

# Trabajo Fin de Máster

## *DISEÑO SOSTENIBLE DE JARDINES URBANOS. ANÁLISIS DE LA DEMANDA HÍDRICA Y DE LA PRODUCCIÓN DE LA ESCORRENTÍA URBANA DE LA CIUDAD VALENCIA.*

**Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA***

**Autor:**

*INGRID CAROLINA GONZÁLEZ ARANGUIBEL*

**Director:**

*DR. JUAN BAUTISTA MARCO SEGURA*

**JULIO, 2017**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**





## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

### Datos del proyecto

**Título del TFM en español:** DISEÑO SOSTENIBLE DE JARDINES URBANOS. ANÁLISIS DE LA DEMANDA HÍDRICA Y DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA URBANA DE LA CIUDAD DE VALENCIA.

**Título del TFM en inglés:** SUSTAINABLE DESIGN OF URBAN GARDENS. ANALYSIS OF THE WATER DEMAND AND PRODUCTION OF URBAN RUNOFF FROM THE CITY OF VALENCIA.

**Título del TFM en Valenciano:** DISSENY SOSTENIBLE DE JARDINS URBANS. ANÀLISI DE LA DEMANDA HÍDRICA I DE LA PRODUCCIÓ D'ESCOLAMENT URBÀ DE LA CIUTAT DE VALÈNCIA.

**Alumno:** INGRID CAROLINA GONZÁLEZ ARANGUIBEL

**Tutor:** JUAN BAUTISTA MARCO SEGURA

**Cotutor/es:**

**Director experimental:**

**Fecha de Lectura:** JULIO,2017.

### Resumen

**En español:**

A lo largo de los años, la arquitectura y paisajismo en las ciudades, se ha enfocado en la creación de lugares visualmente estéticos, restándole valor al impacto que puedan tener los jardines urbanos en un futuro sobre el medio ambiente y también los costes asociados de riego y mantenimiento. En la ciudad de Valencia, el riego de los jardines urbanos supone un grave problema durante los meses secos, ya que la ciudad presenta un clima característico Mediterráneo, el cual cuenta con episodios de lluvias torrenciales y periodos prolongados de sequía. Es por ello, que en el presente Trabajo de Fin de Máster se propone el estudio de la sostenibilidad de los jardines más importantes de la ciudad de Valencia. "La jardinería urbana sostenible debe ser un



planteamiento racional que debe potenciar los efectos ambientales de la naturaleza y la biodiversidad, reduciendo el consumo de recursos naturales y los costos de mantenimiento para que sea posible continuar aumentando nuestras superficies verdes". (Bonells, J., 2016).

Con el objetivo de evaluar la sostenibilidad de los jardines urbanos, se realizará lo siguiente: análisis de la demanda hídrica, caracterización de las diferentes superficies de los jardines existentes en la ciudad, estudio de la producción de escorrentía mediante el método del Soil Conservation Service (SCS), estudio de las proporciones de las diferentes superficies existentes en los jardines y un análisis de la producción de la escorrentía producida en laderas.

Como la infiltración en los jardines no se produce de manera instantánea, lo que se quiere lograr es captar el agua proveniente de la precipitación a través del jardín para su aprovechamiento antes de que ésta llegue al drenaje. Por este motivo, se realizará una modelación utilizando las ecuaciones planteadas por Saint Venant (1871), utilizando la simplificación de la onda cinemática en laderas, para estudiar el comportamiento de la producción de escorrentía en las cuencas de los jardines urbanos más importantes de la ciudad. Mediante este modelo de producción de escorrentía, se busca obtener un parámetro de diseño que permita dar recomendaciones para proyectos de futuros jardines, debido a que el diseño del jardín representa un factor fundamental para el criterio de la sostenibilidad.

En el presente estudio se analizará la sostenibilidad en cinco de los jardines más importantes, los cuales son: Jardín del Río Turia, Jardín Blasco Ibáñez, Jardín del Real o Viveros, Parque Marxalenes y el Parque de Cabecera. Como datos de partida, se cuenta con los registros de los eventos de precipitación mayores a 1 mm ocurridos en la ciudad de Valencia entre los años 1990-2012.

Con el propósito de que los diseños de los futuros jardines urbanos sean más sostenibles, se darán recomendaciones en base a los resultados obtenidos y a la investigación realizada en el presente trabajo. Una herramienta de gran utilidad que podría ser aplicada en la creación y desarrollo de los jardines, son las técnicas de

sistemas de drenaje urbano sostenible (SuDS), que consisten en diseñar el paisaje urbano, imitando las características del ciclo hidrológico natural previo a la intervención humana. Los SuDS combinan criterios de calidad y cantidad, integrando el paisaje y el valor social en las actuaciones con la finalidad de disminuir consecuencias negativas derivadas a partir de la impermeabilización nuevas superficies urbanizadas.

Por último, se realizará un planteamiento inicial de un ejemplo de aplicación de SuDS para un caso real: Parque Marxalenes. Se propone un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales integrado en jardín, es decir, potenciar la infiltración y almacenar el agua pluvial para su reutilización.

#### **En valenciano:**

Al llarg dels anys, l'arquitectura i paisatgisme en les ciutats, s'ha enfocat en la creació de llocs visualment estètics, restant-li valor a l'impacte que puguen tindre els jardins urbans en un futur sobre el medi ambient i també els costos associats de reg i manteniment. En la ciutat de València, el reg dels jardins urbans suposa un greu problema durant els mesos secs, ja que la ciutat presenta un clima característic Mediterrani, el qual compta amb episodis de pluges torrencials i períodes prolongats de sequera. És per això, que en el present Treball de Fi de Màster es proposa l'estudi de la sostenibilitat dels jardins més importants de la ciutat de València. "La jardineria urbana sostenible ha de ser un plantejament racional que ha de potenciar els efectes ambientals de la naturalesa i la biodiversitat, reduint el consum de recursos naturals i els costos de manteniment perquè siga possible continuar augmentant les nostres superfícies verdes". (Bonells, J., 2016) ."

Amb l'objectiu d'avaluar la sostenibilitat dels jardins urbans, es realitzarà el següent: anàlisi de la demanda hídrica, caracterització de les diferents superfícies dels jardins existents en la ciutat, estudi de la producció d'escolament per mitjà del mètode del Soil Conservation Service (SCS) , estudi de les proporcions de les diferents superfícies



existents en els jardins i un anàlisi de la producció de l'escolament produïda en vessants.

Com la infiltració en els jardins no es produïx de manera instantània, el que es vol aconseguir és captar l'aigua provinent de la precipitació a través del jardí per al seu aprofitament abans de que esta arribe al drenatge. Per este motiu, es realitzarà una modelació utilitzant les equacions plantejades per Saint Venant (1871), utilitzant la simplificació de l'onda cinemàtica en vessants, per a estudiar el comportament de la producció d'escolament en les conques dels jardins urbans més importants de la ciutat. Per mitjà d'este model de producció d'escolament, es busca obtindre un paràmetre de disseny que permeta donar recomanacions per a projectes de futurs jardins, pel fet que el disseny del jardí representa un factor fonamental per al criteri de la sostenibilitat.

En el present estudi s'analitzarà la sostenibilitat en cinc dels jardins més importants, els quals són: Jardí del Riu Túria, Jardí Blasco Ibáñez, Jardí del Real o Vivers, Parc de Marxalenes i el Parc de Capçalera. Com a dades de partida, es compta amb els registres dels esdeveniments de precipitació majors a 1 mm ocorreguts en la ciutat de València entre els anys 1990-2012.

Amb el propòsit que els dissenys dels futurs jardins urbans siguen més sostenibles, es donaran recomanacions basant-se en els resultats obtinguts i a la investigació realitzada en el present treball. Una ferramenta de gran utilitat que podria ser aplicada en la creació i desenrotllament dels jardins, són les tècniques de sistemes de drenatge urbà sostenible (SuDS), que consistixen a dissenyar el paisatge urbà, imitant les característiques del cicle hidrològic natural previ a la intervenció humana. Els SuDS combinen criteris de qualitat i quantitat, integrant el paisatge i el valor social en les actuacions amb la finalitat de disminuir conseqüències negatives derivades a partir de la impermeabilització noves superfícies urbanitzades.

Finalment, es realitzarà un plantejament inicial d'un exemple d'aplicació de SuDS per a un cas real: Parc de Marxalenes. Es proposa un sistema d'aprofitament d'aigües

pluvials integrat en jardí, és a dir, potenciar la infiltració i emmagatzemar l'aigua pluvial per al seu reutilització.

**En inglés:**

Over the years, the architecture and landscaping in the cities, has focused on the creation of places visually aesthetic, subtracting value to the impact they will have the urban gardens in the future over the environment and also the associated costs of irrigation and maintenance. In the city of Valencia, the irrigation of urban gardens is a serious problem during the dry months, since the city has a typical Mediterranean climate, which has episodes of torrential rains and prolonged periods of drought featuring extended dry periods and short periods of torrential rains, in terms of quantity and cost of water. Therefore, in the present Master thesis aims to study the sustainability of the most important gardens in the city of Valencia. "Sustainable urban gardening should be a rational approach that should enhance the environmental effects of nature and biodiversity, reducing the consumption of natural resources and maintenance costs to make it possible to continue to increase our Green surfaces." (Bonells, J., 2016).

With the purpose of evaluating the sustainability of urban gardens, the next steps will be followed: analysis of the water demand, characterization of the different surfaces of the gardens in the city, modelling of the rainfall - runoff process in accordance with the method Soil Conservation Service (SCS), study of proportions on varied surfaces on the gardens and a runoff production analysis on slopes.

As the infiltration is not instantaneously in them gardens, what it wants to achieve is capture the water through the garden for its use before this comes to the drainage. For this reason, there will be a modeling using equations raised by Saint Venant (1871), using the simplified kinematic wave on slopes, to study the behavior of the production of runoff in the basins of the most important urban gardens of the city. Through this model of runoff production, the aim is to obtain a parameter that allows to give recommendations for the design of future gardens, because this represents a fundamental in the design of the Garden with sustainability criteria.



This study will consider sustainability on five of the most important gardens, which are: Garden of the Turia River, Garden Blasco Ibáñez, Garden of the Royal or Viveros, Marxalenes Park and the Parque de Cabecera. As baseline data, it has records of precipitation events greater than 1 mm in the city of Valencia between the years 1990-2012.

In order to design urban gardens will be more sustainable, recommendations based on the results obtained and the research carried out in this paper will be given. A useful tool that could be applied in the creation and development of the gardens, are techniques of Best Management Practices (BMPs) systems, which consist of designing the urban landscape, mimicking the characteristics of the natural hydrological cycle prior to human intervention. BMPs combine criteria of quality and quantity, by integrating the landscape and the social value in actions in order to reduce negative consequences derived impermeable surfaces.

Finally, held an initial approach from an example of application of SuDS to a real case: Park Marxalenes. It proposes a system of rainwater harvesting management integrated in Garden, i.e., promote infiltration and store rainwater for reuse.

**Palabras clave español: JARDINES URBANOS, SOSTENIBILIDAD, APROVECHAMIENTO DE ESCORRENTÍA, SUDS**

**Palabras clave valenciano: JARDINS URBANS, SOSTENIBILITAT, PROFITAMENT D'ESCOLAMENT, SUDS**

**Palabras clave inglés: URBAN GARDENS, SUSTAINABILITY, RAINWATER HARVESTING, BMP**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor Juan Marco, por haberme guiado y aconsejado durante todo el trabajo de fin de Máster.

Al amor de mi vida David, gracias por tu apoyo incondicional.

A toda mi familia por estar siempre presente, quiero agradecer por haberme apoyado en cada una de mis decisiones, mi mamá Belkis, Emir y Emir Alejandro. A mi segunda madre, mi abuela Olga. A mi tercera madre, pero no menos importante, mi tía Beatriz.

A mis amigos Yaneidy, María Alejandra, Carlos Guillermo y Luis Andrés, que a pesar de la distancia siempre han estado pendiente de mí en todo momento y en los momentos más difíciles.

A mis compañeros de máster por brindarme su amistad y apoyarme durante mi experiencia en España.

A la Universidad Politécnica de Valencia por abrirme sus puertas y admitirme en este Máster.



## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>3</b>
<b>1 DEFINICIONES .....</b>	<b>3</b>
1.1 JARDINES.....	3
1.2 SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE .....	5
1.2.1 TIPOLOGÍA DE LOS SUDS .....	6
1.3 CICLO HIDROLÓGICO .....	7
1.4 DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA.....	9
<b>2 MODELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA (ONDA CINEMÁTICA) .....</b>	<b>10</b>
2.1 DESARROLLO DE LAS ECUACIONES .....	11
2.2 ECUACIONES DE SAINT-VENANT.....	12
2.2.1 ECUACIONES DE CONTINUIDAD .....	12
2.2.2 ECUACIÓN DE MOMENTUM O CANTIDAD DE MOVIMIENTO .....	13
2.2.3 SIMPLIFICACIÓN DE LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT .....	14
<b>3 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS JARDINES.....</b>	<b>18</b>
<b>4 ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS.....</b>	<b>21</b>
<b>5 ÁMBITO DE ESTUDIO.....</b>	<b>27</b>
5.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	27
5.2 CLIMA.....	28
5.3 VEGETACIÓN.....	29
<b>6 LEGISLACIÓN Y NORMATIVA .....</b>	<b>31</b>
6.1 MARCO INTERNACIONAL.....	31
6.2 COMUNIDAD VALENCIANA.....	31
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
<b>1 OBJETIVOS .....</b>	<b>32</b>
1.1 GENERAL.....	32
1.2 ESPECÍFICOS.....	32
<b>2 DESCRIPCIÓN DE LOS JARDINES URBANOS DE LA CIUDAD DE VALENCIA .....</b>	<b>33</b>
2.1 JARDÍN BLASCO IBÁÑEZ .....	35
2.2 JARDINES DEL REAL O VIVEROS.....	37

2.3	JARDÍN RÍO TURIA .....	38
2.4	PARQUE MARXALENES .....	41
2.5	PARQUE DE CABECERA .....	42
<b>3</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS JARDINES URBANOS .....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE LA DEMANDA HÍDRICA Y DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA ..</b>	<b>48</b>
4.1	DATOS DE PARTIDA.....	48
4.2	PRECIPITACIÓN .....	48
4.3	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL .....	49
4.4	INFILTRACIÓN .....	51
4.5	EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	51
4.6	BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO .....	51
<b>5</b>	<b>MODELO DE LA ONDA CINEMÁTICA .....</b>	<b>53</b>
5.1	MODELO GEOMÉTRICO DE LAS CUENCAS .....	53
5.2	INFORMACIÓN HIDROLÓGICA .....	53
5.3	PARÁMETROS FUNDAMENTALES .....	54
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
6.1	PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA .....	55
	6.1.1 RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y MENSUAL PARA $E = 0$ MM. 55	
	6.1.2 RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y MENSUAL PARA $E > 0$ MM. 56	
6.2	BALANCES HÍDRICOS.....	58
	6.2.1 BALANCE HÍDRICO PARA LA ZONA VERDE.....	58
	6.2.2 BALANCE HÍDRICO PARA LA ZONA DE TIERRA COMPACTADA .....	64
6.3	EFFECTO DE LAS PROPORCIONES DEL JARDÍN .....	65
	6.3.1 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN JARDÍN DEPRIMIDO.....	65
	6.3.2 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN JARDÍN ELEVADO.....	69
6.4	RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LA ONDA CINEMÁTICA .....	71
	6.4.1 LONGITUD MÍNIMA RECOMENDADA DE DISEÑO DE JARDIN .....	74
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE JARDINES URBANOS.....</b>	<b>77</b>
7.1	ZONAS VERDES.....	77
7.2	ZONAS PAVIMENTADAS.....	77

7.3 RIEGO.....	77
7.4 SISTEMA DE RECOGIDA DE AGUAS PLUVIALES. ....	78
<b>8 PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOGIDA DE AGUAS PLUVIALES.....</b>	<b>81</b>
8.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN DE SUDS A UN JARDÍN URBANO (PARQUE MARXALENES).....	81
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>LÍNEAS FUTURAS.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 PILARES DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (SUDS).....	6
FIGURA 2 DIAGRAMA DEL CICLO DEL AGUA. FUENTE: <a href="http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html">HTTP://WATER.USGS.GOV/EDU/WATERCYCLE.HTML</a> .....	9
FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA. FUENTE: <a href="http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html">HTTP://WATER.USGS.GOV/EDU/WATERCYCLESSPANISH.HTML</a> .....	9
FIGURA 4 VISUALIZACIÓN DE ONDAS DINÁMICAS (A) Y ONDAS CINEMÁTICAS (B). FUENTE (MACARTHUR R. ET AL.,1993).....	11
FIGURA 5 ESQUEMA DE UN TRAMO ELEMENTAL DE UN CANAL PARA LA DEDUCCIÓN DE LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT. ....	12
FIGURA 6 CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ONDA CINEMÁTICA EN LADERA. ....	14
FIGURA 7 ESQUEMA DE UN CANAL ELEMENTAL PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ONDA CINEMÁTICA. ....	15
FIGURA 8 JARDINES DE ANTIGUO EGIPTO. FUENTE: LE MUSÉE ABSOLU, PHAIDON, 10- 2012. ....	18
FIGURA 9 JARDINES DE LA VILLA ADRIANA, TRIVOLI, ROMA. ....	19
FIGURA 10 PATIO DEL CIPRÉS DE LA SULTANA, ALHAMBRA.....	19
FIGURA 11 JARDÍN ZEN, KUMAMOTO.....	19
FIGURA 12 JARDINES DE VERSALLES. ....	20
FIGURA 13 PARQUE INUNDABLE “LA MARJAL”. FUENTE: <a href="http://www.daztopografia.com/proyectos/urbanizacion">HTTP://WWW.DAZTOPOGRAFIA.COM/PROYECTOS/URBANIZACION</a> .....	22
FIGURA 14 Balsa de infiltración polígono Las Eres, Benaguasil (izquierda). Pavimento permeable piscina cubierta municipal (derecha). Fuente: AQUAVAL.....	23
FIGURA 15 Aljibe de aprovechamiento de aguas de lluvia en el centro juvenil (izquierda). Cubierta vegetada centro social (derecha). Fuente: AQUAVAL.....	23
FIGURA 16 CASOS DE ESTUDIO DE LA HERRAMIENTA E <sup>2</sup> STORMED. FUENTE: MORALES A, ET AL., 2016. ....	24
FIGURA 17 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA E <sup>2</sup> STORMED EN BENAGUASIL. FUENTE: MORALES A, ET AL., 2016. ....	25

FIGURA 18 SISTEMA DE DRENAJE CONVENCIONAL EN ETAPA DE NUEVO DESARROLLO EN BENAGUASIL. FUENTE: MORALES A. ET AL., 2016. ....	25
FIGURA 19 SISTEMA DE DRENAJE SOSTENIBLE EN BENAGUASIL EN ETAPA DE NUEVO DESARROLLO. FUENTE: MORALES A. ET AL., 2016. ....	26
FIGURA 20 GRÁFICO COMPARATIVO DEL ESCENARIO CONVENCIONAL FRENTE AL ESCENARIO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE SUDS. FUENTE: MORALES A. ET AL., 2016. ....	26
FIGURA 21 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE VALENCIA. FUENTE: AYUNTAMIENTO DE VALENCIA. ....	27
FIGURA 22 MAPA DEL ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL ESTUDIO EN LA CIUDAD DE VALENCIA. FUENTE: AYUNTAMIENTO DE VALENCIA. ....	27
FIGURA 23 MAPA DE VALENCIA CON LA UBICACIÓN DE LOS JARDINES DEL CASO DE ESTUDIO. FUENTE: GOOGLE EARTH 2014. ....	34
FIGURA 24 UBICACIÓN JARDINES URBANOS A ESTUDIAR. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	34
FIGURA 25 JARDÍN BLASCO IBÁÑEZ, VALENCIA. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	35
FIGURA 26 JARDÍN BLASCO IBÁÑEZ, VALENCIA. TRAMO 1. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	36
FIGURA 27 JARDÍN BLASCO IBÁÑEZ, VALENCIA. TRAMO 2. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	36
FIGURA 28 JARDÍN BLASCO IBÁÑEZ, VALENCIA. TRAMO 3. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	37
FIGURA 29 JARDINES DEL REAL O VIVEROS, VALENCIA. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	38
FIGURA 30 DIVISIÓN DE TRAMOS DEL JARDÍN RÍO TURIA, FUENTE: GOOGLE MAPS. ....	39
FIGURA 31 PARQUE MARXALENES, VALENCIA. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	42
FIGURA 32 PARQUE DE CABECERA, VALENCIA. FUENTE: GOOGLE EARTH, 2014. ....	43
FIGURA 33 TRAMO JARDÍN TURIA (EJEMPLO DE ZONAS VERDES HOMOGÉNEAS Y NO HOMOGÉNEAS). ....	44
FIGURA 34 TRAMO JARDÍN TURIA ZONA PAVIMENTADA. ....	44
FIGURA 35 TRAMO DE JARDÍN RÍO TURIA (TIERRA COMPACTADA). ....	45
FIGURA 36 GRÁFICA DE COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS DE LOS JARDINES URBANOS. .	46

FIGURA 37 PORCENTAJE DE ÁREAS JARDÍN RÍO TURIA Y BLASCO IBÁÑEZ. ....	46
FIGURA 38 PORCENTAJE DE ÁREAS JARDÍN DEL REAL O VIVEROS Y PARQUE MARXALENES.....	46
FIGURA 39 PORCENTAJE DE ÁREAS PARQUE DE CABECERA.....	47
FIGURA 40 HIETOGRAMA CON FUNCIÓN EXPONENCIAL AJUSTADA.....	48
FIGURA 41 PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL PO= 35 MM E=0 MM. ....	55
FIGURA 42 PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO PO= 35 MM E = 0 MM.....	55
FIGURA 43 PRECIPITACIÓN ANUAL PROMEDIO PARA PO=35 MM Y E >0 MM.....	57
FIGURA 44PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO PARA PO=35 MM Y E >0 MM.....	57
FIGURA 45 ZONA VERDE DEL JARDÍN ELEVADA CON RESPECTO A LA SUPERFICIE DE TIERRA COMPACTADA.....	58
FIGURA 46 ZONA VERDE DEL JARDÍN DEPRIMIDA CON RESPECTO A LA SUPERFICIE DE TIERRA COMPACTADA.....	59
FIGURA 47 VALORES CALCULADOS DE ESCORRENTÍA CON EL MÉTODO SCS PARA DIFERENTES UMBRALES P <sub>0</sub> (ZONA VERDE).....	60
FIGURA 48 GRÁFICO DEL BALANCE HÍDRICO ZONA VERDE ELEVADA PO=35 MM. ....	60
FIGURA 49 GRÁFICO DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL P, ETP Y ETR.....	61
FIGURA 50 BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA VERDE DEPRIMIDA.....	63
FIGURA 51 HIDROGRAMAS PARA EL JARDÍN DEL RÍO TURIA CON DIFERENTES LONGITUDES.....	72
FIGURA 52 HIDROGRAMAS PARA EL JARDÍN DEL RÍO TURIA CON DIFERENTES PENDIENTES.....	72
FIGURA 53 HIDROGRAMAS PARA EL JARDÍN DEL RÍO TURIA CON DIFERENTES RUGOSIDADES .....	73
FIGURA 54 HIDROGRAMAS DE SALIDA PARA EL PARQUE MARXALENES. ....	73
FIGURA 55 PAVIMENTO PERMEABLE. (FUENTE: SUSDRAIN.ORG).....	78
FIGURA 56 POZO DE INFILTRACIÓN. (FUENTE: HYDRO INTERNATIONAL).....	79
FIGURA 57 DEPÓSITO DE INFILTRACIÓN. (FUENTE: CONSTRUNARIO.COM) .....	79
FIGURA 58 DREN FILTRANTE. (FUENTE: OVACEN.COM) .....	79
FIGURA 59 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL DE UN PARQUE. FUENTE: ATLANTIS. ....	80
FIGURA 60 SISTEMA DE DRENAJE EFICIENTE CON RECUPERACIÓN DEL AGUA EN UN CAMPO DE GOLF. FUENTE: ATLANTIS. ....	80

FIGURA 61 PARQUE MARXALENES 2DA FASE. (FUENTE: AYUNTAMIENTO DE VALENCIA)	
.....	81
FIGURA 62 PARQUE MARXALENES. PLANTEAMIENTO DE DISEÑO CON SUDS. FUENTE: PROPIA.....	82
FIGURA 63 POZOS DE INFILTRACIÓN CONECTADOS A DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO. FUENTE: HYDRO INTERNATIONAL.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 VALORES CLIMATOLÓGICOS PERÍODO 1981-2010 EN VALENCIA.....	28
TABLA 2 CLASIFICACIÓN DE LOS JARDINES EN VALENCIA.....	33
TABLA 3 RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS JARDINES.....	45
TABLA 4 CONDICIONES DE HUMEDAD DEL SCS .....	50
TABLA 5 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA PO= 35 MM E > 0 MM.....	56
TABLA 6 DATOS DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA PARA EL BALANCE HÍDRICO.....	59
TABLA 7 RESULTADOS OBTENIDOS DEL BALANCE HÍDRICO (PO=35 MM).....	61
TABLA 8 COMPARATIVA DE DÉFICIT OBTENIDOS PARA LOS DIFERENTES UMBRALES PO .....	62
TABLA 9 RESULTADOS OBTENIDOS BALANCE HÍDRICO (ZONA VERDE DEPRIMIDA). ....	63
TABLA 10 VALORES DE ESCORRENTÍA UTILIZADOS PARA EL BALANCE HÍDRICO (ZONA DE TIERRA COMPACTADA) .....	64
TABLA 11 ESCORRENTÍAS MENSUALES EN MM PARA DISTINTOS TIPOS DE SUPERFICIE. .....	65
TABLA 12 VOLÚMENES DE ESCORRENTÍAS MENSUALES JARDÍN DEL REAL O VIVEROS.	66
TABLA 13 VOLÚMENES DE ESCORRENTÍAS ANUALES PARA EL JARDÍN DEL REAL O VIVEROS CON DIFERENTES UMBRALES DE ESCORRENTÍA. ....	67
TABLA 14 VOLÚMENES DE ESCORRENTÍAS MENSUALES PARA EL PARQUE MARXALENES .....	68
TABLA 15 PORCENTAJES DE ÁREAS DEL JARDÍN DEL TURIA.....	69
TABLA 16 COMPARACIÓN DE COSTES ENTRE UN SISTEMA DE DRENAJE CONVENCIONAL Y LOS SUDS.....	83

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, sabemos que se cuenta con un crecimiento exponencial de la población, que a su vez ha provocado la expansión de zonas urbanas. “El mundo se está urbanizando cada vez más, aproximadamente 54% de la población vive en ciudades. The United Nations World urbanization estima que este número incrementará en un 66% en 2050” (United Nations, 2014). Si las tendencias actuales continúan, habrá dos veces el tamaño de las áreas urbanizadas en el 2030 y adicionalmente 2.5 billones de habitantes que vivirán en zonas urbanas para el 2050”. (Elmqvist et Al., 2013; Seto et Al., 2011).

En Europa, la población urbana es aproximadamente el 75% del total de la población, según datos de las Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), sin embargo, se estima que para el año 2050 la proporción de la población urbana incrementará a 83% aproximadamente. (EEA, 2012).

Toda esta expansión de zonas urbanas mencionadas trae como consecuencia la formación de superficies impermeables que alteran implícitamente el ciclo hidrológico, ya que impide que la lluvia se infiltre en el terreno y recargue los acuíferos de forma natural, generando mayor cantidad de escorrentía y caudales punta, con lo que se dificulta la gestión del agua. Debido a este importante crecimiento de la población y al consecuente urbanismo, ha surgido la necesidad de crear medidas y actuaciones para reducir los impactos negativos de la creación de nuevas superficies impermeables y en este sentido destaca la construcción de espacios verdes y la necesidad de planificar el crecimiento urbanístico teniendo en cuenta todos los aspectos medioambientales, sociales y económicos. En este sentido, en conjunto con la construcción de nuevas zonas urbanas se han integrado parques y jardines, con el objetivo de lograr un equilibrio en la ciudad y darle uso paisajístico y también uso de carácter social. Desde hace décadas, las ciudades se han enfocado sólo en parámetros estéticos para el diseño arquitectónico de estos jardines, sin considerar otros elementos de gran importancia, tales como, el impacto de los jardines sobre el medio ambiente, impacto social y el gasto económico que conlleva su riego y mantenimiento.

Al encontrarse Valencia en la costa mediterránea donde el sistema de lluvias es irregular (períodos extendidos de sequía y períodos cortos de lluvias torrenciales), se

dificulta el riego de los jardines urbanos durante los períodos de sequía tanto desde el punto de vista de la cantidad y costo del recurso.

En el presente trabajo realizará un estudio en la ciudad de Valencia, el cual se basa en analizar la sostenibilidad de los jardines urbanos existentes en la ciudad y el aprovechamiento del agua. También se analizará la aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenible (SuDS) para el almacenamiento del agua proveniente de las precipitaciones, es decir, captada a través del jardín antes de que ésta llegue al drenaje, con el objetivo de que el recurso sea captado y tratado de manera adecuada para su posible reutilización para el riego de los jardines urbanos tomando en cuenta los criterios de sostenibilidad

## CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE

### 1 DEFINICIONES

#### 1.1 JARDINES

Jardín: es un término de origen francés que hace referencia a un espacio ubicado en un terreno donde se realizan cultivos con fines decorativos. La jardinería es la rama del arte que se encarga del diseño de los jardines y la práctica de cultivar y mantener los mismos. Pueden distinguirse diferentes tipos de jardines.

Los jardines se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Por su uso:

Jardín Público.

Jardín Privado.

- Por su cronología:

Jardín Histórico.

- Por exhibir diferentes tipos de plantas:

Alameda

Jardín de cactus o xerojardín.

Jardín de helechos

Jardín herbal

Jardín de césped

Huerto

Jardín de rosas o Rosaleda

- De acuerdo a un estilo

particular o estético:

Jardín alpino o Rocalla

Jardín aromático

Jardín miniatura o Bonsái

Jardín chino

Jardín tropical

Jardín formal

Jardín informal

Jardín español

Jardín italiano

Jardín inglés

Jardín islámico

Jardín geométrico

Jardín japonés

Jardín Zen

Jardín acuático

Jardín silvestre

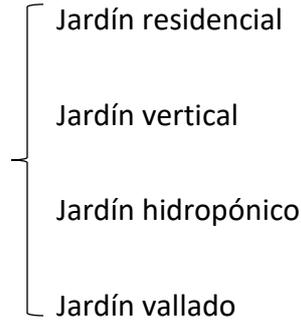
- De acuerdo a su organización:

Jardín botánico

Jardín en terraza elevada

Jardín de pruebas

- De acuerdo a su organización:



Jardinería: La jardinería es considerada como una rama del arte, que se encarga del diseño de jardines y de la práctica de cultivar los mismos. La jardinería puede realizarse tanto en espacios abiertos (al aire libre) como en espacios cerrados, por ejemplo en pequeños espacios del interior de una casa, patios internos a una construcción, etc.

Jardinería Sostenible: dentro de los conceptos de jardinería sostenible se pueden mencionar los siguientes:

- Es la actividad destinada al diseño y mantenimiento de los espacios verdes, manteniendo una serie de medidas respetuosas hacia el medio ambiente, tales como evitar el consumo excesivo del agua potable y energía, generar menos residuos y análisis de la incidencia ambiental sobre el ecosistema urbano.
- Otro concepto según la *Guía de Criterios de Jardinería Sostenible en la ciudad de Madrid*: “La Jardinería Sostenible, también conocida como jardinería diferenciada o jardinería ecológica es, por tanto, una jardinería adaptada al medio, es decir, tiene en cuenta las condiciones ambientales del territorio para así tender a una utilización más adecuada de los recursos, una mayor naturalización del ámbito urbano y un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos.

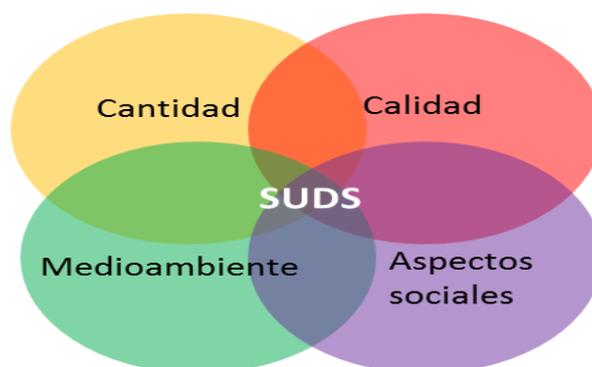
## 1.2 SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

Con el fin de reducir todos los efectos negativos que tiene la impermeabilización de nuevas superficies se vienen aplicando desde hace décadas las técnicas de drenaje urbano sostenibles (SuDS), o también llamadas en inglés Best Management Practices (BMPs) que consisten en diseñar el paisaje urbano imitando las características del ciclo hidrológico natural previo a la intervención humana. Los SuDS tratan de minimizar las

consecuencias del desarrollo urbano en cuanto a la producción de escorrentía, tanto en lo que se refiere a la cantidad como a la calidad de la misma (reduciendo los volúmenes de escorrentía generados y mejorando su calidad), y todo ello intentando maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de las actuaciones. (Andrés-Doménech, I. 2007).

