomienda tanto la homogeneidad en el uso de las especies como a la elección de especies presentes durante todo el año, esto es debido a una mayor comodidad y eficacia en la consecución del material vegetal.

Respecto al presupuesto de la fabricación del jardín vertical se obtiene un valor de 201,5 €/m<sup>2</sup>, el cual es un valor razonable, comparado con el precio estipulado en la Base de Precios de Paisajismo 2016, en materia de jardines verticales; siendo este de 229,31 €/m<sup>2</sup>.

### **6.3.- CONCLUSIONES FASE 2: CÁLCULO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENTORNO DEL JARDÍN VERTICAL**

Una vez analizados los datos obtenidos en lo referente a las condiciones ambientales, humedad relativa, temperatura y concentración de CO<sub>2</sub>, se decide realizar una comparación con los datos ambientales obtenidos en una habitación de similares características pero sin la presencia de un jardín vertical. Así pues, se obtienen una serie de conclusiones las cuales se exponen a continuación.

Atendiendo a los valores de humedad relativa analizados se obtienen las siguientes conclusiones:

- La presencia de un jardín vertical en un ambiente de interior produce un aumento de la humedad relativa, en relación a un ambiente de interior sin presencia de jardín.
- Dicho aumento de la humedad relativa, resulta bastante apreciable a la entrada de la habitación donde se encuentra ubicado el jardín. Del mismo modo, dicho aumento de humedad relativa provoca un aumento de la sensación térmica en la habitación.

De acuerdo a los datos obtenidos de temperatura se observa que la presencia de un jardín vertical disminuye la temperatura ambiental hasta en 2,5°C, en comparación a una habitación sin la presencia del mismo.

Por último, atendiendo a los datos recogidos de concentración de CO<sub>2</sub>, se observa que la presencia de un jardín vertical puede elevar los niveles de CO<sub>2</sub> de una habitación, hasta 80 ppm. No obstante dicho aumento no se manifiesta de forma significativa, siendo los niveles de una habitación en presencia de un jardín vertical bastante similares a los niveles obtenidos en ausencia del mismo.



### 6.3.- CONCLUSIONES FASE 3: SEGUIMIENTO Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL

La principal conclusión que se obtiene de la realización del presente estudio es que el consumo hídrico de un jardín vertical es muy variable dependiendo de diversos factores tales como: temperatura, humedad, luminosidad, tipo de sistema, material vegetal, etc.

No obstante, existen herramientas como la lisimetría de pesada que permite el cálculo de dicho consumo con bastante fiabilidad.

De modo que haciendo uso de la lisimetría de pesada se obtiene un rango de valores de evapotranspiración de un jardín vertical con el sistema de cultivo, material vegetal y condiciones ambientales aquí nombradas, el cual oscila entre 894,18 g agua/día y 2969,41 g agua/día, encontrando un valor medio de 1714,94 g agua/día (762,2 g agua/ m<sup>2</sup> día).

Observando los valores de consumo hídrico obtenidos en el estudio del comportamiento hídrico de muros verdes instalados en una caseta bioclimática en condiciones climáticas mediterráneas semiáridas (Salas y Montero, 2013); los cuales rondan entre 3 L/m<sup>2</sup> día y 8 L/m<sup>2</sup> día, y asumiendo que un litro de agua pesa un kilogramo, se aprecia una gran diferencia entre el consumo hídrico de jardines verticales de interior y exterior.

Respecto al seguimiento del crecimiento del jardín vertical se observa que las especies que experimentan una mayor ganancia de peso son *Soleirolia soleirolii*, *Nephrolepis cordifolia* y *Philodendron scanden*, siendo esta última la que presenta una mayor ganancia (6 gramos); mientras que las especies que experimentan una menor ganancia de peso son *Chlorophytum comosun* y *Peperomia obtusifolia*, siendo esta última la que presenta una menor ganancia (0,5 gramos).



## 7.- FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

A partir de los resultados obtenidos durante la realización del presente Trabajo de Fin de Grado, pueden ser elaboradas las siguientes recomendaciones para la realización de estudios posteriores.

En primer lugar, el tema el cual está resultando de mayor interés, es la capacidad que tienen los jardines verticales de interior de actuar como biofiltro. Para ello, una vez verificado el comportamiento y manejo hídrico del jardín vertical que aquí se expone, se está en disposición de la realización de un estudio sobre la capacidad que posee el jardín en la captación de polvo y otros contaminantes.

Así mismo, se puede proceder a la construcción de un jardín vertical para ambientes de interior activo con la utilización de filtros de carbono activado o pellets de arcilla y comprobar la eficiencia en la captación de polvo y otros contaminantes.