Al aplicar estas técnicas se intenta replicar el paisaje hidrológico natural potenciando la infiltración, reteniendo y laminando en origen, almacenando y aprovechando el recurso, eliminando contaminantes de la vegetación y protegiendo el medio ambiente. El ámbito del desarrollo sostenible se basa en 4 pilares los cuales son:

1. Cantidad de escorrentía.
2. Calidad de escorrentía.
3. Aspectos sociales.
4. Biodiversidad y Medioambiente.



*Figura 1 Pilares de los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS).*

### 1.2.1 TIPOLOGÍA DE LOS SUDS

- Cubiertas Vegetadas
- Superficies Permeables
- Pozos y zanjas de Infiltración
- Cunetas verdes
- Drenes filtrantes o franceses
- Depósitos de retención (enterrados o en superficie)
- Estanques de retención
- Depósitos de infiltración
- Humedales

### 1.3 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es un proceso fundamental que describe la circulación del agua en nuestro planeta. Se basa principalmente en el movimiento o transferencia de las masas de agua, de un punto de la tierra a otro, y en los diferentes estados (líquido, sólido y gaseoso). El movimiento del flujo de agua se produce por dos causas principales: la energía Solar y la gravedad.

Este ciclo no tiene un comienzo específico, se asume que el proceso comienza del agua contenida en los océanos. El sol calienta el agua de los océanos, la cual se evapora, las corrientes ascendentes toman el vapor de la atmósfera junto con el agua de la evapotranspiración, que es el agua proveniente de las plantas, éstas se elevan a las capas más altas donde se enfrían, se condensan y se forman las nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes y se produce la precipitación cuando éstas colisionan y cuando las partículas de agua han alcanzado un tamaño mayor, parte de esta precipitación puede caer en forma de nieve, granizo o simplemente en gotas de lluvia dependiendo de la temperatura en la atmósfera. La mayor parte de la precipitación cae sobre océanos o sobre la tierra, y recorre la superficie en forma de escorrentía superficial. Parte de la escorrentía se almacena en las depresiones del terreno, y otra parte vuelve hacia los ríos y océanos, y también existe una parte que se infiltra y se almacena en forma de agua subterránea. Parte de esta agua subterránea descarga hacia las masas de agua nuevamente y otra parte del agua emerge en forma de manantiales de agua dulce. El agua subterránea que se encuentra a poca profundidad, es tomada por las raíces de las plantas y transpirada a través de la superficie de las hojas, regresando a la atmósfera. Otra parte del agua infiltrada alcanza las capas más profundas de suelo y recarga los acuíferos (roca subsuperficial saturada), los cuales almacenan grandes cantidades de agua dulce por largos períodos de tiempo. A lo largo del tiempo, esta agua continúa moviéndose, parte de ella retornará a los océanos, donde el ciclo del agua se "cierra"...y comienza nuevamente.

Las principales fases del ciclo hidrológico son:

1. Evaporación:

Es el proceso mediante el cual el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso, el agua se evapora principalmente de las grandes masas de agua tales como lagos,

mares y océanos. Diversos estudios han demostrado que dichas masas de agua proporcionan el 90% de la humedad a la atmosfera por evaporación y el otro 10% restante proviene del fenómeno de la transpiración en las plantas.

## 2. Condensación:

En esta etapa el vapor de agua se transforma en líquido. El agua en forma de vapor de agua sube a las capas más altas de la atmosfera por ser menos denso que el aire, se enfría y se condensa formando las nubes.

## 3. Precipitación:

Ocurre cuando las pequeñas gotas que forman las nubes se unen con otras gotas, y alcanzan tamaños mayores a 0.1 mm las cuales caen por gravedad. Las precipitaciones pueden ser en forma de lluvia, granizo o nieve.

## 4. Infiltración:

Es el proceso en el cual el agua pasa de la superficie hacia el interior de la tierra a través de los medios porosos o las fisuras. La proporción que se infiltra depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal. La infiltración está gobernada principalmente por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar.

## 5. Escorrentía Superficial:

Se refiere a toda el agua transportada fuera de la cuenca hidrográfica, el agua se desplaza por el terreno hacia las cotas más bajas. La escorrentía es responsable de la erosión y transporte de sedimentos.

## 6. Escorrentía Subterránea:

Se refiere al agua que se infiltra en el suelo y se transporta (flujo subterráneo) hasta la desembocadura de río y arroyos o puede salir nuevamente al terreno.

## 7. Fusión:

Ocurre cuando la nieve se transforma a estado líquido al producirse deshielo.

## 8. Solidificación:

En las nubes cuando la temperatura disminuye por debajo de 0 °C, las partículas de agua se congelan precipitándose en forma de nieve o granizo.

En la Figura 2 se observa el diagrama del ciclo del agua. (US Geological Survey, 2016).



Figura 2 Diagrama del ciclo del agua. Fuente: <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

#### 1.4 DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA

Según datos de la USGS el total de agua en la tierra es de 1,386 millones de kilómetros cúbicos (332.5 millones de millas cúbicas). En la Figura 3 se observa un gráfico de la distribución del agua: 97% es agua salada, sólo el 3% representa el agua dulce. Del agua dulce un 68.7 % está compuesto por glaciares y nieve. 30.1% es agua subterránea y 0.9% representa el agua superficial (ríos, pantanos y lagos). Los ríos y lagos son la principalmente fuente de agua para el uso humano.

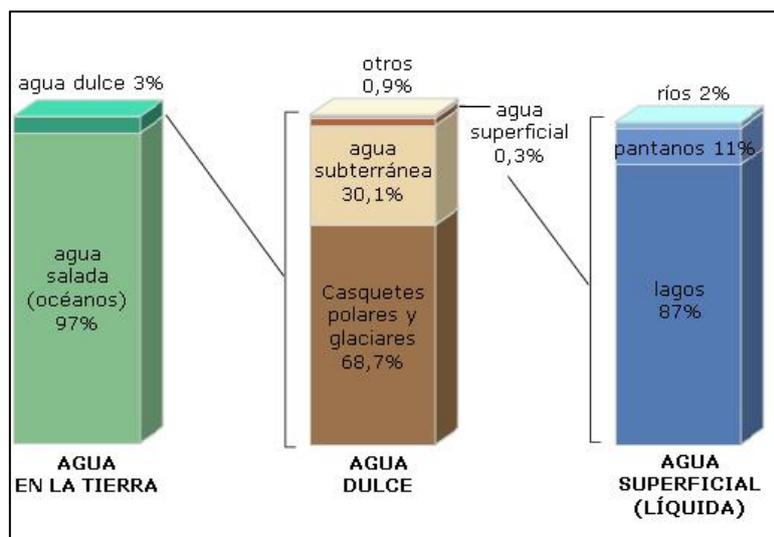


Figura 3 Distribución del agua en la tierra. Fuente: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

## 2 MODELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA (ONDA CINEMÁTICA)

El modelo de la onda cinemática se utiliza para la estimación del hidrograma de escorrentía de una cuenca. Esta modelización es aplicable para el flujo en cuencas urbanas, escorrentía en laderas y tránsito en cauces con pendiente longitudinal importante y sin condiciones de contorno aguas abajo. Este método relaciona las características de la cuenca y del flujo directamente con dos parámetros  $\alpha$  y  $m$ , los cuales están directamente relacionados con la forma del canal, la rugosidad y la pendiente de la superficie del canal o de la superficie terrestre. Se ha demostrado que la aproximación de onda cinemática es un método preciso y eficiente de simulación de escorrentías en cuencas pequeñas tanto para el caudal terrestre como para el caudal de encauzamiento (Overton D. et Al, 1976).

La cinemática se define como el estudio del movimiento excluyendo las influencias de la masa y fuerza. Las ondas cinemáticas predominan el flujo cuando las fuerzas inerciales y de presión no son tan importantes, es decir, en una onda cinemática las fuerzas de gravedad y fricción están balanceadas de manera tal que el flujo no se acelera rápidamente. La línea de energía total es paralela al fondo del canal y se considera que el flujo es uniforme y permanente a lo largo del canal, por lo tanto, se desprecian los términos inerciales y de presión. (Chow Ven Te, 1994).

Para esta condición la componente del peso (la fuerza en dirección al eje del canal debido al peso del fluido) está aproximadamente equilibrado por las fuerzas resistivas debidas a la fricción, en la mayoría de los casos esto es representado por la ecuación de Manning. El flujo no se acelera apreciablemente y el flujo permanece aproximadamente uniforme a lo largo del canal.

En la Figura 4 se encuentra un observador, que aprecia un aumento uniforme y una caída en la elevación de la superficie del agua durante un periodo de tiempo relativamente largo con respecto al tamaño de la subcuenca que se está analizando. (MacArthur R. et Al.,1993)

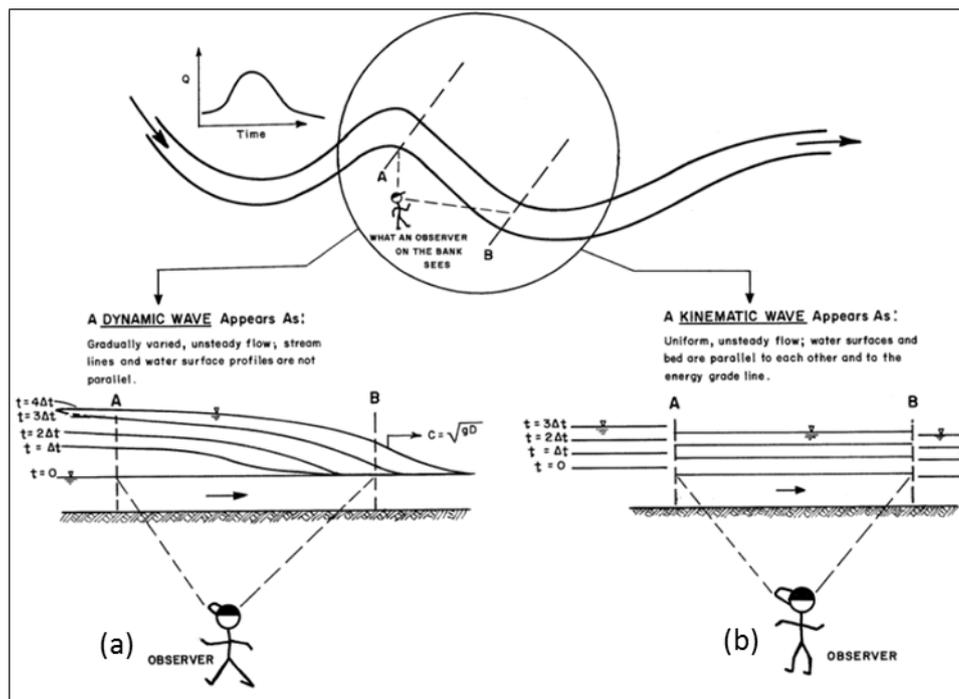


Figura 4 Visualización de Ondas Dinámicas (a) y Ondas Cinemáticas (b). Fuente (MacArthur R. et Al.,1993)

En el caso (a) las ondas dinámicas presentan flujo gradualmente variado, inestable y tanto las líneas de corriente como los perfiles de la superficie del agua no son paralelos, poseen velocidades muy altas y se atenúan más rápidamente que las ondas cinemáticas, en este caso los flujos de inundación están generalmente dominados por olas. En el caso (b) las ondas cinemáticas, los flujos se clasifican a menudo como flujos inestables uniformes, superficie del agua y el lecho son paralelos entre sí, así como la línea de energía. En este contexto, una onda cinemática representa los cambios característicos en la descarga, velocidad y elevación de la superficie del agua con el tiempo observado en cualquier lugar a lo largo de un canal de flujo.

## 2.1 DESARROLLO DE LAS ECUACIONES

Las ecuaciones diferenciales básicas para resolver el flujo unidimensional inestable se plantearon hace más de un siglo, pero se debe destacar que se vienen utilizando desde unas 3 o 4 décadas atrás por su difícil resolución. Los términos de las ecuaciones fueron desarrollados en 1871 por Saint-Venant con flujo en lámina libre transitorio. Las cuales plantean las siguientes hipótesis:

- Fluido Incompresible y de densidad constante
- Lecho y márgenes no erosionables

- Pendiente longitudinal pequeña
- Distribución vertical de la presión hidrostática
- Las pérdidas por fricción aproximadas por ecuaciones de flujo estacionario con condiciones locales de velocidad y perímetro mojado (Manning).
- Flujo unidimensional
- Ausencia de la componente vertical de la velocidad

## 2.2 ECUACIONES DE SAINT-VENANT

El sistema de las ecuaciones de Saint-Venant está compuesto por dos conjuntos de ecuaciones: las ecuaciones de continuidad y las ecuaciones de cantidad de movimiento o momentum. (Chow Ven Te, 1994).

### 2.2.1 ECUACIONES DE CONTINUIDAD

La ecuación de continuidad por aproximación de 1er orden en una dimensión (1D) tiene en cuenta un balance de masas en el centro del volumen de control. En la Figura 5 se muestra un esquema de un tramo elemental de un canal y su sección transversal para la deducción de las ecuaciones de Saint-Venant.

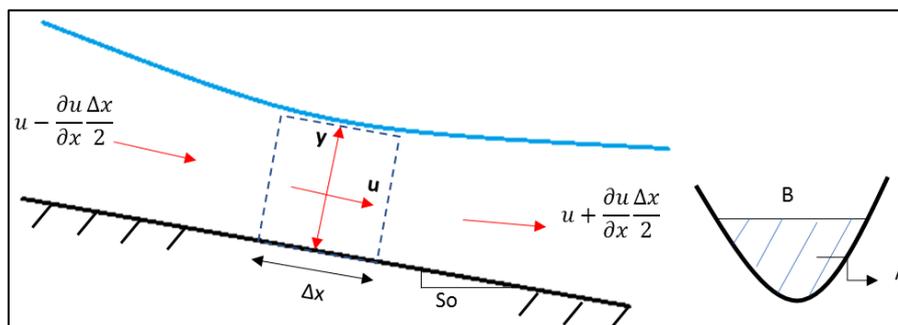


Figura 5 Esquema de un tramo elemental de un canal para la deducción de las ecuaciones de Saint-Venant.

Del esquema mostrado en la Figura 5 se obtienen los siguientes términos:

- ✓ Volumen de Agua Entrante/ unidad de tiempo:

$$\left(u - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right) \left(A - \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right) \quad (1)$$

- ✓ Volumen de Agua saliente/ unidad de tiempo:

$$\left(u + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right) \left(A + \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right) \quad (2)$$

- ✓ Cambio temporal de almacenamiento el volumen de control:

$$\frac{\partial A}{\partial t} \Delta x \quad (3)$$

✓ Balance:

$$u \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

✓ Linearización (dA=b.dy):

$$uB \frac{\partial y}{\partial x} + A \frac{\partial u}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

## 2.2.2 ECUACIÓN DE MOMENTUM O CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La segunda ley de Newton de acuerdo con el teorema de transporte de Reynolds se escribe según la ecuación (6):

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt} \iiint_{V.C} \rho \vec{u} dV + \iint_{S.C} \vec{u} \rho \vec{u} d\vec{A} \quad (6)$$

### Fuerzas:

- Gravitacional:

$$\rho g A S_o \Delta x \quad (7)$$

- Gradiente de presiones:

$$-\rho g A \frac{\partial y}{\partial x} \Delta x \quad (8)$$

- Fricción en el contorno:

$$-\rho g A S_f \Delta x \quad (9)$$

### Cantidad de Movimiento:

- Cambio temporal en el volumen de control:

$$\frac{\partial(\rho u A)}{\partial t} \Delta x \quad (10)$$

- Entrante al volumen de control:

$$\rho u^2 A - \frac{\partial(\rho u^2 A)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (11)$$

- Saliente al volumen de control:

$$\rho u^2 A + \frac{\partial(\rho u^2 A)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \quad (12)$$

En resumen, las ecuaciones de Saint-Venant son las siguientes:

Ecuación de continuidad:

$$uB \frac{\partial y}{\partial x} + A \frac{\partial u}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

Ecuación Dinámica:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S) = 0 \quad (14)$$

En la ecuación 14, los dos primeros términos representan la inercia, el tercer término representa la presión y el último la gravedad y la fricción.

### 2.2.3 SIMPLIFICACIÓN DE LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT

Los términos de aceleración y presión en la ecuación de cantidad de movimiento son despreciables y la onda cinemática se describe principalmente por la ecuación de continuidad. Los flujos normales de esta naturaleza pueden ser descritos por una relación en función del calado (ecuación 15) (Overton D. et Al., 1976).

$$q = \alpha y^m \quad (15)$$

La modelación del proceso lluvia escorrentía utiliza el método de la onda cinemática con el objetivo de describir el flujo sobre planos. En este modelo el caudal lateral es igual a la diferencia entre las tasas de lluvia e infiltración, y el flujo en el canal se considera por unidad de ancho en el plano. Para simular los hidrogramas de salida se pueden resolver las ecuaciones características analíticamente como respuesta a una lluvia de duración específica. Acumulando el flujo en planos localizados sobre la cuenca se puede desarrollar un modelo aproximado para la conversión de lluvia en caudal de salida de la cuenca. En la Figura 6 se observa la superficie de la cuenca simulada a través de porciones de planos inclinados, la lluvia neta se produce sobre la ladera.

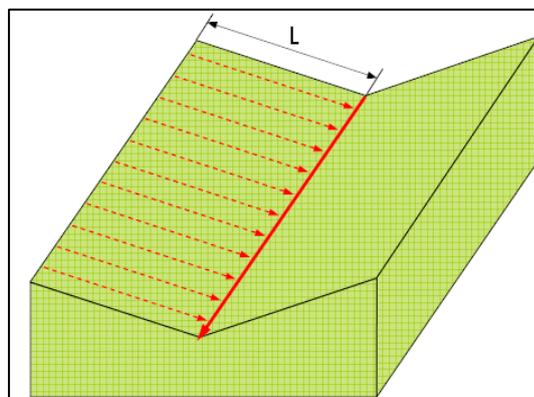


Figura 6 Conceptualización de la onda cinemática en ladera.

En la figura 7 se muestra el planteamiento de un canal elemental para la conceptualización de la onda cinemática.

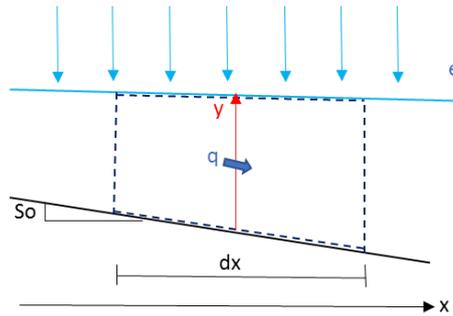


Figura 7 Esquema de un canal elemental para la conceptualización de la onda cinemática.

De acuerdo al esquema de la Figura 7, se tienen los siguientes términos por unidad de ancho para realizar el balance de la ecuación de continuidad:

- Caudal entrante:

$$q - \frac{\partial q}{\partial x} \frac{dx}{2} \quad (16)$$

- Caudal saliente:

$$q + \frac{\partial q}{\partial x} \frac{dx}{2} \quad (17)$$

- Lluvia neta entrante:

$$e dx \quad (18)$$

- Cambio temporal de almacenamiento:

$$\frac{\partial y}{\partial t} dx \quad (19)$$

Realizando el balance nos queda:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = e \quad (20)$$

El flujo puede describirse con la ecuación de Manning:

$$Q = y \frac{1}{n} S_o^{1/2} R_H^{2/3} \quad (21)$$

Las ecuaciones 15 y 20 conforman las ecuaciones de la que describen la onda cinemática en laderas. De esta manera, sustituyendo la ecuación (15) en la ecuación (20) se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \alpha m y^{m-1} \frac{\partial y}{\partial x} = e \quad (22)$$

De la ecuación 22 se tiene:

$y$  [L]: calado.

$q$  [ $L^2T^{-1}$ ]: caudal por unidad de ancho.

$e$  [ $LT^{-1}$ ]: intensidad de exceso de precipitación

En régimen laminar  $\alpha$  se obtiene mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, la ecuación 23, utilizando como datos de entrada la pendiente del suelo  $S_0$ , la aceleración de la gravedad  $g$ ,  $m$  que es el exponente hidráulico y  $f$  el factor de fricción:

$$\alpha = \sqrt{\frac{8gS_0}{f}}, \quad m = 3/2 \quad (23)$$

En caso de régimen turbulento se utiliza la ecuación de Manning, ecuación 24:

$$\alpha = \frac{\sqrt{S_0}}{n}, \quad m = 5/3 \quad (24)$$

Para resolver la ecuación se usa el método de las características (Courant y Hilbert, 1962), transformando la ecuación en las siguientes ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\frac{dy}{e} = \frac{dx}{\alpha m y^{m-1}} = \frac{dt}{1} \quad (25)$$

Se pueden integrar ambas ecuaciones con las condiciones de contorno:

- Inicial  $y=0$ , para  $t=0 \quad \forall x$
- Borde Superior  $y=0$  para  $x=0 \quad \forall t$

Para obtener lo siguiente:

$$y = e * t \quad (26)$$

$$x = \alpha * t^m * e^{m-1} \quad (27)$$

Esto se mantiene hasta que se alcanza el tiempo de concentración o tiempo de equilibrio, el cual es el tiempo que tarda el perfil estacionario en extenderse a toda la ladera (ecuación 28).

$$t_e = \left(\frac{L}{\alpha}\right)^{\frac{1}{m}} \frac{1}{e^{1-\frac{1}{m}}} \quad (28)$$

Por lo tanto, el caudal desaguado se calculará mediante las ecuaciones 29 y 30:

$$q = \alpha * (e * t)^m; \text{ para } t < t_e \quad (29)$$

$$q = e * L; \quad \text{para } t \geq t_e \quad (30)$$

### 3 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS JARDINES

Los primeros jardines ornamentales aparecieron aproximadamente en el año 1500 a.C, en la cultura egipcia según las pinturas de las tumbas egipcias, donde se apreciaban abundantes flores de loto, estanques y palmeras. En Egipto se creaban los jardines con propósito determinado, es decir, proporcionar alimento y sombra, estética. Además de servir las plantas como alimentos y embellecimiento, cultivaban plantas aromáticas y medicinales como ofrendas para sus Dioses. El trazado de los jardines era muy simétrico, y solían estar en los templos y palacios reales. En la Figura 8 se muestra una pintura que ilustra un estanque en el medio donde se tenían peces y patos comestibles rodeado de abundantes plantas.



*Figura 8 Jardines de antiguo Egipto. Fuente: Le musée absolu, Phaidon, 10-2012.*

A pesar de esto, los jardines que se dieron a conocer en todo el mundo fueron los jardines colgantes de Babilonia conocidos como una de las 7 maravillas del mundo sobre el año 600 a.C.

Otros jardines famosos son los griegos y los romanos, los griegos estaban conformados por arboles integrando a las construcciones en un tipo de paisajismo primitivo. Eran diseñados cerca de las academias filosóficas donde las clases se desarrollaban paseando al aire libre, los más relevantes son los jardines públicos de Atenas.

Por otra parte, los romanos adquirieron la tradición de los griegos adinerados de construir grandes jardines en sus casas, llamados “hortus” los cuales le suministraban alimentos y flores. Los jardines más ostentosos de la antigua Roma son los jardines de la Villa Adriano en Trivoli (Figura 9) considerado unos de los más bellos.



*Figura 9 Jardines de la Villa Adriana, Trivoli, Roma.*

A partir de aquí el arte de la jardinería de Roma pasó a España, donde los árabes a partir del siglo IV, convirtieron los jardines en una representación del paraíso con gran número de fuentes y estantes rodeados de vegetación. En la Figura 10 se muestra un ejemplo representativo son los jardines de la Alhambra Granada.



*Figura 10 Patio del ciprés de la sultana, Alhambra.*

Luego en China y en Japón aparecieron los jardines minimalistas conocidos como jardines Zen representados en la Figura 11, estos jardines surgen de la necesidad cultural de estar en contacto con la naturaleza, y su objetivo es recrear un espacio natural.



*Figura 11 Jardín Zen, Kumamoto.*

Años más tarde en la época del Renacimiento aparecieron los jardines de boj y mirto, en la Figura 12 se observan los podados para obtener formas geométricas, dentro de estilo se encuentran los conocidos jardines de Versalles.



*Figura 12 Jardines de Versalles.*

Dos siglos más tarde, aparece el romanticismo y surgen junto a él los jardines ingleses, en los cuales se recrea la naturaleza con jardines donde se mezclan irregulares praderas, con flores y sinuosos senderos. Finalmente, en el siglo pasado se crean los jardines urbanos donde ocurre un cambio en el propósito de los paisajistas, es decir, en la actualidad se construyen para compensar la falta de espacios verdes en las ciudades y constituyen un espacio de recreación e integración social.

## 4 ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS

En los años 80 en el oeste de Estados Unidos por su zona climática árida se comenzó a utilizar el concepto de xeroscape, donde se introdujo la técnica de la xerojardinería, que es hoy en día una técnica clave dentro del concepto de jardín sostenible. Este concepto llamado “xeroscape” se desarrolló en 1981 en Estados Unidos luego de sufrir una prolongada sequía a finales de la década de los 70 en California, consiste en una técnica que permite el ahorro del agua en el jardín, estableciendo un balance entre los recursos disponibles y las necesidades a satisfacer. Según los estudios de la Dra Silvia Burés experta en el tema, que fue la primera persona que introdujo dicho concepto a la jardinería en 1993 en España, asegura que un xerojardín puede llegar a consumir solo el 30% de agua con respecto a lo que consume un jardín normal.

Actualmente en España no se cuenta con mucha experiencia previa en el tema del diseño sostenible de jardines urbanos, sin embargo, en las dos últimas décadas en la Comunidad Valenciana, en Barcelona y en Madrid se han adoptado medidas para mitigar los efectos de la gran expansión de zonas urbanas y la escasez del recurso natural, impulsando la creación e investigación de nuevos proyectos tanto de jardinería sostenible como de SuDS tomando en cuenta los criterios de sostenibilidad. A continuación, se citan algunos ejemplos:

### ✓ **Alicante:**

El 70 % de las zonas verdes del municipio se sostienen con agua reutilizada lo cual supone un gran ahorro energético, económico y ambiental. La doble red de agua reutilizada de Alicante, permite regar 446 hectáreas, lo que supone un 70% de las zonas verdes existentes en el municipio. Además, esta agua se emplea también para limpieza de baldeos de calles y sostiene el "cinturón verde" de parques y áreas medioambientales. Las aguas regeneradas procedentes de las depuradoras, la captación de aguas subterráneas en acuíferos urbanos degradados y de aguas pluviales constituyen fuentes hídricas alternativas que Hidraqua utiliza para dar respuesta a numerosas necesidades. Otros proyectos de Hidraqua relacionados con la reutilización de las aguas se encuentran en los municipios alicantinos de Torreveja, Elche y Orihuela, así como en Paterna (Valencia). (Hidraqua, 2013)

Uno de los proyectos más innovadores en lo que se refiere a jardines urbanos sostenibles, en Alicante, es el Parque “La Marjal”, el cual tiene de 45.000 m<sup>3</sup> de capacidad, siendo el primero en España con sus características inaugurado en el año 2015. El parque dispone de dos estanques de agua (el primero 338 m<sup>2</sup> de superficie y segundo con 6.674 m<sup>2</sup>). El estanque mayor posee un sistema de tuberías y de bombas que impulsan el agua hasta el pequeño, donde el agua se precipita a través de una cascada de aproximadamente cuatro metros de altura. (Ayuntamiento de Alicante, 2015). El objetivo principal es hacer frente a las inundaciones, aprovechar el agua de escorrentía para su reutilización y a su vez cumple la función como área recreativa para el ocio y esparcimiento de los ciudadanos. En la Figura 13 se tiene una fotografía del parque.



Figura 13 Parque inundable “La Marjal”. Fuente: <http://www.daztopografia.com/proyectos/urbanizacion>.

#### ✓ **Benaguasil:**

Este municipio lleva varios años promoviendo e impulsando los criterios de sostenibilidad y se han construido estructuras piloto de sistemas de drenaje sostenible (SuDS), con lo cual, se ha convertido en el municipio con gestión más eficiente y racional del agua. En este aspecto, el ayuntamiento de Benaguasil ha participado en tres proyectos europeos:

- **SUFRI:** “Estrategias sostenibles de gestión urbana del riesgo de inundación basadas en medidas no estructurales” (Enero 2009 - Diciembre 2011).
- **AQUAVAL** “Planes de Gestión Sostenible de Pluviales, promoviendo SuDS y considerando el Cambio Climático, en la Provincia de Valencia” (Enero 2010 - Septiembre 2013).

- **E<sup>2</sup>STORMED** “Mejora de la eficiencia energética en la gestión del agua de lluvia mediante el uso de Sistemas de Drenaje Sostenible en ciudades Mediterráneas” (Enero 2013 - Junio 2015).

Dentro de los proyectos mencionados, Benaguasil ha construido y monitorizado entre el periodo 2010-2015 cinco infraestructuras de drenaje urbano sostenible (SUDS). Las cuales se mencionan a continuación:

- a. Zona de detención-infiltración polígono Las Eres.
- b. Pavimento permeable en el aparcamiento de la piscina municipal.
- c. Aljibe de aprovechamiento de agua de lluvia en el centro juvenil.
- d. Zonas de detención-infiltración en el parque Costa Ermita.
- e. Cubierta vegetada y aljibe de aprovechamiento de agua de lluvia en el centro social.



*Figura 14 Balsa de infiltración polígono Las Eres, Benaguasil (izquierda). Pavimento permeable piscina cubierta Municipal (derecha). Fuente: Aquaval.*



*Figura 15 Aljibe de aprovechamiento de aguas de lluvia en el centro juvenil (izquierda). Cubierta Vegetada centro social (derecha). Fuente: Aquaval.*

Los resultados monitoreados de la aplicación de los SuDS, en Benaguasil han sido muy buenos y han permitido comprobar los beneficios de dichas técnicas, refiriéndose tanto en calidad como en cantidad de la gestión del agua de lluvia y ahorro energético. Por ejemplo, el aljibe del centro juvenil es capaz de cubrir prácticamente todo el año las necesidades de agua para su riego y emplazamiento, además que promueve la participación social, ya que la obra cuenta con carteles informativos que indican a los visitantes la función. (Perales-Momparler et al., 2014 y 2016). Durante el año de monitorización se ha demostrado que la escorrentía en casi su totalidad llega con muy pocos reboses a la red de alcantarillado.

Por otro lado, la Universidad Politécnica de Valencia dentro del proyecto E<sup>2</sup>STORMED, ha desarrollado una herramienta que permite mejorar la gestión integral del ciclo del agua mediante el uso de SUDS entre el período marzo 2013 y junio 2015. La E<sup>2</sup>STORMED Decision Support Tool es un software que apoya el proceso de toma de decisiones en el manejo de aguas pluviales urbanas, compara las ventajas y desventajas de diferentes escenarios de drenaje y se pueden definir diferentes criterios de decisión para elegir la mejor opción para el manejo de aguas pluviales urbanas. La E<sup>2</sup>STORMED DST evalúa los consumos energéticos, las emisiones y costes de diferentes escenarios de drenajes, también complementa los criterios hidráulicos y económicos con criterios energéticos y medioambientales. En la Figura 16 se observan los casos de estudio ubicados en el Mediterráneo, en los cuales ha sido utilizada y validada dicha herramienta, en cada una de ellas se realizó la comparación entre zona urbanizada y nuevo desarrollo. En España: Benaguasil, Italia: Pisa, Malta: Zabbar, Grecia: Hersonissos, Montenegro: Cetinje y Croacia: Zagreb.



Figura 16 Casos de estudio de la herramienta E<sup>2</sup>STORMED. Fuente: Morales A, et Al., 2016.

En la comunidad Valenciana en Benaguasil, se analizó un área: 387.741 m<sup>2</sup>, siendo este terreno destinado a la construcción de futuras viviendas y equipamientos con pequeñas zonas verdes, y tipo de red separativa. En la Figura 17 se muestra en color rosa la zona de estudio.



Figura 17 Aplicación de la Herramienta E<sup>2</sup>STORMED en Benaguasil. Fuente: Morales A, et Al., 2016.

En la Figura 18 se muestra el tipo de drenaje convencional planteado con la red separativa. Se propone el escenario convencional, compuesta por tuberías, bordillos y canaletas. Las aguas pluviales de la zona urbana se dirigen hacia una zona de detención que son necesarios para los periodos los caudales pico durante episodios de lluvias. (Morales A. et Al. 2016).

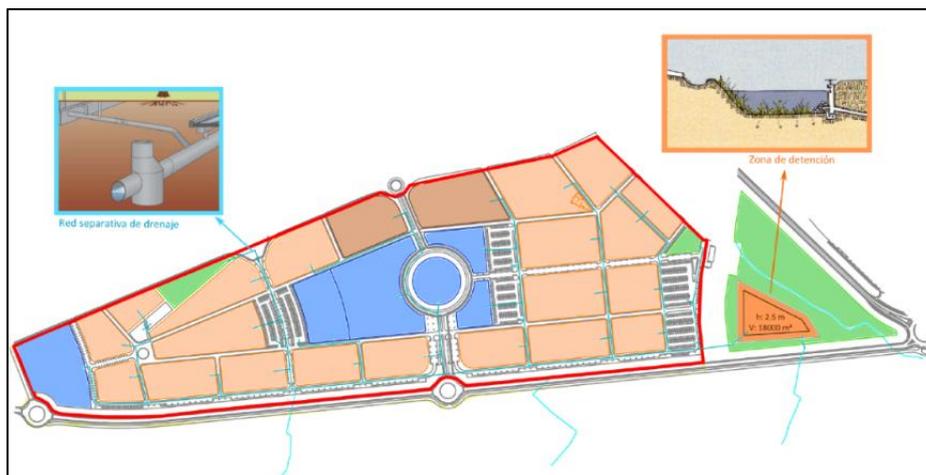
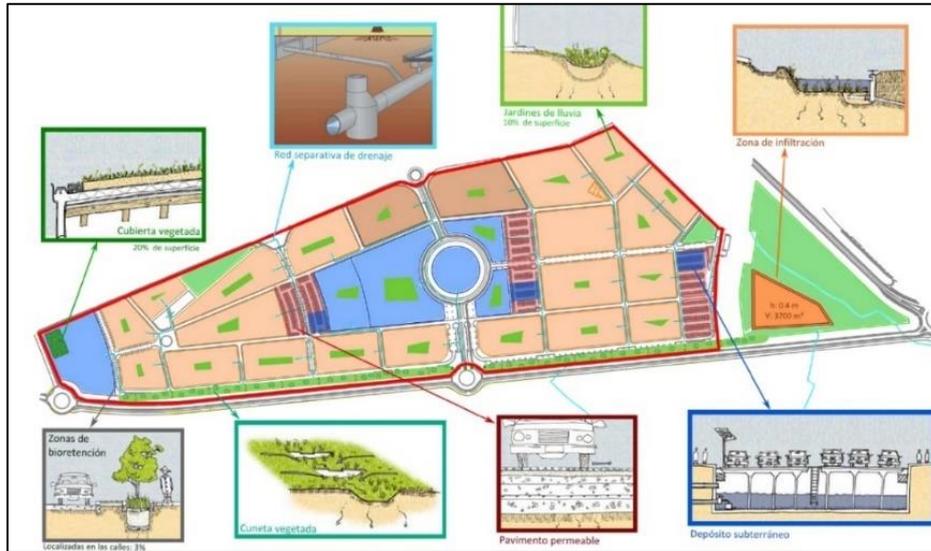


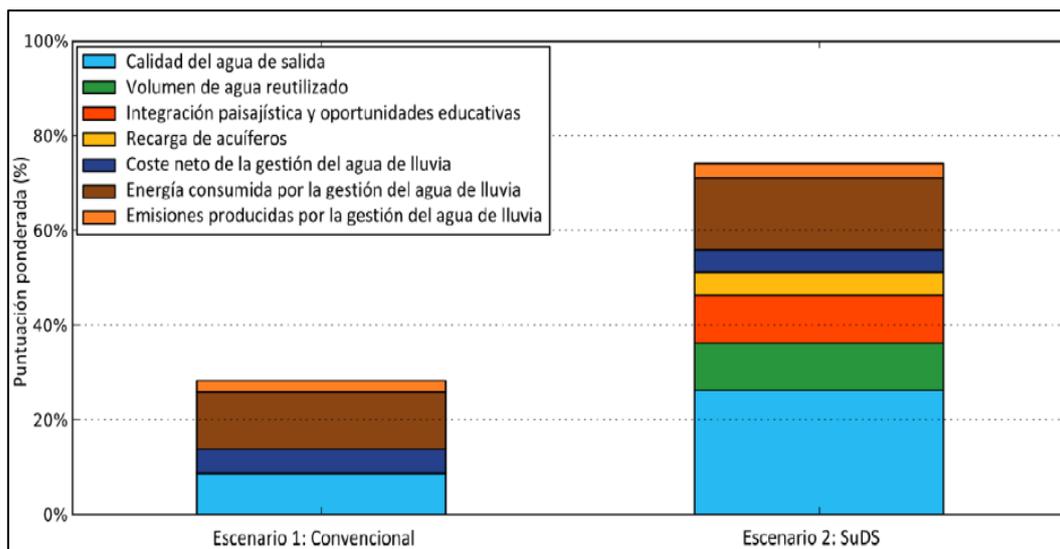
Figura 18 Sistema de Drenaje Convencional en etapa de nuevo desarrollo en Benaguasil. Fuente: Morales A. et Al., 2016.

En la *Figura 19* se muestra el drenaje de la etapa de nuevo desarrollo implementando los sistemas de drenaje urbano sostenible, utilizando cubierta vegetada, jardines de lluvia, zona de infiltración, depósito subterráneo, pavimento permeable, cunetas vegetadas y zonas de biorretención.



*Figura 19 Sistema de Drenaje Sostenible en Benaguasil en etapa de nuevo desarrollo. Fuente: Morales A. et Al., 2016.*

Por último, se muestra una comparativa luego de aplicar la herramienta en el escenario convencional y en el escenario implementando SUDS, donde se observa claramente todas las mejoras y ventajas que conlleva la utilización de SUDS.



*Figura 20 Gráfico comparativo del escenario convencional frente al escenario con la implementación de SUDS.*

*Fuente: Morales A. et Al., 2016.*



Según datos de la INE 2016 Valencia cuenta con 790.201 habitantes y representa el 16% de la comunidad Valenciana, siendo la tercera ciudad y área metropolitana más poblada de España detrás de Madrid y Barcelona.

## 5.2 CLIMA

Valencia se caracteriza por poseer un clima suave, típicamente mediterráneo con veranos largos y cálidos y los inviernos que presenta son muy moderados. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 17 y 18.4 °C, las máximas temperaturas se registran para los meses de julio y agosto coincidiendo con la estación seca. Las precipitaciones son discretas y presentan el mínimo estival mediterráneo con dos máximos, uno en otoño y otro a finales de invierno y principios de primavera. A continuación, se muestra la Tabla 1 con los valores climatológicos normales de la ciudad de Valencia tomados de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) considerando el periodo 1981-2010.

Tabla 1 Valores climatológicos período 1981-2010 en Valencia.

Mes	T (°C)	TM (°C)	Tm2 (°C)	P (mm)	H (%)	DR (mm)	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	11.8	16.4	7.1	37	64	4.4	0	0.3	0.5	0.3	9	171
Febrero	12.5	17.1	7.8	36	64	3.9	0	0.4	1.3	0.1	6	171
Marzo	14.4	19.3	9.6	33	63	3.6	0	0.4	0.9	0	7.1	215
Abril	16.2	20.8	11.5	38	62	4.8	0	1.1	0.7	0	5.2	234
Mayo	19	23.4	14.6	39	65	4.3	0	1.8	0.4	0	5.9	258
Junio	22.9	27.1	18.6	22	66	2.6	0	1.8	0.2	0	9	276
Julio	25.6	29.7	21.5	8	67	1.1	0	1.6	0.1	0	13	314
Agosto	26.1	30.2	21.9	20	68	2.4	0	1.9	0.3	0	10.2	288
Septiembre	23.5	27.9	19.1	70	67	5	0	2.8	0	0	6.6	234
Octubre	19.7	24.3	15.2	77	67	5	0	2.3	0	0	5.9	202
Noviembre	15.3	19.8	10.8	47	66	4.3	0	0.5	0.3	0	6.7	167
Diciembre	12.6	17	8.1	48	65	4.8	0	0.3	0.2	0	7.1	155
Año	18.3	22.8	13.8	475	65	46.3	0.1	15.3	5	0.5	93.2	2696

Fuente: AEMET, 2010.

Leyenda:

**T** = Temperatura media mensual/anual (°C)

**TM** = Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)

**T<sub>m</sub>** = Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)

**P** = Precipitación mensual/anual media (mm)

**H** = Humedad relativa media (%)

**DR** = Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm

**DN** = Número medio mensual/anual de días de nieve

**DT** = Número medio mensual/anual de días de tormenta

**DF** = Número medio mensual/anual de días de niebla

**DH** = Número medio mensual/anual de días de helada

**DD** = Número medio mensual/anual de días despejados

**I** = Número medio mensual/anual de horas de sol

### 5.3 VEGETACIÓN

Las zonas verdes en la ciudad de Valencia poseen un total de más de 4.5 millones de m<sup>2</sup>, repartidas aproximadamente de la siguiente forma:

- 2.5 en unidades ajardinadas
- 0.6 en parques urbanos
- 1.2 en el río Jardín del Turia.

Los parques urbanos más importantes de la ciudad son: Jardín del Real o Viveros, Parque Marxalenes, Parque Benicalap, La Rambleta, Parque de Cabecera, Blasco Ibáñez, Parque Orriols y Alameda. Entre otros de dimensiones más pequeñas como Parterre, La Glorieta, Parque del Oeste, Botánico, Hespérides, Gran Vía y Hermanos Maristas. (Lozano S.,2010).

El arbolado urbano en la ciudad de Valencia según el Servicio de Jardinería del Ayuntamiento para 2008 ascendía a 157.504 ejemplares. Se pueden dividir en las siguientes especies en base predominancia en el suelo urbano público:

- Mas de 8000 ejemplares: *Citrus aurantium*, *Platanus hispanica*, *Acer Negundo*.
- Entre 4000 y 8000: *Melia acederach*, *Phoenix dactylifera*, *Brachychiton populneus*, *Washingtonia robusta*, *Celtis australis*, *Ligustrum japonicum*.

- Entre 1000 y 4000: *Cupressus sempervirens*, *Morus alba*, *Jacaranda mimosifolia*, *Cercis siliquastrum*, *Prunus cerasifera* *Pisardii*, *Pinus pinea*, *Phoenix canariensis*, *Robinia pseudoacacia*, *Pinus halepensis*, *Populus alba*, *Shopora japonica*, *Tijuana tipu*, *Ligustrum japonicum* *Variegata*, *Washingtonia filifera*, *Populus canadienses*, *Picus nitida*, *Pittosporum tobira*, *Ulmus minor*, *Trachycarpus fortunei*, *Chamaerops humilis*, *Cupressus sempervirens*

*Stricta*

- Menos de 1000 ejemplares: *Quercus ilex ilex*, *Schinus molle*, *Ulmus pumila*, *Grevillea robusta*, *Tilia europaea*, *Olea europaea*, *Laurus nobilis*, *Populus nigra*, *Albizia julibrissin*, *Catalpa bignonioides*, *Fraxinus ornus*, *Fraxinus angustifolia*, *Lagunaria patersonii*, *Morus kagayamae*, *Hibiscus syriacus*, *Gleditsia triacanthos*, *Morus alba* *Fruitless*, *Nerium oleander*, *Thuja orientalis*, *Tamarix gallica*, *Chorisia speciosa*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Koelreuteria paniculada*, *Populus alba* *Bolleana*, *Magnolia grandiflora*, *Acer platinoides*, *Casuarina equisetifolia*, *Syagrus romanzoffiana*, *Populus simonii*, *Robinia pseudoacacia* *Pyramidalis*, *Cupressus arizonica*, *Yucca elephantipes*, *Firmiana simples*, *Cupressus macrocarpa*, *Pinus canariensis*, *Celtis occidentales*, *Phytolacca dioica*, *Citrus reshnii*, *Pinus nigra*, *Populus nigra* *Italica*, *Punica granatum*, etc.

## 6 LEGISLACIÓN Y NORMATIVA

### 6.1 MARCO INTERNACIONAL

- “Convenio Europeo del paisaje” hecho en Florencia el 20 de octubre de 2000.

### 6.2 COMUNIDAD VALENCIANA

- REGLAMENTO COMUNITAT VALENCIANA: Decreto 120/2006, de 11 de agosto, del Consell en el que se aprueba Reglamento de Paisaje de la Comunitat Valenciana.
- LEY 4/2004, de 30 de junio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio y Protección del Paisaje. [2004/6916]
- DIRECTRICES DE PAISAJE EN LA COMUNITAT VALENCIANA: Decreto 1/2011 de 13 de enero del Consell, en el que se aprueba el Reglamento de Paisaje de la Comunitat Valenciana.
- NORMATIVA AMBIENTAL QUE INTEGRA LA EVALUACIÓN DEL PAISAJE: Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos determinados planes
- REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el Texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos.
- NORMATIVA PARA OBRAS DE SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE VALENCIA, 2004.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 1 OBJETIVOS

#### 1.1 GENERAL

Evaluar la sostenibilidad de los jardines urbanos existentes en la ciudad de Valencia desde el punto de vista de económico, social, ambiental y del ahorro del recurso.

#### 1.2 ESPECÍFICOS

Para llevar a cabo el planteamiento del objetivo general se desarrollarán los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Elaborar una caracterización de las superficies de los jardines urbanos más importantes de la ciudad.
- ✓ Realizar un análisis de la demanda hídrica y de la producción de la escorrentía urbana en la de la ciudad de Valencia.
- ✓ Elaborar un análisis detallado de la producción de la escorrentía para los jardines urbanos más importantes de la ciudad de Valencia.
- ✓ Estudiar el efecto de las proporciones de las diferentes áreas existentes en los jardines urbanos de la ciudad.
- ✓ Utilizar el modelo de la onda cinemática para la obtención de los hidrogramas de salida en las cuencas de los jardines del presente estudio.
- ✓ Dar futuras recomendaciones para el diseño de nuevos jardines urbanos teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad.
- ✓ Promover la utilización de los SUDS para el almacenamiento de aguas pluviales y el aprovechamiento, para su futura reutilización destinada para el riego de los jardines urbanos.

## 2 DESCRIPCIÓN DE LOS JARDINES URBANOS DE LA CIUDAD DE VALENCIA

Para comenzar con el estudio de la sostenibilidad de los jardines urbanos se realizó un sondeo preliminar considerando los jardines más relevantes de la ciudad, dichos jardines se clasifican según la *Tabla 2* que se muestra a continuación:

*Tabla 2 Clasificación de los Jardines en Valencia*

N.º	Nombre del Jardín	Clasificación
1	Jardín Blasco Ibáñez	Jardín Público
2	Jardín del Real o Viveros	Jardín extramuros
3	Río Turia	Jardín Público
4	Parque de Cabecera	Jardín Público
5	Parque Marxalenes	Jardín Público
6	Jardín Monforte	Jardín extramuros
7	Jardín Botánico	Jardín Extramuros
8	Jardín de las Hespérides	Huerto
9	Jardín La Glorieta	Jardín Público
10	Jardín El Parterre	Jardín Público
11	Jardín de Ayora	Jardín Extramuros
12	Jardín de Gran Vía del Marques	Jardín Público
13	Jardín de Albalat dels Tarongers	Jardín Público
14	Jardín del Palacio de Congresos	Jardín Público
15	Jardín Polifilo	Jardín Público
16	Parque de Benicalap	Jardín Público
17	Paseo de la Alameda	Jardín Público
18	Parque de la Rambleta	Jardín Público
19	Parque de Orriols	Jardín Público
20	Parque del Oeste	Jardín Público
21	Plaza La Reina	Jardín Público
22	Jardines de Neptuno	Jardín Público

En la Figura 23 se muestra el mapa de Valencia con los jardines a considerar en el caso de estudio.

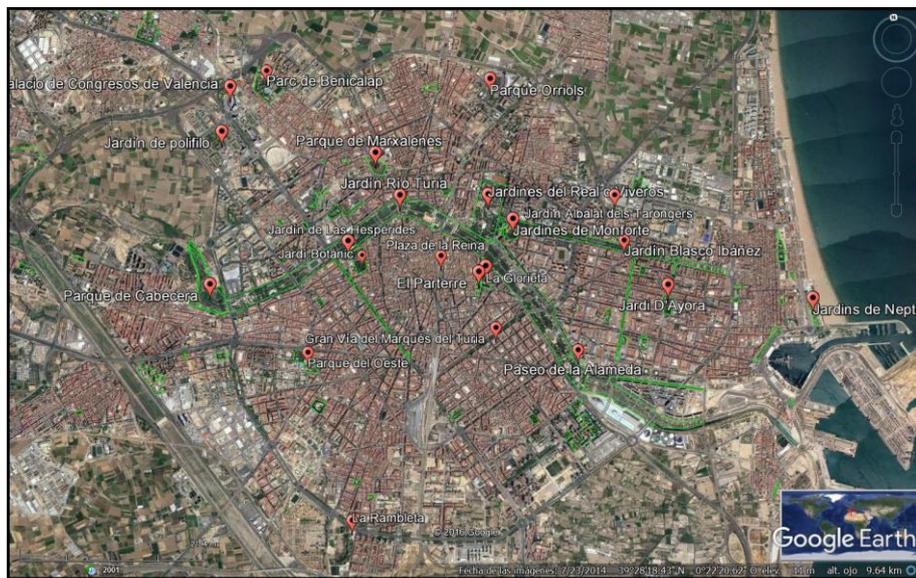


Figura 23 Mapa de Valencia con la ubicación de los jardines del caso de estudio. Fuente: Google Earth 2014.

De los 22 jardines mencionados en la *Tabla 2* se decidió seleccionar sólo cinco de éstos con el fin de analizar y estudiar más a fondo el impacto que tienen dichos jardines sobre la ciudad y la sostenibilidad de los mismos, tomando en cuenta que son los que tienen más extensión de terreno y son considerados de gran importancia en la ciudad. En la Figura 23 se muestra la ubicación de los cinco jardines seleccionados, los cuales son: Jardín Blasco Ibáñez, Jardín del Real o Viveros, Río Turia, Parque Marxalenes y Parque de cabecera.

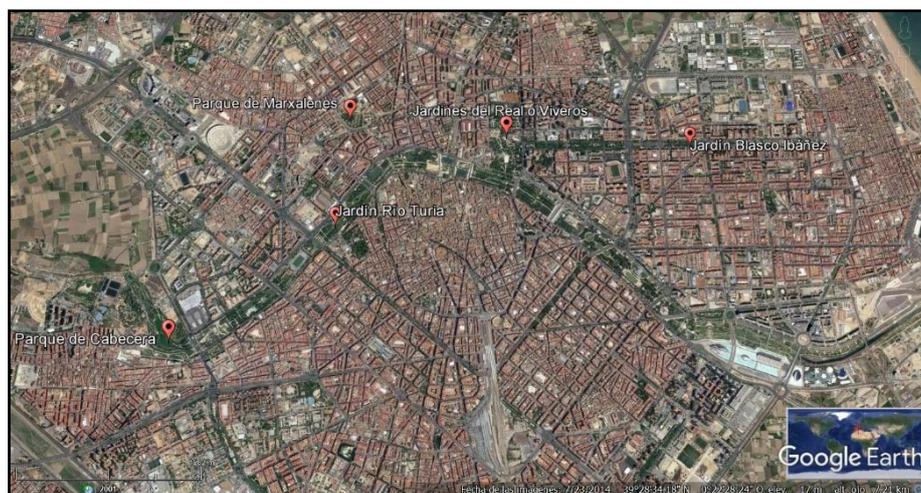


Figura 24 Ubicación jardines urbanos a estudiar. Fuente: Google Earth, 2014.

## 2.1 JARDÍN BLASCO IBÁÑEZ

El jardín de Blasco Ibáñez fue proyectado a finales del siglo XIX, y es conocido como “Paseo hasta el mar”, fue aprobado en 1893 con el objeto de unir la ciudad desde los jardines del Real o Viveros con los poblados marítimos. Originalmente el diseño del jardín tenía una anchura de 100 metros, con tres grandes plazas de 200 metros de diámetro, calles laterales de 20 metros y un paseo central ajardinado de 60 metros. Debido al alto coste no se hizo viable su construcción, por este motivo el proyecto sufrió varias modificaciones a lo largo de su ejecución. La construcción del jardín se realizó en varios tramos, el primer tramo corresponde al siglo XX y tiene en la actualidad 50 metros de anchura. En 1952 se ejecuta el tramo hasta la actual avenida Cataluña, y el tercer tramo se comienza a construir en 1975 llegando hasta la estación de trenes del Cabañal. (Ayuntamiento de Valencia)

En la Figura 25 se observan en los recuadros en rojo la ubicación del jardín de Blasco Ibáñez dividido en tres grandes tramos, en los que visiblemente presentan una variación en el diseño en cada tramo. El primer tramo comienza desde el jardín del Real o viveros hasta la avenida Cataluña, el segundo continúa desde la avenida Cataluña hasta la calle Ramon Llull, y por último el tercer tramo va desde la calle Ramon Llull hasta la estación de trenes del Cabañal.



Figura 25 Jardín Blasco Ibáñez, Valencia. Fuente: Google Earth, 2014.

En la Figura 26 se observan las primeras 4 cuadras del jardín Blasco Ibáñez correspondientes al tramo 1, este sector es el más antiguo contiene gran cantidad de

zonas de tierra compactada y cuadros de zonas verdes centrales con figuras geométricas en el medio rodeadas por especies perennifolios y caducifolios. En el interior de los cuadros se encuentran diversos tipos de flor como hibiscos, adelfas, naranjos bordes, entre otros.



Figura 26 Jardín Blasco Ibáñez, Valencia. Tramo 1. Fuente: Google Earth, 2014.

En la Figura 27 se observa el segundo tramo del jardín en el cual se aprecia claramente un cambio de diseño, desaparece la zona central de tierra compactada y los cuadros de zonas verdes, sustituyéndose por una pequeña isla central cubierta de zona verde y los arboles se sitúan en los laterales de las calles. El jardín en este tramo es más estrecho debido a que se han habilitado los bordes para el aparcamiento y se encuentra rodeado de muchos edificios residenciales.



Figura 27 Jardín Blasco Ibáñez, Valencia. Tramo 2. Fuente: Google Earth, 2014.

En la Figura 28 se observa un trozo del tramo 3, fue el último en ser construido y los jardines del centro de la avenida vuelven a ser tan amplios como en el principio, pero se observa en este caso menos área de zona verde y más cantidad de tierra compactada.



Figura 28 Jardín Blasco Ibáñez, Valencia. Tramo 3. Fuente: Google Earth, 2014.

## 2.2 JARDINES DEL REAL O VIVEROS

“Actualmente, este representativo jardín de la ciudad de Valencia, dadas las características propias del espacio, ha sido propuesto para su catalogación como “Conjunto Arbóreo Singular de Interés Local” El parque es de forma rectangular con jardines ornamentales, estatuas, estanques y árboles centenarios. Su nombre lo obtiene del palacio real ubicado en su interior hasta 1810. Y el nombre de “Viveros” lo toma a partir de 1903 que el Ayuntamiento de Valencia lo usa como viveros de árboles, y es en el 1912 es que se hace el nombramiento como parque público. Su origen se remonta a los musulmanes en el siglo XI que quisieron construir una almunia similar al Generalife Granadino en un lugar cercano a la ciudad cubierta de huertos, el rey Abd al- Aziz ordenó construir extramuros una finca de recreo para la nobleza con inmensos jardines y árboles. Por el palacio pasaron los reyes de taifa Valencia, los de la Corona de Aragón, los Austrias y los Borbones. La destrucción del Palacio se debe a la defensa de la ciudad de Valencia ante los franceses en 1810”. (Ayuntamiento de Valencia, 2017).

En la Figura 29 se muestra una fotografía aérea de los jardines del Real en la actualidad.



*Figura 29 Jardines del Real o Viveros, Valencia. Fuente: Google Earth, 2014.*

### 2.3 JARDÍN RÍO TURIA

El jardín río Turia tiene un área de 110 ha aproximadamente, y es uno de los parques naturales urbanos más grandes de España, cuenta con más de 9 kilómetros transitables, espacios para correr, carril de bicicletas, ideal para reuniones familiares y múltiples actividades al aire libre. Tiene en total 18 puentes. Este jardín se proyecta tras la gran riada ocurrida en Valencia en el año 1957, el gobierno de España y el Ayuntamiento decide desviar el cauce del Turia al sur de Valencia por el gran peligro que representan las futuras inundaciones para la población, quedando libre esta franja que era ocupada por el río que atraviesa la ciudad de Oeste a Este. Es inaugurado en el año 1986, varios urbanistas y paisajistas realizaron el diseño de los diferentes tramos del cauce.

En la Figura 30 se tiene la división que se realizó para analizar los tramos del Jardín Turia.

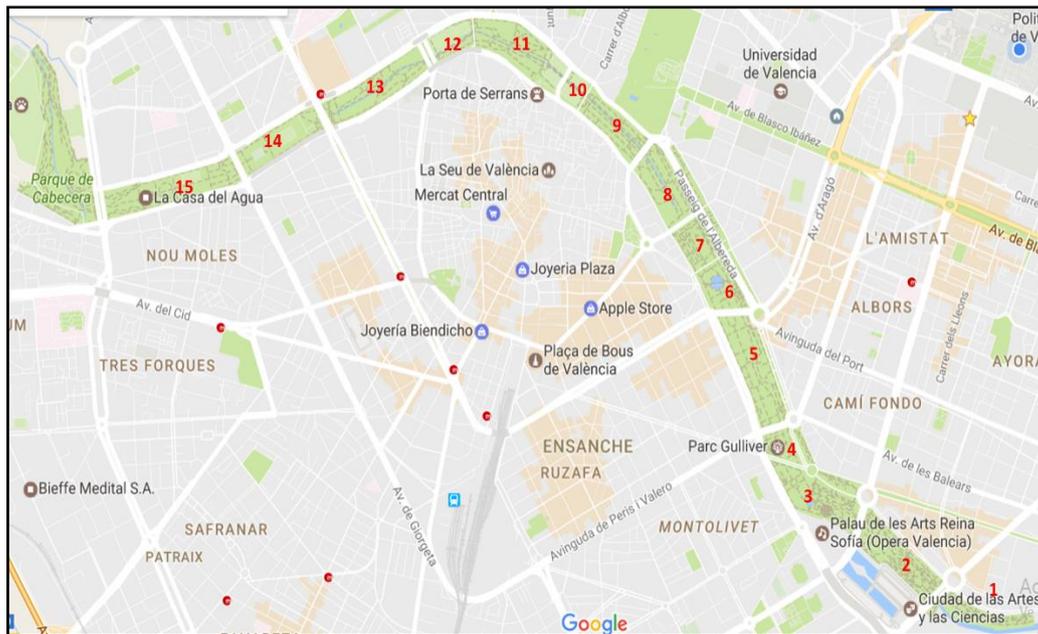


Figura 30 División de tramos del jardín Río Turia, Fuente: Google Maps.

### Tramo 1 Oceanográfico y Ágora - Tramo 2 Museo de las Ciencias Hemisferic, Umbracle

Estos tramos son los más modernos y corresponden a un proyecto que plantea un equilibrio entre lo natural y lo urbano dominado por la arquitectura y la prolongación de la Alameda histórica, estos tramos forman una amplia franja que se extiende hasta el cruce del ferrocarril interurbano. En la conexión con el tramo 3 se mantiene ligeramente trazado manteniendo el cauce de agua central en movimiento. Se recrean meandros con pequeñas islas de lentisco. Con el Palau de les Arts se recrea una rosaleda en forma de macla esférica en cuyo centro se dispone la llamada rosa “Valencia” junto al museo de las ciencias. Se trata de un recorrido sinuoso de esculturas rodeadas de frutales como naranjos, limoneros, ciruelos, olivos, almendros, entre otros. El resto del cauce fluvial se completa con árboles frondosos con una disposición cromática en los tiempos de floración o creando grupos mono específicos. En el tramo 2 se sitúa el Palau de Las Artes Reina Sofia, continua con el Hemisfèric, el Museo de las Ciencias y termina con el Parque Oceanográfico, todos estos edificios están enmarcados por amplios estanques y por el jardín del Umbracle.

### Tramo 3 Palau de las Artes - Tramo 4 Parque Gulliver

Como se ha mencionado anteriormente se mantiene el trazado geométrico anterior con un cauce de agua, en este tramo está situado en este tramo un muñeco que personifica un Gulliver durmiente que funciona como toboganes grandes donde se

deslizan los niños y adultos. También están incluidos en esta zona tableros de ajedrez gigantes, pistas de minigolf y monopatín. Entre la vegetación presente se puede destacar arboles florares y especies como moreras blancas, almeces, magnolios, madroños, granados y tipuanas.

#### **Tramo 5 Palau de la Música Puente del Ángel Custodio y Puente de Aragón – Tramo 6 Puente de Aragón y puente de las flores**

El trazado es geométrico y simétrico en todos sus elementos. Aquí está ubicado el Palau de Música con un gran estanque rodeado de vegetación arbórea tales como pino laricio, ciruelos rojos, aligustres, naranjo amargo, canaria, entre otros.

#### **Tramo 7 entre puente de las Flores y puente de la Exposición**

Contiene un área polivalente de actividades durante todo el año, que permite la instalación de casetas para las diferentes ferias que se celebran. También tienen una zona destinada para la instalación de los fuegos artificiales y el resto del área está destinado a juegos infantiles, rodeado de grandes árboles de flor y de sombra tales como ficus, grevilleas y numerosos arbustos.

#### **Tramo 8 puente de la Exposición y puente del Real**

Es resultado de las campañas ciudadanas del día del árbol al igual que el tramo 10 y 11. Contiene un paisaje sinuoso y la vegetación más abundante son los aligustres, chopos, chorisias y vegetación herbácea.

#### **Tramo 9 entre Puente del Real y Puente la Trinidad**

Está compuesto por árboles en flor y sombras colocados de forma aleatoria, la vegetación es variada desde arboles naranjo amargo, jacaranda, tipuana, chorisia, grevillea, pino canario, palmitos y palmeras datileras. Una diagonal de palmeras conecta las visuales de: el Museo de Bellas Artes San Pío V, museo nacional de pintura y el Monasterio del Temple.

#### **Tramo 10 Puente la Trinidad y Puente del Serrano - Tramo 11 Puente del serrano y Puente San Josep Siglo XVI**

Estos tramos están destinados en gran parte al deporte, contiene varios campos de fútbol. Contiene especies arbóreas (chopos, aligustres, acacias, almeces, catalpas, cipreses, ciruelos rojos, entre otras) como resultado del ajardinamiento realizado con

motivo de varias campañas ciudadanas del día del árbol. Dichas especies se sitúan alrededor de un paseo rectilíneo central y de los senderos naturales.

### **Tramo 12 Puente San Josep Siglo XVI y Puente de las artes - Tramo 13 Entre puente de las artes y Puente de las Glorias Valencianas**

Estos tramos son más antiguos aquí cambia el trazado y se transforma en la filosofía del bosque urbano, tiene referentes del jardín paisajista con un juego de la topografía con lomas y senderos sinuosos. La vegetación continua con pinos carrascos, piñoneros, cipreses, olivos y se agrega vegetación típica ribereña como álamos, sauces, taray y adelfas. En el tramo 5 hay un campo de rugby.

### **Tramo 14 Puente de las Glorias Valencianas y Puente Campanar**

Posee campos de baloncesto y balonmano y una gran pista de atletismo, rodeada de gradas y una pérgola. La vegetación existente está representada por especies del bosque mediterráneo tales como pino carrasco, el piñonero, cipreses, olivos, fresnos entre otras.

### **Tramo 15 entre Puente Campanar y Puente Nou d'Octubre**

En este sector se tienen juegos infantiles y espacios de pradera ideales para tiempo libre y de ocio. Las especies plantadas son ombús, almeces, tipuanas, olivos de Bohemia, braquiquitos, jabonero de China, falsa acacia. Está situada la Casa del Agua sobre el antiguo Azud de Rovella como puerta de acceso real al Jardín del Turia. En este tramo el diseño está orientado a una geometría referencial que usa como hilo conductor el discurso del agua y los elementos formales asociados a su movimiento.

## **2.4 PARQUE MARXALENES**

El parque cuenta con una extensión total de 80.000 m<sup>2</sup>, en el año 2001 abrió al con una fase de 5 has. El diseño del parque está inspirado en los huertos privados a finales del siglo XIX. Está ubicado sobre la traza del antiguo ferrocarril y el histórico camino de Muntanyana. A un lado del paseo del ferrocarril se encuentra un paisaje arbolado con un trazado similar a las nervaduras de una hoja, con paseos de vegetación autóctona tales como: sauces, chopos, pinos, olmos, fresnos, robles y pequeños ginkgos, acompañados de esculturas de Thomas Tierme, Anthony Becket y Catherine Zimmerman. Del otro lado del paseo del ferrocarril se tiene un área inaugurada en el año 2009 que rinde un homenaje a la huerta, contiene unos surcos los cuales le

conceden una característica geométrica al trazado, se conectan con unos canales y son alimentados por una alberca. Contiene quince cuadros en forma de flor atravesadas diagonalmente por los canales y están rodeados por árboles frutales. (Ayuntamiento de Valencia, 2009). En la Figura 31 se muestra una vista aérea del parque Marxalenes en la situación actual, la línea roja representa la antigua vía del ferrocarril.