Del mismo modo, se puede realizar un estudio específico acerca de la influencia de la presencia de un jardín vertical, ya sea pasivo o activo, en un ambiente de interior.

Así mismo, una vez conocido el manejo de este jardín vertical, se puede proceder a la realización de un estudio sobre el confort anímico experimentado por los trabajadores a causa de la presencia de un jardín vertical.

Por último, se puede concluir que el sistema de jardinería vertical es un sistema con un desarrollo en auge, con numerosas posibilidades de futuro y una amplia gama de investigaciones. Así mismo, dicho sistema, aporta los beneficios de un jardín convencional con una importante reducción de espacio además de otros beneficios en ambiente interior, como la capacitación de contaminantes y la recirculación de aire, mejorando la calidad de vida y aportando soluciones los problemas de calidad ambiental.

## ANEXO 1. EVOLUCIÓN DEL JARDÍN VERTICAL

En el presente anexo se muestra la evolución del jardín vertical desde su implantación hasta el término del ensayo.



*Ilustración 31: jardín vertical, 05/04/2016.*



*Ilustración 32: jardín vertical, 12/04/2016.*



*Ilustración 33: jardín vertical, 19/04/2016.*



*Ilustración 34: jardín vertical, 28/04/2016.*



*Ilustración 35: jardín vertical, 12/05/2016.*



*Ilustración 36: jardín vertical, 23/05/2016.*



*Ilustración 37: jardín vertical, 03/06/2016.*



*Ilustración 38: jardín vertical, 26/06/2016.*



## BIBLIOGRAFÍA

- Alicante Forestal. *Tipos de jardines verticales*. [Consulta: 27 marzo 2016]. Disponible en: <http://www.alicanteforestal.es/jardines-verticales/>
- Bolaños-Silva, T. y Moscoso-Hurtado, A. “Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en eco-envolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica”. *Nodo*, vol. 5, nº 10 (2011), p. 5-20.
- Carrera Acosta, A. (2011). *Estudio de los efectos de la integración arquitectónica de sistemas vegetales verticales y propuestas de uso como técnica pasiva de ahorro de energía en el clima continental mediterráneo*. (Trabajo de Fin de Máster no publicado). Escuela Universitaria de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Lavao Pastrana, S. (2016). *Medición y modelamiento de la evapotranspiración real del cultivo de clavel en invernadero en la sabana de Bogotá, usando lisímetros electrónicos de pesada*. (Trabajo de Fin de Máster no publicado). Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Montoro, A. “Transpiración nocturna en vid”. *Asociación Española de Riegos y Drenajes, XXXIV Congreso Nacional de Riegos* [en línea], 2016, A-11, p. 1-6. [Consulta: 6 agosto 2016]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21151/CNRiegos.2016.A11>
- Navarro Portilla, J. (2013). *Los jardines verticales en la edificación*. (Trabajo Final de Máster no publicado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo. (NTJ-11V). (Abril 2012). Ajardinamientos especiales. Ajardinamientos verticales.
- Ruiz-Peñalver, L., et al. “Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations”. *Agricultural Water Management* [en línea], 2014. [Consulta: 23 marzo 2016]. ISSN 0378-3774. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.020>
- Salas, M.C., y Montero, J.L. “Las buenas prácticas en la horticultura ornamental”. *Actas de Horticultura nº 68*. ISBN 978846173029-9. VI Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental, 2014.



- Santos-Rufo, C., Lorite-Torres, I., Allen, R., Tasumi, M., Gavilan-Zafra, P. y Federes-Catel, E. “Capítulo I: la evapotranspiración: concepto y métodos para su determinación”. En: Santos-Rufo, C., Lorite-Torres, I., Allen, R., Tasumi, M., Gavilan-Zafra, P. y Federes-Catel, E. *Mejora de la gestión de los recursos hídricos por medio de la integración de técnicas de teledetección y modelos de simulación*. Andalucía: Analistas Económicos de Andalucía y Fundación UNICAJA, 2006, p. 19-23.
- Vega, Juan. *Jardines verticales y muros verdes IES Heliches* [blog]. Vega, Juan, 6 octubre, 2014. [Consulta: 15 marzo 2016]. Disponible en: <http://murosverdes.blogspot.com.es/>
- Vintimilla-Pelaez, C. (2013). *Uso de materiales para jardines verticales en espacios interiores*. (Trabajo de Fin de Grado no publicado). Título de diseñador de interiores, Universidad de Azuay. Cuenca, Ecuador.