Figura 31 Parque Marxalenes, Valencia. Fuente: Google Earth, 2014.

## 2.5 PARQUE DE CABECERA

Está ubicado en el inicio del jardín del río Turia, este parque está inspirado en el paisaje del antiguo río Turia dando protagonismo al agua, donde se pueden realizar numerosas actividades de entretenimiento. Recrea el origen aluvial del lecho del río que favorece la formación de islotes. La vegetación principalmente está formada por bosques de ribera, pinares mediterráneos y arboles exóticos. “La montaña-mirador” es un hito visual del parque desde la ciudad, con una diferencia de cota respecto a la calle de 15 metros. Desde su mirador se puede disfrutar de vistas panorámicas del propio Parque de Cabecera y del Parque Natural de la Sierra Calderona (Ayuntamiento de Valencia, 2004).

En la Figura 32 se observa una fotografía aérea del parque de cabecera.

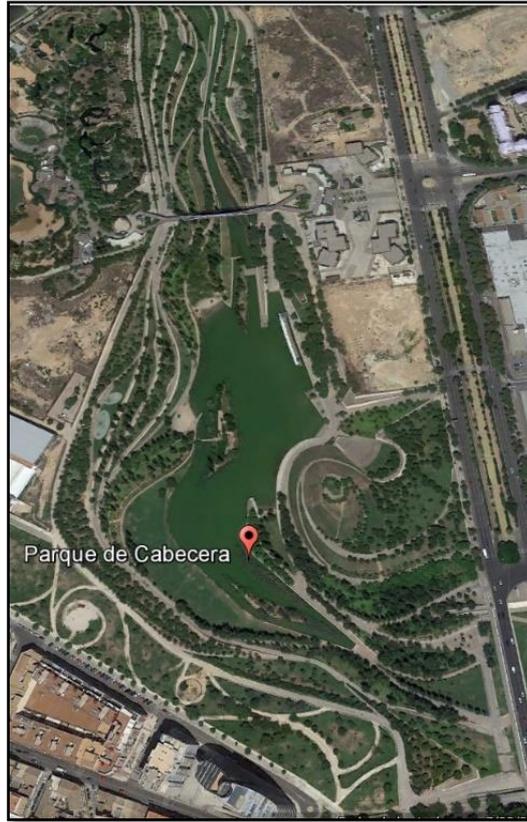


Figura 32 Parque de Cabecera, Valencia. Fuente: Google Earth, 2014.

### 3 CARACTERIZACIÓN DE LOS JARDINES URBANOS

En el portal web TerraSIT (<http://terrasit.gva.es>) se obtuvo un archivo cartográfico de la ciudad de Valencia, donde aparece toda la información geográfica y cartográfica de la Generalitat Valenciana. Con ayuda del software libre QGIS se realizó la medición de las áreas de cada jardín mencionado en el apartado 6, en conjunto con esto se utilizó Google Earth y una ortofoto de la ciudad de Valencia para realizar la clasificación de las áreas correspondientes a cada jardín dividiendo estas áreas en las siguientes zonas:

- ✓ **Zona verde:** esta área se refiere a la superficie impermeable, esta fracción se divide a su vez se ha dividido en zona verde homogénea y no homogénea. En la Figura 33 se muestra un ejemplo de un tramo del jardín Turia tomado del archivo QGIS de Valencia, donde las áreas en color amarillo se consideran no homogéneas y el resto de las áreas en azul son consideradas homogéneas.



Figura 33 Tramo Jardín Turia (ejemplo de zonas verdes homogéneas y no homogéneas)

- ✓ **Zona pavimentada:** se refiere a la superficie impermeable, hecha de hormigón, baldosas, entre otros.



Figura 34 Tramo Jardín Turia Zona Pavimentada.

- ✓ **Zona de tierra compactada:** esta zona se puede considerar casi impermeable.



Figura 35 tramo de jardín Río Turia (Tierra Compactada).

Luego de realizar las mediciones de las áreas correspondientes para los jardines específicos a estudiar, se escogió un trozo de área de la zona verde representativo de cada zona del jardín, del cual se midió su longitud, área y perímetro, con el objetivo de determinar el índice de compacidad, el cual consiste en una relación entre el perímetro y el área de la figura. El índice de compacidad se calculó con la siguiente expresión:

$$Ic = \frac{A}{P} \quad (23)$$

En el anexo “A” se presentan las tablas de los resultados obtenidos de la clasificación de las áreas de los jardines del presente estudio. En la *Tabla 3* se presenta una tabla resumen de la caracterización de los jardines del caso de estudio.

Tabla 3 Resumen de la caracterización de los Jardines

Jardín	Área Total (*10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	Zona verde (*10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	Zona de tierra compactada (*10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	Zona Pavimentada (*10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )
Jardín Río Turia	1,477.8	697.7	362.5	417.6
Jardín Blasco Ibáñez	121.2	56.8	58.1	6.4
Jardín del Real o Viveros	192.5	96.7	85.7	10.1
Parque Marxalenes	82.8	21.0	6.4	55.3
Parque de Cabecera	334.0	143.8	163.3	27.0

En la Figura 36 se muestra una gráfica comparativa de las áreas de los jardines mencionados en la *Tabla 3*.

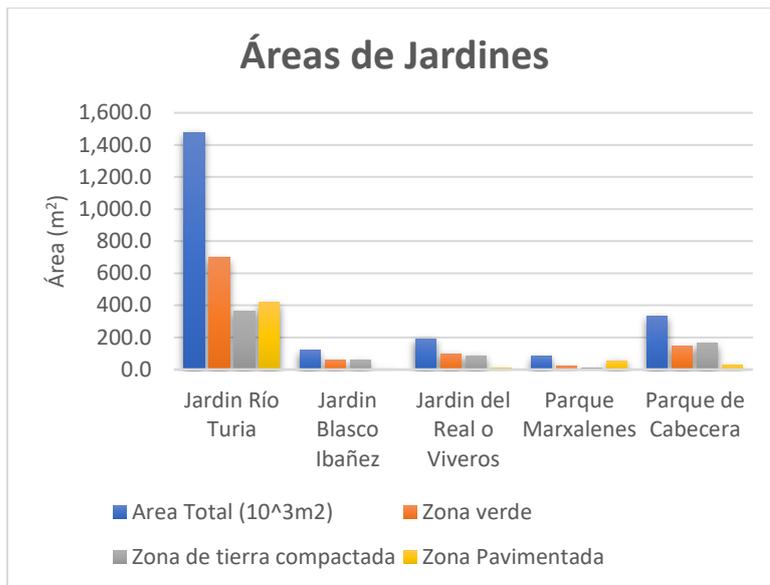


Figura 36 Gráfica de comparación de las áreas de los jardines urbanos.

En la Figura 37, Figura 38 y Figura 39, se muestran los gráficos de cada jardín y sus respectivos porcentajes de zona verde, zona de tierra compactada y zona pavimentada.

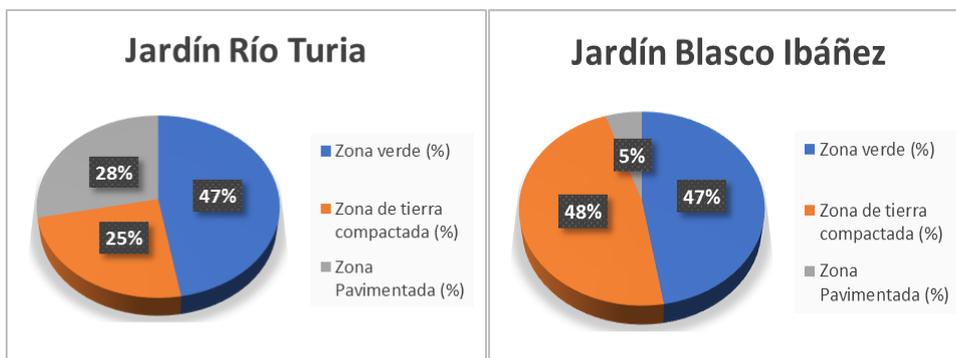


Figura 37 Porcentaje de Áreas Jardín Río Turia y Blasco Ibáñez.

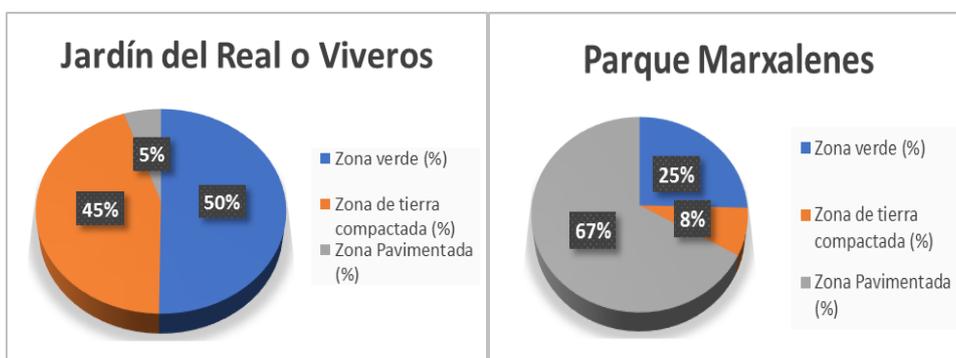


Figura 38 Porcentaje de Áreas Jardín del Real o Viveros y Parque Marxalenes.

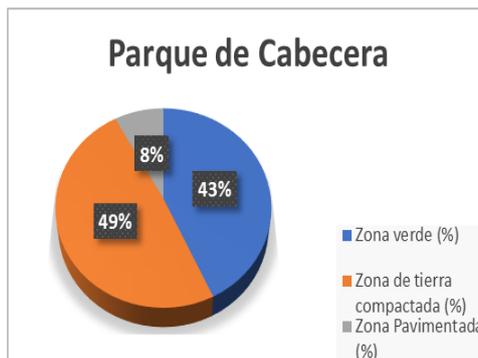


Figura 39 Porcentaje de Áreas Parque de Cabecera.

En relación a las proporciones del tipo de área para cada jardín, se puede decir que los jardines del Real o viveros y el jardín de Blasco Ibáñez presentan un comportamiento parecido en cuanto a porcentaje de área verde aproximadamente 50% y 5% de zona pavimentada, estos resultados pueden deberse a que estos sean los más antiguos. El Jardín Río Turia 47% zona verde, 28% zona pavimentada y 25% tierra compactada. En el parque de cabecera predomina la tierra compactada con un 57%, 7% de zona pavimentada y 36% de zona verde.

Por último, el Parque Marxalenes presenta 67% de zona pavimentada, 8% de zona de tierra compactada y 25 % de zona verde. Este parque fue construido en fecha reciente, y es importante resaltar que presenta gran porcentaje de zona impermeable, lo que genera mayor cantidad de escorrentía.

## 4 ANÁLISIS DE LA DEMANDA HÍDRICA Y DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA

### 4.1 DATOS DE PARTIDA

Se dispone de una serie de 648 eventos diarios registrados con precipitaciones mayores a 1 mm de la ciudad de Valencia correspondientes al período 1990-2012, es decir, un total de 23 años. Estos eventos se han obtenido del informe “Estudio hidrológico de precipitaciones y frecuencia de caudales en la desembocadura del azarbe de la margen izquierda del río Turia” realizado por J.B. Marco Segura e Ignacio Andrés Doménech. En dichos datos de partida correspondientes a los eventos ocurridos, se tiene de la siguiente información:

- Volumen total de la tormenta (mm)
- Tiempo de Duración del evento (h)
- Separación o Intervalo de tiempo (h)
- Intensidad pico (mm/h)
- Tiempo Pico (h)
- Duración Efectiva (h)

### 4.2 PRECIPITACIÓN

Para el cálculo de la precipitación inicialmente se ajustó con hietograma triangular definido por su intensidad pico y tiempo al pico con los datos de partida, al comparar los resultados del volumen de la tormenta obtenidos con dicho ajuste con los volúmenes reales registrados no se tenían unos resultados lógicos, por lo que se decidió realizar un ajuste con una función parabólica y luego con una función exponencial. Finalmente se decidió escoger la función exponencial por ser la que arrojó mejores resultados. La forma función exponencial se muestra en la Figura 40.

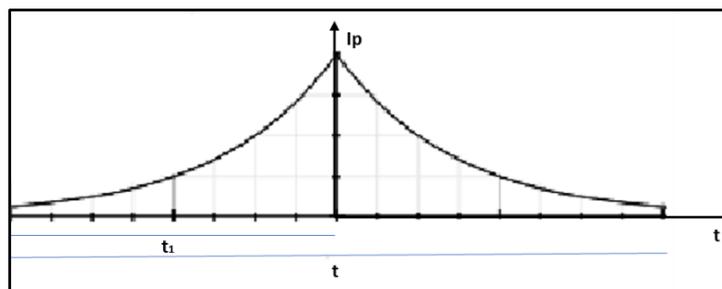


Figura 40 Hietograma con Función exponencial ajustada.

La precipitación media de la tormenta viene dada por el área bajo la curva, dividida en dos funciones exponenciales una positiva y una negativa. La integral planteada para el cálculo es la siguiente, asumiendo un tiempo  $t_0$  muy pequeño de 1 segundo y un tiempo  $t_1$  desconocido con el fin ajustarla al volumen real registrado.

$$I = \int_{t_0}^{t_1} e^t dt \quad (24)$$

Se ha considerado el volumen dividido en dos partes simétricas, y debido a que se está trabajando sin dimensiones de cuenca el volumen está en mm/por metro cuadrado. Resolviendo la integral (24) se igualó al área bajo la curva correspondiente.

$$\frac{\text{Área}}{2} = e^t \Big|_{t_0}^{t_1} \quad (25)$$

Despejando  $t_1$  de la ecuación (25) se calcula un nuevo tiempo  $t_1$ .

$$t_1 = \ln\left(\frac{\text{Área}}{2}\right) + 1 \quad (26)$$

Y la expresión de la precipitación es la siguiente:

$$P = [e^{t_1} - e^{t_0}] * 2 \quad (27)$$

El tiempo de duración total evento sería:

$$td = 2 * t_1 \quad (28)$$

Con las ecuaciones 26, 27 y 28 se han calculado para cada uno de los 648 eventos suministrados desde el año 1990-2012: el tiempo  $t_1$ , la precipitación media  $P$  y la duración total correspondiente  $t_d$ .

#### 4.3 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Para el cálculo de la escorrentía superficial se ha decidido utilizar el método del USDA-SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS), dado que no se cuenta con suficiente información sobre las abstracciones iniciales del suelo y de la capacidad de infiltración, que se necesita para poder utilizar otros modelos de producción de escorrentía como por ejemplo el Modelo de Green y Ampt (ecuación de Horton) o el coeficiente de escorrentía.

Se utilizó la ecuación simplificada del SCS (1972) válida en España, la cual depende de 1 sólo parámetro, y las hipótesis conceptuales del método se basan en que existe un umbral llamado  $P_0$  por debajo de la cual la precipitación  $P(t)$  no produce escorrentía  $E(t)$ , es decir, una vez que la precipitación es mayor a este umbral se produce encharcamiento y la escorrentía se convierte en función de la precipitación. En las ecuaciones 28 y 29 se muestran las ecuaciones que describen el método.

$$E(t) = 0 \quad \text{si } P(t) \leq P_0 \quad (28)$$

$$E(t) = \frac{(P(t)-P_0)^2}{P(t)+4.P_0} \quad \text{si } P(t) > P_0 \quad (29)$$

El parámetro  $P_0$  está relacionado con las características lito-edafológicas, características de la cubierta del suelo, pendiente del terreno y la humedad antecedente.

Para estimar el valor del umbral  $P_0$ , se debe conocer la capacidad de infiltración de agua de lluvia, la cual depende de la presencia de humedad en el suelo. En la *Tabla 4* del SCS se muestran tres tipos de estado de humedad del suelo: seco, medio o húmedo.

*Tabla 4 Condiciones de humedad del SCS*

Condición	P total (mm) de los 5 días anteriores	
	Estación de latencia	Estación de crecimiento
I seco	PT ≤ 13	PT ≤ 36
II medio	13 ≤ PT ≤ 28	36 ≤ PT ≤ 53
III húmedo	PT ≥ 28	PT ≥ 53

*Fuente: Cálculo hidrometeorológico de avenidas – CEH-CEDEX.*

Se eligieron tres parámetros iniciales para la zona verde  $P_0=35$  mm,  $P_0=30$  mm y  $P_0=25$  mm, asumiendo que el suelo en la ciudad de Valencia se encuentra en condición III húmedo y en condición II medio. Y para la zona de tierra compactada se escogieron 3 parámetros  $P_0=3$  mm,  $P_0=5$  mm y  $P_0=7$  mm considerando condición I seco.

Para el cálculo de la escorrentía en la zona impermeable, es decir, la zona pavimentada se ha decidido trabajar con el método del coeficiente de escorrentía, debido a que de esta zona se tiene más conocimiento. Se eligió un parámetro de 73 % en el anexo “B” se muestra la tabla con los coeficientes de escorrentía con los valores

más típicos según el tipo de superficie tomadas de diferentes fuentes. Se ha elegido este valor considerando superficie impermeable para lluvias de corta duración y población densa.

#### 4.4 INFILTRACIÓN

La infiltración se ha obtenido del cálculo del balance hídrico.

#### 4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Los datos de la evapotranspiración potencial de referencia  $E_t$  en mm, han sido descargados de la página del Sistema de Información Agroclimática para el regadío (SIAR). Se han utilizado los datos mensuales acumulados de la estación Moncada ubicada en la provincia de Valencia para el período comprendido entre 1999-2012, los cuales han sido calculados por el método de Penman-Monteith para datos diarios.

#### 4.6 BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO

Con los datos de la evapotranspiración potencial, e infiltración se puede realizar un balance hídrico anual. De esta forma es posible conocer la cantidad de agua que realmente se evapora en el terreno y transpiración las plantas, a eso lo llamaríamos evapotranspiración real (ETR). Dentro del balance habrá meses donde la demanda estará cubierta totalmente por las precipitaciones y otros en los que habrá déficit, también pueden existir meses con agua suficiente que se registre exceso.

El balance hídrico se ha realizado con los datos de la infiltración acumulados mensuales para el período entre 1990-2012 utilizando el método directo de Thornthwaite. A continuación, se describe la metodología usada para realizar el balance hídrico:

$$P + RA = E + I + ETR$$

**P:** precipitación acumulada mm/mes.

**I:** infiltración mm/mes. Este volumen puede descargar de nuevo a la superficie del terreno por cauces y laderas, tras un tiempo de permanencia corto y otra parte se destinará para la recarga del acuífero.

**E:** Escorrentía superficial mm/mes.

**Δ:** es balance de entradas y salidas potenciales de agua en el suelo, es la diferencia entre infiltración y la evapotranspiración potencial (ETP).

**R:** Cuando en un mes se producen más entradas que salidas, el agua sobrante pasará formar parte de la reserva del suelo por el contrario si las salidas son mayores se reducirá la cantidad de reserva. En este caso la reserva máxima, se ha asumido 100 mm como valor máximo de almacenaje en el suelo tomado como referencia considerando que Thornthwaite (1948) en su clasificación utilizó como referencia climática la reserva de 100 mm, y Turc en su índice de productividad agrícola emplea una reserva de 100 mm (RFU = "reservoir facilement utilisable"). Como reserva inicial en el mes de enero se ha considerado un 100 % de la reserva total. Es importante resaltar que el cálculo del balance hídrico que realizará es para 1 m<sup>2</sup> de terreno.

**VR:** es la variación en la reserva para cada mes y su variación con respecto al mes anterior hasta alcanzar el valor máximo de 100 mm.

**RA:** es el recurso aprovechado del suelo, y es la variación de la reserva (VR) en valor absoluto.

**ETR:** es la evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira dependiendo si hay agua suficiente en el mes considerado.

En los meses húmedos, como la precipitación cubre la demanda potencial entonces:

- Si  $P \geq ETP$  entonces  $ETR = ETP$

Durante los meses secos ocurre lo contrario el agua que se evapora será la de la precipitación más la que se extrae del suelo.

- Si  $P < ETP$  entonces  $ETR = P + |VR|$

**Déficit:** es volumen de agua faltante para cubrir las necesidades para evapotranspirar.

**Exceso:** es el agua que excede cuando se ha alcanzado la reserva máxima del suelo.

## 5 MODELO DE LA ONDA CINEMÁTICA

Para los cálculos de la onda cinemática se usa la metodología descrita en capítulo I, subcapítulo 2.2.3 en el cual se han descrito las ecuaciones que permiten obtener la solución mediante el método de las características a las ecuaciones de Saint-Venant simplificadas para la onda cinemática, considerando un plano de pendiente uniforme y bajo un exceso de precipitación constante. Para facilitar el cálculo de la onda cinemática solo se ha realizado para un conjunto de áreas y longitudes representativas para el jardín del Río Turia y para el Parque Marxalenes, debido a que todas las cuencas presentan características similares de rugosidad de Manning y comportamiento similar.

### 5.1 MODELO GEOMÉTRICO DE LAS CUENCAS

Las cuencas a considerar en este estudio son las zonas verdes (zonas permeables) de los jardines urbanos, las cuales presentan diferentes pendientes y áreas. Por esta razón no se puede considerar como una cuenca única, en este caso se ha considerado cada zona verde como un solo plano inclinado mostrado en la Figura 6, con sus características físicas definidas: longitud, pendiente y rugosidad expresada con el coeficiente “n” de Manning.

“La longitud característica de cada plano se interpreta como la máxima longitud recorrida por una gota de agua desde un punto de la intercuenca hasta llegar a la vaguada, de esta manera en cada uno de los planos se busca de forma manual la ruta seguida por esa gota de agua, pasando su recorrido a ser un parámetro del modelo”. (Hoggan, 1996). Debido a que las zonas verdes de los jardines no tienen una forma geométrica particular definida se ha decidió considerar esta longitud según la siguiente expresión:

$$L = \frac{2 * \text{Área}}{\text{Perímetro}}$$

### 5.2 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

La tormenta de diseño se ha obtenido del ajuste de la función exponencial descrita en este capítulo en el apartado 4.2 para los 648 eventos mencionados. De estos eventos, se han seleccionado aquellos que producen escorrentía y que presentan un comportamiento frecuente, con el objetivo de no realizar el cálculo de la onda

cinemática para todos los eventos, sino para una serie de tormentas de diseño representativas.

### 5.3 PARÁMETROS FUNDAMENTALES

Se ha considerado el régimen turbulento, escogiendo los parámetros  $\alpha$  y  $m$  según la ecuación 24. Para la rugosidad de Manning “ $n$ ” se ha elegido un coeficiente para praderas y cauces naturales entre 0,050 y 0,070.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA

Las precipitaciones se han obtenido según la función exponencial mencionada en el apartado 4.2, y se han organizado en dos casos, el primero según los eventos que no producen escorrentía ( $E = 0$  mm) y un segundo caso cuando los eventos producen escorrentía ( $E > 0$  mm).

#### 6.1.1 RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y MENSUAL PARA $E = 0$ MM.

En la Figura 41 y Figura 42 se presentan las gráficas de los resultados de la precipitación promedio anual y mensual respectivamente (cuando la escorrentía es igual a cero), correspondientes a los eventos entre 1990-2012 con umbral de escorrentía  $P_o = 35$  mm considerando para la zona verde del jardín.

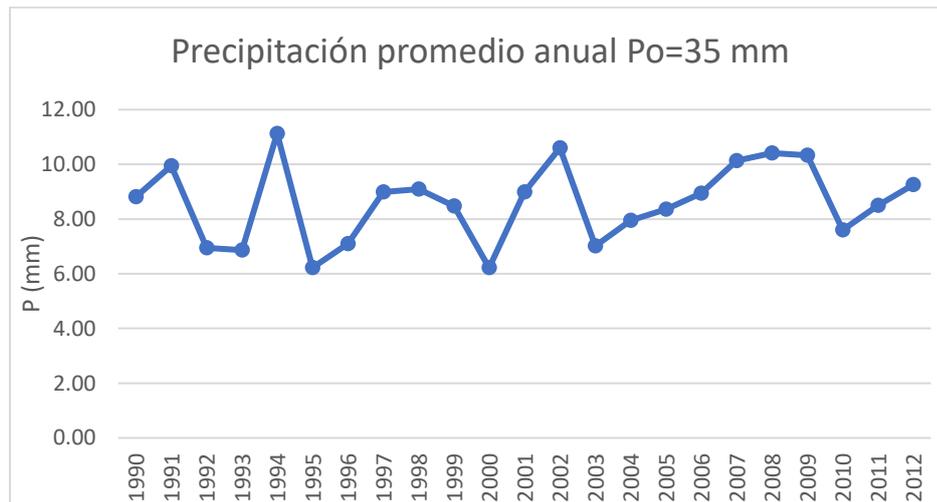


Figura 41 Precipitación promedio Anual  $P_o = 35$  mm  $E = 0$  mm.

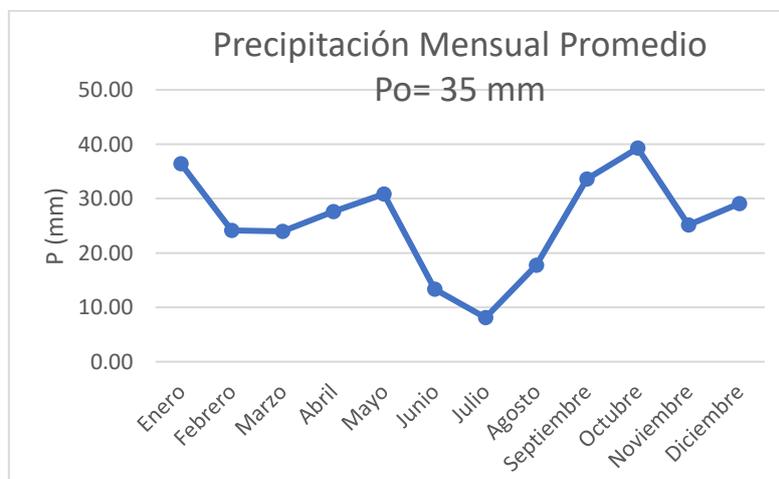


Figura 42 Precipitación mensual promedio  $P_o = 35$  mm  $E = 0$  mm.

En el Anexo “C” se muestran los resultados obtenidos de precipitación y escorrentía de ambos promedios (anuales y mensuales), para las zonas verdes de jardín con diferentes umbrales de escorrentía  $P_o = 35$  mm,  $P_o = 30$  mm y  $P_o = 25$  mm con sus respectivos gráficos.

### 6.1.2 RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y MENSUAL PARA $E > 0$ MM.

En la Tabla 5 se muestra un resumen con los eventos clasificados por año y escorrentía mayor a cero, calculados para la zona verde del jardín con umbral de escorrentía  $P_o = 35$  mm.

*Tabla 5 Precipitación Media Anual para  $P_o = 35$  mm  $E > 0$  mm.*

Año	Precipitación Promedio (mm)	Suma de Precipitación (mm)	N.º de Eventos	Escorrentía Promedio (mm)	Suma Escorrentía (mm)
1990	41.60	83.20	2.00	0.39	0.78
1991	61.07	366.40	6.00	5.03	30.18
1992	89.60	268.80	3.00	14.83	44.49
1993	89.50	179.00	2.00	12.94	25.88
1994	69.40	138.80	2.00	7.44	14.87
1995	70.20	70.20	1.00	5.89	5.89
1996	71.40	142.80	2.00	6.44	12.87
1997	36.00	36.00	1.00	0.01	0.01
1998	90.60	181.20	2.00	13.70	27.40
1999	35.40	35.40	1.00	0.00	0.00
2000	139.40	278.80	2.00	49.56	99.13
2001	62.20	186.60	3.00	7.84	23.52
2002	115.90	231.80	2.00	25.66	51.32
2003	56.80	170.40	3.00	2.58	7.73
2004	58.66	410.60	7.00	4.79	33.50
2005	52.10	104.20	2.00	2.29	4.58
2006	53.00	106.00	2.00	2.32	4.63
2007	80.93	485.60	6.00	13.68	82.08
2008	84.00	252.00	3.00	12.50	37.51
2009	68.28	341.40	5.00	9.88	49.38
2010	43.50	87.00	2.00	0.59	1.18
2011	51.20	153.60	3.00	2.18	6.55
2012	47.10	94.20	2.00	1.03	2.06

En la Figura 43 y Figura 44 se muestran las gráficas de los resultados obtenidos de la precipitación media anual y de la precipitación promedio mensual para los eventos mencionados.

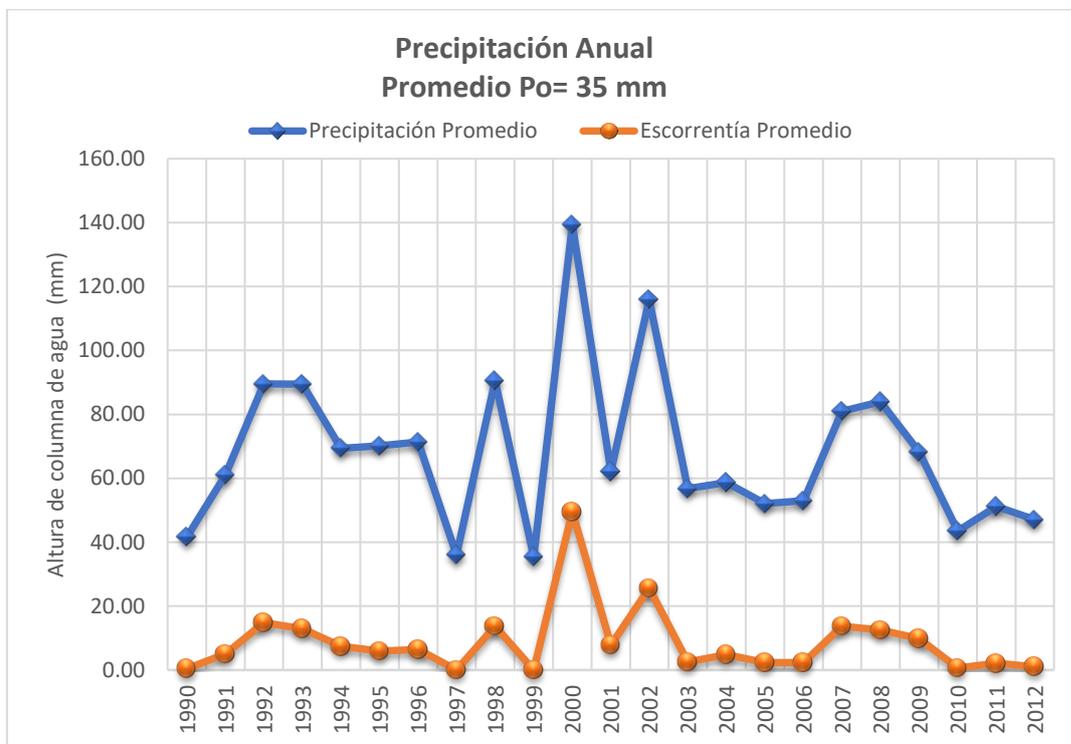


Figura 43 Precipitación anual promedio para Po=35 mm y E >0 mm.

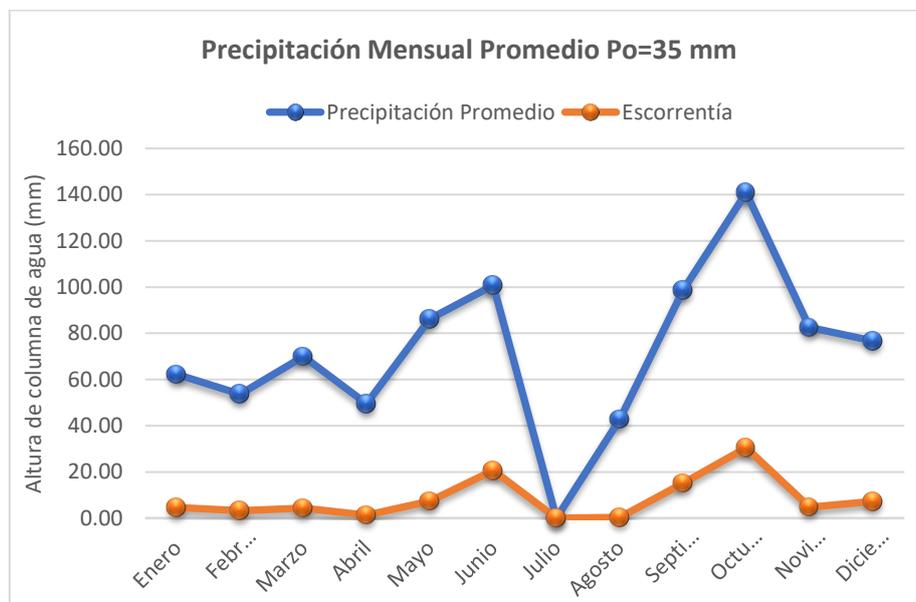


Figura 44 Precipitación mensual promedio para Po=35 mm y E >0 mm.

Todos estos resultados de precipitación y escorrentía obtenidos, resultan de gran importancia para el análisis de la demanda hídrica en los jardines urbanos de la ciudad

de Valencia, ya que nos permite tener una idea sobre el comportamiento de la precipitación y de la producción de escorrentía.

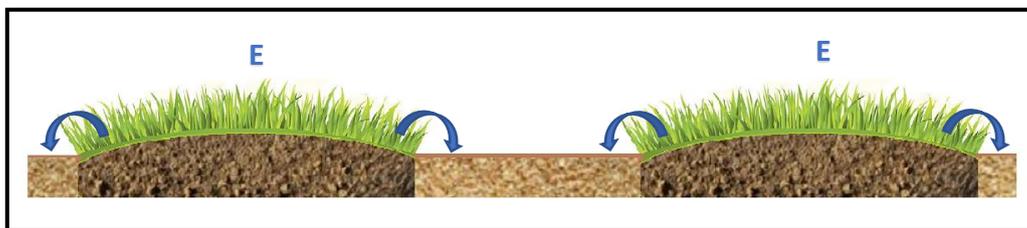
Como se mencionó anteriormente, en el Anexo “C” se encuentran todas las tablas y gráficas obtenidas en este apartado con más detalle, es decir, los resultados de precipitación y escorrentía para los diferentes umbrales de escorrentía para la zona verde del jardín.

## 6.2 BALANCES HÍDRICOS

Con los datos de precipitación acumulada mensual obtenida con la función exponencial y las escorrentías calculadas por el método SCS para los diferentes umbrales  $P_0$ , se han realizado balances hídricos anuales por metro cuadrado de terreno considerando el tipo de superficie del jardín.

### 6.2.1 BALANCE HÍDRICO PARA LA ZONA VERDE

Para realizar el balance hídrico de la zona verde del jardín se han considerado dos posibilidades, la primera es cuando la zona permeable del jardín se encuentra más elevada que la superficie de tierra compactada, la cual se observa en la Figura 45.



*Figura 45 Zona verde del jardín elevada con respecto a la superficie de tierra compactada.*

En este caso, cuando se producen los eventos de precipitación que generan escorrentía no se puede aprovechar el agua para cubrir las necesidades del jardín, ya que éste se encuentra en una cota más elevada y el agua escurre hacia las zonas de menor cota que sería la zona de tierra compactada. Por lo tanto, al momento de realizar el balance hídrico se le ha restado a la precipitación la escorrentía.

La otra posibilidad para el balance hídrico que se ha considerado es cuando la zona verde se encuentra en una cota más baja que la zona de tierra compactada tal y como se muestra en la Figura 46, o también aplica en el caso de los jardines deprimidos como Blasco Ibáñez y el jardín del Real o Viveros. En este caso se puede aprovechar la

escorrentía para cubrir las necesidades de las plantas y por lo tanto no se le ha restado la escorrentía en la realización del balance.



Figura 46 Zona verde del jardín deprimida con respecto a la superficie de tierra compactada.

En la Tabla 6 se muestra un resumen de la precipitación acumulada en mm/mes, y los datos de escorrentía calculada por el método SCS acumulada en mm/mes para los diferentes umbrales de escorrentía que se han utilizado para el balance hídrico.

Tabla 6 Datos de precipitación y escorrentía para el balance hídrico

Mes	P (mm)	Escorrentía P <sub>o</sub> =35mm	Escorrentía P <sub>o</sub> =30 mm	Escorrentía P <sub>o</sub> =25 mm
Enero	39.47	1.09	1.58	2.31
Febrero	35.19	0.90	1.31	1.94
Marzo	38.47	1.48	2.11	3.02
Abril	28.49	0.12	0.22	0.40
Mayo	38.65	1.69	2.28	3.09
Junio	26.71	3.25	3.99	4.92
Julio	7.20	0.00	0.00	0.00
Agosto	14.54	0.02	0.06	0.12
Septiembre	66.04	5.25	6.62	8.47
Octubre	69.52	8.55	10.14	12.17
Noviembre	32.86	0.97	1.46	2.17
Diciembre	46.26	2.64	3.50	4.69
<b>TOTAL</b>	<b>443.40</b>	<b>25.97</b>	<b>33.25</b>	<b>43.31</b>

En la Figura 47 se muestra un gráfico resumen con las escorrentías obtenidas para los diferentes umbrales P<sub>o</sub> mostrados en la Tabla 6. En este gráfico se aprecia claramente que a medida que el umbral P<sub>o</sub> disminuye aumenta ligeramente la cantidad

de escorrentía, pero también es importante destacar que la variación de escorrentía es muy pequeña según la variación del umbral  $P_o$ , por lo que a los efectos de cálculos del balance hídrico este parámetro no afectará mucho en los resultados finales del análisis de la demanda hídrica.

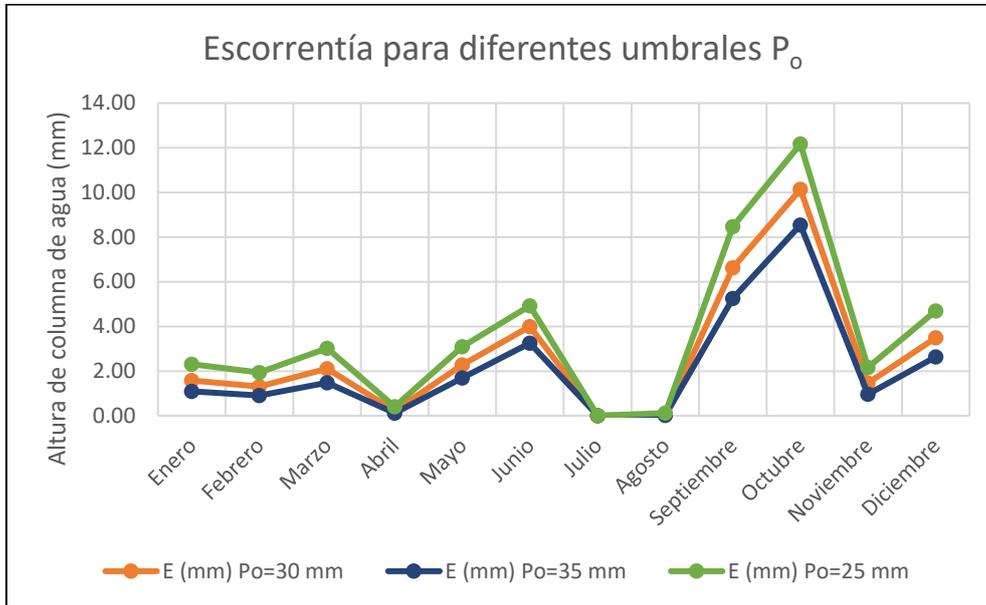


Figura 47 Valores calculados de escorrentía con el método SCS para diferentes umbrales  $P_o$  (zona verde).

### 6.2.1.1 BALANCE HÍDRICO (ZONA VERDE ELEVADA)

Para el inicio del cálculo del balance se ha considerado que en el mes de enero la reserva en el suelo  $R$  está en su máxima capacidad, es decir,  $R= 100$  mm. En la Figura 48 se muestra gráficamente el resultado obtenido del balance hídrico.

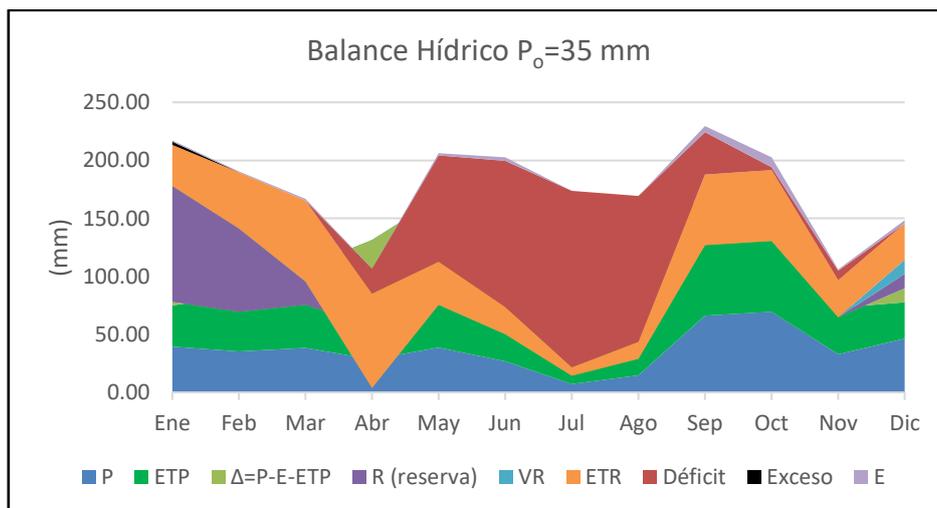


Figura 48 Gráfico del balance hídrico zona verde elevada  $P_o=35$  mm.

En dicha figura se puede apreciar que el déficit empieza a aparecer en el mes de abril y se mantiene hasta el mes de septiembre. El único mes donde se presenta un mínimo exceso, es en el mes de enero, pero para casi todo el año la evapotranspiración potencial (ETP) es mucho mayor a la precipitación. Como era de esperarse en Valencia, este valor de ETP es muy alto para los meses secos de verano (junio, julio y agosto), en la Figura 49 se muestra la evolución temporal de P, ETP y ETR.

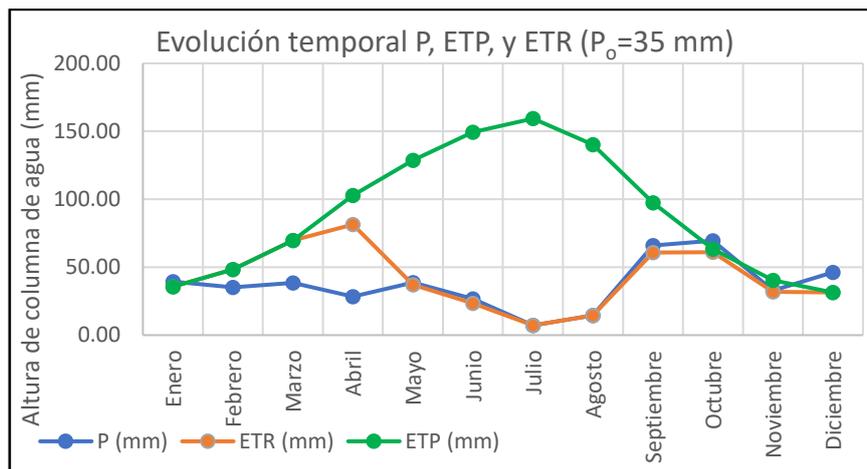


Figura 49 Gráfico de la evolución temporal P, ETP y ETR.

En la Tabla 7 se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos de evapotranspiración real (ETR) y de infiltración obtenidos a partir del balance hídrico para P<sub>o</sub>= 35 mm.

Tabla 7 Resultados obtenidos del Balance Hídrico (P<sub>o</sub>=35 mm)

Mes	P (mm)	N.º de Eventos	E (mm) P <sub>o</sub> =35	ETP (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Enero	39.47	61	1.09	35.55	35.55	2.82
Febrero	35.19	43	0.90	48.40	48.40	0.00
Marzo	38.47	50	1.48	69.83	69.83	0.00
Abril	28.49	68	0.12	102.87	34.24	0.00
Mayo	38.65	54	1.69	128.77	36.95	0.00
Junio	26.71	38	3.25	149.30	23.45	0.00
Julio	7.20	28	0.00	159.35	7.20	0.00
Agosto	14.54	34	0.02	140.12	14.53	0.00
Septiembre	66.04	75	5.25	97.49	60.79	0.00
Octubre	69.52	83	8.55	63.48	60.97	0.00
Noviembre	32.86	46	0.97	40.24	31.89	0.00
Diciembre	46.26	68	2.64	31.42	31.42	12.20
<b>TOTAL</b>	<b>443.40</b>	<b>648.00</b>	<b>25.97</b>	<b>1,066.82</b>	<b>455.23</b>	<b>15.02</b>

En el anexo “D” se muestran en detalle las tablas con los balances hídricos realizados para los umbrales de escorrentía en la zona verde  $P_o=35\text{mm}$ ,  $P_o=30\text{ mm}$  y  $P_o=25\text{mm}$ .

Al comparar los balances hídricos para los diferentes umbrales de escorrentía se hace notar que el déficit se produce a partir del mes de abril hasta el mes de septiembre para todos los casos estudiados.

En la Tabla 8 se presenta un resumen comparando los déficits para los diferentes umbrales  $P_o$ , en dicha tabla nos podemos dar cuenta que los déficits coinciden en los mismos meses, lo cual nos corrobora que el parámetro  $P_o$  no afecta los resultados del balance, y lógicamente para el umbral de escorrentía  $P_o=25\text{ mm}$  el déficit es ligeramente mayor.

*Tabla 8 Comparativa de Déficit obtenidos para los diferentes umbrales  $P_o$*

Mes	Déficit $P_o=35\text{mm}$	Déficit $P_o=30\text{mm}$	Déficit $P_o=25\text{mm}$
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	0.00	0.00	0.00
Abril	21.45	22.58	24.32
Mayo	91.81	92.39	93.21
Junio	125.85	126.58	127.51
Julio	152.15	152.15	152.16
Agosto	125.60	125.64	125.70
Septiembre	36.70	38.07	39.91
Octubre	2.51	4.10	6.13
Noviembre	8.35	8.84	9.55
Diciembre	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>564.41</b>	<b>570.36</b>	<b>578.49</b>

#### 6.2.1.2 BALANCE HÍDRICO (ZONA VERDE DEPRIMIDA)

Para el cálculo del balance hídrico mostrado en la gráfica de la Figura 50, se ha considerado que la escorrentía se aprovecha para satisfacer las necesidades del jardín en la zona permeable, de tal manera en este caso particular se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$P + RA = I + ETR$$

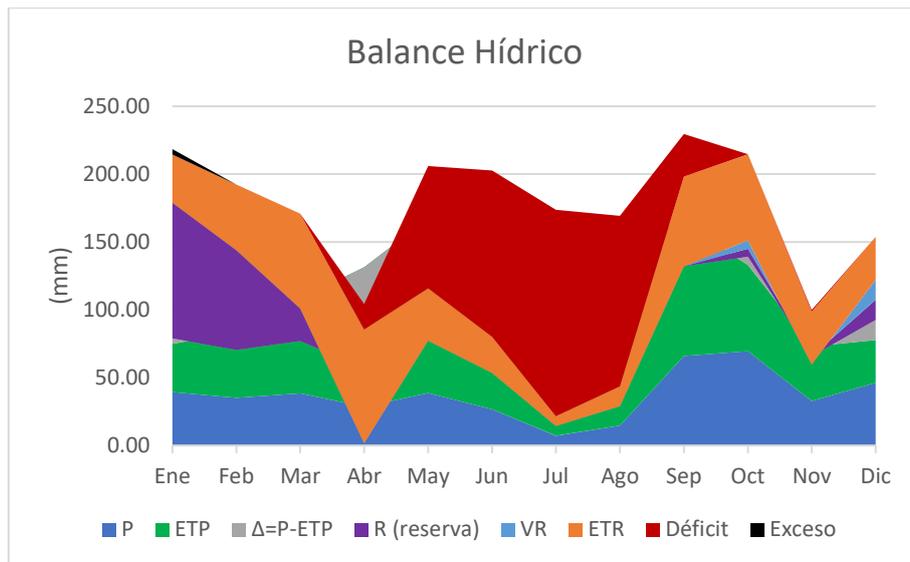


Figura 50 Balance Hídrico de la zona verde deprimida.

Se puede apreciar que los resultados gráficos obtenidos del balance hídricos son muy similares al anterior en la zona verde elevada, coincidiendo el déficit a partir del mes de abril hasta septiembre.

En la *Tabla 9* se muestra una tabla resumen los resultados obtenidos del balance hídrico.

Tabla 9 Resultados obtenidos Balance Hídrico (zona verde deprimida).

Mes	P (mm)	N.º de Eventos	ETP (mm)	ETR (mm)	l (mm)	Déficit
Enero	39.47	61	35.55	35.55	3.92	0.00
Febrero	35.19	43	48.40	48.40	0.00	0.00
Marzo	38.47	50	69.83	69.83	0.00	0.00
Abril	28.49	68	102.87	83.92	0.00	18.95
Mayo	38.65	54	128.77	38.65	0.00	90.12
Junio	26.71	38	149.30	26.71	0.00	122.59
Julio	7.20	28	159.35	7.20	0.00	152.15
Agosto	14.54	34	140.12	14.54	0.00	125.58
Septiembre	66.04	75	97.49	66.04	0.00	31.45
Octubre	69.52	83	63.48	63.48	6.04	0.00
Noviembre	32.86	46	40.24	38.90	0.00	1.34
Diciembre	46.26	68	31.42	31.42	14.84	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>443.40</b>	<b>648.00</b>	<b>1,066.82</b>	<b>524.64</b>	<b>24.80</b>	<b>542.18</b>

Al comparar estos resultados obtenidos de la *Tabla 9* con los resultados de la *Tabla 7*, se puede decir que existe una diferencia importante en cuanto a la infiltración y a la evapotranspiración real, es decir, la ETR pasa de estar **455.23** mm anuales para la zona verde elevada a **524.64** mm para la zona verde deprimida, lo cual nos indica que para los jardines deprimidos se tiene un mayor aprovechamiento de la escorrentía y mayor infiltración.

### 6.2.2 BALANCE HÍDRICO PARA LA ZONA DE TIERRA COMPACTADA

La escorrentía se ha calculado por el método del SCS en la zona de tierra compactada considerando tres umbrales de escorrentía:  $P_o=3\text{mm}$ ,  $P_o=5\text{mm}$  y  $P_o=7\text{mm}$ . Para comenzar el cálculo del balance hídrico en esta zona del jardín se ha considerado que la reserva inicial (R) en el suelo para el mes de enero es de 20%. En el anexo “D” se muestran las tablas de los balances hídricos respectivos para la zona de tierra compactada.

En la *Tabla 10* se muestra un resumen de los valores de escorrentía utilizados para el cálculo de los balances hídricos para los diferentes umbrales  $P_o=3\text{ mm}$ ,  $P_o=5\text{ mm}$  y  $P_o=7\text{ mm}$ .

*Tabla 10 Valores de escorrentía utilizados para el balance hídrico (zona de tierra compactada)*

Mes	E (mm) $P_o=3\text{ mm}$	E (mm) $P_o=5\text{ mm}$	E (mm) $P_o=7\text{ mm}$
Enero	20.40	15.30	11.92
Febrero	18.20	13.59	10.55
Marzo	20.97	16.19	13.00
Abril	11.02	7.36	5.18
Mayo	20.30	15.43	12.26
Junio	15.80	13.39	11.72
Julio	1.31	0.72	0.44
Agosto	4.59	2.75	1.75
Septiembre	39.69	31.85	26.47
Octubre	42.94	35.42	30.23
Noviembre	17.35	13.23	10.46
Diciembre	26.31	20.86	17.09
<b>TOTAL</b>	<b>238.88</b>	<b>186.08</b>	<b>151.08</b>

De los resultados de infiltración y déficit obtenidos del balance hídrico, se observa que no se presenta infiltración, lo cual se debe a que en esta zona el terreno está muy compactada, y el déficit se mantiene durante todo el año presentando sus picos más altos en los meses de verano.

### 6.3 EFECTO DE LAS PROPORCIONES DEL JARDÍN

En la Tabla 11 se presenta un resumen con las escorrentías mensuales para las diferentes superficies existentes en el jardín en 1 m<sup>2</sup> de terreno.

Tabla 11 Escorrentías mensuales en mm para distintos tipos de superficie.

Mes	P (mm)	Escorrentía de la zona verde			Escorrentía Zona Tierra compactada			Escorrentía zona impermeable
		Po=35 mm	Po=30 mm	Po=25 mm	Po=7 mm	Po= 5 mm	Po=3 mm	C= 73%
<b>Ene</b>	39.47	1.09	1.58	2.31	11.92	15.30	20.40	28.81
<b>Feb</b>	35.19	0.90	1.31	1.94	10.55	13.59	18.20	25.69
<b>Mar</b>	38.47	1.48	2.11	3.02	13.00	16.19	20.97	28.08
<b>Abr</b>	28.49	0.12	0.22	0.40	5.18	7.36	11.02	20.80
<b>May</b>	38.65	1.69	2.28	3.09	12.26	15.43	20.30	28.21
<b>Jun</b>	26.71	3.25	3.99	4.92	11.72	13.39	15.80	19.49
<b>Jul</b>	7.20	0.00	0.00	0.00	0.44	0.72	1.31	5.26
<b>Ago</b>	14.54	0.02	0.06	0.12	1.75	2.75	4.59	10.62
<b>Sept</b>	66.04	5.25	6.62	8.47	26.47	31.85	39.69	48.21
<b>Oct</b>	69.52	8.55	10.14	12.17	30.23	35.42	42.94	50.75
<b>Nov</b>	32.86	0.97	1.46	2.17	10.46	13.23	17.35	23.99
<b>Dic</b>	46.26	2.64	3.50	4.69	17.09	20.86	26.31	33.77
<b>TOTAL</b>	<b>443.40</b>	<b>25.97</b>	<b>33.25</b>	<b>43.31</b>	<b>151.08</b>	<b>186.08</b>	<b>238.88</b>	<b>323.68</b>

#### 6.3.1 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN JARDÍN DEPRIMIDO

Todos los resultados obtenidos de precipitación, escorrentía e infiltración como se mencionó anteriormente se han calculado para 1 m<sup>2</sup> de terreno, lo cual es equivalente a 1 litro/m<sup>2</sup>, al multiplicar estos valores con las proporciones de áreas de los jardines urbanos del presente estudio obtenidas en el apartado 2, se tienen los valores estimados de los volúmenes de escorrentía en cada jardín.

### 6.3.1.1 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LAS PROPORCIONES DEL JARDÍN REAL O VIVEROS

En el primer caso se estudiará el jardín del Real o Viveros, que se considera jardín deprimido. Y según la Figura 37 mencionada anteriormente posee las siguientes proporciones: 45% de tierra compactada, 50% de zona verde y 5% de zona pavimentada.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de volúmenes de escorrentía para el jardín del Real o Viveros, se presentan en cada columna la cantidad en m<sup>3</sup> mensual según el tipo de superficie considerando la siguiente combinación de umbrales: escorrentía de la zona verde Po=35 mm, zona de tierra compactada Po= 7mm y zona de pavimentada C=73%.

Tabla 12 Volúmenes de Escorrentías mensuales Jardín del Real o Viveros.

Escorrentía				
Mes	Zona verde (m <sup>3</sup> )	Zona de tierra compactada (m <sup>3</sup> )	Zona Pavimentada (m <sup>3</sup> )	E Aprov (m <sup>3</sup> )
	Po=35mm	Po=7 mm	C= 73%	
<b>Enero</b>	105.87	1,021.55	291.91	1,419.32
<b>Febrero</b>	87.43	904.26	260.27	1,251.97
<b>Marzo</b>	143.25	1,113.82	284.51	1,541.58
<b>Abril</b>	11.13	443.76	210.70	665.60
<b>Mayo</b>	163.74	1,050.67	285.85	1,500.26
<b>Junio</b>	314.73	1,003.99	197.52	1,516.25
<b>Julio</b>	0.00	37.77	53.25	91.02
<b>Agosto</b>	1.79	149.73	107.58	259.09
<b>Septiembre</b>	507.62	2,268.09	488.48	3,264.19
<b>Octubre</b>	826.51	2,590.78	514.21	3,931.50
<b>Noviembre</b>	93.73	896.62	243.05	1,233.40
<b>Diciembre</b>	255.41	1,464.56	342.18	2,062.15
<b>TOTAL</b>	<b>2,511.21</b>	<b>12,945.60</b>	<b>3,279.52</b>	<b>18,736.33</b>

La última columna es la escorrentía aprovechable del jardín, se ha considerado la hipótesis de que como las zonas verdes del jardín se encuentran en cotas más bajas que las zonas de tierra compactada y las zonas pavimentadas, toda esta escorrentía de esa zona se puede aprovechar para cubrir las necesidades del jardín. Por lo tanto, la escorrentía aprovechable en m<sup>3</sup> representa la suma total de los volúmenes de escorrentía de las tres diferentes superficies del jardín.

En la Tabla 13 se presentan las combinaciones de umbrales de escorrentía con sus volúmenes anuales expresados en  $m^3$ , manteniéndose constante el coeficiente de la zona pavimentada. En dicha tabla se observa que, para los umbrales de escorrentía más altos, lógicamente como es la combinación 1 se presentan los valores más bajos de escorrentía aprovechable, y viceversa para la combinación 9 los umbrales de escorrentía son más bajos y los volúmenes de escorrentía aprovechable son más altos.

*Tabla 13 Volúmenes de Escorrentías Anuales para el Jardín del Real o Viveros con diferentes umbrales de escorrentía.*

N.º	Combinación	Zona verde ( $m^3$ )	Zona de tierra compactada ( $m^3$ )	Zona Pavimentada ( $m^3$ )	E Aprovechable ( $m^3$ )
1	Po=35mm Po=7 mm C=73%	2,511.21	12,945.60	3,279.52	18,736.33
2	Po=35mm Po=5 mm C=73%	2,511.21	15,945.24	3,279.52	21,735.97
3	Po=35mm Po=3 mm C=73%	2,511.21	20,469.90	3,279.52	26,260.64
4	Po=30mm Po=7 mm C=73%	3,215.81	12,945.60	3,279.52	19,440.93
5	Po=30 mm Po=5 mm C=73%	3,215.81	15,945.24	3,279.52	22,440.57
6	Po=30 mm Po=3 mm C=73%	3,215.81	20,469.90	3,279.52	26,965.24
7	Po=25mm Po=7 mm C=73%	4,187.82	12,945.60	3,279.52	20,412.93
8	Po=25mm Po=5 mm C=73%	4,187.82	15,945.24	3,279.52	23,412.57
9	Po=25mm Po=5 mm C=73%	4,187.82	20,469.90	3,279.52	27,937.24

En cuanto a sostenibilidad del jardín, es importante resaltar que la escorrentía aprovechable si se almacena de manera adecuada podría llegar a cubrir las necesidades del jardín. Según los cálculos obtenidos de los balances hídricos en la zona verde para jardines deprimidos, en el mes de enero se presenta un exceso, con lo cual se puede captar el agua para su posible reutilización mediante técnicas de SuDS.

### 6.3.1.2 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LAS PROPORCIONES DEL JARDÍN DE BLASCO IBÁÑEZ (TRAMO 1 Y TRAMO 3)

Para el estudio del jardín Blasco Ibáñez se ha decidido dividirlo en 3 tramos, tal y como ha se mencionado en el apartado 1 en la descripción de los jardines urbanos. En este sentido, se debe destacar que, al estar analizando los jardines deprimidos, no se ha tomado en cuenta el área del tramo 2, ya que en este tramo es donde se presenta el

cambio de diseño del jardín y se estudiará más adelante en el estudio de la sostenibilidad de jardines elevados.

### 6.3.1.3 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LAS PROPORCIONES DEL PARQUE MARXALENES

El estudio de la sostenibilidad en el jardín de Marxalenes es de gran importancia, ya que este jardín está conformado por gran porcentaje de zona impermeable (67% de zona pavimentada), con lo cual la cantidad de escorrentía a producirse en el jardín es mayor comparada con los demás jardines del caso de estudio.

En la Tabla 14 se exponen los resultados obtenidos de los volúmenes de las escorrentías mensuales utilizando las proporciones de área obtenidas para el parque, considerando la siguiente combinación de umbrales de escorrentía  $P_0=35$  mm,  $P_0=5$  mm y  $C=73\%$ .

Tabla 14 Volúmenes de escorrentías mensuales para el Parque Marxalenes

Mes	Zona verde (m3)	Zona de tierra compactada (m3)	Zona Pavimentada (m3)	E Aprov. (m3)
	Po=35mm	Po=5 mm	C= 73%	
Enero	23.03	98.66	1,594.45	1,716.14
Febrero	19.02	87.64	1,421.63	1,528.28
Marzo	31.16	104.41	1,554.05	1,689.62
Abril	2.42	47.44	1,150.87	1,200.73
Mayo	35.61	99.54	1,561.36	1,696.51
Junio	68.46	86.33	1,078.89	1,233.67
Julio	0.00	4.63	290.88	295.51
Agosto	0.39	17.74	587.59	605.72
Septiembre	110.41	205.41	2,668.15	2,983.97
Octubre	179.77	228.45	2,808.67	3,216.90
Noviembre	20.39	85.33	1,327.54	1,433.26
Diciembre	55.55	134.52	1,869.05	2,059.12
<b>TOTAL</b>	<b>546.20</b>	<b>1,200.09</b>	<b>17,913.15</b>	<b>19,659.44</b>

Se puede observar que la cantidad de escorrentía producida en la zona pavimentada, supera de forma considerable a la escorrentía producida en la zona de área verde, por este motivo, el diseño del jardín impide que la escorrentía producida pueda aprovecharse para cubrir las necesidades del jardín, lo cual afecta considerablemente la sostenibilidad del jardín.

### 6.3.2 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN JARDÍN ELEVADO

En este apartado se estudiará la sostenibilidad en los jardines que tienen la zona verde un poco más elevado con respecto a la zona de tierra compactada y con respecto a la zona pavimentada, tal y como se ha mencionado en la figura 46. En este caso no se puede aprovechar la escorrentía producida para satisfacer las necesidades del jardín.

#### 6.3.2.1 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LAS PROPORCIONES DEL JARDÍN DEL TURIA

Debido a la gran extensión de terreno que conforma el jardín del Turia, se ha dividido en 15 tramos para facilitar el análisis. En la Tabla 15 se muestran las proporciones de área de cada uno de los tramos del jardín.

*Tabla 15 Porcentajes de áreas del Jardín del Turia*

Tramo	Zona verde (%)	Tierra compactada (%)	Zona Pavimentada (%)
Tramo 1 (Oceanográfico y Ágora)	31.0	20.5	48.5
Tramo 2 (Museo de las Ciencias y Hemisférico)	27.3	4.3	68.4
Tramo 3 (Palau de las Artes)	37.9	8.8	53.3
Tramo 4 (Gulliver)	47.8	15.7	36.5
Tramo 5 (Palau de Música)	54.5	30.2	15.2
Tramo 6 (Puente de Aragón y Puente de las Flores)	56.8	38.5	4.7
Tramo 7 (Puente de las flores y puente Alameda)	36.7	48.5	14.8
Tramo 8 Puente Alameda y puente del Real	62.0	27.8	10.3
Tramo 9 entre Puente del Real y Puente la Trinidad	70.3	17.8	11.8
Tramo 10 Puente la Trinidad y Puente del Serrano	42.3	52.7	5.0
Tramo 11 Puente del serrano y Puente San Josep Siglo XVI	64.4	30.8	4.9
Tramo 12 Puente San Josep Siglo XVI y Puente de las artes	51.8	41.2	7.0
Tramo 13 Puente de las artes y Puente de les Glòries Valencianes	77.7	17.8	4.5
Tramo 14 entre Puente de les Glòries Valencianes y Avinguda de Pérez Galdós	39.9	47.4	12.7
Tramo 15 entre Avinguda de Pérez Galdós y Puente Nou de Octubre	59.3	34.0	6.7

Debido a la gran extensión de área de dicho jardín y a los diferentes diseños en los tramos, se realizará una comparación entre los tramos del jardín del Turia construidos más recientes, como por ejemplo los tramos 1 y 2, con tramos más antiguos como los tramos 12 y 13.

En el anexo “E” se muestran las tablas de los obtenidos de los resultados de los volúmenes de escorrentías mensuales correspondientes al jardín del Río Turia. Al comparar los resultados en las tablas mencionadas en dicho anexo, nos podemos dar cuenta que la escorrentía producida en los tramos 1 y 2 en la zona pavimentada es mucho mayor a la escorrentía producida en la zona verde, lo cual era de esperarse, ya que en esta zona del jardín se encuentran las edificaciones modernas (Museo de las artes y las ciencias, Oceanográfico, Hemisférico), es decir, está más impermeabilizada.

Aunque no podemos comparar directamente la cantidad volúmenes de escorrentía producidos en la zona pavimentada en los tramos 12 y 13, debido a que el área que componen los tramos 1 y 2 es mucho mayor, si se pueden comparar las proporciones de las diferentes superficies para cada caso analizado. En este sentido, se aprecia que para que los tramos más antiguos 12 y 13 poseen una menor proporción de zonas pavimentadas y presentan trozos del jardín más homogéneos recreando un ambiente más parecido al natural, como ultimo comentario también se puede agregar que en los tramos más antiguos la mayor escorrentía producida se produce en la zona de tierra compactada.

#### 6.3.2.2 ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LAS PROPORCIONES DEL PARQUE DE CABECERA

El Parque de Cabecera presenta unas proporciones de área de la siguiente manera: 49% de zona de tierra compactada, 43% de zona verde y 8 % de zona pavimentado. El parque cuenta con diferentes cotas y para el análisis en particular se ha considerado como jardín elevado.

Al analizar los resultados obtenidos que se pueden encontrar en el anexo “E” en las tablas correspondientes al parque de cabecera, se puede notar que la producción de escorrentía en las zonas de tierra compactada representa la mayor cantidad de escorrentía, quedando de segundo lugar la zona pavimentada y de ultima la zona verde.

Este jardín como ha sido diseñado de manera similar al antiguo cauce del río Turia no posee gran cantidad de zonas impermeables, con lo cual no se tiene gran producción de escorrentía al compararlos con los tramos modernos del Jardín del Turia.

#### 6.4 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LA ONDA CINEMÁTICA

Se han obtenido una serie de hidrogramas mediante el análisis de la onda cinemática para las cuencas representativas tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Longitudes representativas de los jardines en estudio.
- Frecuencia del exceso de precipitación (“e” en mm/h).
- Pendientes representativas de los jardines.
- Rugosidades de Manning (“n” entre 0.050 y 0.060).

En la Figura 51 se aprecia una gráfica en donde aparecen los registros de intensidad de exceso de precipitación “e” calculados para la serie de eventos desde 1990 hasta 2012. Luego de analizar este gráfico, se han seleccionado las “e” más habituales las cuales se encuentran en un rango entre 0.5-2.5 mm/h. Adicionalmente, se han seleccionado los eventos que se repiten cada 4 años.

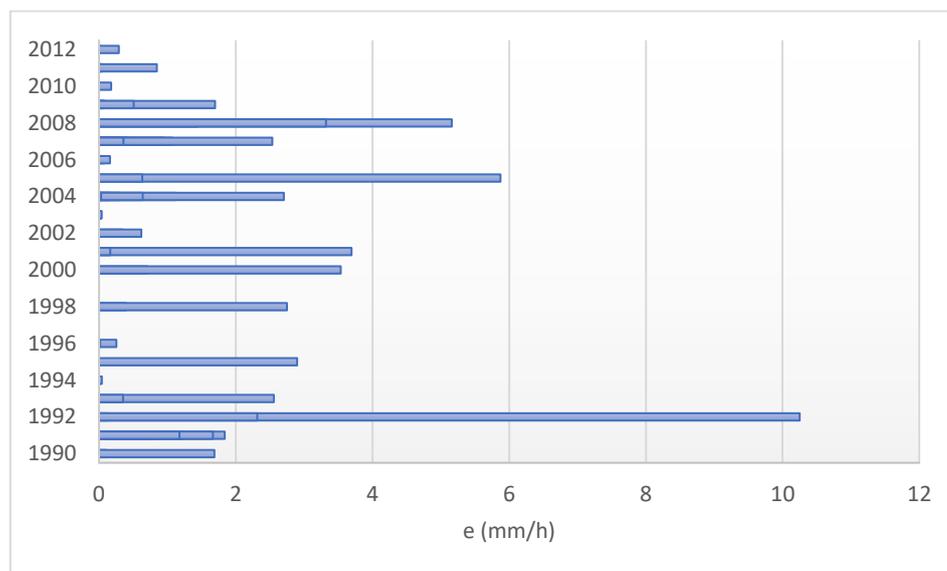


Figura 51 Datos del registro de intensidad de exceso de precipitación  $P_o=35$  mm.

En la Figura 52 se observa una gráfica con los hidrogramas obtenidos mediante el cálculo de la onda cinemática para el jardín del río Turia, para un evento con las siguientes características: intensidad de exceso de precipitación  $e=2.6$  mm/h, varias longitudes representativas,  $n=0.050$  y pendiente  $p=0.050$ . En dicha gráfica, se aprecia la importancia de las longitudes representativas de las cuencas, ya que influye directamente en el caudal desaguado, así como también en el tiempo de equilibrio, es

decir que, para un mismo evento de precipitación, pero en cuencas con diferentes longitudes se tiene que a mayor longitud mayor caudal y mayor tiempo de equilibrio.

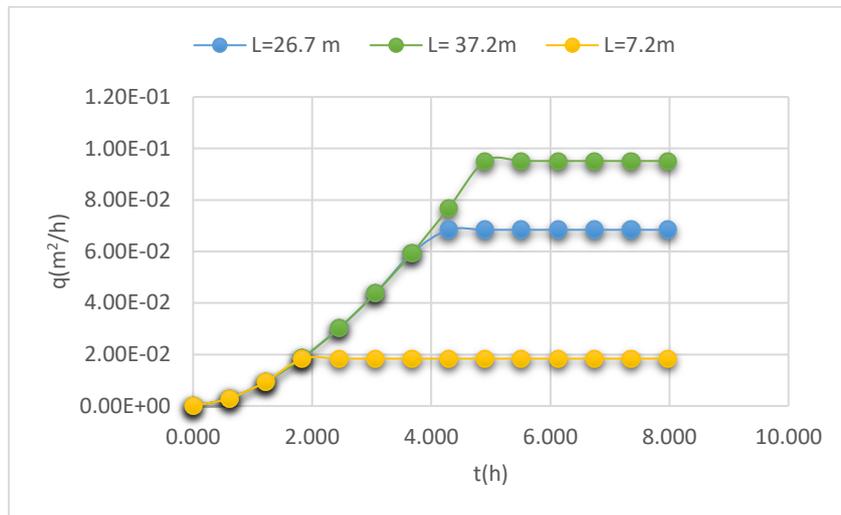


Figura 52 Hidrogramas para el Jardín del Río Turia con diferentes longitudes.

En la Figura 53 se muestra una gráfica para el mismo evento de precipitación ( $e=2.6$  mm/h) para otra cuenca del jardín del Río Turia, de longitud de área verde de  $L=12.6$  m y una comparación entre los resultados obtenidos para diferentes las pendientes. En este caso, la variación de la pendiente no representa un aumento o disminución significativa del caudal y del tiempo de equilibrio.

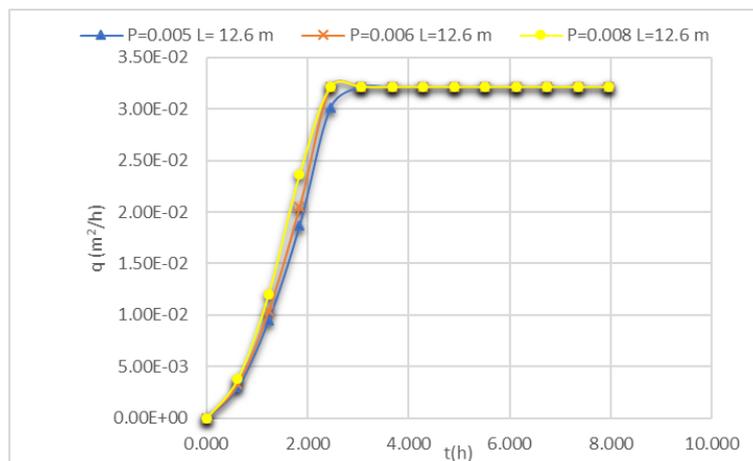


Figura 53 Hidrogramas para el jardín del Río Turia con diferentes pendientes.

En la Figura 54 se muestra otro ejemplo de resultados obtenidos para una cuenca del río Turia, comparando los resultados de los hidrogramas obtenidos para diferentes rugosidades “n” de Manning. Al realizar la comparación, nos podemos dar cuenta que

la variación de Manning entre 0.050 y 0.070 no afecta de manera importante la cantidad de caudal desaguado, sino que a mayor rugosidad “n” se retrasa el tiempo de equilibrio.

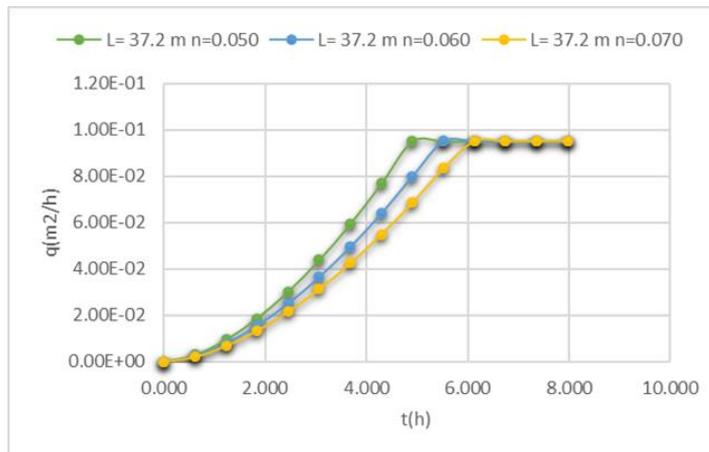


Figura 54 Hidrogramas para el Jardín del Río Turia con diferentes rugosidades

De la misma manera, se analizaron varias cuencas para el parque Marxalenes con sus respectivas características físicas y se realizó el cálculo de los hidrogramas para diferentes intensidades de exceso de precipitación. En la Figura 55 se muestra una gráfica resumen de los hidrogramas de salida para diferentes eventos de precipitación, considerando una cuenca de longitud  $L=1.6$  m, pendiente  $p=0.005$  y  $n=0.050$ .

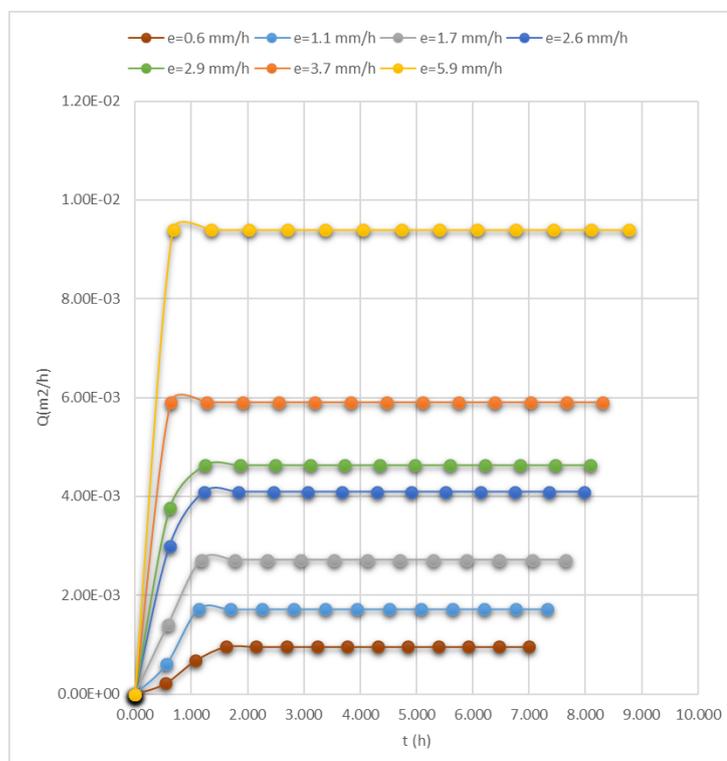


Figura 55 Hidrogramas de salida para el Parque Marxalenes.

En este gráfico, los eventos de precipitación más habituales presentan tiempos de respuesta que sobrepasan los 60 minutos, lo cual nos aporta un resultado muy importante, ya que, según la Normativa del diseño de obras de Saneamiento de la ciudad de Valencia, el valor de diseño para el tiempo de respuesta es de 40 minutos. Por este motivo, se podría descartar el volumen de la escorrentía producido en los jardines del diseño del caudal punta para las obras de drenaje.

En la Tabla 16 se muestra una comparativa de la misma cuenca de estudio de L=1.6 m, considerando varias pendientes representativas del Parque Marxalenes:

Tabla 16 Comparación de tiempos de equilibrio en una cuenca del parque Marxalenes

		P=0.008	P=0.006	P=0.005
N.º	e (mm/h)	Te (min)	Te (min)	Te (min)
1	0.6	69.0	75.2	79.4
2	1.1	27.6	30.1	31.8
3	1.7	45.4	49.5	52.3
4	1.8	<b>36.7</b>	40.0	42.2
5	2.6	<b>38.5</b>	42.0	44.4
6	2.9	<b>36.7</b>	40.0	42.2
7	3.7	<b>33.3</b>	<b>36.3</b>	<b>38.3</b>
8	5.9	<b>27.6</b>	<b>30.1</b>	<b>31.8</b>

Los tiempos de respuesta observados en la tabla comparativa, nos permiten analizar que a pesar de tratarse de una longitud de área verde pequeña (L=1.6 m), en su mayoría sobrepasan los 40 minutos de la normativa. Se puede observar que para los eventos de “e” mayores a 2.6 mm/h en longitudes pequeñas el tiempo de respuesta puede llegar a ser que menor al tiempo de viaje de diseño mencionado.

#### 6.4.1 LONGITUD MÍNIMA RECOMENDADA DE DISEÑO DE JARDIN

Con el objetivo de realizar un diseño de jardín sostenible, se ha decidido proponer una longitud mínima del área verde. Con esta longitud recomendada de diseño, se quiere lograr el aprovechamiento de la escorrentía mediante la infiltración y almacenamiento en el propio jardín, es decir, con ello se plantea la hipótesis de eliminar del cálculo del diseño del caudal punta en el diseño de la red de saneamiento de la ciudad de Valencia las escorrentías producidas en los jardines urbanos. Esta hipótesis de reducción de la cantidad de caudal punta, representaría un ahorro significativo durante

los episodios de lluvia torrenciales, en lo relativo a la gestión de cantidad del recurso, a su vez también representa un ahorro económico ya que reduce los costes de riego del propio jardín.

Para el cálculo de la longitud mínima se ha considerado un tiempo de retorno de T=25 años. La normativa de la ciudad de Valencia, tiene establecida una curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para el tiempo de retorno mencionado, dicha curva es válida para un tiempo de duración de la tormenta entre 10 y 99 minutos. En este caso, los eventos de lluvia habituales seleccionados para el cálculo de la onda cinemática sobrepasan los 99 minutos. Por este motivo, se ha decidido calcular nuevamente una nueva curva IDF con el total de los eventos de estudio. En el anexo “F” se muestra con detalle la información curva IDF conseguida.

La curva I-D-F obtenida es la siguiente:

$$I = \frac{385.3376 * T^{0.209167}}{t^{0.61885}}$$

Donde:

I [LT<sup>-1</sup>]: intensidad en mm/h

T [T] = tiempo de retorno en años.

t [LT<sup>-1</sup>]=tiempo de duración de la tormenta en minutos.

Con T=25 años y t =462.6 min (duración promedio de los eventos más habituales) se ha obtenido lo siguiente información: (Tabla 17).

Tabla 17 Valores de Intensidad, precipitación, intensidad de exceso para T=25 años.

I(mm/h)	P(mm)	e (mm/h)
16.94	130.6	<b>12.56</b>

Con valor de “e” de la Tabla 17 se ha calculado la longitud mínima recomendada, para que la zona verde no sobrepase el tiempo de respuesta de la Normativa de Valencia (t<sub>e</sub>=40 minutos). En la Tabla 18 se muestra un resumen de las longitudes, pendientes promedio, y tiempo de equilibrio calculado.

Tabla 18 Tabla de longitudes mínimas recomendadas para la longitud de la zona verde del jardín

L (m)	P=0.005		P=0.006		P=0.008	
	te(h)	te (min)	te(h)	te (min)	te(h)	te (min)
0.8	0.26	15.49	0.24	14.67	0.22	13.46
1.6	0.39	23.48	0.37	22.23	0.34	20.39
2.0	0.45	26.85	0.42	25.42	0.39	23.32
3.0	0.57	34.24	0.54	32.42	0.50	29.74
3.5	0.63	37.56	0.59	35.56	0.54	32.62
4.0	0.67	40.45	0.64	38.29	0.59	35.13
4.3	0.71	42.50	0.67	40.23	0.62	36.91
4.6	0.74	44.25	0.70	41.90	0.64	38.43
5	0.78	46.52	0.73	44.05	0.67	40.40
6.0	0.86	51.90	0.82	49.14	0.75	45.07
7.0	0.95	56.93	0.90	53.90	0.82	49.44
9.0	1.10	66.19	1.04	62.67	0.96	57.49
10.0	1.18	70.51	1.11	66.76	1.02	61.24
12.6	1.35	81.00	1.28	76.69	1.17	70.35
17.0	1.62	96.95	1.53	91.79	1.40	84.20
26.0	2.08	125.10	1.97	118.44	1.81	108.65
37.0	2.58	154.59	2.44	146.36	2.24	134.26
40.0	2.70	162.00	2.56	153.37	2.34	140.69

En la Tabla 18 se observa que la longitud mínima del área verde debe ser mayor a 4 metros, para que el tiempo de respuesta sea menor a 40 minutos.

## 7 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE JARDINES URBANOS

En este capítulo se plantearán algunas recomendaciones para el diseño sostenible de jardines urbanos tomando en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio y de la revisión del estado del arte:

### 7.1 ZONAS VERDES

Longitud del área verde debe diseñarse mayor a 4 metros ( $L > 4$  m), con el fin de aprovechar la escorrentía del jardín y disminuir el caudal punta desaguado. Según la siguiente formula:

$$L = \frac{2 * \text{Área}}{\text{Perímetro}}$$

- ✓ Diseño de zonas verdes homogéneas y en mayor proporción en la relación con el área pavimentada.
- ✓ Selección adecuada de las plantas de acuerdo a la zona, en este caso como Valencia se caracteriza por tener el clima Mediterráneo, es conveniente elegir plantas autóctonas de la península ibérica, con esto se garantiza un ahorro del recurso y a su vez respeta las condiciones medioambientales.
- ✓ Escoger siempre pradera en vez de césped. La otra opción al césped son las plantas cobertoras y tapizantes.
- ✓ Creación de zonas verdes deprimidas con respecto a las superficies pavimentadas, con el fin de aprovechar las escorrentías para satisfacer las necesidades de las plantas.

### 7.2 ZONAS PAVIMENTADAS

- ✓ Tratar de minimizar en lo posible las superficies impermeables.
- ✓ Sustituir las superficies asfaltadas e impermeables por pavimentos permeables y caminos que potencien la infiltración.
- ✓ Diseñar los caminos pavimentados con pendientes que faciliten el transporte de la escorrentía hacia las zonas verdes o de captación.

### 7.3 RIEGO

Proponer un sistema de riego eficiente, este un aspecto fundamental, ya que elegir un buen sistema de riego aumenta significativamente el ahorro hídrico. En este

estudio se puede recomendar el riego por goteo que tenga sensores de temperatura, humedad y viento. Evitar en lo posible la modalidad de riego por superficie.

#### 7.4 SISTEMA DE RECOGIDA DE AGUAS PLUVIALES.

La reutilización del agua de lluvia para el riego de los jardines urbanos es de gran importancia para que el diseño del jardín sea sostenible, esta medida no solo evita que se tenga un menor consumo en el riego, sino que también disminuye la cantidad de agua pluvial que se va a los colectores, es decir, de esta manera se pueden prevenir los colapsos en la red de saneamiento durante las lluvias torrenciales. En este trabajo se recomienda añadir un sistema de recogida de aguas pluviales integrado en el jardín mediante las técnicas de los SUDS, entre los cuales se mencionan a continuación:

##### ✓ **Pavimentos permeables:**

Las superficies permeables permiten que el agua se infiltre verticalmente, aumentando la posibilidad que esta agua sea captada para su reutilización. Estas superficies, además de atenuar el caudal punta de la escorrentía, tienen otra ventaja importante que es mejorar la calidad del agua captada (eliminando contaminantes tales como aceites, grasas, metales, sólidos en suspensión). Los pavimentos pueden ser vegetados y o no vegetados, continuos o discontinuos.



Figura 56 Pavimento Permeable. (Fuente: susdrain.org)

##### ✓ **Pozos y zanjas de infiltración:**

Se utilizan para captar y almacenar el agua de la escorrentía hasta que se produce la infiltración de la misma al terreno natural. En este caso, estos sistemas se suelen situar en las zonas verdes y cunetas, proporcionando un nuevo elemento del diseño del jardín para el paisajista.



Figura 57 Pozo de infiltración. (Fuente: Hydro International)

✓ **Depósitos de infiltración:**

Son depresiones del terreno cubiertas de vegetación o embalses con el fin de captar, almacenar e infiltrar la escorrentía. De esta manera, la escorrentía superficial se transforma en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de los contaminantes.



Figura 58 Depósito de infiltración. (Fuente: Construnario.com)

✓ **Drenes filtrantes**

Son superficies constituidas de materiales permeables que permiten la filtración de agua al igual que los pavimentos permeables, pero con la diferencia que éstos permiten el transporte hacia otro sistema.

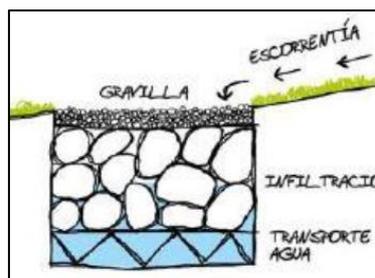


Figura 59 Dren filtrante. (Fuente: ovacen.com)

En la Figura 60 se muestra un ejemplo de una sección transversal de un parque, el cual tiene integrado un sistema de drenaje que permite el aprovechamiento de la escorrentía para cubrir las necesidades hídricas de las plantas. Se pueden observar que tiene zonas de infiltración con arena lavada, las pendientes están diseñadas para que el agua se vaya a los puntos de recolección (celdas de drenaje, sumideros permeables, canales/tanques de percolación).

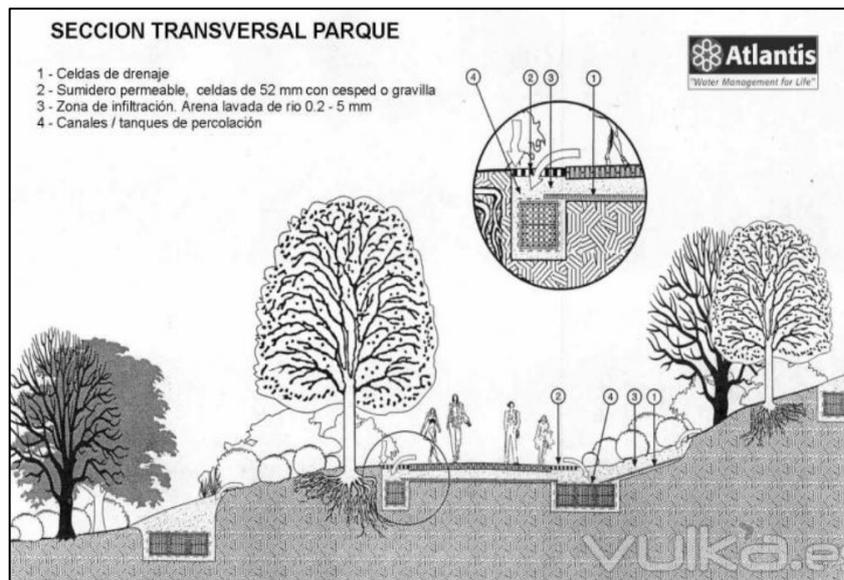


Figura 60 Sección transversal del de un parque. Fuente: Atlantis.

En la Figura 62 se muestra otro ejemplo en un campo de golf que puede ser aplicado en el diseño de los jardines urbanos. En dicha figura se plantea un sistema de drenaje eficiente con máxima recuperación y reutilización del agua, es decir, la escorrentía se capta en las zonas deprimidas o de cotas más baja para su futura reutilización.

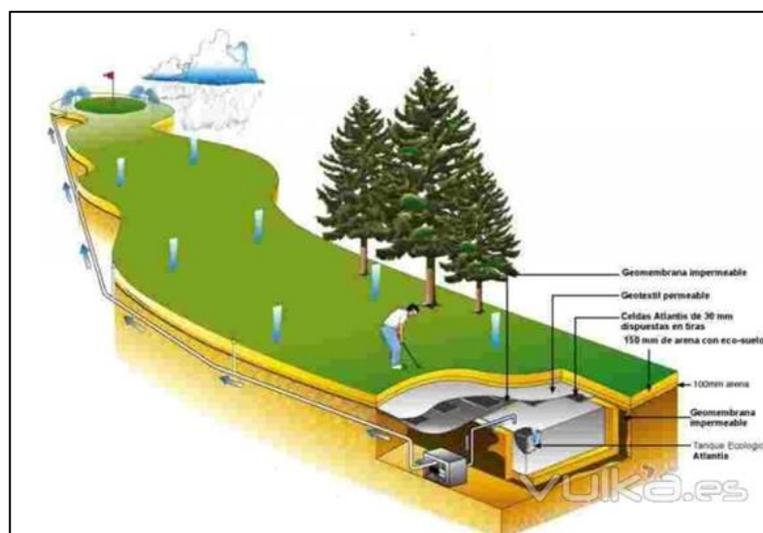


Figura 61 Sistema de drenaje eficiente con recuperación del agua en un campo de golf. Fuente: Atlantis.

## 8 PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOGIDA DE AGUAS PLUVIALES

### 8.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN DE SUDS A UN JARDÍN URBANO (PARQUE MARXALENES)

El parque Marxalenes en la 2da fase cuenta con un sistema de riego inundado por canales (ver Figura 62), el cual permite regar los pequeños campos de cultivo denominados arriates, esta ampliación del Parque Marxalenes posee un área de 10.988 m<sup>2</sup>. En esta zona dedicada a la huerta se han plantado diversas especies de plantas aromáticas y medicinales propias del Mediterráneo.



*Figura 62 Parque Marxalenes 2da Fase. (Fuente: Ayuntamiento de Valencia)*

El sistema de riego por inundación es uno de los más antiguos, en el cual se requieren ciertas estructuras de canalización del agua hacia la parcela. Con esta técnica se pierde una parte importante del agua a causa de la evaporación ya que está expuesta directamente al sol y al viento. Se debe destacar que este tipo de sistemas se utiliza en zonas con abundancia de agua y es bastante insostenible en zonas de escasez.

Se ha realizado una propuesta inicial utilizando las técnicas de drenaje sostenible (SUDS), como un ejemplo de aplicación al Parque Marxalenes. En la Figura 63 se muestra un planteamiento de algunas modificaciones preliminares que se podrían haber considerado en el diseño del parque Marxalenes antes de su construcción.

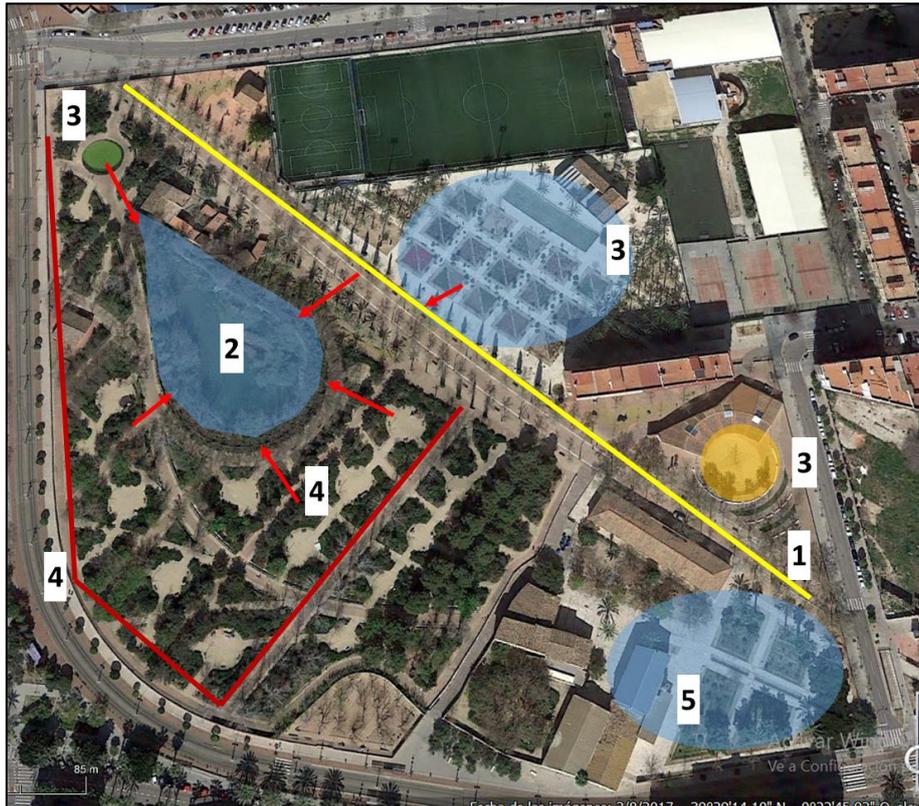


Figura 63 Parque Marxalenes. Planteamiento de diseño con SuDS. Fuente: Propia

Leyenda:

1. Pavimentos permeables
2. Estanque de Retención
3. Depósito de infiltración
4. Drenes filtrantes y cunetas verdes
5. Pozos de infiltración

Con este planteamiento lo que se busca es integrar el jardín con un diseño adecuado para potenciar la infiltración en las zonas verdes utilizando pavimentos permeables, laminación, sistemas de transporte y tratamiento para el almacenamiento del agua pluvial.

En la zona impermeable donde se encuentran las edificaciones del jardín se pueden plantear pozos de infiltración, en lugar de uso de imbornales, como se muestra en la Figura 64. Los cuales se conectan a un depósito de almacenamiento para su la reutilización del agua pluvial.



Figura 64 Pozos de infiltración conectados a depósito de almacenamiento. Fuente: Hydro International

En cuanto a los costes del proyecto, en lo que se refiere a la construcción se puede decir que no varían mucho con respecto al sistema convencional de un jardín normal, en la Tabla 19 se muestra una comparación entre ambos sistemas.

Tabla 19 Comparación de costes entre un sistema de drenaje convencional y los SUDS

Costes	Sistemas convencionales colectores	SUDS
Costes de construcción	Equivalentes, aunque los usos indirectos de los SUDS reducen su coste real	
Costes de operación y mantenimiento	Establecido	No
Control de inundaciones en la propia cuenca	Si	Si
Control de inundaciones aguas abajo	No	Si
Reutilización	No	Si
Recarga/Infiltración	No	Si
Eliminación de contaminantes	Baja	Alta
Beneficios al ciudadano	No	Si
Vida útil	Establecida	No establecida: falta de experiencia
Requerimientos de espacio	Insignificantes	Dependiendo del sistema, pueden ser importantes
Criterios de diseño	Establecidos	No establecida: falta de experiencia

Fuente: Buenas Prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid.

## CONCLUSIONES

En la revisión del estado del arte, se encontró muy poca información en experiencias de implantación en España de jardines urbanos sostenibles, tampoco se cuenta con una normativa actual en cuanto al diseño de jardines urbanos desde el punto de vista de la sostenibilidad en la ciudad de Valencia.

De los resultados obtenidos del capítulo 4, análisis de la demanda hídrica, se puede decir que la función exponencial utilizada para la estimación de la precipitación en la ciudad de Valencia para los eventos comprendidos entre 1990-2012, arrojó resultados lógicos y aceptables, al comparar el valor de la precipitación total anual obtenido en el presente trabajo que fue **443.4** mm, al comparar este valor con el de la *Tabla 2* tomado de los datos de la AEMET es de **475** mm, con lo cual nos podemos dar cuenta que el resultado se encuentra en el mismo orden de magnitud.

Analizando los resultados de producción de escorrentía, para los eventos que no producen escorrentía en las zonas verdes de los jardines urbanos ( $E = 0$  mm) se tienen valores muy bajos de precipitación promedio, variando entre 4 y 11 mm, a diferencia de los eventos en los cuales si se produce escorrentía ( $E > 0$  mm) donde varían entre 35 y 115 mm. Estos datos de precipitación promedio son de gran utilidad para la zona verde del jardín, ya que sirven de referencia para determinar a partir de qué valor de precipitación se empieza la producción de la escorrentía en el jardín.

Debido a la falta de datos de infiltración del terreno y de umbrales de escorrentía de Valencia, se decidió trabajar con umbrales de referencia  $P_0$  para el método del SCS tanto para la zona verde del jardín como para la zona de tierra compactada. En este contexto, al analizar el gráfico de la *Figura 47 Valores calculados de escorrentía con el método SCS para diferentes umbrales  $P_0$  (zona verde).*, se puede evidenciar que las escorrentías obtenidas con el método SCS para la zona verde del jardín, difieren muy poco entre sí, de tal forma que este valor de umbral  $P_0$  no tiene importancia a la hora de realizar los balances hídricos, caso contrario en la estimación de la producción de sedimentos a nivel de caudal, donde si tiene mucha más importancia conocer este valor de manera precisa.

En los estudios de la sostenibilidad de los jardines existentes en la ciudad de Valencia, debido al clima mediterráneo y los balances hídricos realizados para la zona verde, se demuestra que los jardines necesitan regarse obligatoriamente en los meses a partir de abril hasta septiembre. Por otra parte, en los resultados obtenidos de los volúmenes de escorrentía, se demuestra que los efectos de las proporciones de los diferentes tipos de superficies del jardín (zona verde, tierra compactada y pavimento) juegan un papel importante en la sostenibilidad del jardín, en cuanto a la producción de escorrentía y aprovechamiento del agua, es decir, los jardines con más cantidad de zona impermeable y zonas de área verde no homogénea presentan menos sostenibilidad que los jardines que son más parecidos a las zonas verdes naturales.

En los jardines construidos más recientemente como los primeros tramos del jardín del Turia y el parque Marxalenes presentan un área mayor de zonas impermeable, lo que trae como consecuencia mayor producción de escorrentía, y al no tener un buen sistema de aprovechamiento de aguas pluviales no son sostenibles desde el punto de vista de riego.

Otro punto importante de la sostenibilidad es la construcción de zonas verdes no homogéneas en el jardín, lo cual no permite una producción de escorrentía uniforme en los pequeños recuadros o figuras, ya que de esta manera no puede producirse un transporte uniforme de la escorrentía haciendo que se pierda la cantidad de agua que puede ser aprovechada en otras zonas verdes del jardín. Por lo tanto, los jardines más antiguos se consideran más viables desde el punto de vista de la sostenibilidad, ya que presentan diseños más homogéneos y con menos proporción de áreas pavimentadas.

Las aguas pluviales recogidas, filtradas y almacenadas de forma adecuada representan una fuente alternativa de agua de buena calidad que puede destinarse a cubrir las necesidades de los jardines estudiados en el presente trabajo, lo cual puede suponer un ahorro de gran importancia en lo que se refiere al riego de los jardines urbanos, es decir, con los resultados obtenidos de volúmenes de escorrentía para cada jardín se puede apreciar, que si la escorrentía producida en las zonas de tierra compactada y las zonas pavimentadas, fueran captadas y almacenadas para su posible reutilización en los eventos de precipitación, puede llegar a cubrir en gran parte la demanda del jardín.

Con relación a los resultados obtenidos de la modelación de la onda cinemática en laderas, resalta que los tiempos de equilibrio obtenidos para los hidrogramas analizados poseen un tiempo de respuesta muy lento, lo que nos indica que la escorrentía tarda mucho en llegar al punto de desagüe. Por esta razón, la escorrentía producida en el área de los jardines urbanos se puede descartar del cálculo del caudal punta para el diseño del drenaje. Esta hipótesis puede lograrse estableciendo una longitud de diseño mínima de la zona verde de los jardines, para que cumpla con un tiempo de respuesta mayor de los 40 minutos establecidos por la normativa del Ayuntamiento para las obras de saneamiento de la ciudad de Valencia, y de esta manera se disminuye el caudal del diseño. Esto representa un gran ahorro económico y aprovechamiento del recurso, ya que al disminuir el caudal punta de diseño se disminuyen los costes en las obras y la gestión del saneamiento, al mismo tiempo, se potencia la infiltración en los jardines para su futuro aprovechamiento. En este estudio se ha obtenido que la longitud de diseño mínima obtenida para un tiempo de retorno  $T=25$  años es de  $L_{\min}=4$  metros.

Por último, con el fin de mejorar los futuros proyectos, se recomienda plantear un marco legal que regule los diseños de los jardines urbanos y espacios verdes en la ciudad de Valencia, que incluya utilización de superficies permeables similar a la Normativa “Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid”, y que también incluya medidas de implementación de SuDS para la captación del agua de lluvia a través del jardín para su futura sostenibilidad.

## LÍNEAS FUTURAS

De las posibles líneas de investigación que pueden surgir de este trabajo de fin de Máster se encuentran las siguientes:

- ✓ Buscar información sobre datos de infiltración del suelo en Valencia, realizando ensayos y medidas reales en campo para aplicar diferentes modelos de producción de escorrentía y comparar con los resultados teóricos obtenidos en el presente estudio.
- ✓ Comparar los valores de los balances hídricos con los datos de riego reales de los jardines urbanos.
- ✓ Realizar un análisis de la producción de los sedimentos existentes en los jardines que son arrastrados por las escorrentías hacia los colectores, y estudiar el impacto que tendrían en los sistemas de saneamiento.
- ✓ Simular el funcionamiento del drenaje de los jardines urbanos utilizando las técnicas de los SUDS además de captar las aguas de lluvia para su posible reutilización y comparar frente al sistema de drenaje convencional real.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Estatal de Meteorología. (2012). “Valores climatológicos normales”.  
<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=8416&k=val>.
- Asociación Española en Centros de Jardinería. (2017). “Un jardín de xerófitas, un jardín sostenible”.[http://www.verdeesvida.es/jardines\\_y\\_terrazas\\_1/un\\_jardin\\_de\\_xerofitas-\\_un\\_jardin\\_sostenible\\_39](http://www.verdeesvida.es/jardines_y_terrazas_1/un_jardin_de_xerofitas-_un_jardin_sostenible_39)
- Aquaval (2010). “La gestión eficiente del agua de lluvia en entornos urbanos”. Aquaval Project Newsletter I Diciembre 2010. Ayuntamiento de Xátiva.  
[http://www.aquavalproject.eu/adaptingsystem/intercambio/descargas/es/descargables/AQUAVAL\\_newsletter\\_I.pdf](http://www.aquavalproject.eu/adaptingsystem/intercambio/descargas/es/descargables/AQUAVAL_newsletter_I.pdf)
- Ayuntamiento de Valencia (2009) “Guía de jardines históricos y parques urbanos de la ciudad de Valencia”.<https://www.valencia.es/ayuntamiento/laciudad.nsf/vDocumentosTituloAux/Jardines%20históricos%20y%20parques%20urbanos?opendocument&lang=1&nivel=7>.
- Ballester J., Peris P., Perales Momparler S., Andrés-Doménech, I., y Escuder Bueno, I. (2015). “El agua en Benaguasil un viaje en el tiempo”.  
<http://www.benaguasil.com/wp-content/uploads/2015/07/TOMO-1-El-Agua-de-Benaguasil.pdf>
- Bonells, J. (2016). “La jardinería sostenible en los espacios verdes urbanos”.  
<https://jardinessinfronteras.wordpress.com/2016/12/09/la-jardineria-sostenible-en-los-espacios-verdes-urbanos/>
- Buenas Prácticas En Arquitectura Y Urbanismo (2009). Área De Gobierno De Urbanismo Y Vivienda Del Ayuntamiento De Madrid. I.S.B.N 978-84-7812-718-4.
- Campos Aranda D. (2009) “Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana”. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Ing. Investigación. y Tecnología. vol.11 no.2 México. ISSN 1405-7743.

- Chow Ven T., (1959). "Open-Channel Hydraulics". McGraw-Hill Book Company. New York.
- Chow Ven T., Maidment D., Larry W. (1994). "Hidrología Aplicada". McGraw-Hill Interamericana, S.A. Transversal 42 B No. 19-77 Santafé de Bogotá, Colombia.
- Courant R., D. Hilbert. (1962). "Methods of Mathematical Physics". V2. Willey-Interscience, New York. 830 pp.
- Daz Topografía (2017). "Parque Inundable La Marjal".  
<http://www.daztopografia.com/proyectos/urbanizacion>.
- Damodaram C., Giacomoni M., Prakash C., Holmes H., Ryan A. y Saour W. (2010). "Simulation of Combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Stormwater Management". Paper No. JAWRA-09-0192-P of the Journal of the American Water Resources Association.
- Elmqvist T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotulio, P. J. (2013). "Stewardship of the biosphere in the Urban Era. In Elmqvist T. et al. (Ed.) Urbanization, biodiversity and ecosystem services. Springer" Paper 1-38. Doi: 10.1007/978-94-007-7088-1\_11.
- Febles-Doménech, M., Perales-Momparler, S., y Soto, R. (2009). "Innovación y Sostenibilidad en la Gestión del Drenaje Urbano: Primeras Experiencias de SuDS en la Ciudad de Barcelona". Jornadas de Ingeniería Del Agua. CEDEX. Madrid.
- García J., González I., Nuevo M., Piñango M., Rubí M., y Tejero E. (2007). "Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid". Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad, Ayuntamiento de Madrid Dirección General de Patrimonio Verde Dirección General de Sostenibilidad y Agenda 21. 66 pp.
- Hidraqua (2013): "Hidraqua se posiciona como modelo de reutilización de aguas para el ahorro hídrico y económico de los ciudadanos"  
<http://www.hidraqua.es/es/noticias/19/48/hidraqua-se-posiciona-como-modelo-de-reutilizacion-de-aguas-para-el-ahorro-hidrico-y-economico-de-los-ciudadanos>

- Hoggan D. (1996). "Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics" Ed. Mc Graw-Hill. New-York.
- Lighthill, M.J. and Whitham, G.B. (1955). "Kinematic waves". Proceedings Royal Society London. Volume 229, 1955, pp 281-316.
- Lozano S. (2010). "Análisis de la Ciudad de Valencia". Tesis de Máster de Jardinería y Paisaje. Universidad Politécnica de Valencia.
- López M. (2008). "Parques y Jardines urbanos espacios para la sostenibilidad". Revista medio ambiente Castilla La Mancha. <http://www.revistamedioambientejccm.es/articulo.php?id=16&idn=29>
- MacArthur R., DeVries J. (1993). "Introduction and Application of Kinematic Wave Routing Techniques Using HEC-1". US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources. Hydrologic Engineering Center (HEC). Davis.
- Marco J., Andrés-Doménech I. (2012). "Estudio hidrológico de precipitaciones y frecuencia de caudales en la desembocadura del azarbe de la margen izquierda del río Turia". Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.
- Martínez, J. (2006). "Agua y sostenibilidad: algunas claves desde los sistemas áridos". Revista Latinoamericana, (14), 6. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/citart?info=link&codigo=2225889&orden=107226>
- Morales A., Escuder I., Andrés-Doménech I. y Perales S. (2016). "Herramienta de ayuda a la toma de decisiones de drenaje urbano con foco en la sostenibilidad". Instituto de ingeniería del agua y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.
- Nuestro Futuro Común o Informe Brundtland. Comisión Mundial de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (1987).
- Overton, D.E. y Meadows, M.E. (1976). "Stormwater Modeling, Academic Press". New York.

Perales, S. y Andrés-Doménech I. (2007). “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible una alternativa a la gestión del agua de lluvia. Equipamiento y Servicios Municipales”. Pp 66-77.

Perales S., Andrés-Doménech I. (2016). “Retos para la integración de los sistemas de drenaje sostenible en los procesos de planificación vigentes”. IX Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Valencia.

Perales S., Peris P. (2016). “La apuesta por la infraestructura verde urbana para la gestión de pluviales tiene premio”. Congreso Nacional del Medio Ambiente 2016 Madrid.

U.S. Geological Survey (2016). “El ciclo del agua: The water cycle”.  
<https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>.

## ANEXOS

**ANEXO "A" RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE  
LOS JARDINES URBANOS DE LA CIUDAD DE VALENCIA.**

**Tabla I. Clasificación de áreas Jardín Río Turia**

Tramo	Área Total (m <sup>2</sup> )	Área de Zona Verde		Área de Zona de tierra compactada	Área de Zona Pavimentada	Área Promedio	Perímetro promedio	Longitud de área verde (2A/P)
		Homogéneo (m <sup>2</sup> )	No homogéneo (m <sup>2</sup> )					
Tramo 1 Oceanografic y Ágora	235,455.6		73,051.1	48,232.1	114,172.4	1,051.4	167.2	12.6
Tramo 2 Museo de las Ciencias y Hemisferic	212,149.4		58,021.6	9,037.4	145,090.4	3,360.7	251.3	26.7
Tramo 3 Palau de las Artes	132,924.0	49,158.5	1,235.7	11,682.2	70,847.6	4,157.1	267.4	31.1
Tramo 4 Gulliver	29,513.6	14,110.0	0.0	4,621.1	10,782.5	2,313.3	277.2	16.7
Tramo 5 Palau de Música	110,931.5	52,045.1	8,453.8	33,526.2	16,906.4	6,056.3	325.3	37.2
Tramo 6 (Puente de Aragón y Puente de las Flores)	54,373.5	28,075.1	2,807.5	20,957.6	2,533.3	4,615.4	322.7	28.6
Tramo 7 (puente de las flores y Alameda)	48,156.4	17,665.8	0.0	23,349.9	7,140.7	2,791.3	212.2	26.3
Tramo 8 puente Alameda y puente del Real	80,403.6	42,917.9	6,911.4	22,330.1	8,244.2	6,194.8	409.8	30.2
Tramo 9 Puente del Real y Puente la Trinidad	66,551.4	46,813.5	0.0	11,866.0	7,871.8	7,665.0	731.1	21.0
Tramo 10 Puente la Trinidad y Puente del Serrano	52,379.7	9,989.5	12,146.8	27,624.4	2,619.0	4,574.0	281.7	32.5
Tramo 11 Puente del serrano y Puente San Josep XVI	95,101.0	48,136.2	13,063.0	29,276.0	4,625.8	2,663.2	264.5	20.1
Tramo 12 Puente San Josep XVI y Puente de las artes	47,750.5	12,746.2	12,001.1	19,653.5	3,349.7	1,128.4	314.1	7.2
Tramo 13 puente de las artes y Puente de les Glòries Valencianes	100,377.7	75,790.0	2,202.8	17,877.3	4,507.6	11,557.8	534.9	43.2
Tramo 14 Puente de les Glòries Valencianes y Avinguda de Pérez Galdós	78,451.1	22,913.8	8,416.1	37,149.2	9,972.0	1,756.5	255.0	13.8
Tramo 15 entre Avinguda de Pérez Galdós y Puente Nou de Octubre	133,317.0	53,039.8	25,986.2	45,345.0	8,945.9	2,845.6	241.9	23.5
Total	1,477,835.8	473,401.5	224,297.2	362,528.0	417,609.1			

**Tabla II. Clasificación de áreas Blasco Ibáñez**

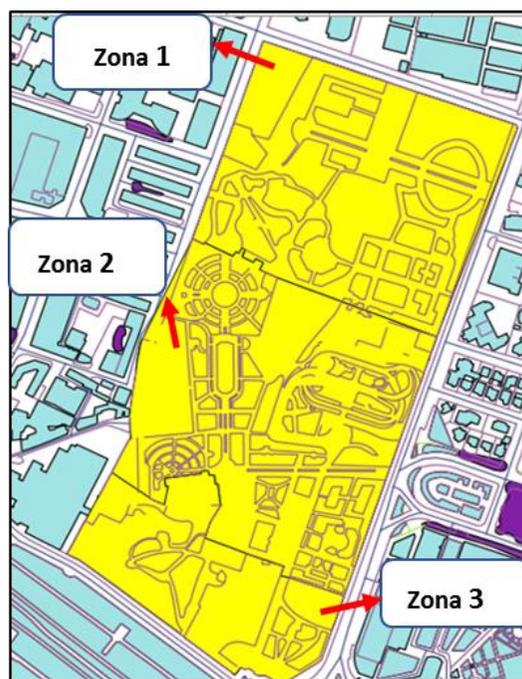
Tramo	Área (m2)	Área de Zona Verde		Área de Zona de tierra compactada	Área de Zona Pavimentada	Área Promedio	Perímetro promedio	Longitud de área verde
		Homogéneo	No homogéneo					
Cuadra 1	4516.0	1707.7		2808.3	0.0	288.2	79.0	7.3
Cuadra 2	5367.0	4293.6		1073.4	0.0	320.8	77.6	8.3
Cuadra 3	4402.9	3082.0		1320.9	0.0	320.8	77.6	8.3
Cuadra 4	3765.3	2635.7		1129.6	0.0	320.8	77.6	8.3
Cuadra 5	9229.0	5537.0		3692.0	0.0	320.8	77.6	8.3
Cuadra 6	7006.0	3810.6	655.0	2540.4	0.0	320.8	77.6	8.3
Cuadra 7	8330.5	4439.4	931.6	2959.5	0.0	278.0	71.5	7.8
Cuadra 8	6948.9	2562.5		2340.4	2045.9	563.9	98.2	11.5
Cuadra 9	20168.0	9724.9		7772.1	2671.0	800.1	126.5	12.6
Cuadra 10	21402.2	6920.5	1916.4	11844.3	721.0	1926.8	312.7	12.3
Cuadra 11	2440.3	1322.2		1118.1	0.0	1322.2	133.8	19.8
Cuadra 12	16261.4	1474.2	1339.604	12531.3	916.3	331.3	168.9	3.9
Cuadra 13	2079.4	1129.7		949.7	0.0	1129.7	129.9	17.4
Cuadra 14	9264.4	3927.5		5337.0	0.0	866.8	150.5	11.5
<b>TOTAL</b>	<b>121181.2</b>	<b>52567.5</b>	<b>4842.6</b>	<b>57417.0</b>	<b>6354.1</b>			



**Tabla III. Clasificación de áreas Jardín del Real o Viveros**

Tramo	Área (m2)	Área de Zona Verde		Área de Zona de tierra compactada	Área de Zona Pavimentada o Impermeable	Área Promedio	Perímetro promedio	índice de compacidad	Longitud de área verde
		Homogéneo	No homogéneo						
zona 1	72092.6	39053.7		30638.0	2400.8	1025.7	136.4	7.5	15.0
zona 2	84632.3		31583.0	48838.3	4211.1	707.5	115.4	6.1	12.3
zona 3	35801.6	26068.2		6213.3	3520.1	2364.6	195.3	12.1	24.2
<b>Total</b>	<b>192526.5</b>	65121.9	31583.0	85689.6	10132.0				

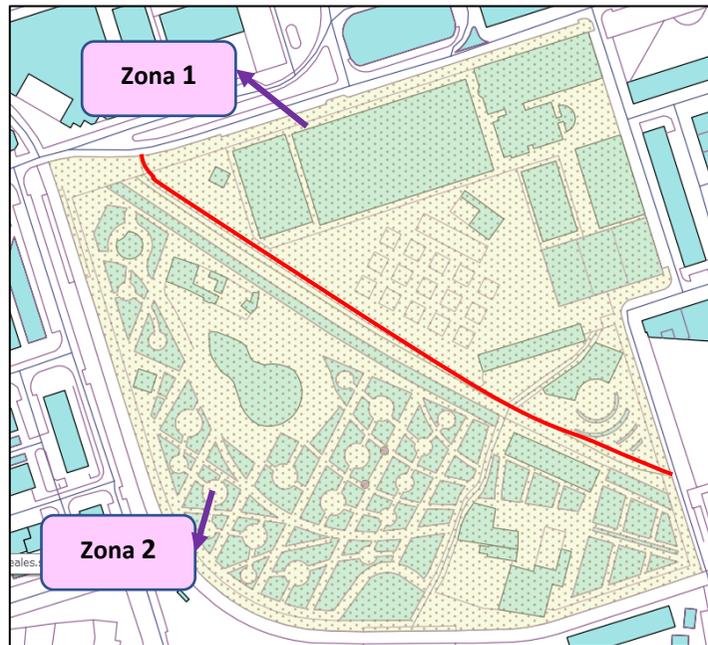
**Ubicación de los tramos Jardín del Real o Viveros**



**Tabla IV. Clasificación de áreas Parque Marxalenes**

Tramo	Área (m2)	Área de Zona Verde		Área de Zona de tierra compactada	Área de Zona Pavimentada o Impermeable	Área Promedio	Perímetro promedio	Longitud de área verde
		Homogéneo	No homogéneo					
Zona 1	36,664.9	7,460.9	1,339.8	1,833.2	2,6031.0	56.1	71.1	1.6
Zona 2	46,160.5	0.0	12,233.1	4,616.1	2,9311.4	69.8	169.0	0.8
<b>Total</b>	<b>82825.4</b>	<b>7460.9</b>	<b>13572.8</b>	<b>6449.3</b>	<b>55342.4</b>			

**Ubicación de los tramos del Parque Marxalenes**



**Tabla V Clasificación de áreas Parque de Cabecera**

Tramo	Área (m2)	Área de Zona Verde		Área de Zona de tierra compactada	Área de Zona Pavimentada o Impermeable	Área Promedio	Perímetro promedio	Longitud de área verde
		Homogéneo	No homogéneo					
Zona 1	334,000.0	137,090.4	6,670.2	163,281.6	26,957.8	6,397.9	582.5	22.0
<b>Total</b>	<b>334,000.0</b>	<b>137,090.4</b>	<b>6,670.2</b>	<b>163,281.6</b>	<b>26,957.8</b>			

**ANEXO "B" RESULTADOS OBTENIDOS DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA  
PARA LA ZONA VERDE DEL JARDÍN**

**Tabla I Precipitación Media Anual para  $P_o= 35 \text{ mm } E=0$ .**

<b>Año</b>	<b>N.º de Eventos</b>	<b>Suma Precipitación</b>	<b>Precipitación Promedio</b>
1990	30	264.40	8.81
1991	28	278.60	9.95
1992	21	146.00	6.95
1993	27	185.40	6.87
1994	17	189.20	11.13
1995	25	155.60	6.22
1996	27	191.80	7.10
1997	37	332.40	8.98
1998	18	163.60	9.09
1999	22	186.40	8.47
2000	21	130.60	6.22
2001	29	260.60	8.99
2002	27	286.20	10.60
2003	23	161.40	7.02
2004	21	167.00	7.95
2005	23	192.20	8.36
2006	25	223.60	8.94
2007	25	253.40	10.14
2008	28	291.40	10.41
2009	24	248.00	10.33
2010	40	304.00	7.60
2011	27	229.60	8.50
2012	19	176.00	9.26

**Tabla II Precipitación Media mensual para  $P_o= 35 \text{ mm } E=0$ .**

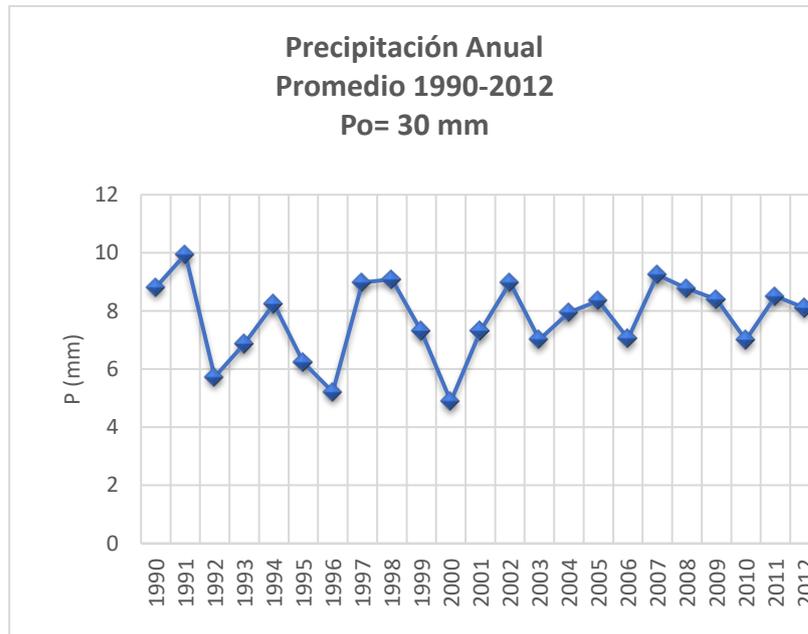
<b>Mes</b>	<b>Precipitación Promedio</b>	<b>N.º de Eventos</b>
Enero	36.43	56
Febrero	24.18	38
Marzo	23.95	42
Abril	27.64	66
Mayo	30.86	49
Junio	13.34	35
Julio	8.11	28
Agosto	17.73	33
Septiembre	33.63	63
Octubre	39.27	73
Noviembre	25.12	41
Diciembre	29.08	60

**Tabla III Precipitación Media Anual para  $P_o= 30$  mm  $E=0$ .**

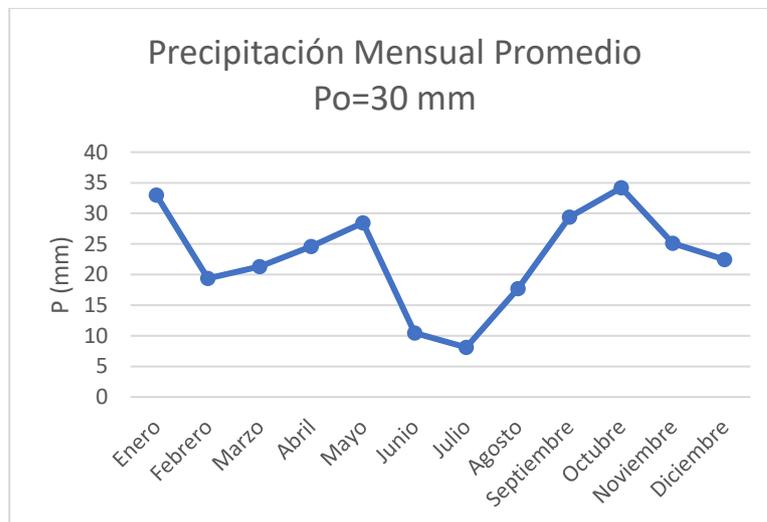
<b>Año</b>	<b>N.º de Eventos</b>	<b>Suma de precipitación</b>	<b>Precipitación Promedio</b>
1990	30	264.40	8.81
1991	28	278.60	9.95
1992	20	114.60	5.73
1993	27	185.40	6.87
1994	15	123.60	8.24
1995	25	155.60	6.22
1996	25	130.40	5.22
1997	37	332.40	8.98
1998	18	163.60	9.09
1999	21	153.60	7.31
2000	20	97.80	4.89
2001	27	197.40	7.31
2002	25	224.60	8.98
2003	23	161.40	7.02
2004	21	167.00	7.95
2005	23	192.20	8.36
2006	23	162.00	7.04
2007	24	222.00	9.25
2008	26	228.00	8.77
2009	22	184.80	8.40
2010	39	273.20	7.01
2011	27	229.60	8.50
2012	18	145.80	8.10

**Tabla IV Precipitación Media mensual para  $P_o= 30$  mm  $E=0$ .**

<b>Mes</b>	<b>Precipitación Promedio</b>	<b>N.º de Eventos</b>
Enero	33.01	53
Febrero	19.38	35
Marzo	21.30	41
Abril	24.58	64
Mayo	28.47	47
Junio	10.44	34
Julio	8.11	28
Agosto	17.73	33
Septiembre	29.39	60
Octubre	34.19	71
Noviembre	25.12	41
Diciembre	22.48	57



*Precipitación promedio Anual Po= 30 mm E=0 mm.*



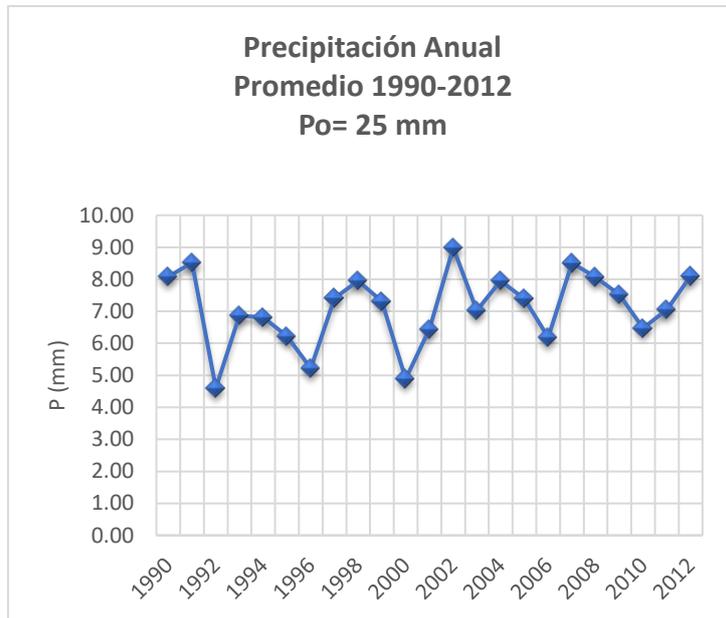
*Precipitación mensual promedio Po= 30 mm E = 0 mm*

**Tabla V Precipitación Media Anual para  $P_o= 25 \text{ mm } E=0$ .**

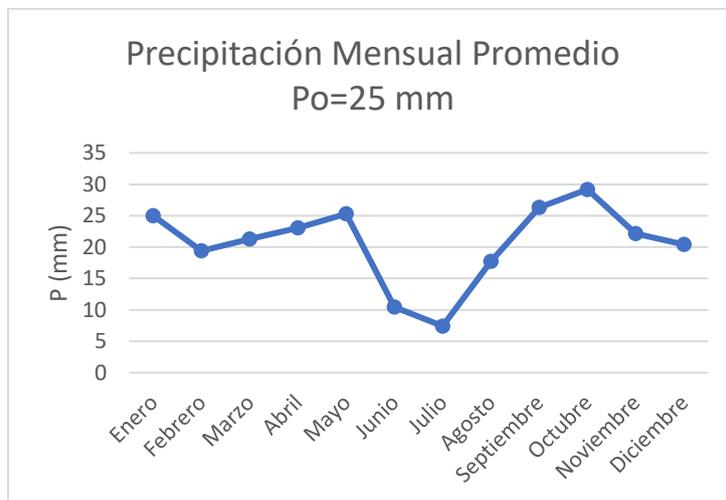
<b>Año</b>	<b>N.º de Eventos</b>	<b>Suma de precipitación</b>	<b>Precipitación Promedio</b>
1990	29	234.40	8.08
1991	26	221.40	8.52
1992	19	87.40	4.60
1993	27	185.40	6.87
1994	14	95.40	6.81
1995	25	155.60	6.22
1996	25	130.40	5.22
1997	34	251.80	7.41
1998	17	135.20	7.95
1999	21	153.60	7.31
2000	20	97.80	4.89
2001	26	167.60	6.45
2002	25	224.60	8.98
2003	23	161.40	7.02
2004	21	167.00	7.95
2005	22	162.60	7.39
2006	22	136.00	6.18
2007	23	195.60	8.50
2008	25	201.80	8.07
2009	21	158.00	7.52
2010	38	246.00	6.47
2011	25	176.40	7.06
2012	18	145.80	8.10

**Tabla VI Precipitación Media mensual para  $P_o= 25 \text{ mm } E=0$** 

<b>Mes</b>	<b>Precipitación Promedio</b>	<b>N.º de Eventos</b>
Enero	25.01	50
Febrero	19.38	35
Marzo	21.30	41
Abril	23.05	61
Mayo	25.30	46
Junio	10.44	34
Julio	7.41	27
Agosto	17.73	33
Septiembre	26.33	58
Octubre	29.19	67
Noviembre	22.15	39
Diciembre	20.44	55



*Precipitación promedio Anual Po= 25 mm E=0 mm*



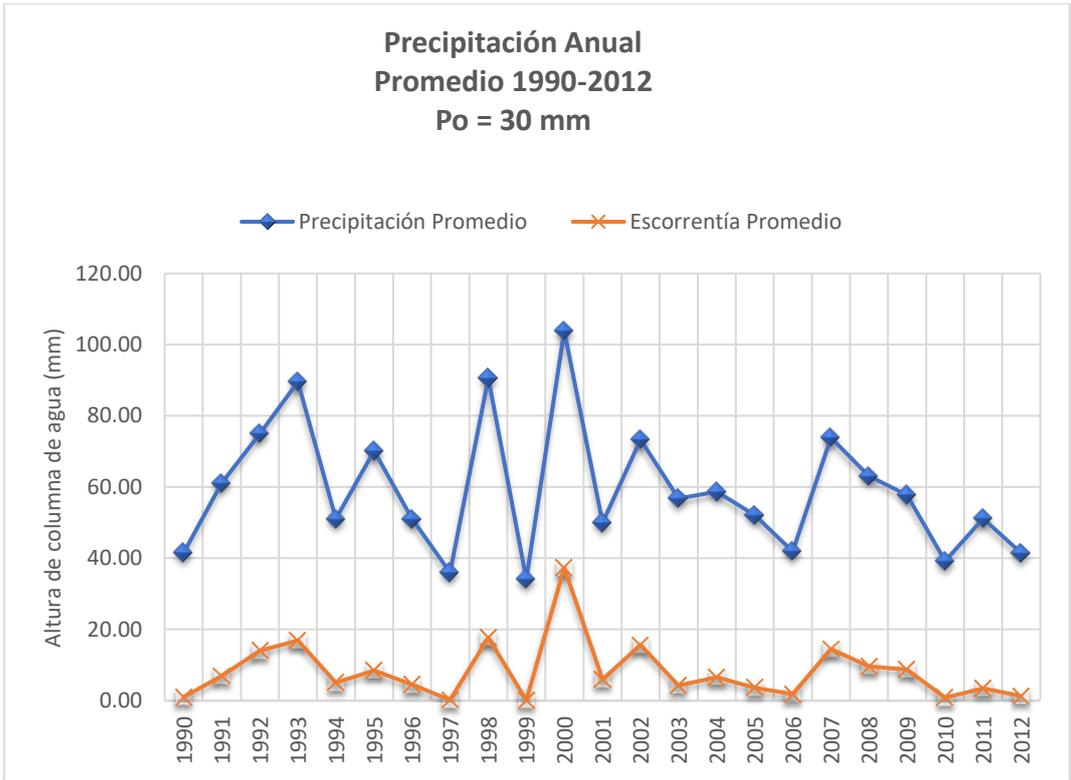
*Precipitación promedio mensual Po= 25 mm E=0 mm*

**Tabla VII Precipitación Media Anual para  $Po= 30 \text{ mm } E > 0 \text{ mm}$ .**

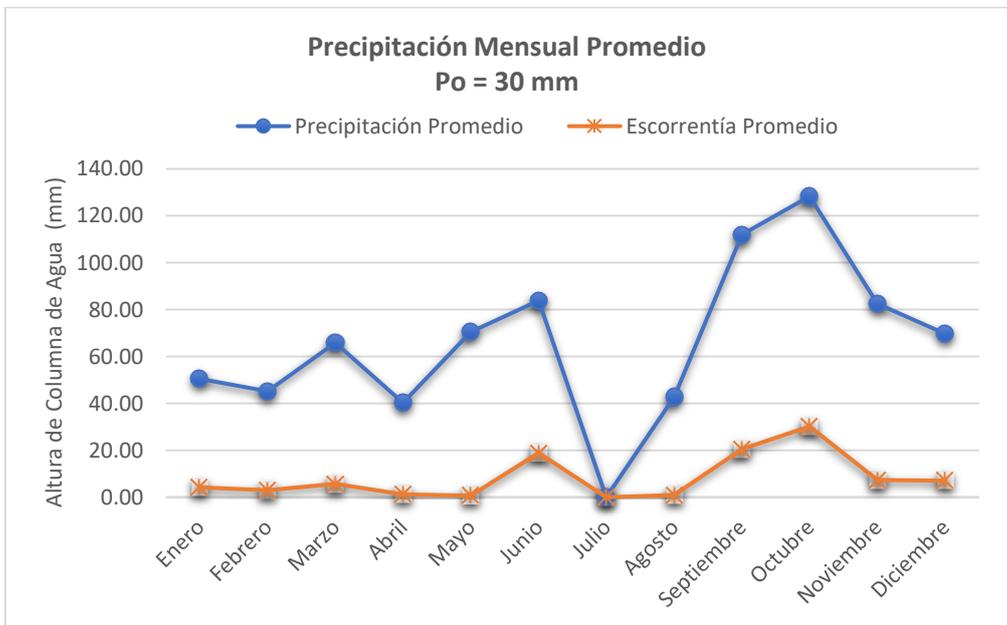
<b>Año</b>	<b>Precipitación Promedio</b>	<b>Suma Precipitación</b>	<b>N.º de Eventos</b>	<b>Suma Escorrentía</b>	<b>Escorrentía Promedio</b>
1990	41.60	83.20	2.00	1.98	0.99
1991	61.07	366.40	6.00	41.86	6.98
1992	75.05	300.20	4.00	56.21	14.05
1993	89.50	179.00	2.00	33.80	16.90
1994	51.10	204.40	4.00	20.11	5.03
1995	70.20	70.20	1.00	8.50	8.50
1996	51.05	204.20	4.00	18.25	4.56
1997	36.00	36.00	1.00	0.23	0.23
1998	90.60	181.20	2.00	35.44	17.72
1999	34.10	68.20	2.00	0.24	0.12
2000	103.87	311.60	3.00	112.01	37.34
2001	49.96	249.80	5.00	29.64	5.93
2002	73.35	293.40	4.00	62.72	15.68
2003	56.80	170.40	3.00	12.68	4.23
2004	58.66	410.60	7.00	45.97	6.57
2005	52.10	104.20	2.00	7.25	3.62
2006	41.90	167.60	4.00	7.43	1.86
2007	73.86	517.00	7.00	101.52	14.50
2008	63.08	315.40	5.00	48.14	9.63
2009	57.80	404.60	7.00	61.28	8.75
2010	39.27	117.80	3.00	2.64	0.88
2011	51.20	153.60	3.00	10.35	3.45
2012	41.47	124.40	3.00	4.02	1.34

**Tabla VIII Precipitación Media mensual para  $Po= 30 \text{ mm } E > 0 \text{ mm}$ .**

<b>Mes</b>	<b>Precipitación Promedio</b>	<b>N.º de Eventos</b>	<b>Escorrentía Promedio</b>
Enero	50.55	8	4.16
Febrero	45.20	8	2.94
Marzo	65.89	9	5.68
Abril	40.35	4	1.24
Mayo	70.51	7	0.71
Junio	83.80	4	18.94
Julio	0.00	0	0.00
Agosto	42.80	1	1.01
Septiembre	112.00	15	20.53
Octubre	128.28	12	30.19
Noviembre	82.48	5	7.33
Diciembre	69.71	11	7.10



*Precipitación promedio Anual Po= 30 mm E>0 mm*



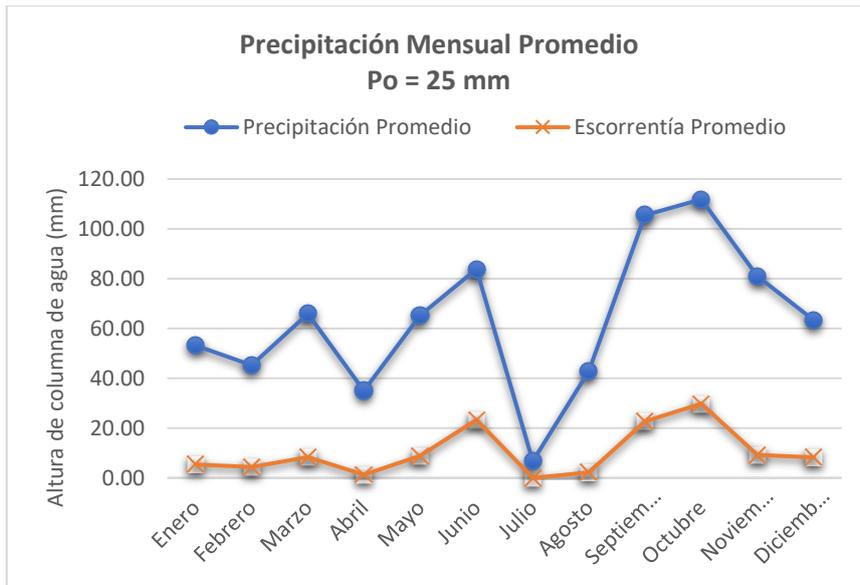
*Precipitación promedio Mensual Po= 30 mm E>0 mm*

**Tabla IX Precipitación Media Anual para  $P_o = 25 \text{ mm } E > 0 \text{ mm}$ .**

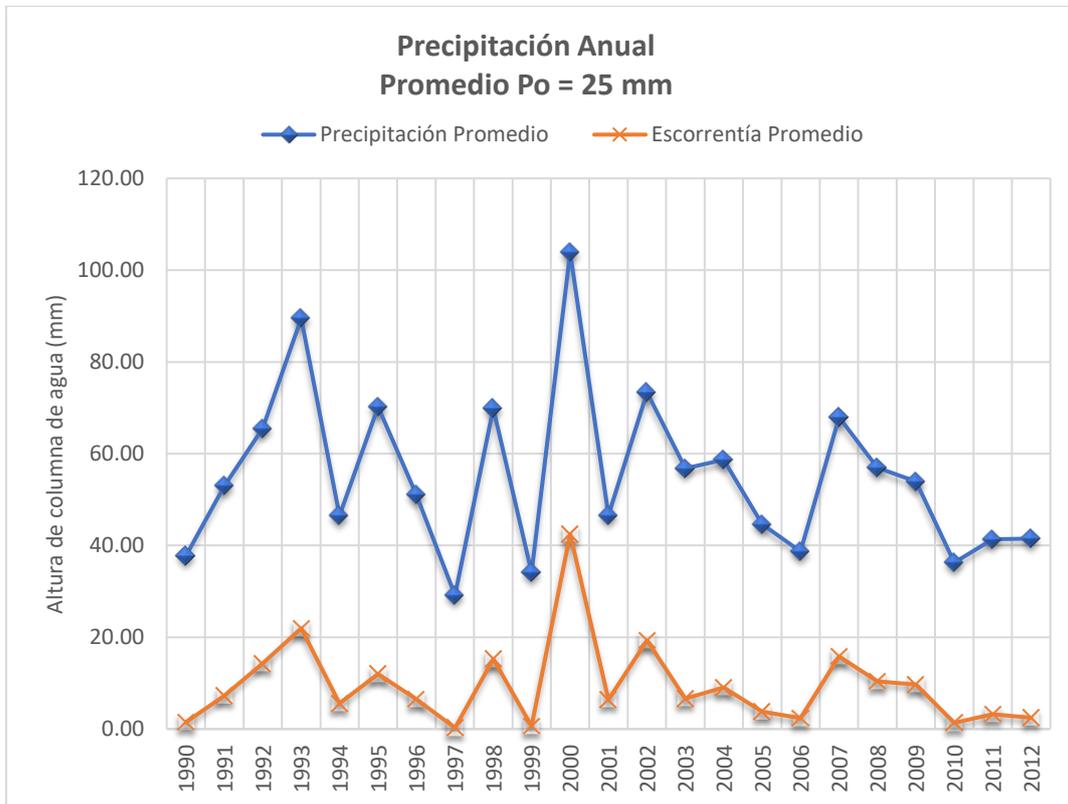
Año	Precipitación Promedio	Suma Precipitación	N.º de Eventos	Suma Escorrentía	Escorrentía Promedio
1990	37.73	113.20	3.00	4.41	1.47
1991	52.95	423.60	8.00	58.33	7.29
1992	65.48	327.40	5.00	71.41	14.28
1993	89.50	179.00	2.00	43.91	21.95
1994	46.52	232.60	5.00	27.80	5.56
1995	70.20	70.20	1.00	12.00	12.00
1996	51.05	204.20	4.00	25.94	6.49
1997	29.15	116.60	4.00	1.01	0.25
1998	69.87	209.60	3.00	45.77	15.26
1999	34.10	68.20	2.00	1.26	0.63
2000	103.87	311.60	3.00	127.53	42.51
2001	46.60	279.60	6.00	38.69	6.45
2002	73.35	293.40	4.00	77.20	19.30
2003	56.80	170.40	3.00	19.84	6.61
2004	58.66	410.60	7.00	63.50	9.07
2005	44.60	133.80	3.00	11.40	3.80
2006	38.72	193.60	5.00	12.08	2.42
2007	67.93	543.40	8.00	126.79	15.85
2008	56.93	341.60	6.00	62.39	10.40
2009	53.93	431.40	8.00	77.68	9.71
2010	36.25	145.00	4.00	5.49	1.37
2011	41.36	206.80	5.00	16.17	3.23
2012	41.47	124.40	3.00	7.37	2.46

**Tabla X Precipitación Media mensual para  $P_o = 25 \text{ mm } E > 0 \text{ mm}$ .**

Mes	Precipitación Promedio	N.º de Eventos	Escorrentía Promedio
Enero	53.22	11	5.39
Febrero	45.20	8	4.36
Marzo	65.89	9	8.28
Abril	35.03	7	1.32
Mayo	65.25	8	8.83
Junio	83.80	4	23.36
Julio	6.70	1	0.01
Agosto	42.80	1	2.22
Septiembre	105.55	17	22.74
Octubre	111.83	16	29.78
Noviembre	80.97	7	9.28
Diciembre	63.32	13	8.22



*Precipitación mensual promedio para Po=25 mm y E >0 mm.*



*Precipitación anual promedio para Po=25 mm y E >0 mm*

**Tabla XI Precipitación Media mensual para  $P_o = 35 \text{ mm}$   $E > 0 \text{ mm}$ .**

Mes	Precipitación Promedio	N.º de Eventos	Escorrentía
Enero	62.20	5	4.60
Febrero	53.68	5	3.25
Marzo	70.03	8	4.39
Abril	49.50	2	1.32
Mayo	86.28	5	7.37
Junio	100.73	3	20.61
Julio	0.00	0	0.00
Agosto	42.80	1	0.33
Septiembre	98.68	12	15.05
Octubre	140.82	10	30.44
Noviembre	82.48	5	4.80
Diciembre	76.68	8	7.30

**ANEXO "C" COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA**

**Tabla I Coeficientes de Escorrentía**

TIPO DE ÁREA		S.I.H.	INSTRUCCIÓN	URALITA	A.S.C.E.	C.H.N.	OTROS	
	LLUVIAS DE ...	CORTA DURACIÓN						LARGA DURACIÓN
	Población densa						0,75 a 0,95	
	Casco urbano con edificación muy densa			0,70 a 0,90				
	Barrio antiguo con edificación densa			0,65 a 0,90				
	Barrio moderno con muchos edificios			0,50 a 0,70				
	Zona residencial densa						0,60 a 0,75	
	Manzana cerrada	0,60 a 0,70	0,57 a 0,69				0,80	
	Zona residencial de edificios aislados							
	Zona residencial media						0,40 a 0,60	
	Bloque aislado	0,40 a 0,50	0,43 a 0,52				0,40 a 0,60	
	Zona residencial unifamiliar en extraradio			0,25 a 0,50			0,30 a 0,50	
	Unifamiliar en hilera	0,30 a 0,40	0,31 a 0,41				0,40	
	Unifamiliar aislada	0,20 a 0,30	0,24 a 0,33				0,40	
	Alrededores de zonas residenciales						0,25 a 0,40	
<b>RESIDENCIAL</b>	Barrios periféricos						0,50 a 0,70	
	Zona suburbana poco poblada			0,10 a 0,30				
	Zona rural			0,05 a 0,25		0,50	0,10 a 0,25	
	Viviendas/Ha							
	0 a 5						0,10 a 0,25	0,50 a 0,60
	5 a 10						0,25 a 0,35	0,60 a 0,80
	10 a 25						0,30 a 0,50	0,80 a 0,90
	25 a 50						0,40 a 0,70	1,00
	50 a 100						0,65 a 0,80	1,00
	100 a 150						0,75 a 1,00	1,00
	> 150						0,70 a 1,00	1,00
<b>COMERCIAL</b>	Centrica				0,70 a 0,95		0,70 a 0,95	1,00
	Periférica				0,50 a 0,70		0,50 a 0,85	1,00
	Intensiva	0,60 a 0,70				0,70	0,60 a 0,90	
	Extensiva	0,45 a 0,55				0,70	0,50 a 0,80	
<b>INDUSTRIAL</b>	Ligera				0,50 a 0,80	0,70	0,50 a 0,80	1,00
	Pesada				0,60 a 0,90	0,70	0,60 a 0,90	1,00
	En ciudad			0,60 a 0,85		0,80		
	De edificios aislados			0,25 a 0,60				
	Deportiva				0,20 a 0,35		0,20 a 0,35	0,20 a 0,35
<b>OTRAS</b>	Parques y jardines				0,20 a 0,35		0,05 a 0,25	0,10 a 0,25
	Cementerios				0,20 a 0,35		0,10 a 0,25	
	Estaciones de ferrocarril						0,20 a 0,40	

**ANEXO "D" RESULTADOS DE BALANCES HÍDRICOS**





**Tabla V Resultados obtenidos del balance hídrico en la zona de tierra compactada.**

Mes	P (mm)	N.º de Eventos	ETP (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Enero	39.47	61	35.55	35.55	3.92
Febrero	35.19	43	48.40	48.40	0.00
Marzo	38.47	50	69.83	45.26	0.00
Abril	28.49	68	102.87	28.49	0.00
Mayo	38.65	54	128.77	38.65	0.00
Junio	26.71	38	149.30	26.71	0.00
Julio	7.20	28	159.35	7.20	0.00
Agosto	14.54	34	140.12	14.54	0.00
Septiembre	66.04	75	97.49	66.04	0.00
Octubre	69.52	83	63.48	63.48	6.04
Noviembre	32.86	46	40.24	38.90	0.00
Diciembre	46.26	68	31.42	31.42	14.84
<b>TOTAL</b>	<b>443.40</b>	<b>648.00</b>	<b>1,066.82</b>	<b>444.64</b>	<b>24.80</b>

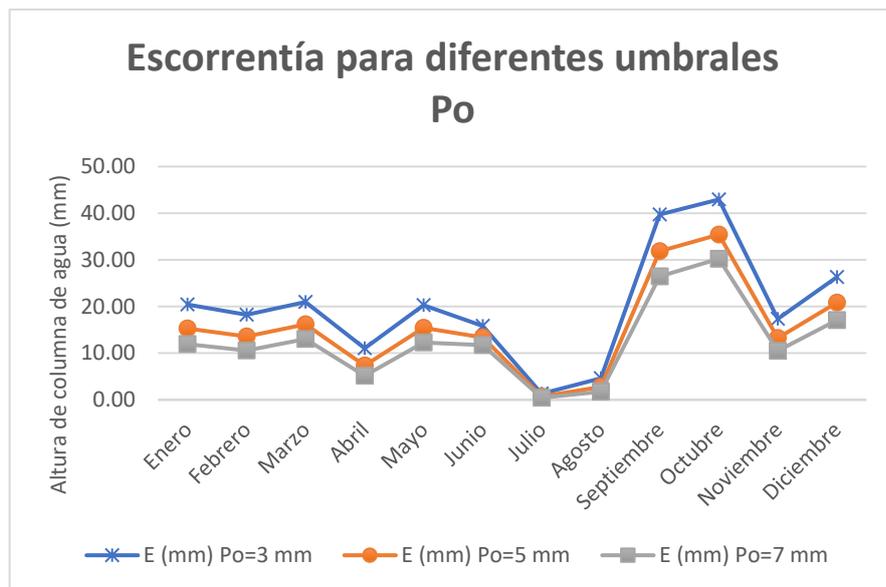


Gráfico de Valores calculados de escorrentía con el método SCS para diferentes umbrales  $P_o$  (zona tierra compactada).

**ANEXO "E" VOLÚMENES DE ESCORRENTÍA ANUALES PARA LOS  
JARDINES DEL ESTUDIO**

**Tabla I Volúmenes de escorrentías mensuales para el Jardín de Blasco Ibáñez.**

Mes	Zona verde (m <sup>3</sup> )	Zona de tierra compactada (m <sup>3</sup> )	Zona Pavimentada (m <sup>3</sup> )	E Aprov. (m3)
	P <sub>o</sub> =30 mm	P <sub>o</sub> =7 mm	C= 73%	
Enero	71.46	563.94	47.17	682.57
Febrero	58.95	499.19	42.06	600.20
Marzo	95.14	614.88	45.97	755.99
Abril	9.70	244.98	34.05	288.73
Mayo	102.68	580.02	46.19	728.88
Junio	179.97	554.25	31.92	766.13
Julio	0.00	20.85	8.61	29.46
Agosto	2.52	82.66	17.38	102.56
Septiembre	298.74	1,252.09	78.93	1,629.76
Octubre	457.58	1,430.23	83.09	1,970.89
Noviembre	65.99	494.97	39.27	600.24
Diciembre	157.78	808.50	55.29	1,021.57
<b>TOTAL</b>	<b>1,500.50</b>	<b>7,146.55</b>	<b>529.93</b>	<b>9,176.98</b>

**Tabla II Volúmenes de Escorrentías Anuales para el Jardín de Blasco Ibáñez con diferentes umbrales de escorrentía.**

N.º	Combinación	Zona verde (m3)	Zona de tierra compactada (m3)	Zona Pavimentada (m3)	E Aprov. (m3)
1	Po=35mm Po=7 mm C=73%	1,171.73	7,146.55	529.93	8,848.21
2	Po=35mm Po=5 mm C=73%	1,171.73	8,802.48	529.93	10,504.15
3	Po=35mm Po=3 mm C=73%	1,171.73	11,300.30	529.93	13,001.97
4	Po=30mm Po=7 mm C=73%	1,500.50	7,146.55	529.93	9,176.98
5	Po=30 mm Po=5 mm C=73%	1,500.50	8,802.48	529.93	10,832.92
6	Po=30 mm Po=3 mm C=73%	1,500.50	11,300.30	529.93	13,330.73
7	Po=25mm Po=7 mm C=73%	1,954.04	7,146.55	529.93	9,630.52
8	Po=25mm Po=5 mm C=73%	1,954.04	8,802.48	529.93	11,286.45
9	Po=25mm Po=5 mm C=73%	1,954.04	11,300.30	529.93	13,784.27

**Tabla III Volúmenes de Escorrentías Anuales para el Parque Marxalenes con diferentes umbrales de escorrentía.**

N.º	Combinación	Zona verde (m3)	Zona de tierra compactada (m3)	Zona Pavimentada (m3)	E Aprov. (m3)
1	Po=35mm Po=7 mm C=73%	546.20	974.33	17,913.15	19,433.68
2	Po=35mm Po=5 mm C=73%	546.20	1,200.09	17,913.15	19,659.44
3	Po=35mm Po=3 mm C=73%	546.20	1,540.64	17,913.15	19,999.98
4	Po=30mm Po=7 mm C=73%	699.45	974.33	17,913.15	19,586.93
5	Po=30 mm Po=5 mm C=73%	699.45	1,200.09	17,913.15	19,812.69
6	Po=30 mm Po=3 mm C=73%	699.45	1,540.64	17,913.15	20,153.23
7	Po=25mm Po=7 mm C=73%	910.87	974.33	17,913.15	19,798.34
8	Po=25mm Po=5 mm C=73%	910.87	1,200.09	17,913.15	20,024.11
9	Po=25mm Po=5 mm C=73%	910.87	1,540.64	17,913.15	20,364.65

**Tabla IV Volúmenes de escorrentías mensuales para Jardín del Turia tramo 1 y**

**2**

Mes	Zona verde (m3)	Zona de tierra compactada (m3)	Zona Pavimentada (m3)	E Aprov. (m3)
	Po=35mm	Po=7 mm	C= 73%	
Enero	143.49	682.74	7,469.53	8,295.76
Febrero	118.50	604.35	6,659.91	7,382.77
Marzo	194.15	744.41	7,280.27	8,218.83
Abril	15.09	296.58	5,391.49	5,703.17
Mayo	221.93	702.20	7,314.52	8,238.65
Junio	426.59	671.00	5,054.29	6,151.88
Julio	0.00	25.24	1,362.68	1,387.93
Agosto	2.42	100.07	2,752.71	2,855.20
Septiembre	688.02	1,515.84	12,499.51	14,703.37
Octubre	1,120.25	1,731.51	13,157.81	16,009.57
Noviembre	127.05	599.24	6,219.14	6,945.43
Diciembre	346.17	978.82	8,755.94	10,080.93
<b>TOTAL</b>	<b>3,403.67</b>	<b>8,652.01</b>	<b>83,917.80</b>	<b>95,973.48</b>

**Tabla V Volúmenes de Escorrentías Anuales para el Jardín Río Turia con los diferentes umbrales de escorrentía tramos 1 y 2.**

N.º	Combinación	Zona verde (m3)	Zona de tierra compactada (m3)	Zona Pavimentada (m3)	E Aprov. (m3)
1	Po=35mm Po=7 mm C=73%	3,403.67	8,652.01	83,917.80	95,973.48
2	Po=35mm Po=5 mm C=73%	3,403.67	10,656.78	83,917.80	97,978.25
3	Po=35mm Po=3 mm C=73%	3,403.67	13,680.77	83,917.80	101,002.25
4	Po=30mm Po=7 mm C=73%	4,358.68	8,652.01	83,917.80	96,928.49
5	Po=30 mm Po=5 mm C=73%	4,358.68	10,656.78	83,917.80	98,933.26
6	Po=30 mm Po=3 mm C=73%	4,358.68	13,680.77	83,917.80	101,957.25
7	Po=25mm Po=7 mm C=73%	5,676.12	8,652.01	83,917.80	98,245.93
8	Po=25mm Po=5 mm C=73%	5,676.12	10,656.78	83,917.80	100,250.70
9	Po=25mm Po=5 mm C=73%	5,676.12	13,680.77	83,917.80	103,274.70

**Tabla VI Volúmenes de escorrentías mensuales para Jardín del Turia tramo 12 y 13**

Mes	Zona verde (m <sup>3</sup> )	Zona de tierra compactada (m <sup>3</sup> )	Zona Pavimentada (m <sup>3</sup> )	E Aprov. (m3)
	Po=35mm	Po=7 mm	C= 73%	
Enero	112.47	447.42	226.37	786.27
Febrero	92.89	396.06	201.84	690.78
Marzo	152.18	487.84	220.64	860.66
Abril	11.83	194.36	163.40	369.59
Mayo	173.96	460.18	221.67	855.81
Junio	334.38	439.74	153.18	927.29
Julio	0.00	16.54	41.30	57.84
Agosto	1.90	65.58	83.42	150.90
Septiembre	539.30	993.39	378.81	1,911.50
Octubre	878.09	1,134.73	398.76	2,411.58
Noviembre	99.58	392.71	188.48	680.77
Diciembre	271.35	641.46	265.36	1,178.16
<b>TOTAL</b>	<b>2,667.93</b>	<b>5,670.00</b>	<b>2,543.22</b>	<b>10,881.15</b>

**Tabla VII Volúmenes de Escorrentías Anuales para el Jardín Río Turia con los diferentes umbrales de escorrentía tramos 12 y 13.**

N.º	Combinación	Zona verde (m³)	Zona de tierra compactada (m³)	Zona Pavimentada (m³)	E Aprov. (m³)
1	Po=35mm Po=7 mm C=73%	2,667.93	5,670.00	2,543.22	10,881.15
2	Po=35mm Po=5 mm C=73%	2,667.93	6,983.80	2,543.22	12,194.95
3	Po=35mm Po=3 mm C=73%	2,667.93	8,965.54	2,543.22	14,176.70
4	Po=30mm Po=7 mm C=73%	3,416.50	5,670.00	2,543.22	11,629.72
5	Po=30 mm Po=5 mm C=73%	3,416.50	6,983.80	2,543.22	12,943.53
6	Po=30 mm Po=3 mm C=73%	3,416.50	8,965.54	2,543.22	14,925.27
7	Po=25mm Po=7 mm C=73%	4,449.17	5,670.00	2,543.22	12,662.39
8	Po=25mm Po=5 mm C=73%	4,449.17	6,983.80	2,543.22	13,976.19
9	Po=25mm Po=5 mm C=73%	4,449.17	8,965.54	2,543.22	15,957.93

**Tabla VIII Volúmenes de escorrentías mensuales para el Parque de Cabecera**

Mes	Zona verde (m³)	Zona de tierra compactada (m³)	Zona Pavimentada (m³)	E Aprov. (m³)
	Po=35mm	Po=7 mm	C= 73%	
<b>Enero</b>	157.38	1,946.56	776.67	2,880.61
<b>Febrero</b>	129.98	1,723.07	692.49	2,545.54
<b>Marzo</b>	212.95	2,122.39	756.99	3,092.33
<b>Abril</b>	16.55	845.59	560.60	1,422.74
<b>Mayo</b>	243.42	2,002.05	760.55	3,006.02
<b>Junio</b>	467.88	1,913.11	525.54	2,906.53
<b>Julio</b>	0.00	71.97	141.69	213.66
<b>Agosto</b>	2.66	285.31	286.22	574.19
<b>Septiembre</b>	754.62	4,321.84	1,299.68	6,376.15
<b>Octubre</b>	1,228.69	4,936.73	1,368.13	7,533.55
<b>Noviembre</b>	139.34	1,708.51	646.66	2,494.51
<b>Diciembre</b>	379.68	2,790.71	910.43	4,080.83
<b>TOTAL</b>	<b>3,733.15</b>	<b>24,667.85</b>	<b>8,725.66</b>	<b>37,126.66</b>

**Tabla IX Volúmenes de Escorrentías Anuales para el Parque de Cabecera**

<b>N.º</b>	<b>Combinación</b>	<b>Zona verde (m3)</b>	<b>Zona de tierra compactada (m3)</b>	<b>Zona Pavimentada (m3)</b>	<b>E Aprov. (m3)</b>
1	Po=35mm Po=7 mm C=73%	3,733.15	24,667.85	8,725.66	37,126.66
2	Po=35mm Po=5 mm C=73%	3,733.15	30,383.67	8,725.66	42,842.47
3	Po=35mm Po=3 mm C=73%	3,733.15	39,005.42	8,725.66	51,464.23
4	Po=30mm Po=7 mm C=73%	4,780.60	24,667.85	8,725.66	38,174.11
5	Po=30 mm Po=5 mm C=73%	4,780.60	30,383.67	8,725.66	43,889.93
6	Po=30 mm Po=3 mm C=73%	4,780.60	39,005.42	8,725.66	52,511.68
7	Po=25mm Po=7 mm C=73%	6,225.57	24,667.85	8,725.66	39,619.08
8	Po=25mm Po=5 mm C=73%	6,225.57	30,383.67	8,725.66	45,334.90
9	Po=25mm Po=5 mm C=73%	6,225.57	39,005.42	8,725.66	53,956.65

## **ANEXO "F" CURVA IDF**

*Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel*

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			$x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1990	47	47.00	2134.44
2	1991	105.8	105.80	158.76
3	1992	125.2	125.20	1024.00
4	1993	89.6	89.60	12.96
5	1994	92.4	92.40	0.64
6	1995	70.2	70.20	529.00
7	1996	78.6	78.60	213.16
8	1997	36	36.00	3271.84
9	1998	101.4	101.40	67.24
10	1999	35.4	35.40	3340.84
11	2000	222.2	222.20	16641.00
12	2001	111.8	111.80	345.96
13	2002	122.6	122.60	864.36
14	2003	64.8	64.80	806.56
15	2004	108.4	108.40	231.04
16	2005	65.4	65.40	772.84
17	2006	65.2	65.20	784.00
18	2007	159.2	159.20	4356.00
19	2008	119	119.00	665.64
20	2009	148.4	148.40	3047.04
21	2010	49.8	49.80	1883.56
22	2011	70.8	70.80	501.76
23	2012	54.4	54.40	1505.44
<b>23</b>		<b><math>\Sigma</math></b>	<b>2143.6</b>	<b>43158.1</b>

Función de distribución Gumbel:  $F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$

Donde:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 93.2 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 44.29$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 34.53$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 44.29 \text{ m}$$

Expresión matemática de la curva IDF:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Donde:

I = Intensidad (mm/h)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

K, m, n = Parámetros de ajuste

Se realiza un cambio de variable de la siguiente manera:

$$d = K \cdot T^m$$

Sustituyendo en la ecuación de la curva IDF, se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n}$$

Se ha realizado una regresión con tiempo de retorno T=25 años, para obtener los parámetros que definen la curva. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos:

*Resultados obtenidos para la regresión. T=25 años de retorno.*

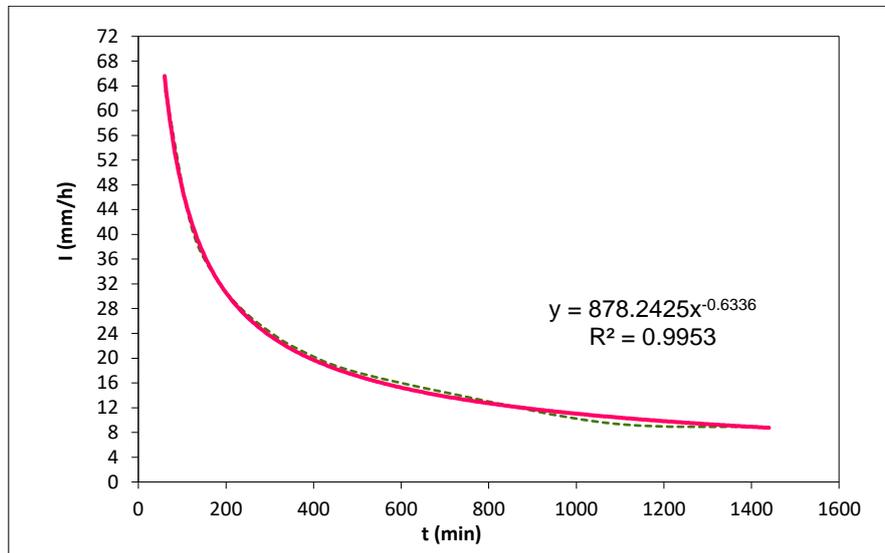
<b>N.º</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)<sup>2</sup></b>
<b>1</b>	<b>1440</b>	<b>8.8697</b>	7.2724	2.1826	15.8730	52.8878
<b>2</b>	<b>1080</b>	<b>9.4610</b>	6.9847	2.2472	15.6959	48.7863
<b>3</b>	<b>720</b>	<b>14.1914</b>	6.5793	2.6526	17.4524	43.2865
<b>4</b>	<b>480</b>	<b>18.0941</b>	6.1738	2.8956	17.8767	38.1156
<b>5</b>	<b>360</b>	<b>21.6419</b>	5.8861	3.0746	18.0976	34.6462
<b>6</b>	<b>300</b>	<b>24.2674</b>	5.7038	3.1891	18.1901	32.5331
<b>7</b>	<b>240</b>	<b>27.6733</b>	5.4806	3.3205	18.1983	30.0374
<b>8</b>	<b>180</b>	<b>32.6403</b>	5.1930	3.4855	18.1003	26.9668
<b>9</b>	<b>120</b>	<b>41.5100</b>	4.7875	3.7259	17.8379	22.9201
<b>10</b>	<b>60</b>	<b>63.8615</b>	4.0943	4.1567	17.0190	16.7637
<b>10</b>	4980	262.2105	<b>58.1555</b>	<b>30.9305</b>	<b>174.3412</b>	<b>346.9435</b>
<b>Ln (d) =</b>	<b>6.7779</b>	<b>d =</b>	<b>878.2425</b>	<b>n =</b>	<b>-0.6336</b>	

Con los valores **d** y **n** obtenidos, se realiza una regresión para obtener los parámetros de la curva, los cuales se presentan a continuación.

- Constante de regresión K=385.3376

- Coeficiente de regresión  $m=0.2092$
- $n=0.61885$

En el siguiente gráfico se muestra la bondad del ajuste obtenida para un tiempo de retorno  $T=25$  años.



Por último, la curva IDF queda definida por la siguiente ecuación.

$$I = \frac{385.3376 * T^{0.209167}}{t^{0.61885}}$$